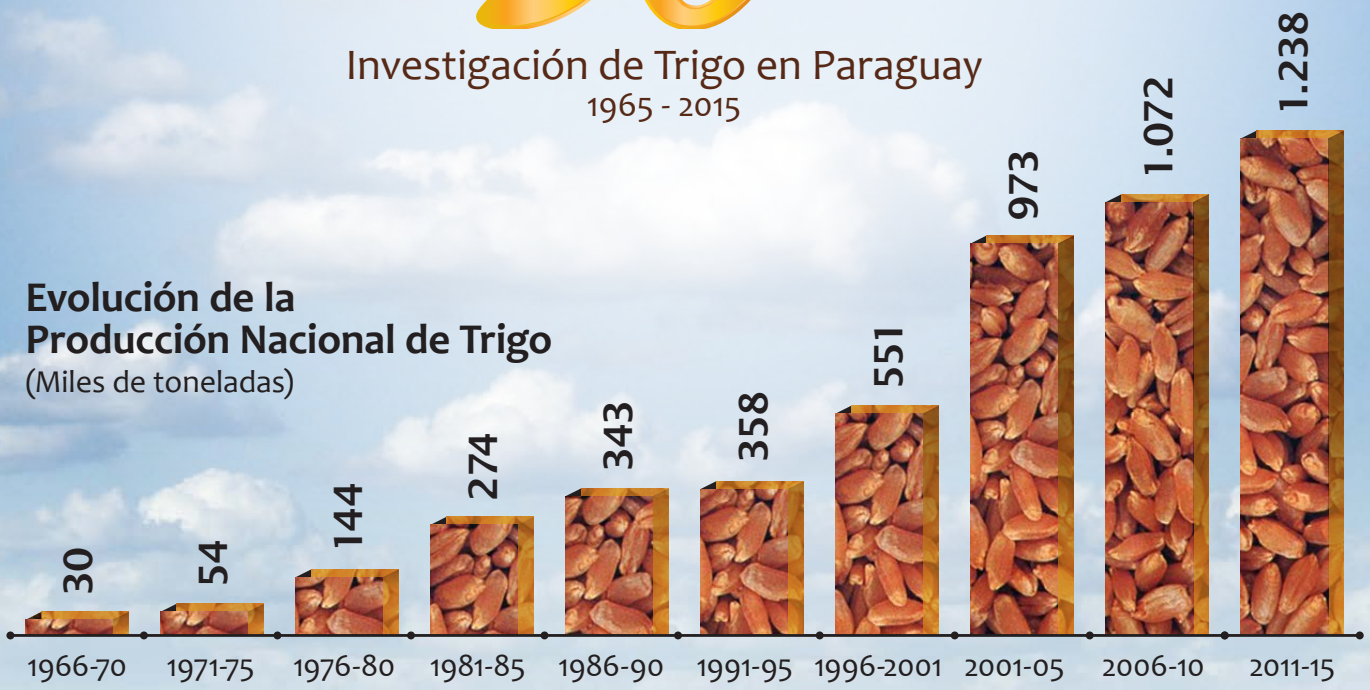
SEXTO SEMINARIO NACIONAL DE TRIGO

"Del grano al pan"

50 AÑOS

Investigación de Trigo en Paraguay
1965 - 2015

Evolución de la Producción Nacional de Trigo
(Miles de toneladas)



MAN MOHAN KOHLI
LUIS ENRIQUE CUBILLA
GRACIELA CABRERA
EDITORES

CAPECO

INBIO
INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA

CÁMARA PARAGUAYA DE EXPORTADORES Y COMERCIALIZADORES DE CEREALES Y OLEAGINOSAS

"CAPECO"

La Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas "CAPECO", es una entidad de carácter gremial, sin fines de lucro, fundada el 20 de febrero de 1980 y su personería jurídica fue reconocida por decreto Nº 25.339 del 18 de mayo de 1981. Su misión fundamental es aunar a las empresas para cooperar integralmente en el desarrollo de sus intereses, ejerciendo la representación legal en gestiones de beneficio colectivo.

CAPECO representa a los productores, exportadores y comercializadores de cereales y oleaginosas del país, teniendo como miembros a las principales cooperativas agrícolas, empresas exportadoras nacionales y multinacionales, así como a la industria procesadora de granos.

Sus actividades principales consisten en apoyar proyectos agrícolas para la mejora de la calidad del grano y semillas, la investigación de cultivos, la fertilización del suelo, la prevención de las enfermedades de los cultivos y el cuidado del medio ambiente.

También tiene una participación activa en la mejora de la logística de exportación, búsqueda, apertura y acceso a los mercados principalmente para el maíz, trigo, soja, girasol, canola y subproductos, así como para defender los intereses de los socios a nivel nacional e internacional.

CAPECO es miembro de organizaciones internacionales como: La Alianza Internacional de Productores de Soja (ISGA), el Diálogo Internacional de Productores de Oleaginosas (IOPD) y de la Coalición Internacional del Comercio de Granos (IGTC)

Los agronegocios del sector cereales y oleaginosas (Sistema Soja - Trigo - Maíz - Girasol), representan 81% del PIB agrícola y el 42% del ingreso de divisas por exportaciones, más de US$ 6.000 millones en inversiones y más de 250.000 puestos de trabajo. Actualmente, el sector es el motor de la "Economía Real del País". En la última zafra, el sector movilizó alrededor de 3.600 millones de dólares.

INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA

"INBIO"

El Instituto de Biotecnología Agrícola es una asociación civil sin fines de lucro, con el propósito de promover un adecuado acceso al país de los productos derivados de la biotecnología agropecuaria y la incorporación ordenada de los mismos a la producción nacional, así como para la promoción y desarrollo de la investigación de biotecnología nacional.

Son fines y objetivos del INBIO contribuir a la prosperidad y bienestar del agricultor paraguayo mediante la promoción de un ambiente favorable para la inversión en investigación y desarrollo, innovación y adopción de productos y procesos biotecnológicos, compatibles y en armonía con los principios básicos de sustentabilidad y sostenibilidad ambiental, y seguridad para la salud humana y animal; promover las buenas prácticas agrícolas, a fin de proteger la salud de los trabajadores rurales y la inocuidad de los productos agropecuarios derivados de la biotecnología; promover el fortalecimiento de los recursos humanos disponibles en áreas claves para la investigación y desarrollo de la biotecnología; establecer y promover alianzas estratégicas con organismos/instituciones/empresas nacionales e internacionales, involucradas en investigación y desarrollo de biotecnología; cooperar con el Gobierno Nacional, en las negociaciones internacionales que se refieran directa o indirectamente a las materias de genética y biotecnología.

El INBIO está integrado por siete gremios de la producción: APS, APROSEMP, CAP, CAPECO, FECOPROD, UNICOOP y PARPOV.

El INBIO realiza sus funciones por medio de tres pilares programáticos: Información, Comunicación, Difusión; Capacitación de recursos Humanos e Investigación y Desarrollo agrícola.

Citación correcta: Sexto Seminario Nacional de Trigo: Del Grano al Pan.
Eds. M. M. Kohli, L. E. Cubilla y G. Cabrera. 2018. CAPECO/INBIO, Asunción, Paraguay. p 360

Palabras Claves: Trigo, *Triticum aestivum*, Investigación, Producción, Mejoramiento, Calidad, Mercado, Industrialización, Panificación, Cultivos Extensivos en Paraguay.

ISBN 978-99953-849-7-5
Dewey 633.11
AGRIS F01

SEXTO SEMINARIO NACIONAL DE TRIGO

"Del grano al pan"

Investigación de Trigo en Paraguay
1965 - 2015

EDITADO POR

Man Mohan Kohli
Luis Enrique Cubilla
Graciela Cabrera

CÁMARA PARAGUAYA DE EXPORTADORES Y COMERCIALIZADORES DE CEREALES Y OLEAGINOSAS, CAPECO

INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA, INBIO

Asunción, Paraguay
Octubre de 2018

Sexto Seminario Nacional de Trigo: del grano al pan

Conferencias / Man Mohan Kohli; Luis Enrique Cubilla y Graciela Cabrera, editores.
Asunción: CAPECO/INBIO, 2018.
360 p.

ISBN 978-99953-849-7-5

1- Trigo. 2- Triticum aestivum. 3- Cultivo. 4- Investigación. 5- Producción. 6- Mejoramiento. 7- Calidad. 8- Mercadeo. 9- Control de calidad. 10- Paraguay. I. Kohli, Man Mohan; Cubilla, Luis Enrique; Cabrera, Graciela editores. II. CAPECO/INBIO. III. Título.

AGRIS F01 Dewey 633.11

Diagramación e Impresión

ARTEMAC S.A.

Tte. Vera 2856 e/ Cnel. Cabrera y Dr. Caballero
Asunción, Paraguay
Telefax: **(021) 612 404 - 660 984 - 621 770/2**

Contenido

Prólogo I

Algunas reflexiones y agradecimientos III

Rol de los Sistemas Nacionales de Investigación Agrícola y el Desarrollo de los Recursos Humanos a Futuro
Sanjaya Rajaram 1

Las Experiencias Iniciales del Trigo Comercial en el Paraguay
Rafael Heisecke 11

Los Primeros Pasos de la Investigación Triguera Sustentable en el Paraguay
Ricardo Pedretti; Raúl Torres 17

Fortalecimiento de la Investigación y Difusión del Cultivo de Trigo en el Paraguay, Alianza Público Privada, 2003-2018
Man Mohan Kohli; Luis Enrique Cubilla; Graciela Cabrera Arredondo 23

Sector del Trigo en Paraguay, Potencialidades de Innovación y Aprendizajes
Belén Servin 31

Los Próximos 50 Años del Trigo en Paraguay: Retos y Oportunidades
Man Mohan Kohli 41

Escenarios de Cambio Climático para el Cultivo de Trigo en Paraguay
Eduardo Sierra 59

Incrementos de la Temperatura Nocturna y los Golpes de Calor: ¿Cómo Afectan el Rendimiento y la Calidad en los Cereales Invernales?
Daniel J. Miralles; G.A. Garcia; R.A. Serrago; M.F. Dreccer; I. Alzueta 79

Contribuciones Fisiológicas al Mejoramiento de Trigo Tolerante a Temperaturas Altas
César Mariano Cossani; M. P. Reynolds 101

Avances de Rendimiento en Ambientes Calurosos del Germoplasma de Trigo del CIMMYT
Ravi Prakash Singh; J. Huerta-Espino; S. Mondal; E. Autrique 117

Avances en la Biotecnología en Pro del Cultivo de Trigo
Pablo Sotelo; Julio Iehisa 139

Avances en la Investigación de Trigos Biofortificados
Iván Ortiz-Monasterio; Velu Govindan; Ravi Singh; Javier Peña 155

Manejo Racional de la *Fusariosis* de la Espiga y DON en Trigo
Silvia Pereyra; M. Díaz de Ackermann; A. Cal; M. Castro; G. Garmendia; S. Germán; M. Quincke; P. Silva; D. Vazquez; S. Vero; M. Umpierrez 173

El Presente y el Futuro de la Investigación de Fusariosis de la Espiga
Andrea Arrúa 189

***Pyricularia* del Trigo. Avances en la Investigación en Paraguay**
Alice Chávez; Cinthia Cazal; Man Mohan Kohli 199

Avances en Identificación de Nuevos Agroquímicos Aplicados al Cultivo de Trigo
Augusto Piazza 211

Técnica de Aplicación para Control de Enfermedades Fungosas en Trigo
Enrique Lampert 215

Mejoramiento de la Calidad de Trigo bajo Condiciones de Estrés Térmico: Métodos Simples para la Potencial Selección en Etapas Avanzadas Tempranas
Roberto J. Peña 227

Limitantes del Manejo que Impactan el Rendimiento del Trigo Nacional
Ken Moriya 243

Pérdida del Nitrógeno y Eficiencia en la Aplicación de Nutrientes
Iván Ortiz-Monasterio 257

Aplicaciones Satelitales para el Agro
Wyn Cudlip 275

Aspectos del Mercado Internacional del Trigo para Paraguay
Sonia Tomassone 287

Anexos. Pósters del Sexto Seminario

1. Variaciones en el Rendimiento Potencial de Trigo de Paraguay 298
2. Evaluación del Comportamiento de Materiales de Trigo en un Entisol de Caacupé 300
3. Respuesta de Cuatro Variedades de Trigo a Distintas Densidades de Siembra 302
4. Efecto de la Combinación de *Azospirillum brasilense* con el Tratamiento Químico de Semillas Sobre el Rendimiento de Trigo 304
5. Detección Molecular del Cluster de Genes Lr37-Yr17-Sr38 en Líneas Avanzadas Paraguayas de Trigo Pan (*Triticum aestivum* L.) 306
6. Selección de la Dosis de Inóculo Adecuada para la Inoculación de Materiales de Trigo con *Pyricularia oryzae* 308
7. Esporulación de *Pyricularia oryzae* en Diferentes Medios de Cultivo 310
8. Eficiencia de Fungicidas en el Control de *Pyricularia oryzae* en Semillas de Trigo In Vitro 312
9. Efecto del Medio de Cultivo Natural y Sintético Sobre el Crecimiento y Coloración de Colonias de *Fusarium graminearum* 314
10. Determinación de la Variabilidad de la Germinación de Conidias de *Fusarium* sp. 316
11. Promoción de Germinación y Crecimiento de Semillas de Trigo Utilizando *Bacillus* sp. 318
12. Comparación de Rendimiento y Calidad de DNA de Hoja de Trigo con el Protocolo Doyle y Doyle (1987) Con y Sin Uso de CTAB 320
13. Efecto del Uso de Proteinasa K y RNasa A en la Cantidad y Pureza de DNA Extraído de Hojas de Trigo 322
14. Efecto de la Lisis en la Cantidad y Calidad de DNA Extraído de Hoja de Trigo 324
15. Actividad Inhibitoria del Extracto Etanólico del Hongo *Laetiporus gilbertsonii* Burds Sobre el Hongo Fitopatógeno *Fusarium graminearum* 326
16. Actividad Biológica de Extractos Etanólicos de Especies Nativas Medicinales Paraguayas sobre Hongos Fitopatógenos: *Fusarium graminearum* y *Macrophomina phaseolina* 328
17. Control Biológico de Cepas de *Fusarium graminearum* por Cepas de *Bacillus* sp. 330
18. Niveles de Deoxinivalenol en Bebidas a Base de Cebada y Trigo 332
19. Presencia de Deoxinivalenol en Galletitas Integrales Comercializadas en Gran Asunción 334
20. Especies de Áfidos (Hemíptera: Aphididae) Vectores del Virus del Enanismo Amarillo de la Cebada (BYDV) en el Cultivo de Trigo (*Triticum aestivum*) 336
21. Detección del Soil Borne Wheat Mosaic Virus (SBWMV) en Parcelas de Trigo en el Departamento de Itapúa 338
22. Especies de Parasitoides de Áfidos (Hemíptera: Aphididae) en el Cultivo de Trigo (*Triticum aestivum*) 340
23. Infección Simultánea del WSSMV y el SBWMV en Parcelas de Trigo del Departamento de Itapúa 342
24. Evaluación de la Eficiencia de Diferentes Insecticidas Curasemillas para el Control del Coro de las Pasturas (*Diloboderus abderus*), en el Cultivo de Trigo Bajo Condiciones de Invernadero 344

Prólogo

Es una gran satisfacción reconocer que la investigación de trigo en Paraguay cumple 50 años. Mucho ha pasado durante este tiempo y las dificultades y frustraciones del pasado han dado lugar a una producción exitosa e integrada al sistema de cultivos, especialmente durante el ciclo de invierno. Los altibajos del cultivo por razones climáticas o comerciales, aun hoy, ponen a prueba la capacidad de resiliencia de los productores. Pero, lo que no se puede negar, es que hoy el país es autosuficiente en la producción del cereal y se encuentra entre los países exportadores del trigo a pequeña escala, reconocido por la calidad de grano que produce. Tampoco se puede ignorar su contribución a las arcas nacionales que ronda alrededor de 170 millones de dólares anuales por su exportación en la última década.

Los cambios recientes y el auge productivo son testimonios de la confianza que los productores han puesto en este cultivo, apoyado por el Proyecto "Fortalecimiento de la Investigación y Difusión del Cultivo de Trigo en Paraguay", en el marco de un convenio público privado entre el IPTA, CAPECO e INBIO.

Los Seminarios Nacionales de Trigo "*Del Grano al Pan*" fueron un instrumento importante para diagnosticar, dialogar y ofrecer una serie de estudios, debates y tecnologías a la comunidad agrícola con el fin de mejorar la producción. Al mismo tiempo, sirvieron de material didáctico y de consulta para los técnicos y estudiantes sobre las investigaciones ya concluidas o que se deben desarrollar en el país en el futuro. En este sentido, el contenido del 6° Seminario, presentado en este volumen, contribuye con los resultados de las investigaciones más diversas presentadas por una selección de científicos de trayectoria mundial en su área de trabajo e investigación. Cabe destacar la contribución del Dr. Sanjaya Rajaram, Premio Mundial de Alimentación, 2014, de los científicos más renombrados del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT, México, que, junto con otros investigadores nacionales, de Argentina y de Uruguay expusieron avances de las investigaciones actuales y aquellos que serán claves para el desarrollo futuro.

JOSE BEREA, Presidente de CAPECO.

Los trabajos incluidos en este volumen, no solo relatan la historia de trigo durante los últimos 50 años, sino también exploran las redes creadas por la investigación nacional y el estado de la tecnología actual disponible a los productores. A nivel técnico, se debaten los impactos del cambio climático, especialmente de las altas temperaturas, sobre la adaptación, rendimiento y rasgos agronómicos y fisiológicos del cultivo. Se exploran los avances en el mejoramiento utilizando las herramientas modernas de biotecnología y de la instrumentación para mejorar la

En la mesa: Ing. Agr. Jorge Gattini, Ministro de Agricultura y Ganadería (centro) con el Dr. Mohan Kohli y el Sr. José Berea. El Ing. Luis E. Cubilla, Asesor Agrícola de CAPECO, explica el propósito del Seminario.

calidad industrial y nutritiva. Los avances en el manejo de la nutrición nitrogenada, materia orgánica y principales enfermedades apuntan a un único objetivo de abaratar el costo de producción del cereal y ponerlo en el mercado nacional o internacional de forma competitiva. Los estudios satelitales que van refinando las imágenes y sus interpretaciones, pueden convertirse en una herramienta importante para disponer de las informaciones productivas, de manera adelantada, en apoyo a los negocios planeados. El aspecto más importante del Seminario es la interacción entre los científicos, técnicos, estudiantes, administradores y auspiciadores de la investigación que sirve como plataforma para desarrollar las tecnologías en conjunto a través de las redes regionales e internacionales.

La elaboración de los temas incluidos en el 6° Seminario sirve como guía para los talentos futuros necesarios en el agro. Es una llamada de atención para las instituciones de enseñanza y autoridades nacionales de educación en cuanto a las capacitaciones requeridas, tanto a nivel formal como informal. Sólo los técnicos preparados adecuadamente pueden elevar la producción agropecuaria futura en un país cuya economía, en gran manera, depende de la eficiencia productiva.

Cabe señalar que esta asociación pública privada que apoya el Proyecto "Fortalecimiento de la Investigación y Difusión del Cultivo de Trigo en Paraguay" está culminando su tercera etapa de cinco años. Entendemos bien que, a pesar de las recientes turbulencias, el cultivo sigue formando una parte clave del sistema productivo instalado en el país. Frente a los retos discutidos en este volumen, es imprescindible continuar con las investigaciones, no sólo con un decidido apoyo oficial, sino también financiero a largo plazo, para llevar a cabo los resultados al campo. Nuestras instituciones, CAPECO e INBIO, son partícipes en este proceso evolutivo y están comprometidos a hacer un gran esfuerzo para redoblar la producción nacional de trigo en bien de la comunidad agrícola, comercial, industrial y en general.

JOSE BEREA
Presidente de CAPECO

SIMONA CAVAZZUTTI
Presidente de INBIO

Algunas reflexiones y agradecimientos

La celebración de 50 años de un programa de investigación, en este caso de trigo en Paraguay, es un evento que no solo expone los logros, sino también permite visualizar los retos futuros y las tecnologías disponibles (o en desarrollo) que facilitarán el avance futuro. Los logros productivos mostrados en la gráfica de la tapa de este libro son el testimonio elocuente del progreso, que hizo autoabastecerse a una nación considerada no apta para el cultivo de trigo.

Gracias al apoyo de las autoridades de turno y las políticas formuladas, los productores pudieron hacer el milagro hasta llegar a exportar el cereal a casi 32 mercados. A nivel nacional, se observó un auge en la industrialización de trigo, concentrado en Campo 9, que hoy sueña con exportar la harina de excelente calidad a los mercados vecinos. El trigo paraguayo está reconocido por su alta calidad y espera aumentar su producción en los años venideros.

Aprovechamos la oportunidad para agradecer a una innumerable cantidad de productores, cooperativistas, técnicos, asesores, industriales y otros, que hicieron posible la producción de trigo hoy. No cabe duda que el desarrollo de tecnologías de producción, no sería una realidad sin el apoyo de CAPECO e INBIO.

Nuestro reconocimiento a los expositores, nacionales y extranjeros, que hicieron todo el esfuerzo para dilucidar el nivel de conocimientos existentes y lo que viene en el futuro.

Se reconoce la labor del personal de CAPECO, los colegas del CEMIT, y estudiantes de la Universidad Nacional de Asunción que ayudaron en la organización de este seminario. Se agradece a la Lic. Lourdes Cardoso, del Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria, IPTA, Caacupé, por la revisión del texto.

Finalmente, a las autoridades de CAPECO, INBIO e IPTA por su decidido apoyo al proyecto “Fortalecimiento de la Investigación y Difusión de Trigo en Paraguay” durante los últimos 15 años.

Muchas gracias

MAN MOHAN KOHLI **LUIS E. CUBILLA** **GRACIELA CABRERA**

Mesa de inscripción.

Rol de los Sistemas Nacionales de Investigación Agrícola y el Desarrollo de los Recursos Humanos a Futuro

Role of National Agricultural Research Systems and Development of Human Resources in the Future

Sanjaya Rajaram

Director de *Resource Seeds International*
Calle Aldama 100, San Miguel Chapultepec, C. P. 52240 Edo. de México, México

rajaram.sanjaya@resourceseedsint.com.mx

En primer lugar, muchas felicidades por celebrar el 50° aniversario de investigación de trigo en Paraguay, que ha tenido muchos logros. A mí me toca hablar sobre la organización de un programa nacional para la agricultura en el futuro, además del aspecto de estrategias, visualizando las situaciones globales, cambios de clima, disponibilidad de agua y problemas que existen en el suelo, entre otros.

Sr. Ministro, quiero aprovechar su presencia para felicitarle, ya que Paraguay es un país no solamente autosuficiente en producción de trigo, pero también exportador a pequeña escala. Como personal del CIMMYT, hice una visita técnica hace 25 años cuando la superficie de trigo estaba solamente entre 200.000 – 250.000 hectáreas. Entiendo que actualmente esta cifra está llegando a casi 600.000 hectáreas. Aunque no tuve mucho tiempo para conocer toda la problemática de la producción, estoy seguro que las ponencias de este Seminario, van ser útiles para el mejor manejo del cultivo en el futuro. Quiero darles algunas sugerencias; posiblemente mañana después de todas las ponencias discutidas, les estamos poniendo esta información en forma de un seguimiento muy dirigido al futuro.

También quiero expresar que cuando trabajé en trigo en el CIMMYT, y además en otro sector privado, mi trabajo era más simple, ya que no mencionábamos todos los problemas del clima, ni tampoco de suelos. En muchas partes del mundo los rendimientos no se están incrementando como debiera ser. Entonces el problema a futuro es un poco más complicado, y lo estamos abordando con ciencia en forma integrada para poder resolverlo. Por esta razón el tema "rol de los sistemas nacionales de investigación" es importante, dado que ya tenemos 50 años trabajando de forma no integrada, en un sistema que evoluciona.

A pesar de los avances logrados, necesitamos evaluar las acciones futuras en 10, 15 o 20 años. La agricultura es a largo plazo, no podemos planear de un año para otro.

RECURSOS DE TIERRA DISPONIBLE

En un mundo globalizado, no podemos hablar solamente de trigo, maíz, algodón o soja. Tenemos que referirnos a ellos en forma globalizada.

La superficie mundial de tierra disponible es de 510 millones de kilómetros cuadrados (Km^2), pero una mayor parte, más del 70%, está ocupada por océanos. De la restante, alrededor de 149 millones de kilómetros cuadrados (Km^2), un poco más de 130 M Km^2 está clasificada en diferentes usos (Cuadro 1). Como se puede apreciar, un gran porcentaje de la superficie continental está bajo bosques, pastizales, áreas inhabitables o infértiles y bajo la infraestructura humana. Solo unos 16 M Km^2 de la tierra es cultivable, que no es mucho y es básicamente constante. Según los expertos, ya no podemos convertir bosques, montañas, y tundras en las masas agrícolas. No lo podemos, ni deberíamos hacerlo, dado que, si incorporamos más tierra a la agricultura, destruiremos la biodiversidad y mucho más, ya que todo el sistema de la biosfera trabaja en conjunto.

Cuadro 1. **Distribución de la tierra por sus usos**

Uso de la tierra	Millones de ha.
Área cultivada	1.559
Área bajo Bosques	3.736
Ecosistemas pastizales y forestales	4.612
Áreas poco habitadas e infértiles	2.989
Asentamientos e infraestructura	152
Cuerpos de agua continentales	246

Fuente: **SOLAW Background Thematic Report - TR02, FAO, 2010.**

La cifra para el uso de la tierra para agricultura se mantiene equivalente al área total de América Latina, y para el uso pastoril el área total de África. Entonces sí hay bastante recurso tierra, y cómo lo manejamos es lo más importante. Además, de todos estos recursos que están disponibles, aquí cabe mencionar la situación de la población mundial, estimada en 7,2 o 7,3 mil millones de habitantes en 2015. Se espera que la población llegue a 8 mil millones en 2030 y entre 9 a 10 mil millones en 2050, que son 35 años a partir de hoy.

La superficie agrícola es igual, pero la población está incrementando; y no vivimos en el mismo mundo. Entonces esto afecta todo; especialmente la disponibilidad de alimentos, que ellos estén bien distribuidos para todos y sean más nutritivos. Por tal motivo, se necesitan estrategias diferentes a las que hemos trabajado tradicionalmente para este sector.

AGRICULTURA-GANADERÍA Y EL CALENTAMIENTO GLOBAL

EL Dr. Mohan Kohli estuvo de acuerdo con que yo incluyera esta parte en mi charla hoy. Fue muy honesto porque sabe que como científicos agrícolas debemos tener responsabilidad ambiental. Vale recordar que durante el tiempo de la Revolución Verde, no lo entendíamos así, porque no lo sabíamos. Hoy entendemos mejor estos efectos y cada país tiene que reconocerlo y corregir lo que hay que corregir, dado que la agricultura-ganadería es uno de los grandes contribuyentes al calentamiento global. Tiene un impacto mayor que todos los vehículos y aviones disponibles en las ciudades que siempre mencionamos como causa. Pero el efecto de la agricultura es muy grande, porque ahí está el metano liberado por ganado y arrozales; las poblaciones de animales son muy grandes. Que no es tan fácil que podamos incrementar más y tampoco hay muchos recursos, no hay muchas áreas pastoriles y existen muchos debates con relación a su impacto también.

¿De qué forma sale el metano de los arrozales? Quizás ustedes ya lo saben, pero es por el óxido nítrico de los campos fertilizados. Cuando un campo esta fertilizado científicamente, en la medida correcta y existe un buen suelo, no representa problema. Pero muchas veces, como el Dr. Iván Ortiz de CIMMYT lo sabe muy bien, que en el Valle del Yaqui en donde nació la revolución verde, se está recomendando científicamente cierta cantidad de nitrógeno en diferentes dosis. sin embargo, el técnico se va y luego el agricultor le aplica 250 o a veces 300 unidades de nitrógeno, sin considerar la meteorología, para que este nitrógeno quede algún tiempo en el campo. Entonces existen pérdidas de nitrógeno a través de efluentes de agua, y todo esto contribuye a la contaminación.

No tengo que mencionarlo, todo el dióxido de carbono que se libera cuando el bosque se quema o cuando cortamos los bosques, ocasionando grandes problemas. Sólo este año hubieron 45.000 incendios en los Estados Unidos y aproximadamente 3.5 millones de hectáreas se quemaron de alguna forma. Como resultado, hubo salida de bastante dióxido de carbono y contaminación del agua por el escurrimiento de fertilizantes, afectando la pérdida de biodiversidad. En realidad, si queremos mantener una agricultura científica, económica, y socialmente viable, tenemos que proteger la biodiversidad, nuestros ríos, bosques, montañas, humedales, recursos forestales, porque todo es un ecosistema y hay que mantenerlo estable.

Este importante lema volvió luego de dos años de un ejercicio de estrategias por tres sectores norteamericanos, de agronomía, cultivos y suelos. Los tres efectuaron ciertas recomendaciones y naturalmente hoy en día el mensaje es muy amplio: "*El reto grande es mejorar sustentablemente las condiciones humanas para una población creciente en un ambiente de cambio*". Sin embargo, pienso que este comunicado es bueno para todos y requiere muchos cambios: cambio social, cambio de clima y cambios de disponibilidad de agua, etc.

NUEVAS FRONTERAS CIENTÍFICAS, INTENSIFICACIÓN SUSTENTABLE, SISTEMAS DE AGRICULTURA SOCIAL Y ECONÓMICAMENTE SUSTENTABLES

Me preguntaron aquí en Paraguay ¿cuán importante es la intensificación sustentable?; naturalmente es lo que la sociedad de agronomía dice: que es muy importante. Que no se recomienda más tierra adicional para la agricultura, sino que tenemos que ser más eficientes para poder manejar los cultivos en forma muy intensificada, varias veces si es posible. Pero ahí no es tan fácil la intensificación sustentable; necesitamos el manejo sustentable del suelo, manejo del cultivo, el sistema de rotación, mantenimiento de nutrientes, todos son muy importantes.

Hace dos días me mostraron un documental sobre el sistema de agricultura de conservación en el INBIO. Me gustó mucho porque no solamente estamos hablando de la agricultura de carbono, sino de que la agricultura de conservación es posible. Sin embargo, este caso era la realidad de una hectárea con excelente rendimiento; el primer año fue de 1 Tn, y el tercer año 9 Tn de maíz. Entonces hay algo que podemos hacer; el asunto es el agua. Todos nosotros podemos captar agua de lluvia y la guardarla en el suelo con los mismos nutrientes, manteniendo la salud del suelo. Es de lo que habla la sociedad de agronomía: servicios de ecosistemas. ¿Cuál es este servicio de ecosistema? Ecosistemas que dan: aire limpio, agua no contaminada, buen suelo, diversas comunidades de plantas. Todo eso es servicio medioambiental y naturalmente tenemos que buscar sistemas de agricultura que sean social y económicamente sustentables.

MEJORAMIENTO GENÉTICO DE CULTIVOS PARA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO, ALIMENTOS Y SALUD, SANIDAD DEL SUELO Y CALIDAD DE AGUA

El mejoramiento genético de cultivos, desde el descubrimiento de las leyes de Mendel, fue muy bien aplicado en su forma tradicional por más de 100 años, hasta el 2005. Entonces hemos logrado mucho progreso genéticamente. Sin embargo, han habido bastantes cambios en las últimas dos décadas con el auge de la biotecnología. Recientemente la sociedad americana de cultivos (CSA) se pronunció sobre

el cambio de clima y uso de aplicaciones genómicas a nivel molecular (marcadores) todos estos avances de la biotecnología aplicados para resolver los problemas asociados a estos cambios.

Me dio mucho gusto ver que en Paraguay ustedes tienen alta prioridad con respecto a esta nueva ciencia. Aparentemente, hoy el mundo está muy definido "*quiero biotecnología o no quiero biotecnología*". Es muy desagradable cuando un país rechaza completamente la biotecnología, solamente porque es biotecnología. La sociedad de cultivos de los EEUU recomienda que, si vamos a confrontar cambios de climas, sequías, altas temperaturas, cambio de enfermedades; posiblemente necesitemos utilizar la biotecnología, estudios agronómicos y su aplicación conjunta. Vamos a seguir aprendiendo, pero esto no quiere decir que se va ir descartando todo lo que ya se aprendió, ciencia de estadística, aplicación de biometría y selección de plantas, todo lo que ya se ha hecho. Solamente hay que aprovechar otras ciencias que ya están llegando para el mejoramiento.

En lo referente a suelos, las sociedades agronómicas americanas expresan que no solamente podemos hablar de alimentos, sino que tenemos que considerar salud y alimentos en conjunto. Quiere decir ambos aspectos, así como la sanidad de suelos y calidad de agua, que son los más importantes para el futuro de la sociedad.

AUMENTAR RECURSOS PARA INVESTIGACIONES DE CULTIVOS DE GRANOS MENORES, FRUTAS, VEGETALES Y ORNAMENTALES

En la mayoría de los sistemas nacionales, la administración que planifica las prioridades de investigación, en general no cuentan con muchos recursos. Tener una cantidad de recursos garantizados y la priorización para los futuros 25 – 30 años es muy necesario. En muchos países la mayor importancia es asignada a los cultivos principales y está perfecto, porque en muchos casos eso está relacionado con la seguridad alimentaria. Pero también creo que en países como Paraguay y en muchos otros, es importante asignar más recursos para investigación de granos menores con alta proteína, cualesquiera que sean, frutas (me hablaron mucho de la frutilla), que se pueden producir con los pequeños agricultores organizados. En los Estados Unidos la mayor parte de las frutillas se producen en California, 3 días después de ser cosechadas y envasadas son puestas en camiones grandes y 3 días más tarde son entregadas a la costa oriental, en el mercado de New York, porque ellos allí no las producen. Imagínense el mercado que ustedes podrían tener para este tipo de producto, frutas especiales, por ser un país tropical, subtropical. En realidad, es cuestión de precios, mucho sol, mucha agua, etc., etc. Y donde hay mucho sol, podemos explorar bastante el potencial de la agricultura para vegetales y frutas etc. Es la única forma que podemos ayudar a pequeños agricultores, con pequeñas granjas y campos limitados de 1 a 10 hectáreas, donde ellos pueden producir para ganar más dinero, pero sí necesitamos cambiar el sistema. Hace dos días estuve en el laboratorio de cultivos de tejidos en Caacupé, donde estaban produciendo varios productos libres de virus. Como crear o como darle más apoyo a este tipo de laboratorios, es muy importante. Por esta razón, me parece que, si se puede generar más ingresos con estas especies, tenemos que disminuir la investigación en algún otro lugar. Es un tema de prioridades que debe ser estudiado en forma integral y no aislada.

Los cultivos de soja y trigo, que son productos de exportación en este país, son importantes. Pero hay otros cultivos como arroz, maíz, mandioca y frijoles etc. que también son importantes aquí y son investigados por los centros internacionales. El programa nacional debe aprovechar de esta situación para fortalecer sus programas en forma asociada.

Por supuesto son grandes cultivos que sostienen la economía de muchos lugares y relacionados con la seguridad alimentaria de los países, pero no se puede olvidar de otros cultivos. Aun cuando la disponibilidad de recursos es muy limitada, se puede asociar con los centros internacionales, o con las compañías privadas. Los centros internacionales tienen mandatos de seguir trabajando en 20 cultivos grandes en diferentes partes del mundo. Sin embargo, ellos también necesitan ayuda financiera. Los mandatos de ellos actualmente cambiaron, o más bien los mandatos quedaron igual, pero los recursos que les asigna el CGIAR no es igual en el pasado. En el pasado era diferente, y aquí hay científicos del CIMMYT; ellos también necesitan más recursos para apoyar a los programas

nacionales como hicimos en el pasado con el Cono Sur a nivel regional y conjuntamente con los países de la región.

Para reforzar la investigación sobre otros productos en centros nacionales, se puede reducir parte de los gastos en productos manejados por los Centros Internacionales. No estoy diciendo eliminación de programas, sino los ajustes necesarios, porque ellos también pueden cambiar las prioridades. Consideremos caso de Paraguay que ha liberado casi 16 variedades de trigo en los últimos años. La selección de estas variedades no van hacerlo los centros internacionales, va ser hecho aquí en el clima específico de Paraguay. Pero el país podría decir que es lo que pide o que quiere que los centros internacionales hagan. Los centros pueden hacerlo porque eso se hace normalmente y se hace muy bien.

Es importante analizar las prioridades de recursos, en qué formar especialistas, utilizar los centros internacionales para mi bien, para mi beneficio; aquí hay gente de CIMMYT, podrían ser gente de arroz, gente de frijoles, de mandioca, de sorgo; hay bastante germoplasma que ellos tienen y que pueden beneficiar a la agricultura de los países.

Sin ánimo de crear polémica, creo que Uds. deberían hacer más investigaciones en frutas y vegetales, porque ahí los Centros no tienen datos. No se puede invertir fondos de ambas partes y por eso hay que balancear y hay que ver de qué forma apoyar el producto.

Estoy dando mucho énfasis a los centros internacionales, porque son las únicas instituciones mundiales que pueden proveer germoplasma libre; otorgarles libremente con ciertas restricciones para usarlas en el programa nacional en beneficio de la agricultura del país. Nadie lo hace así hoy en día. Si usted va a un país vecino y pide una variedad o una línea, no le van a dar, hasta que termine de acordarse el IPR. Los centros internacionales, por otro lado, no requieren restricciones de propiedad intelectual, por eso es importante que mantengamos a los programas internacionales saludables, y estoy hablando no solamente de trigo, sino globalmente.

Creo que los directivos del IPTA, de varias otras instituciones aquí en Paraguay, deberían analizar el éxito del trigo para apoyar otros cultivos también. Estoy seguro que aquí hay representantes de las multinacionales y pido disculpas; pero me gustaría mucho que el mismo sistema nacional estimule la creación de compañías nacionales para semilla o para mejoramiento, para lo que sea, especialmente para producción de semilla. Este sería un importante logro porque la propiedad de dicha compañía quedaría dentro del país y no hay tantas restricciones, entonces en mi opinión es importante estimular la formación de compañías nacionales.

Naturalmente una compañía nacional con mucho éxito y logros es atractiva para las multinacionales. Sería como el “pez grande come al pez pequeño”. Es el sistema en todas partes donde ellos compran y los pequeños desaparecen. Pero tener compañías nacionales en alianza con el sector público es una situación saludable.

ESTADO DEL CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DESPUÉS DE 50 AÑOS DE CULTIVO

Desde hace años estamos escuchando que los rendimientos de trigo están estancados o avanzan a un ritmo muy lento. Sin embargo, la realidad es que el rendimiento promedio del país como India no se ha movido de 3.1 a veces a 3.2 ton/ha.

Al conocer cuál sería la causa, encontramos que básicamente el suelo era muy pobre. La sanidad y la fertilidad del suelo se ha deteriorado; especialmente lo que ustedes mencionan como materia orgánica o precisamente el nivel del carbono en el suelo.

El estudio en el Cuadro 2 está hecho por el Dr. Ratan Lal, de la Universidad de Ohio, un científico muy calificado que fue presidente de la sociedad americana de suelos. La situación de carbono en los suelos en 5 regiones de la India se ha reducido significativamente. La reducción que va de un 29% a 59% como máximo, depende de cada zona, por donde pasa el rio Ganges. Es ahí que se produce trigo, arroz, y muchas otras cosas. La reducción de carbono a un nivel del 59% en el suelo, en un país que tiene millones de gente es preocupante. Es razonable que ellos quieren seguir mejorando

Cuadro 2. **Estado del Carbono orgánico en suelos después de 50 años de cultivos en la India**

Región	Contenido de Carbón Orgánico en el suelo		Reducción (%)
	Cultivo (g/kg)	Nativo (g/kg)	
Llanuras de noroeste de Ganges	4.2 ± 0.9	10.4 ± 3.6	59.6
Himalaya	24.3 ± 8.7	34.5 ± 11.6	29.6
Nordeste	23.2 ± 10.4	38,3 ± 23.3	39.4
Sudeste	29.6	43.7 ± 23.4	32.3
Región costera occidental	13.2 ± 8.1	18.6 ± 2.1	29.1
Meseta Deccan	7.7 ± 4.1	17.9 ± 7.6	57

la agricultura, esperando más rendimientos, pero sin descuidar los suelos. Parece fácil, pero hay que decirlo que, en este caso, la genética no es la solución. Es en realidad un conjunto de prácticas agronómicas para mantener el carbono en el suelo.

Es muy alentador saber que ustedes en el Cono Sur han tomado la bandera grande para proteger el suelo con la siembra directa. Están protegiendo el carbono y conservando más agua en el sistema, para seguir dando mejores resultados.

La conservación de agua también es importante, no podemos lograr incrementos solo genéticamente, debemos proteger también el suelo, porque es un factor importante. Hoy en día, y dando el ejemplo de trigo, mundialmente en este año producimos globalmente de 750 a 800 millones de Tn de trigo, donde la contribución de Paraguay es importante. De este total, alrededor de 120 millones de Tn de trigo (de diferentes clases) se mueve internacionalmente, y eso es muy importante para la seguridad alimentaria de muchos países.

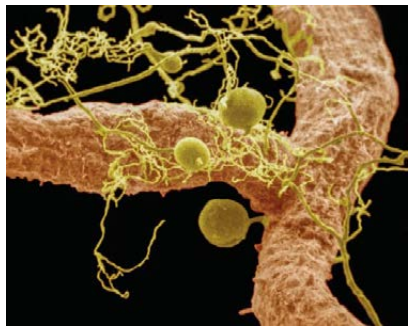
Si no fuera así, mucha gente tendría hambre, aunque tuviera dinero. Las ciudades en Arabia Saudita, o como Singapur, que no tienen agricultura, pero si consumen mucho pan, o mucho arroz, compran trigo de otros países que lo producen. Estos 800 millones de toneladas se producen en una superficie de 220 millones de hectáreas, en el cual la contribución de América Latina se redujo bastante, especialmente en la Argentina y el Brasil. Pero de aquí a 35 años, vamos a necesitar mil millones de Tn de trigo. El crecimiento anual de la producción hoy día es del 1.1 % mundialmente. Con avances agronómicos, genéticos y otros, este valor tiene que aumentar a 1.6 %; el promedio de rendimiento mundial tiene que aumentar de 3.1 a 4.1 Ton/ha. ¿Cómo vamos a lograr eso si el suelo está muy degradado?

Los temas de biodiversidad y erosión son muy importantes, especialmente para dirigir las estrategias, pero también que los científicos entiendan que el trabajo no es tan fácil.

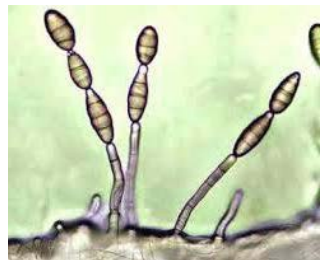
MICRONUTRIENTES Y MICROBIOLOGÍA DE SUELOS

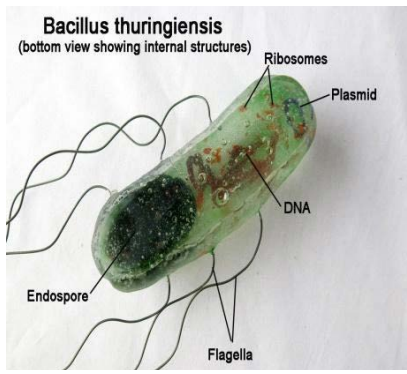
Trabajos que me mostraron en la agricultura sostenible, para la renovación de la agricultura, renovación del agua, promover muchas raíces en el suelo, y los micronutrientes, siendo realizados en Paraguay, son muy importantes. Me gustaría tocar en este el punto el tema de la microbiología de suelos Fig. 1.

Figura 1. **Aplicación de microorganismos del suelo en pro de la agricultura**



Simbiosis de Curvalaria (hongo) y Curvalaria (virus) para tolerancia a alta temperatura encuentran tolerancia de plantas (>20˚c)





Trichoderma (un hongo de suelo) que compite y controla hongos patogénicos.

Bajo el sistema de agricultura tradicional, cuando el nivel de carbono baja, también desbalanceamos los micronutrientes y la mayor parte de la microbiología del suelo. Los hongos, virus y especialmente millones y millones de bacterias que están cerca de las raíces disminuyen. En un poquito de suelo hay millones y millones de microbios que son beneficiosos porque controlan algunos problemas y conservan el agua. Hay micorrizas en el suelo, asociados con las raíces, que ayudan a las plantas a ser más robustas, y son muy importantes. Por eso, percibo a este trabajo como un negocio a pequeña escala, para explorar la microbiología del suelo, lo que podría ser muy importante, no solamente para la protección del cultivo, sino también para incrementar el rendimiento para el año 2050. Esta tiene que ser la asociación plantas-microrganismos.

Un ejemplo de bacterias del suelo, bien conocido para control de insectos es el caso de *Bacillus thuringiensis.* Estas producen una toxina que mata a las orugas y ciertos tipos de insectos plagas. Actualmente su uso esta popularizado biotecnológicamente, pero también podemos emplearlos directamente.

Nutrientes

En los trabajos que me mostraron ayer, se pudo ver la importancia de los *Rhizobios* que abundan en las plantas leguminosas para la fijación de nitrógeno. Hace 40 años me hubiera gustado poner esta bacteria en el trigo y no fue posible. Pero en ocasiones podemos insistir en estas cosas. Ayer se pudo apreciar abundantes nódulos en raíces de las leguminosas. Al incrementar esas poblaciones, significa que no tienen que comprar el nitrógeno.

Altas temperaturas

Todo el mundo está convencido que, con el cambio de clima, la agricultura sería bastante afectada por temperaturas altas. La simbiosis de *curvalaria* (hongo) y *curvalaria* (virus) confiere tolerancia a las altas temperaturas, hasta 20˚C o más. Quiere decir que, si se incrementa la temperatura del suelo, ellos dan algo de protección a la planta. Hay una asociación; no entendemos el mecanismo, pero si la hay. Esta información extraje de una famosa revista americana, lo estoy diciendo porque veo al agro negocio ayudar a la agricultura.

Sequía

Hoy se habla de micorriza como *Glomus desertícola* que pueden extender las raíces de plantas para poder extraer agua desde una mayor profundidad.

Sanidad

Por último, el bien conocido patógeno *Trichoderma,* el hongo del suelo, que compite y controla otros hongos patogénicos.

ALIANZAS CON UNIVERSIDADES Y SECTOR PRIVADO PARA INICIATIVAS EN BIOTECNOLÓGICAS

Para los programas nacionales de investigación, a veces, la pregunta es ¿cómo negociamos la alianza? Mencioné anteriormente la colaboración con los centros internacionales. De igual manera se puede desarrollar la asociación con las universidades y el sector privado, especialmente para la modificación genética, para las iniciativas e intervenciones en biotecnologías. Ya sabemos que las compañías privadas tienen que hacerlo, porque los programas nacionales no pusieron suficiente esfuerzos y recursos, esto se puede realizar en alianzas con universidades y centros de investigaciones. ¿Porque estoy mencionando alianzas? porque deseo que el programa nacional de este país, sea propietario de la tecnología y que no solamente siempre esté dependiendo de alguien. Por eso necesitamos técnicos en las universidades para hacer este tipo de investigación, que capten, aíslen y entreguen genes para beneficio de la agricultura.

PRESERVACIÓN, BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS (FLORA Y FAUNA)

Finalmente, es la responsabilidad y el papel del programa nacional, en el mantenimiento de la biodiversidad, especialmente de los recursos genéticos, tanto de flora como de fauna. Si ustedes no lo hacen y no ponen fondos para hacerlo, nadie lo va hacer porque es considerado como un gasto.

Para la obtención de materiales genéticos ya sea de los bancos de germoplasma o *in situ,* actualmente problemas; los centros internacionales pueden dar este servicio. Pero ¿cuál es el paso que hay que dar? Hay un banco de germoplasma a nivel mundial, para mantener la diversidad de varias especies de leguminosas y cereales como cebada y trigo. Personalmente me gustaría tener estas colecciones regionalmente, ya sea conjuntamente o que cada país mantenga la diversidad de su fauna y flora.

No hay escape a esto, porque el riesgo es no tenerlos. En el caso de Paraguay, serian por lo menos dos especies que tienen mucha diversidad aquí, Mandioca y Kaa Hee, por ejemplo, que es nativa de esta región. Es importante eso y tenemos que mantener la diversidad local y no depender de terceros. Posee un costo adicional, pero es necesario ya que es una garantía para el futuro.

FINCAS FAMILIARES

Un punto más, ya hemos hablado de la agricultura cooperativa, u otra forma de agricultores grandes. Es muy importante trabajar con ellos porque sin el volumen que ellos producen, los mercados de exportaciones no serían posibles. Pero si queremos ver la seguridad alimentaria nacional de cada país, entonces debemos mirar también a los pequeños productores. Me refiero a la importancia de especies menores, frutas, vegetales, etc. que de acuerdo a la FAO son producidas por 460 millones de familias a nivel mundial. De estas, el 72%, tienen menos de 1 ha, 10 % tienen 2.5 ha, 3% de 5 a 10 ha, 1% de 10 a 20 ha y apenas 2% superior a 20 ha. ¿Saben cuánta gente vive en estas familias globalmente?, son 2500 millones de habitantes, en 460 millones de familias. Entonces para la seguridad alimentaria estos diversos rubros son importantes.

Reconocimiento al Dr. Sanjaya Rajaram por su constante apoyo al Proyecto Nacional de Trigo.

En realidad, muchas veces esta gente está en las montañas, un poco aislados, no tienen acceso a tecnologías o no las hay. Cuando estoy hablando de tecnologías para agricultores o granjas pequeñas, quiero aclararlo bien. No creo que haya dos tecnologías, una para ricos y otra para pobres, una para corporaciones y otra para pequeños. Es la misma, los pequeños también utilizan semillas mejoradas, mejores variedades, mejores tecnologías. Sin embargo, hay diferencias en la manera como se las han utilizado. Los grandes productores y las corporaciones toman las tecnologías, la verifican y siguen adelante. En cambio, los pequeños no lo hacen; no pueden hacerlo porque necesitan un poquitito de ayuda sobre en qué forma llevarlo, en qué forma debemos retomar. Ellos tienen a veces problemas de tierras, la propiedad de la tierra no está muy bien definida, hay poca mecanización en escalas pequeñas y muchas veces no están conectados con los mercados. En realidad, éste es el tipo de trabajo que un programa de sostenibilidad debe hacer. Los técnicos del INBIO me mostraron algo similar hace dos días. En un campo muy pequeño, pero con el apoyo de la tecnología adecuada, se pudo mejorar la producción. Ese modelo de producción tenemos que adoptar y repetir en muchos campos.

Preguntas y plenaria

- Pregunta ***¿Cómo se puede crear consciencia en nuestras autoridades institucionales, si estos no muestran interés? Un poquito obvia la pregunta, pero, me gustaría escuchar su opinión.***
- **Sanjaya Rajaram:** Puede ser que en ciertas circunstancias puntuales no haya interés, pero en realidad debe de haber un plan estratégico de 30-50 años y lograr apoyo para este plan. Lo que siempre sirve es la unidad en el gobierno para poder hacerlo. Es posible que haya ciertas personas que, por ciertas situaciones, desean frenar el avance y no dejar trabajar. Sin embargo, si existe un plan de gobierno que defina qué es lo que hay que hacer, pues hay que realizarlo. Definitivamente, a veces llega una persona que de repente quiere hacer una cosa fuera del plan estratégico. Para mi tiene que haber una estrategia, tiene que existir un plan a largo plazo, y debe haber apoyo de parte del gobierno o las instituciones para lograr el éxito.

Vistas del salón auditorio.

Las Experiencias Iniciales del Trigo Comercial en el Paraguay

First Experiences of Commercial Wheat Production in Paraguay

Rafael Heisecke

Presidente, Desarrollo del Sur S.A.

rafael.heisecke@heisecke.com

RESUMEN

El cultivo de trigo tiene una larga historia en el país, pero tanto su producción como su productividad actual se debe a los productores que mantuvieron su fe en el cereal a pesar de los altibajos a través del tiempo. Las primeras experiencias de producción a escala empresarial se debieron a la decisión gubernamental de impulsar el cultivo del trigo a fin de autoabastecer al país en la década de 1960s. Aunque ésta no fue la primera iniciativa, ya que partir de los años 1950, se intentó promocionar la producción por medio del "Plan familiar de Trigo", proveyendo apoyo a la agricultura familiar, con productores de pequeña escala. Sin embargo, todos estos intentos fracasaron por su escala reducida y otros problemas tecnológicos y de mercado. Desde la creación del "Programa Nacional de Producción de Trigo" a mediados de la década de 1960 se trataron de desarrollar tecnologías locales, y el interés en el cultivo comercial fue creciendo. Aun así, la falta de experiencia agrícola de los ganaderos, que intentaron sembrar el cultivo en los primeros años junto a las falencias en la disponibilidad de tecnologías adecuadas como variedades adaptadas, épocas de siembra, preparación de suelos, fertilización, control de plagas y enfermedades más comunes fueron responsables por los fracasos sufridos. Hay que agregar que además de todas las dificultades tecnológicas, había una total escasez de mano de obra especializada, particularmente tractoristas, mecánicos de tractores y cosechadoras, etc., y no se contaba con los servicios de operaciones o reparaciones en situ. A pesar de estas dificultades, nuestra empresa familiar contrató técnicos privados, hizo analizar el suelo en los EEUU, logró desarrollar un plan de fertilización y rotación de cultivos, además de ser pionero en la importación y uso de maquinarias para siembra directa. Sin embargo, los fracasos de 1972 y 1975, principalmente por condiciones climáticas y epidemias de un complejo de enfermedades fungosas no tradicionales, sin un plan de control adecuado, nos dejaron desanimados. En

balance multianual de 12 años, con la tecnología, rendimientos y precios de venta de esa época, se tuvo una pérdida acumulada de un millón de dólares. Aunque se tomó la decisión de abandonar el cultivo de trigo y la agricultura mecanizada en general en el año 1982, la experiencia nos dejó grandes aprendizajes sobre la incertidumbre de las condiciones climáticas y nos impulsó al uso de una mejor tecnología en pro de nuestra ganadería.

ABSTRACT

The cultivation of wheat has a long history in Paraguay, but both its present production and productivity owe a great deal to the farmers who kept their faith in the cereal despite several ups and downs. The first experiences of large scale commercial production occurred in the 1960s, because of the government's decision to promote wheat cultivation for self-sufficiency. It was not the first initiative, as there was an earlier attempt to promote production through the "Wheat Family Plan" in the 1950s, which provided support to family farms and small-scale producers. However, all these efforts were unsuccessful due to their small scale and associated technological and market problems. Since the creation of the "National Wheat Production Program" in the mid-1960s, which attempted to develop local technologies, the interest in commercial cultivation grew fast. Even so, poor agricultural experience of the livestock farmers, who tried the crop initially, combined with lack of appropriate technologies, such as adapted varieties, seeding dates, soil preparation requirements, fertilization, pest and disease control etc., were responsible for the failures. It must be mentioned that in addition to all technological difficulties, there was great shortage of specialized labor, particularly tractor drivers, mechanics of tractors and harvesters, etc., and no on-site operations or repairs services. Despite these difficulties, our family farm contracted private technicians, had soil analysis in the US, managed to develop a fertilization and crop rotation plan as well as pioneered in the import and use of machinery for direct seeding. Yet the crop failures of 1972 and 1975, mainly due to climatic conditions and disease epidemics without an adequate plan for control, left us discouraged. In a 12-year balance sheet, with the use of technology, yields and sales prices of that time, we incurred an accumulated loss of one million dollars. Although, we were forced to make a decision to abandon wheat cultivation and mechanized agriculture in 1982, the experience left us great lessons about uncertainty of climatic conditions and encouraged us to use the best available technology for our livestock farming.

Cosecha de la primera multiplicación en el Instituto Agronómico Nacional, Caacupé.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de trigo es parte de un sistema de producción hoy. Es un gran logro no solo a nivel técnico sino a nivel productivo ya que muchos productores han mantenido su fe en el cereal a pesar de los altibajos de los tiempos. En esta presentación deseamos compartir las primeras experiencias de nuestra empresa familiar como partícipes del grupo de primeros productores comerciales de trigo a escala empresarial.

CULTIVAR TRIGO EN PARAGUAY: DECISIÓN POLÍTICA

A fines de los años sesenta, el Gobierno tomó la decisión de impulsar la producción nacional de trigo a fin de autoabastecer al país con este producto básico. En ese periodo, el país fue casi totalmente dependiente de la importación, lo que representaba una pérdida importante de divisas, muy escasas en aquel tiempo.

En realidad, esta no fue la primera iniciativa, dado que desde los años 1950 se intentó hacerlo por medio del "Plan familiar de Trigo", proveyendo diversos apoyos para incentivar su cultivo en la agricultura familiar, con productores de pequeña escala. Este plan prácticamente fracasó, no pudiendo superar las 10.000 toneladas de producción, por su escala reducida y todo tipo de problemas tecnológicos y de mercado. Sin embargo, nuestro esfuerzo fue uno de los primeros para producir trigo en parcelas grandes a escala comercial.

- **El "Programa Nacional de Trigo":** Con la aparición y desarrollo de las primeras variedades resistentes y susceptibles de ser producidas con éxito en países con climas tropicales, fue encomendado principalmente al Ministerio de Agricultura y Ganadería, y se contaría con el apoyo por la parte financiera del Banco Nacional de Fomento. En esos años, el Ministerio había incorporado importantes servicios técnicos que anteriormente eran proveídos por el Servicio Técnico Interamericano de Cooperación para la Agricultura (STICA), como programa de desarrollo del Gobierno de los Estados Unidos, desde 1943 y el Instituto Agronómico de Caacupé donde se desarrollaban los principales ensayos técnicos y de experimentación.

- **Crédito inicial no direccionado:** El programa se orientó desde el principio a incentivar la producción mecanizada del cereal a escala mediana y grande, en una época, donde estas prácticamente no existían. A tal fin se establecieron líneas de crédito inéditas, a 5 años de plazo con cobertura del 80 hasta el 100% de las inversiones a ser realizadas, con garantía hipotecaria de la propiedad, y prendas de maquinarias como principales requisitos. Esto implicaba recurrir a otro tipo de productor, de escala diferente a la pequeña agricultura.

_ **Reunión con ganaderos para apoyar el Plan Nacional de Trigo:** A raíz del fracaso en el primer año 1968 que se entendió se debía a la falta de experiencias en las labores del campo y manejo del personal que trabajaban en el mismo, y considerando que en esa época solamente existían grandes y medianas propiedades ganaderas o forestales en todas las zonas, los ganaderos fueron llamados para apoyar el Plan Nacional de Trigo. Obviamente las parcelas que requerían menor inversión, serían las zonas de campos naturales que con poca inversión podían habilitarse para su uso mecanizado, siendo esta una practica natural de la época.

En 1969, nuestra empresa familiar, tradicionalmente ganadera, se incorporó al Plan, iniciándose con la producción de 1.500 has, en la Estancia ubicada en el Departamento de Paraguarí. Como ganaderos estábamos conscientes de nuestra falta de experiencia en agricultura, para lo cual contamos con la asesoría técnica del Ing. Agr., M.Sc., Nelson de Barros Barreto.

FALENCIAS INICIALES

Como es de esperarse en todo emprendimiento nuevo con poca experiencia previa a nivel nacional, se presentaron una serie de falencias. Las que mencionaré se refieren a nuestra propia experiencia, registrándose además otros tipos de problemas en todas las zonas del país, según las limitantes específicas de cada caso.

_ **Falta de información técnica:** La única guía técnica disponible para productores eran cartillas de recomendaciones técnicas del STICA, realizadas en base a resultados de experimentos de campo realizados en el Instituto Agronómico Nacional (IAN) de Caacupé, y en el Centro Regional de Investigación Agrícola (CRIA) de Capitán Miranda, Itapúa. Tenían recomendaciones generales sobre variedades, épocas de siembra, preparación de suelos y necesidades de fertilización de suelos de la Región Oriental. Asimismo, sobre control de plagas y enfermedades más comunes.

_ **Falta de insumos, especialmente herbicidas y fungicidas:** Se disponía de variedades seleccionadas en el IAN Caacupé, que eran prácticamente pocas variedades llamadas mexicanas, con bajo potencial de rendimiento. Salvo insecticidas, los herbicidas y mucho menos fungicidas no se encontraban disponibles a no haber un mercado desarrollado preexistente.

_ **Falta de mano de obra especializada:** A raíz de prácticamente no existir en esa época explotaciones agrícolas a nivel empresarial, había una total escasez de, por ejemplo, tractoristas, mecánicos de tractores y cosechadoras, etc. La razón es que las maquinarias agrícolas y pesadas solamente eran utilizadas en esa época por empresas camineras y en forma incipiente en estancias grandes, para caminos, aguadas, renovación de pasturas, etc., por lo que se tuvo que ir formando a ese personal con todas las dificultades que ello implicaba.

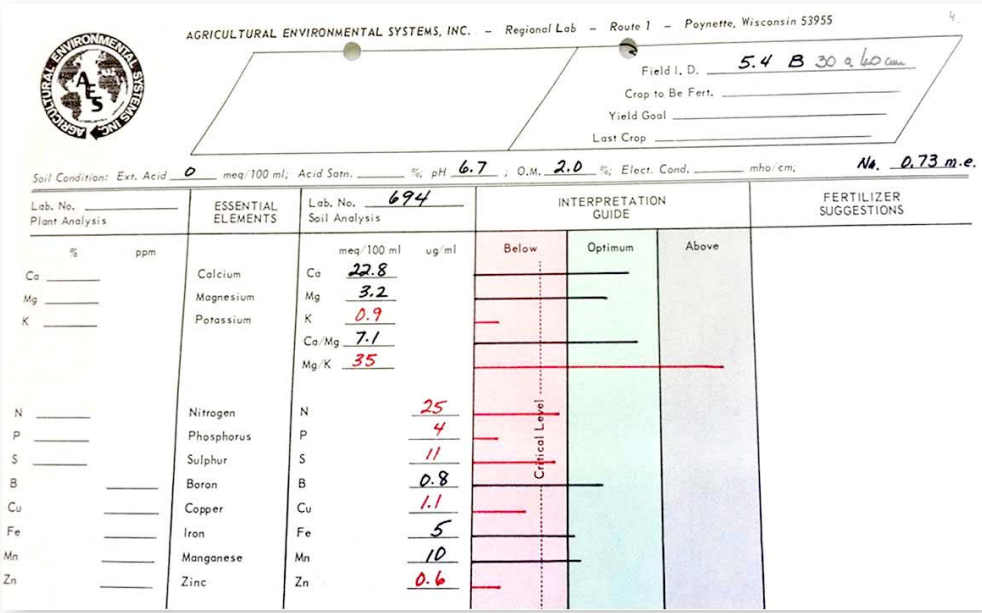
_ **Falta de disponibilidad de accesorios en situ:** Todo debía ser adquirido en la Capital, o en ciudades de frontera, no solamente los insumos necesarios, talleres de reparaciones, sino repuestos, artículos de herrería, ferretería, etc. Imagínense que el sistema eléctrico nacional solamente llegaba hasta San Lorenzo. Agregar a esto que la comercialización de la producción tenia que ser hecha en Asunción y ciudades vecinas.

_ **Problemas del sub-suelo (tosca) inundable o seco:** Este fue el caso particular de nuestra estancia, al estar ubicada en campos con subsuelo pedregosos del Distrito de Paraguarí. En otras zonas se mencionaba además fragilidad de suelos arenosos bajo sistemas de labranza convencional, alta acidez, niveles de aluminio tóxico, etc.

_ **Tecnificación lograda:** Con el tiempo fuimos incorporando mejoras en el sistema de producción en base a la experiencia como forma de superar limitaciones, entre las cuales mencionamos:

- *Análisis del suelo en los EEUU.* A fin de disponer de información de mayor confiabilidad posible, pues a nivel nacional el único laboratorio de análisis de suelo se tenía en la Facultad de Agronomía con un análisis primario de los tres elementos básicos y pH de los mismos, se enviaron muestras de suelo a laboratorios de los Estados Unidos, y su utilización para fertilizar de acuerdo a sus resultados Fig. 1.

Figura 1. **Análisis del suelo de la finca hecho en los EEUU**



AGRICULTURAL ENVIRONMENTAL SYSTEMS, INC. – Regional Lab – Route 1 – Poynette, Wisconsin 53955

Field I. D. 5.4 B 30 a 60 cm
Crop to Be Fert.
Yield Goal
Last Crop

Soil Condition: Ext. Acid 0 meq/100 ml; Acid Satn. ____ %; pH 6.7 ; O.M. 2.0 %; Elect. Cond. ____ mho/cm; No. 0.73 m.e.

Lab. No. Plant Analysis		ESSENTIAL ELEMENTS	Lab. No. 694 Soil Analysis		INTERPRETATION GUIDE			FERTILIZER SUGGESTIONS
%	ppm		meq/100 ml	ug/ml	Below	Optimum	Above	
Ca ____		Calcium	Ca 22.8					
Mg ____		Magnesium	Mg 3.2					
K ____		Potassium	K 0.9					
			Ca/Mg 7.1					
			Mg/K 35					
N ____		Nitrogen	N	25				
P ____		Phosphorus	P	4				
S ____		Sulphur	S	11				
B	____	Boron	B	0.8				
Cu	____	Copper	Cu	1.1				
Fe	____	Iron	Fe	5				
Mn	____	Manganese	Mn	10				
Zn	____	Zinc	Zn	0.6				

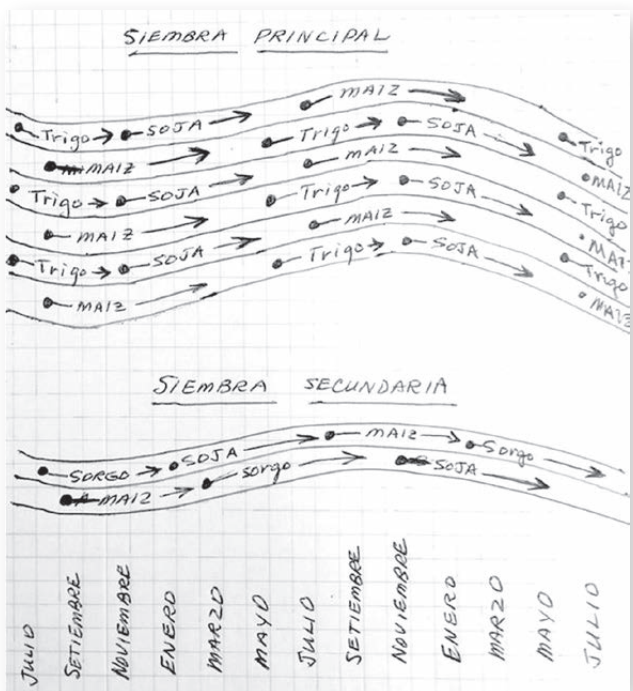
Critical Level

- *Mejora del plan de la fertilización.* Estos resultados determinaron la necesidad de realizar correcciones de suelo con cal, fosforo, potasio, etc. y formular la fertilización para cada parcela estrictamente de acuerdo a las recomendaciones de dichos análisis, a pesar de su alto impacto en los costos de producción, pero con resultados altamente beneficiosos.

- *Plan de rotaciones.* Desde el primer momento que se cultivó el trigo, el cultivo soja apareció como de sucesión más viable y económica. En pocos años, la oleaginosa se convirtió en el principal rubro mecanizado, con mejor desempeño tecnológico y comercial, constituyéndose en el principal cultivo mecanizado. Además de la sucesión de cultivos trigo-soja, nuestra empresa también incorporó otros cultivos comerciales en la rotación, a pesar de no ser tan atractivos desde el punto de vista económico como el maíz y el sorgo. Hay que recordar que en la región comenzaban a aparecer los maíces híbridos de buen rendimiento y que en el país no se tenía acceso, además de factores limitantes como uso de herbicida y otros. En la Fig. 2 se aprecia la secuencia de cultivos en esa época.

- *Falta de semilla calificada.* Fue un problema grave que se repitió durante los primeros años y que causaron perjuicios importantes por falta de germinación y otros.

Figura 2. **Plan de rotación de cultivos en el sistema de siembras en franjas**



- *Importación de las máquinas de Siembra Directa.* Nuestra empresa puede considerarse como una de las pioneras en la importación y uso de maquinarias para siembra directa, la cual apenas estaba en sus albores en Brasil y Paraguay, a fines de los 70.

- *Apoyo técnico.* Con nuestro responsable de Producción, Baldomero Hoffman (Argenti-

na), y con el apoyo técnico de Sam Atsmon (Israel), Donovan Waugh (USAID, EEUU) y Jorge Silva (Chile) fue primordial para hacer las mejoras necesarias a mediados de la década de los 70 en el esfuerzo de mejorar los resultados que se pudieron conseguir durante esos primeros años. Se resaltan la siembra directa y el control químico de enfermedades como los principales aportes tecnológicos.

RESULTADOS CONCRETOS

En el periodo 1969-1982, nosotros experimentamos dos fracasos serios; en las campañas 1972 y 1975, debido a condiciones que hoy podríamos denominar como años Niño, con excesos de precipitaciones y temperaturas más cálidas de lo normal. En esos años, ya se disponían de dos variedades modernas, la 214/60 y la 281/60, semi-enanas y con más alto potencial de rendimiento que las variedades con las cuales se inició el Plan.

En estas condiciones climáticas, se presentó intensamente un complejo de enfermedades fungosas no tradicionales, frente a las cuales las variedades de esa época no contaban con resistencia genética, y por lo tanto falta de control de sus incidencias. Se experimentaron importantes pérdidas a nivel nacional. Como parte de la estrategia, a más corto plazo, para enfrentar esta amenaza, se desarrolló un paquete de fungicidas para su control, con lo cual se logró mayor estabilidad de producción.

En la mayoría de los demás años, el rendimiento promedio obtenido no dejaba margen rentable. Tanto es así que, en 12 años de trabajo se gano dinero solo en uno, con pérdidas muy importantes en los demás años.

Se debe considerar que como todo plan de desarrollo en que estábamos en sus inicios, la carga de la falta de experiencia y consecuentes limitaciones cuyos costos recaían totalmente sobre el productor, esto constituyo las dificultades para una operación rentable.

En balance multianual, con la tecnología, rendimientos y precios de venta de esa época, en total de la década se tuvo una pérdida acumulada de un millón de dólares, valor que debe medirse relativo a ese tiempo.

En consecuencia, se tomó la decisión de dejar esta actividad del cultivo de trigo y la agricultura mecanizada en general, al final de la campaña del año 1982.

APRENDIZAJE

En lo personal, a pesar de los problemas experimentados, me queda un recuerdo muy satisfactorio de todo el gran esfuerzo desplegado por quienes participamos en una iniciativa totalmente innovadora en esa época, y que representó el inicio de la transformación y arranque de lo que es la Producción Agrícola del Paraguay. Demás está expresar los aprendizajes ganados en esta experiencia.

Usar la mejor tecnología para lograr el éxito. Esto significa aplicar las mejores recomendaciones técnicas disponibles, a nivel regional y nacional, lo cual consideramos imprescindibles. No se puede pretender obtener resultados satisfactorios si lo que se realiza a nivel de preparación, desarrollos, y otros no se aplica el máximo cuidado, tecnología e insumos disponibles. Es así como en los países más avanzados se superan permanentemente los niveles de producción en un mundo globalizado cada vez mas competitivo.

La Agricultura te forma, te enseña y te templa, pues a pesar de todos los esfuerzos que se realiza, en gran medida depende del *clima y sus variaciones*, lo cual es impredecible. En estas circunstancias negativas no hay nada que reclamar, sino iniciar un nuevo cultivo con la fe puesta en el éxito.

Por último, una vez más queda vigente el dicho popular: *Zapatero a su zapato*; donde el mejor ejemplo es el típico *Farmer* americano. En otras palabras, el mejor resultado en agricultura lo obtiene el que esta sobre su maquinaria siguiendo las labores día a día.

Gracias por su atención!

Los Primeros Pasos de la Investigación Triguera Sustentable en el Paraguay

First Steps in Developing Sustainable Wheat Research in Paraguay

Ricardo Pedretti[1]

Raúl Torres[2]

[1] Gerente del Instituto de Biotecnología Agrícola, INBIO
rpedretti1945@gmail.com

[2] Presidente de la Cámara Paraguaya Pro Agro, Capproa
torresjp@hotmail.com

RESUMEN

En la década del 50 con la puesta en marcha del Plan Familiar de Trigo que intentó promover el cultivo sobre lotes en áreas de "colonización agrícola", con el empleo de semilla de variedades de limitada adaptación y falta de tecnología en el manejo del cultivo llevó al Plan a su extinción en el corto plazo. El Programa Nacional de Producción de Trigo, creado en 1965, basó su propuesta en trabajar con grandes productores de ganado vacuno principalmente, tendiente a promover la agricultura mecanizada, prácticamente inexistente en el país en esa época. La estrategia desarrollada incluyó concesión de líneas de crédito a mediano y largo plazo con bajas tasas de interés para: i) Cubrir gastos operativos de cultivo. II) Adquisición de implementos, maquinarias y equipos. iii) Facilidades para almacenamiento de granos. Paralelamente se implementaron políticas económicas de fijación del precio del trigo y regulación del mercado. Así mismo, se trabajó en buscar y adaptar informaciones sobre prácticas de cultivo, complementando las propias informaciones básicas generadas a nivel país. Las primeras variedades cultivadas fueron selecciones del material genético del Vivero Internacional de Trigo de Primavera, proveniente de la Secretaria de Estado de Agricultura de los Estados Unidos de América y las practicas agronómicas identificadas en el Instituto Agronómico Nacional – IAN/Caacupé –; y el Centro Regional de Investigación Agrícola – CRIA/Cap. Miranda. Sin embargo, la susceptibilidad de estas variedades a enfermedades fungosas hizo fracasar el plan hasta la adopción de control químico como practica de manejo. El programa de mejoramiento genético fue fortalecido con la cooperación del CIMMYT Regional Cono Sur que ayudó en identificar la variedad CORDILLERA 3 que presentaba condiciones extraordinarias, para esa época, de productividad, adaptación y resistencia a enfermedades. El periodo 1984 – 1990 se caracterizó por el aumento de la superficie cultivada y el incremento del rendimiento por hectárea que superó a nivel nacional los 2 mil kilogramos por hectárea como resultado del empleo de variedades mejoradas,

uso de fertilizantes y aplicación de fungicidas. En 1986 se alcanzó por primera vez el auto abastecimiento de trigo y en 1989 se llegó a exportar 225 mil Toneladas de granos. A partir de la década del 90 el Programa se amplió a través de una Alianza Público Privada (APP) tal como se desenvuelve actualmente, dentro del marco del convenio IPTA/CAPECO/INBIO.

ABSTRACT

The cultivation of wheat was promoted in the 1950s within the framework of a National Family Plan for Wheat in the areas of "agricultural colonization". However, varieties of limited adaptation and lack of crop management technology led the Plan to fail soon. The new National Wheat Production Program, created in 1965, proposed to work with large cattle producers, aimed at promoting practically non-existent mechanized agriculture in the country. The strategy included the granting of medium and long-term loans with low interest rates to: i) cover operational expenses ii) acquisition of machinery and equipment and iii) construction of grain storage facilities. Simultaneously, economic policies to fix the price of wheat and market regulation were also implemented. At the same time, suitable and adaptable cultivation practices were identified and complemented with information generated in the country. The first cultivated varieties were selected from the International Spring Wheat Rust Nursery, and the agronomic practices developed at the National Agronomic Institute – IAN, Caacupé and the Regional Agricultural Research Center, CRIA, Cap. Miranda. However, the susceptibility of these varieties to fungal diseases made the plan fail until the adoption of chemical control as a management practice. The breeding program was strengthened with the cooperation of the CIMMYT Regional Program for the Southern Cone in the late 1970s, which helped identify the variety Cordillera 3. This variety offered an extraordinary combination of productivity, adaptation and resistance to diseases prevalent at that time. The 1984 -1990 period was characterized by an increase in the cultivated area and in yield per hectare which exceeded 2000 kg/ha nationally as a result of the use of improved varieties, the use of fertilizers and the application of fungicides. In 1986 the country reached self-sufficiency of wheat for the first time and exported 225,000 tons of grain in 1989. In 2003, the Program was further expanded through a Public Private Alliance (PPP), within the framework of the IPTA/CAPECO/INBIO agreement and remains so till date.

Vista de ensayos sembrados en IAN, Caacupé en 1988.

INTRODUCCIÓN

Para impulsar ¨el programa nacional de producción de trigo¨, la Secretaria Técnica de Planificación propuso al Gobierno Nacional su ejecución a través del Banco Nacional de Fomento y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), principalmente (AÑO 1965).

Como antecedente próximo se utilizó ¨el plan familiar de trigo¨, llevado a cabo en la década del 50, que intentó promover el cultivo con pequeños agricultores establecidos sobre lotes en áreas de "colonización agrícola", con el empleo de semilla de variedades con limitada adaptación a las condiciones ecológicas y falta de tecnología en el manejo del cultivo. Este enfoque llevó a ¨el plan¨ a su extinción. En contraposición ¨el programa¨ basó su estrategia en trabajar con grandes y medianos productores, principalmente de ganado vacuno, sobre áreas extensivas de praderas, ofreciendo líneas de créditos a largo plazo con bajas tasas de interés; y políticas de regulación de precio y mercado.

La tecnología de producción se basó en investigaciones aplicadas realizadas por el Servicio Técnico Interamericano de Cooperación para la Agricultura (STICA), programa de desarrollo del Gobierno de los Estados Unidos. Este programa estableció en el país además de las instituciones de investigación, modernos servicios de apoyo tecnológico, que a mediados de la década del 60 fueron incorporados al MAG. Entre ellos se mencionan al Servicio Nacional de Semillas (SENASE), la Dirección de Comercialización Agrícola, la Dirección de Defensa Vegetal, el Servicio de Extensión Agrícola, entre otros.

Todas estas entidades apoyaron desde sus especialidades al programa en las primeras décadas. Entre ellas se destacaron el SENASE como proveedor de semilla certificada de variedades nacionales a los productores. Además, considerando que la infraestructura de almacenamiento y procesamiento del sector privado, basada en la importación del grano, se encontraba localizada principalmente en la Capital y Encarnación, el MAG a través de la Dirección de Comercialización Agrícola estableció en los 70s una red de silos regionales en las zonas productoras, principalmente Misiones e Itapúa. Vemos pues que el rol del Gobierno en el lanzamiento y acompañamiento del Programa fue fundamental, y cubrió vacíos que el sector privado paulatinamente ocupó posteriormente ante el desarrollo progresivo de la producción del cereal.

EXPANSIÓN DEL PROGRAMA: META EL AUTOABASTECIMIENTO

_ Periodo 1967 – 1971 (Inicial)

Las primeras variedades utilizadas provinieron del "Vivero de Trigos de Primavera" y fueron las denominadas: Centenario, Nº 6, Nº 9, Boquerón, Nº 11. Todas con rendimiento a campo de alrededor de 1.000 kg/ha y de porte alto, ciclo largo, susceptible al acame y a enfermedades fungosas tipo royas.

_ Periodo 1972 – 1977 (el nuevo derrumbe)

Se inició la siembra de las variedades denominadas 214/60 y 281/60 respectivamente; que fueron seleccionadas y sembradas atendiendo a su mayor potencial de rendimiento, respuesta a fertilizantes y ciclo vegetativo corto y semi enanas.

En el periodo 1972-1977 se presentaron condiciones ambientales prevaleciendo la alta humedad y elevadas temperaturas que favorecieron epidemias de enfermedades no tradicionales de la hoja y la espiga. En 1972, de las 32 mil hectáreas sembradas se levantó una producción de 17 mil toneladas que se tradujo en 550 kilos por hectárea de granos. En los años siguientes, además de las Royas se incrementó la FUSARIOSIS, SEPTORIOSIS, HELMINTOSPORIOSIS, y otras enfermedades fungosas. El área de siembra se mantuvo entre 20 mil y 35 mil hectáreas y el rendimiento entre los 1 mil y 1 mil cien kilogramos por hectárea.

_ Periodo 1978 – 1983 (recuperación)

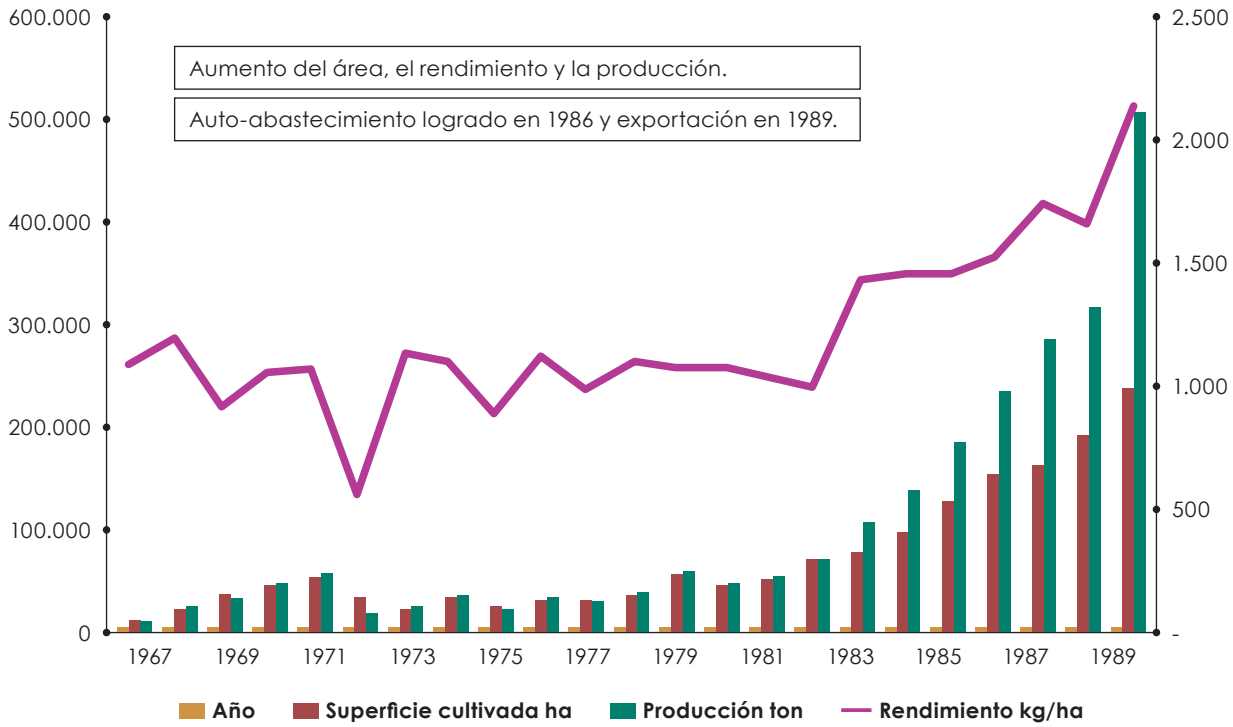
En el año 1978, se fortaleció las relaciones con el Programa Regional del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) en el Cono Sur, con su primera sede en Chile. También entre 1978 y 1983, se inició el control químico de enfermedades aplicando fungicidas.

De la gran cantidad de germoplasma proporcionado por el CIMMYT, se logró a inicios de los 80's la identificación de la variedad CORDILLERA 3 con gran potencial de rendimiento, adaptación y sanidad. Para acelerar su siembra comercial se obtuvo la importación de 60 toneladas de semillas del INIA, Chile, con la intermediación del CIMMYT.

_ El periodo 1984 – 1990 (despegue)

En el periodo de 1984 -1990, aumentó la superficie de cultivo y el rendimiento promedio superó en forma sostenida los 2000 kilos/hectárea con el empleo de la tecnología mencionada. Así, en el año 1986 se alcanzó el autoabastecimiento nacional y en 1989 se llegó a exportar 225 mil Toneladas de granos.

Figura 1. **Superficie, Producción y Rendimiento de Trigo de 1965 a 1990**



Cabe señalar que los logros mencionados fueron resultado de: el decidido apoyo del Gobierno Nacional y el interés de los productores; la cooperación del CIMMYT, complementada por el Programa IICA – CONO SUR/ BID y la Cooperación Técnica Israelí; así como la participación sostenida del estamento técnico en las decisiones y conducción de ¨EL PROGRAMA¨.

Cabe resaltar el gran esfuerzo realizado principalmente por el MAG en esta primera etapa, para capacitar a los recursos humanos especializados de las diferentes entidades, tanto a nivel nacional, como con becas de posgrado en el exterior, a nivel de Maestría y Doctorado. Especialmente se menciona en este aspecto como una de las principales, a la Dirección de Investigación Agrícola Ganadera y Forestal del MAG (DIEAF), bajo la conducción del Ing. Agr., M. Sc., Luis A. Álvarez.

ESTANCAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN

A partir de la década del 90, si bien el programa de trigo continuó siendo importante a nivel del apoyo de las instituciones públicas, la mayoría de los roles tecnológicos y de servicios fueron siendo asumidos paulatinamente por el sector privado.

Además, posteriormente al cambio de gobierno, como política de los gobiernos sucesivos, la priorización de programas de apoyo hacia la agricultura empresarial fue reorientada crecientemente hacia la agricultura familiar campesina, en diversos programas de reforma agraria y desarrollo rural y agropecuario, coincidentemente con los objetivos cambiantes de la cooperación internacional en ese mismo sentido. Debemos recordar que, a fines de los 80s, se establece a nivel mundial el “Consenso

Inicio del Programa de Hibridación de Trigo en Paraguay.

de Washington" que implicó un cambio del modelo de desarrollo internacional, siendo aplicados de inmediato por los organismos de cooperación, internacionales y bilaterales. Este nuevo modelo estableció lo que hoy conocemos como Globalización, liberalización comercial, economía de mercado, etc. En dicho contexto, las economías cerradas nacionales fueron abiertas, las empresas públicas privatizadas, el Estado achicado, y entre las palabras obsoletas se incorporó el "autoabastecimiento", como meta económica en base al proteccionismo del mercado interno.

Todo esto se reflejó en nuestro país más bien indirectamente, en el relativo estancamiento de la producción para el autoabastecimiento, y las pequeñas exportaciones/importaciones netas del periodo. Demás está decir que en este tiempo se fue consolidando la producción y exportación del cultivo de rotación del Trigo, la Soja. A partir de la campaña 1992/3, por primera vez el valor de las exportaciones de soja superó al del cultivo del algodón, y continuó expandiéndose sostenidamente hasta la actualidad. Los márgenes comparativos de rentabilidad más reducidos del trigo solamente le permitieron acompañar en mucha menor escala a aquel rubro.

En el 2003, para superar este relativo estancamiento del trigo nacional, ante la necesidad de continuar con los trabajos de investigación a cargo del MAG, el sector privado toma la iniciativa y se fortaleció novedosamente EL PROGRAMA a través de la Alianza Publico Privada establecida dentro del marco del CONVENIO MAG/CAPECO/CIMMYT, y ampliado posteriormente en 2008 como CONVENIO IPTA/CAPECO/INBIO, tal como se lo conoce a la fecha.

Fortalecimiento de la Investigación y Difusión del Cultivo de Trigo en el Paraguay, Alianza Público Privada, 2003-2018

Strengthening Wheat Research and Extension in Paraguay, A Public Private Alliance, 2003-2018

Man Mohan Kohli[1]
Luis Enrique Cubilla[2]
Graciela Cabrera Arredondo[3]

[1] Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas, CAPECO
mmkohli@gmail.com

[2] Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas, CAPECO
luiscubi1@gmail.com

[3] Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria, IPTA/Centro de Investigación Hernando Bertoni
gc580613@hotmail.com

RESUMEN

En un momento crítico de crecimiento agrícola en la década de los 90s, cuando los productores adoptaron la siembra directa en forma masiva e incrementaron la siembra de la soja, la producción de trigo sufre un estancamiento. Haber llegado a ser autosuficiente y poder exportar el cereal en 1986, la producción llega a ser menos de 200 mil toneladas a finales de la década de los 90s, casi la mitad de lo producido al principio de la esa década. No solo hubo una reducción de la siembra sino también una merma en el promedio de rendimiento logrado. Con este escenario frustrante, la Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO), tomó la decisión de renovar el interés en el cultivo de trigo firmando un Convenio de Cooperación para ejecutar el Proyecto de "Fortalecimiento de la Investigación y Difusión del Cultivo de Trigo en el Paraguay" con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Los objetivos trazados por el Convenio fueron claros y simples para desarrollar tecnologías locales en apoyo a la producción nacional de trigo. Desde 2008, el Instituto de Biotecnología Agrícola, INBIO, inicio su participación en el proyecto que ya había regionalizado las zonas agroecológicas trigueras en base a la temperatura media durante los meses de invierno. Esta regionalización permitió desarrollar 14 nuevas variedades con adaptación especifica al Norte o Sur del país, como también determinar las fechas adecuadas de siembra en cada región. Junto al desarrollo de la tecnología, su difusión a nivel del productor, ayudó a generar confianza en el cultivo e incrementar su producción durante la ultima década. Como resultado, en vez de importar el cereal, el país se ha logrado exportar trigo de

nuevo y está incursionando en la exportación de harina en pequeña escala. Aun cuando, en la necesidad de la investigación con nuevos problemas productivos sigue en pie, la relación costo beneficio de 1:450 del trabajo hecho hasta ahora, es un importante indicador para seguir apoyando al desarrollo de las tecnologías y su difusión en todos los rubros importantes para la economía nacional.

ABSTRACT

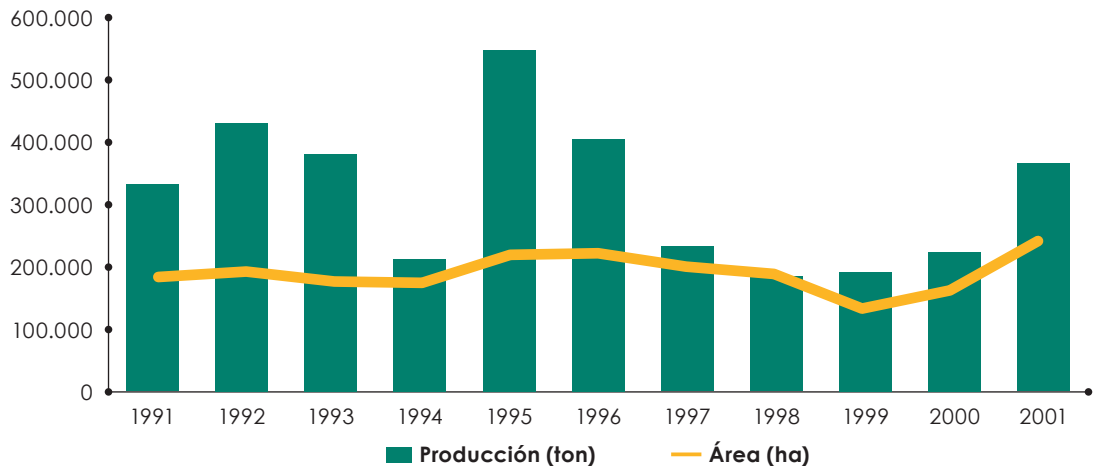
Long-term support for research is an essential ingredient to produce the expected changes in agricultural production and productivity. This was the lesson to be learnt in the first 25 years of wheat research in Paraguay. Unfortunately, this message did not get registered in the mentality of the authorities that took charge of the research at the beginning of a new period of democracy in the 1990s. The disintegration of the trained team to carry out the research and extension not only resulted in the stagnation of the production, but also in the decrease of the yield during the following period. In 2003, to reverse this situation, the private sector led by CAPECO together with the International Maize and Wheat Improvement Center, CIMMYT, Mexico, signed an agreement with the Ministry of Agriculture and Livestock with an aim to strengthen Wheat Program. The objective of this agreement was to change the productive situation of wheat in the country during the winter months and follow soybeans during the summer. The results of this project, supported by INBIO since 2008, have been significant. During this period, the area under wheat has almost doubled, the yield has increased by approximately 50%, thereby tripling the national production. This achievement has not only allowed to fulfill the national demand for wheat, but also facilitated the export of surplus quantities, generating foreign currency for the country. A simple analysis of cost: benefit to support this research over the past 12 years shows that each Guaraní invested in the Wheat Research Program has produced 450 Guaraní's on an average. This success reconfirms the need and importance of long term and stable support for research to be key to the future agricultural growth in the country.

Evaluación del cultivo en un campo comercial en Colonia Pirapó, Itapúa.

ANTECEDENTES

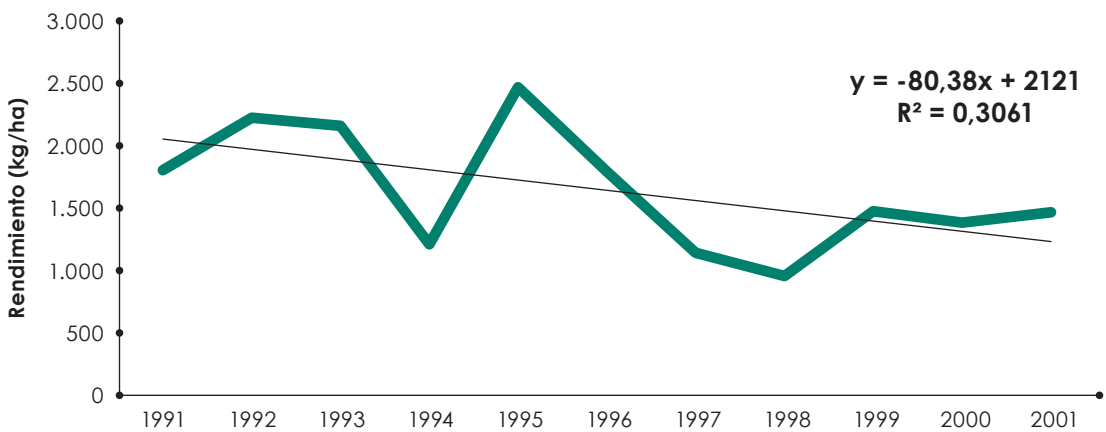
Como fue mencionado por el Dr. Ricardo Pedretti anteriormente, el cambio de gobierno en 1989 y la política de los gobiernos sucesivos dieron prioridad a los programas de apoyo a la agricultura familiar campesina. Los diversos programas de reforma agraria y desarrollo rural y agropecuario, coincidentemente con los objetivos cambiantes de la cooperación internacional llevaron a limitar el apoyo a la agricultura mecanizada y la investigación agrícola en general. Como resultado, los éxitos de la producción triguera en el Paraguay durante la década de 1980 no pudieron ser sostenidos llevándolo a un estancamiento a partir de los 90s (Fig. 1). La falta de apoyo financiero y el debilitado equipo técnico no pudo mantener el nivel de rendimiento logrado en la década anterior la cual sufrió una caída en las próximas dos décadas (Fig. 2). El país tuvo que importar trigo de nuevo.

Figura 1. **Estancamiento productivo de trigo durante la década de 1990**



Fuente: **FAO/CAPECO**

Figura 2. **Caída en el rendimiento de trigo durante la década de 1990**



Fuente: **FAO/CAPECO**

La expansión del cultivo de la soja como principal rubro de producción a nivel extensivo durante el mismo periodo y la cotización de los granos en el mercado internacional fueron las razones para considerar la reactivación de la investigación triguera nacional. Con este objetivo el sector privado representado por la Cámara Paraguaya de Exportadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO) tomo

la decisión de establecer un convenio de cooperación tanto con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), presente aun en la región del Cono Sur. Este convenio de "Fortalecimiento de la Investigación y Difusión del Cultivo de Trigo en Paraguay", abarcó el quinquenio 2003-2008.

Es importante mencionar que este convenio reúne a los principales gremios de la producción en una alianza con el sector público para reactivar no solo la investigación de trigo sino también formar un nuevo equipo de técnicos jóvenes para llevar tecnologías multidisciplinarias a los productores.

El retiro de la sede regional del CIMMYT del Cono Sur en 2005, como la reforma institucional del MAG que origina la creación del Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA) a partir de la Dirección de Investigación del MAG; y otras entidades, que se fusionan en la nueva autarquía, así como la incorporación del nuevo Instituto de Biotecnología Agrícola (INBIO), perteneciente a siete gremios de la cadena de producción y exportación de cereales y oleaginosas fueron los cambios institucionales durante los siguientes años. En base al resultado positivo de la reactivación y avance de la producción y exportación del cereal, este esfuerzo convirtió al Paraguay en un país exportador neto de este cereal. Razón por la cual esta Alianza Pública-Privada fue renovada en 2008-2013 entre el MAG, CAPECO e INBIO y nuevamente en 2013-2018, entre el IPTA, CAPECO e INBIO.

RESULTADOS LOGRADOS

Entre los principales logros del programa de investigación, se destaca en primer lugar la zonificación agroambiental de la producción de trigo (Fig. 3).

Figura 3. **Regionalización de las áreas trigueras en base a temperatura durante su desarrollo**

A pesar que el territorio de la Región Oriental es relativamente pequeño, a nivel internacional existe una marcada diversidad agroclimática, sobre todo para la producción del cereal. A grandes rasgos, la zona más apta para la producción de trigo es la sureste (Itapúa y Alto Paraná Sur) caracterizada por el clima húmedo y semi-templado. La zona noreste (Alto Paraná Norte, Canindeyú) con invierno moderado y periodos de escasez de lluvias, y la zona Norte, representado por el Departamento de San Pedro y partes de Caaguazú, con clima subtropical e inviernos más cálidos y secos con suelos frágiles, siguen en importancia. En base a esta zonificación se ajustó el programa de fitomejoramiento a fin de crear e identificar líneas y variedades con mayor adaptación.

Durante los últimos 12 años, el programa de fitomejoramiento ha identificado 14 variedades en base a su adaptación a las zonas agroclimáticas mencionadas. A fin de distinguirlas, se denominan como variedades "Itapúa" las mejores adaptadas a la zona Sur del país, mientras que las denominadas "Canindé", corresponden a las mejores adaptadas para la zona Norte. Dos variedades con características específicas de precocidad y tolerancia al suelo acido fueron liberadas con la denominación de IAN 10 e IAN15 respectivamente. Las otras variedades liberadas para la producción son: Itapúa 65, Itapúa 70, Itapúa 75, Itapúa 80, Itapúa 85, Canindé 1, Canindé 2, Canindé 3, Canindé 11, Canindé 12, Canindé 13 y Canindé 21.

El manejo aplicado dentro del programa de fitomejoramiento, se orienta al sistema de producción prevalente en los últimos tiempos. Especialmente se menciona la Siembra Directa, el ajuste del ciclo de cultivo para ajustarse a los ciclos de la soja, con siembras cada vez más tempranas, y por lo tanto las recomendaciones de épocas recomendadas de siembra para cada zona agroclimática.

Del mismo modo, a lo largo de las últimas décadas, el programa de cruzamiento nacional ha ido incorporando y apilando genes que condicionen un mejor comportamiento, resistencia o tolerancia, frente al complejo de enfermedades prevalentes en la región. Con esto se aseguró una mayor estabilidad de la producción ante esta limitante histórica del cereal. Sin embargo, aún falta mejorar la sanidad del cultivo frente a una enfermedad epidémica, la Fusariosis de la Espiga. También es urgente estudiar y comprender mejor el comportamiento y la base genética de otra enfermedad emergente, la cual incluso se ha diseminado internacionalmente, la "espiga blanca", causada por *Magnaporthe oryzae*, adaptada al trigo.

En todos estos años, se ha instalado una red de difusión con productores y con los industriales. En cuanto a este último estamento, hay que destacar que en la tercera etapa se realiza un gran esfuerzo de monitorear el comportamiento de la calidad molinera y panadera del cereal. Con este esfuerzo, los materiales liberados satisfacen no solamente los requisitos de calidad para nuestro mercado, sino sobre todo a las crecientes exigencias de nuestro mayor mercado de exportación, el Brasil. A tal punto fue el avance que, en los últimos tiempos, el trigo paraguayo es importado como mejorador de la calidad, confiriéndole un excelente nivel de competitividad, faltando solamente aumentar el volumen total disponible para la exportación a fin de consolidar al país como exportador neto en la región.

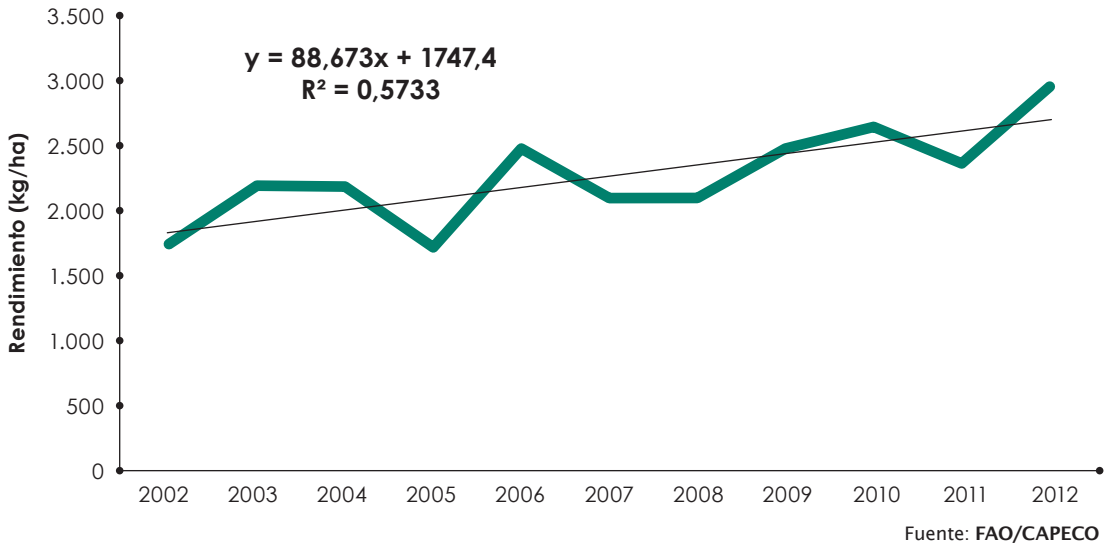
En esta etapa se ha continuado con el esfuerzo de capacitar a recursos humanos especializados en distintas disciplinas del manejo del cultivo. Tal vez, esta sea la tarea más importante del Programa, a mediano y largo plazo. Anualmente se destinaron becas del INBIO para cursos de posgrado a nivel de Maestría en el exterior, además de apoyar la participación de los técnicos en Congresos, Seminarios, Talleres, etc., en la región y en el CIMMYT, México.

En cuanto a las publicaciones, cabe destacar la realización, con una frecuencia bianual del "Seminario Nacional de Trigo, *del grano al pan*". En estos eventos, se ha logrado convocar a especialistas internacionales de primer nivel quienes han transferido nuevos conocimientos a técnicos y productores nacionales.

IMPACTOS LOGRADOS

Tal vez uno de los principales logros del programa ha sido crear confianza en el cultivo de trigo a nivel del productor. El sentimiento que el Paraguay no puede producir trigo por sus condiciones agro-climáticas ha quedado en el pasado. El aumento progresivo del rendimiento del grano a nivel nacional, pasando de 1,500 kg/ha en el año 2000 a cerca de 3000 kg/ha en la tercera etapa, es indicativo de la adopción de tecnología de producción en el campo (Fig. 4).

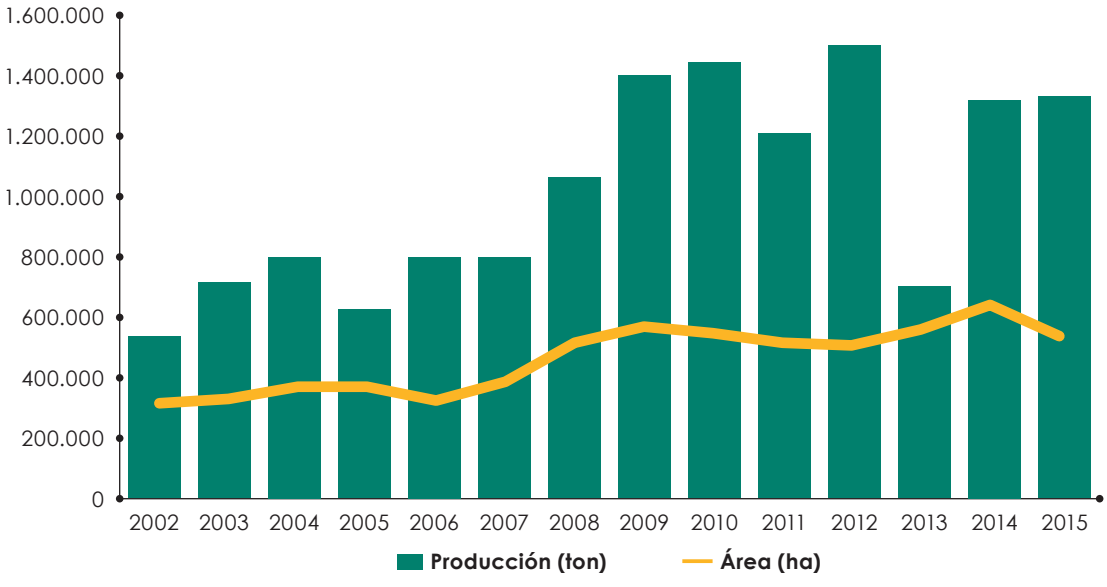
Figura 4. **La evolución en rendimiento de trigo durante 2002-12**



Fuente: **FAO/CAPECO**

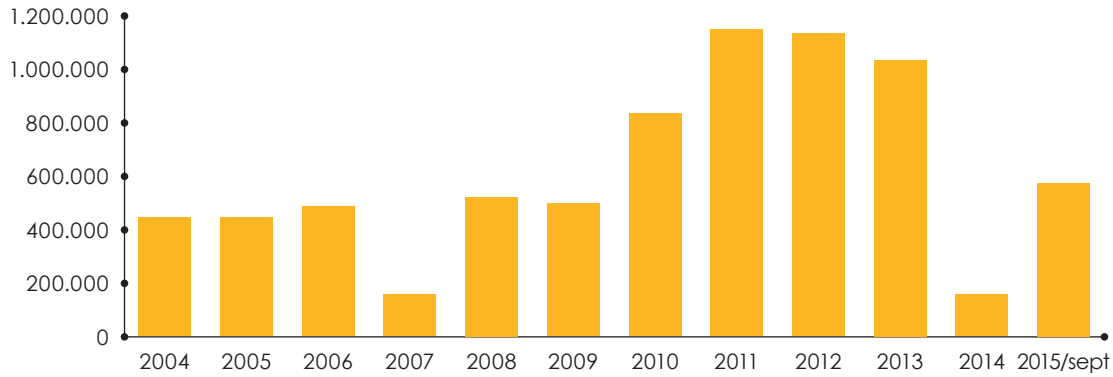
Este incremento de productividad repercutió en el aumento progresivo del área cultivada y de la producción cosechada, a pesar de haber entrado en situaciones de climas extremos en la última década, que afectaron al cereal (Fig 5). De esta manera aumentó considerablemente el volumen del saldo exportable disponible, como se aprecia en la siguiente gráfica (Fig. 6).

Figura 5. **La evolución del área y producción de trigo en Paraguay**



Fuente: **CAPECO**

Figura 6. **La evolución en la exportación de trigo desde Paraguay**



Fuente: **CAPECO**

Con estos resultados a la vista, no es sorprendente que en una estimación reciente del impacto de la investigación de trigo haya logrado que, por cada dólar invertido en la investigación, se haya generado una relación costo beneficio 1:450. En otras palabras, los esfuerzos hechos en la investigación de trigo dan un ejemplo de los posibles resultados que el país puede lograr con una inversión sería en el sistema de la investigación agropecuaria nacional.

Cuadro 1. **Impacto económico de la investigación de trigo**

	1991 - 2002	2003 - 2014	Incremento
Área (ha)	194.515	448.882	131%
Producción (tn)	318.419	1.046.977	229%
Rendimiento (kg/ha)	1.636	2.332	43%

Relación costo beneficio es 1:450

Fuente: **FAO online, CAPECO**

Por último, nos queda agradecer a los responsables de este esfuerzo compartido, a las autoridades institucionales, líderes gremiales, científicos cooperantes y, sobre todo, a los funcionarios técnicos del programa, sin cuyo aporte y dedicación, todo esto no hubiera sido posible. Hay un gran grupo de colegas y colaboradores que fueron responsables para el progreso mencionado en este trabajo. A todos ellos y muchos mas no representados aquí, debemos un sincero agradecimiento (Fig. 7).

Figura 7. **El equipo técnico nacional de trigo colaborador del CIMMYT**

Itapúa 80, una variedad precoz, la más popular entre los productores.

Sector del Trigo en Paraguay, Potencialidades de Innovación y Aprendizajes

Wheat Sector in Paraguay: Potential for Innovation and Learning

Belén Servin

Centro de Análisis y Difusión de la Economía Paraguaya, CADEP
Piribebuy 1058 entre Colón y Hernandarias, Asunción

bservin@cadep.org.py

RESUMEN

En el sector del trigo se logró un relevante aporte con la implementación de un modelo de gestión del conocimiento agrícola y de la innovación, a través del agrupamiento de los diferentes actores interesados, y de la cooperación y la coordinación entre el sector público y el sector privado. Así surgió el Proyecto de Fortalecimiento de la Investigación y Difusión del Cultivo del Trigo en el Paraguay, teniendo como resultado la formación de una red de conocimiento basado en la innovación y el aprendizaje de todos los interesados. La red está conformada por una diversidad de actores que se articulan y cooperan entre sí, bajo un interés común, cada uno de ellos con capacidades y expertises diferentes, lo cual explica el rol que desempeña cada uno de ellos. La misma está centralizada en tres (3) actores principales, CAPECO/IPTA/INBIO, que a los efectos de este análisis se considera como una unidad y se constituye en el Ego de la Red. En esta unidad sobresale el rol del Asesor Científico Externo - ACE, encargado de acompañar la planificación y desarrollo de las actividades de investigación e innovación. El Ego de la red (IPTA-CAPECO-INBIO) ha tenido un rol protagónico en la configuración de la red de conocimiento, facilitando un apoyo coordinado a las actividades de investigación, formación y capacitación de los recursos humanos. Así también, promueve las interacciones entre todos los actores interesados, propiciando un entorno favorable para una cooperación eficiente y eficaz entre ellos, y para un aprendizaje y aplicación de los conocimientos y de las innovaciones alcanzadas. Los demás actores cumplen el rol de "co-partícipes claves", proveyendo informaciones y sus infraestructuras (campos y laboratorios) para el desarrollo de las investigaciones e innovaciones, y a la vez acceden y son beneficiarios de los nuevos conocimientos agrícolas. Estos actores se agrupan de la siguiente manera: 1) empresas privadas productoras y comercializadoras de cereales y oleaginosas, 2) cooperativas de productores agrícolas, 3) empresas privadas productoras de harinas, pastas y alimentos balanceados y 4) organismo privado

de investigación, desarrollo y difusión de las tecnologías agrícolas. La articulación entre los actores de la red permite que se establezca un dialogo entre la investigación y el mercado: el productor expone sus necesidades al investigador, tanto para el mercado interno como externo. El dialogo que se genera entre las partes posibilita una mayor competencia, más investigación y beneficios por la obtención de nuevas y mejores variedades de trigo. Entre los actores de la red se han establecido una diversidad de vínculos, relacionados con la generación, difusión, y aplicación del conocimiento e innovaciones obtenidas. Estos vínculos varían de acuerdo a los requerimientos, intereses, capacidades y proximidad geográfica de los actores involucrados. Con esta investigación se evidencia el propósito de la red de promover la coproducción participativa y los procesos dinámicos de aprendizajes del conocimiento y la innovación, dejando de lado, el tradicional estilo de generación y transferencia de conocimientos en manos de un solo actor. Esto es un hito importante en el avance hacia una agricultura sostenible y el desarrollo rural paraguayo.

ABSTRACT

The national wheat sector achieved an important contribution by implementing a model of agricultural knowledge management and innovation, through the grouping of the different stakeholders, and generating cooperation and coordination within the public sector and also between the public sector and private sector. This is how the Project for Strengthening the Research and Diffusion of Wheat Crop in Paraguay was formed and resulted in the formation of a knowledge network, based on innovation and learning of all stakeholders. The network is made up of a diversity of actors who articulate and cooperate with each other with a common interest; each of them with different capacities and expertise, which explains the role that each of them plays. It is centralized in three (3) main actors, CAPECO/IPTA/INBIO, who for the purpose of this analysis are considered as a unit and constitute the Heart of the Network. In this unit, the role of the External Scientific Advisor stands out - ACE, who is responsible for planning and development of research and innovation activities. The Heart of the network (IPTA-CAPECO-INBIO) has had a leading role in the configuration of the knowledge network, facilitating a coordinated support to the research, extension and training activities of human resources. It also promotes interactions among all stakeholders, fostering a favorable environment for efficient and effective cooperation among them, and for learning and applying the knowledge and innovations achieved. The other actors fulfill the role of "key co-participants", providing information and infrastructures (fields and laboratories) for the development of research and innovations, while accessing the benefits from new agricultural knowledge. These actors are grouped as follows: 1) private producers and marketers of cereals and oilseeds, 2) cooperatives of agricultural producers, 3) private companies producing flour, pasta and feed and 4) private research, development and diffusion of agricultural technologies. The articulation among the actors in the network allows a dialogue to be established between the research and the market; the producer conveys his needs to the researcher, both for the internal and external market. The dialogue generated among the parties allows for greater competition, more research and benefits for obtaining new and better wheat varieties. Among the actors in the network, a variety of links have been established, related to the generation, dissemination, and knowledge application and innovations obtained. These links vary according to the requirements, interests, capacities and geographical proximity of the actors involved. This research shows the purpose of the network to promote participatory co-production and the dynamic processes of knowledge and innovation learning, leaving aside the traditional style of generation and transfer of knowledge in the hands of a single actor. This is an important milestone in the advance towards sustainable agriculture and rural development in Paraguay.

INTRODUCCIÓN

Muy Buenos días, el estudio que voy a presentar está relacionado con las potencialidades de innovación de aprendizajes en el sector de trigo del Paraguay. Este trabajo hemos realizado de manera conjunta entre el Centro de Análisis y de Difusión de la Economía Paraguaya (CADEP), el Instituto de Desarrollo (ID) con el apoyo de la Red Sudamericana de Economía Aplicada. El mismo formó parte de un programa más amplio que había sido realizado a nivel regional bajo la coordinación de la CEMIT, Argentina.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Las preguntas que guiaron el trabajo de investigación fueron las siguientes:

- ¿De qué manera se genera y se desarrolla la red para la creación y la difusión del conocimiento en materia de mejoramiento genético y de las prácticas agrícolas en el sector trigo?
- ¿Qué implicancias ha tenido la formación de esta red en el desenvolvimiento de este rubro agrícola?

La metodología de la investigación que fue utilizada consistió principalmente en la realización de entrevistas en profundidad y la aplicación de encuestas semi- estructuradas. Realizamos entrevistas a fin de contextualizar el estudio de caso y elaborar una lista de actores involucrados. Aplicamos encuestas semi- estructuradas a los actores relacionados con el sector del trigo, con el fin de obtener información para armar los indicadores de red y caracterizar la red de conocimiento e innovación y aprendizaje en el sector del trigo.

ESFUERZO HISTÓRICO

Los esfuerzos en materia de innovación por parte del sector de trigo surgen ya en los años 70. En 1966 se creó el Programa Nacional de Trigo en el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Banco Nacional de Fomento (BNF), y a partir de finales de la década del 70, se contó con el apoyo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) con sede en México, para la creación de paquetes tecnológicos y de recursos humanos calificados. Todo esto posibilitó para que, a finales de la década de los 80, el Paraguay se convirtiera en un país autosuficiente de producción de trigo, disminuyendo las importaciones e iniciando levemente ya las actividades de exportación gracias al uso de variedades con mejores rendimientos y mejores tecnologías de producción.

En la década del 90 el sector se enfrenta ante dos problemas; a) se produce una caída de la producción de trigo en coincidencia con un menor apoyo por parte del Estado en materia de investigación, y b) un crecimiento importante de la producción de soja extendiéndose hacia nuevas zonas geográficas. Esta última situación se convierte en una oportunidad para el sector por tratarse el trigo de un rubro alternativo al cultivo de la soja durante la época de invierno.

Ante esta coyuntura, entonces en el año 2003 la CAPECO tomó la iniciativa de impulsar y llevar adelante el Proyecto de Fortalecimiento de la Investigación y Difusión del Cultivo de Trigo en el Paraguay, en colaboración con el Ministerio de Agricultura y Ganadería y el CIMMYT de México mediante un acuerdo tripartito.

RED DE CONOCIMIENTO E INNOVACIÓN

A partir de este proyecto específico se observa que existen múltiples interacciones entre los diversos factores que conforman, o están relacionados con el sector de trigo. Entre ellos se encuentran las cooperativas de productores, empresas privadas, productoras y comercializadoras de cereales

y oleaginosas y procesadoras de productos derivados de trigo, organismos públicos de investigación, organismos privados de investigación, universidades, entre otros actores. Todos estos actores comienzan a establecer vínculos entre sí alrededor de un objetivo específico común que estaba relacionado a la creación, desarrollo y difusión de conocimiento e innovación en el sector de trigo, lo que hace que se constituya una red de conocimiento e innovación en el sector.

En esta red se da énfasis a la co-generación de conocimiento para el mejoramiento genético del trigo y a los métodos de aprendizaje. En su inicio la red de conocimiento estaba centralizada en CAPECO, Ministerio de Agricultura y Ganadería y el CIMMYT de México. CAPECO otorgaba el financiamiento del proyecto y el Ministerio de Agricultura y Ganadería ofrecía sus infraestructuras y sus recursos humanos, y el CIMMYT trasladaría tecnología de producción y mano de obra calificada al sector.

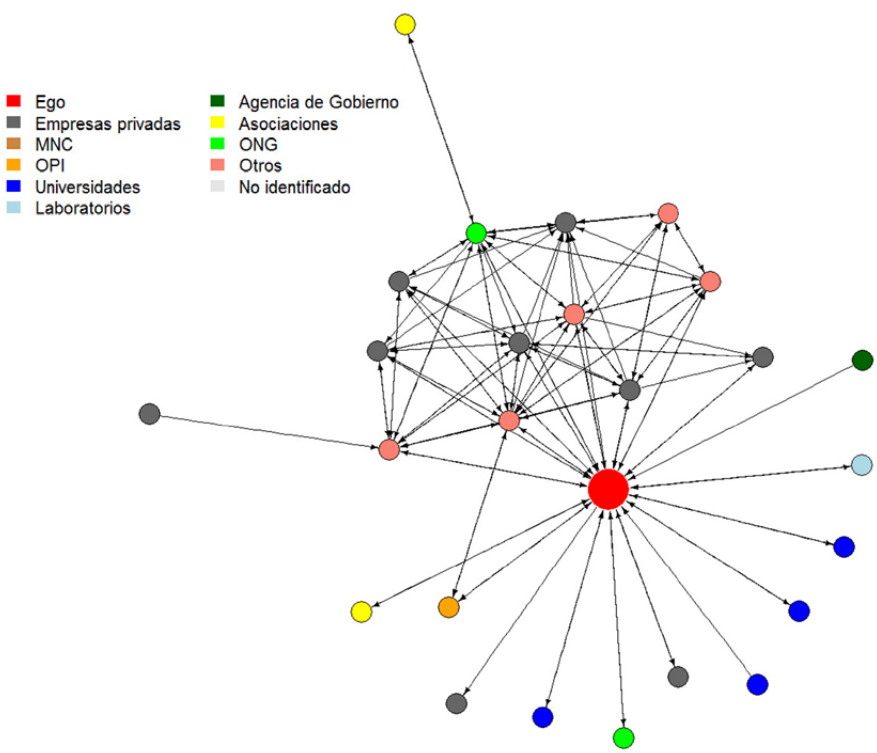
Con el paso del tiempo la red sufre modificaciones en su estructura organizacional y el CIMMYT deja de tener una participación más directa como lo había tenido durante el periodo 2003 – 2005 y pasó a ejercer un rol de cooperación en materia de investigaciones y capacitaciones desde el exterior del país. También en el año 2005 se incorpora la figura del asesor científico externo quien se encarga de desarrollar y coordinar todas las actividades de investigación en la red.

Así también, el INBIO se incorpora en el año 2008 y se encarga de proveer todo el financiamiento al proyecto, y entonces CAPECO pasa a encargarse de la administración de esos fondos. Finalmente, en el año 2010 se crea el IPTA y pasa a encargarse o desarrollar todas las actividades que estaban a cargo de la Dirección de Investigación Agrícola del Ministerio de Agricultura y Ganadería (DIA-MAG) en el marco de este proyecto.

Todos los demás actores que participan de esta red cumplen un rol de actores copartícipes claves, proveyendo sus informaciones, conocimientos e infraestructura para el desarrollo de innovaciones y de conocimientos. Estos actores copartícipes pueden ser agrupados entre empresas privadas, cooperativas productoras, entes procesadores y organismos privados de investigación, y a la vez todos estos actores se benefician y acceden a los nuevos conocimientos agrícolas generados en la red.

DIRECCIONALIDAD E INTENSIDAD DE FLUJOS DE CONOCIMIENTO POR TIPO DE ACTOR

Figura 1. **Red de conocimiento e innovación: Actores claves y copartícipes**

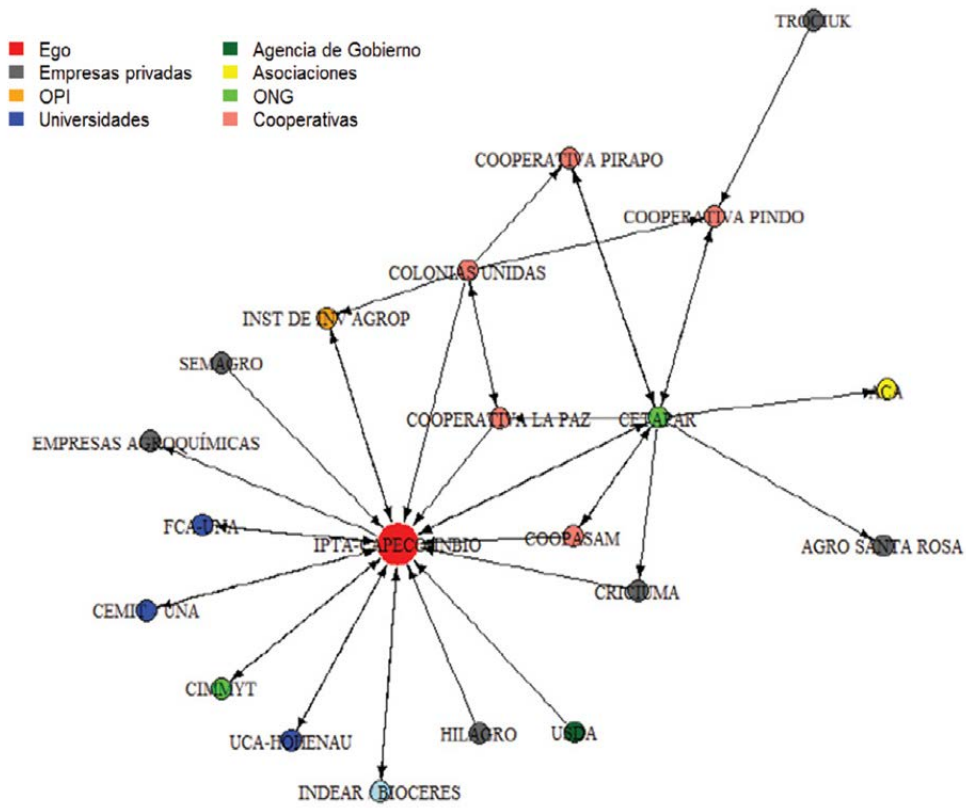


En este grafico (Fig. 1), se puede observar cómo funciona la red de conocimientos e innovación en el sector del trigo. Los círculos representarían a los diferentes actores y las líneas indican la interacción y las vinculaciones que se establecen entre ellos. El círculo rojo representa a IPTA, CAPECO, INBIO, que al respecto de esta red se considera como una unidad y se constituye en el "Ego" de la red. El actor central de la red de conocimientos es el Ego el que establece la mayor cantidad de vínculos de conocimientos, tanto de entrada como de salida. Es decir, IPTA/CAPECO/INBIO entrega conocimientos a los diversos actores copartícipes de la red a través de las innovaciones y nuevos conocimientos que se van generando, pero también los demás actores copartícipes de la red interactúan con esta unidad.

Se dividió la red en tres sub-redes según el objeto perseguido: 1) la que persigue la obtención de nuevos conocimientos (creación de conocimiento), 2) la que promueve los conocimientos existentes (difusión/transferencia) y 3) la que fomenta los intercambios informales de conocimientos.

SUB-RED DE CREACIÓN DE NUEVOS CONOCIMIENTOS

Figura 2. **Sub-red: creación de nuevos conocimientos**

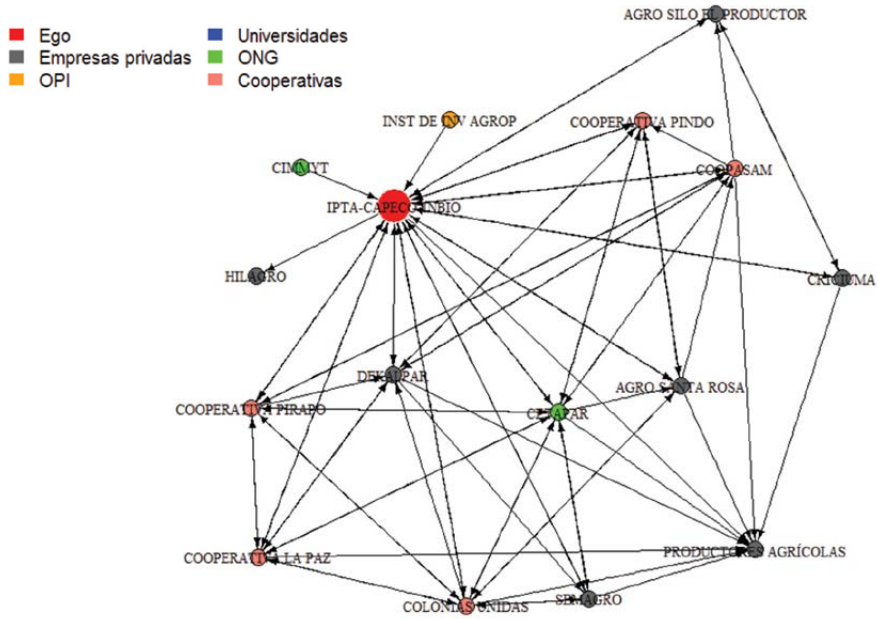


Los vínculos que se desarrollan en esta subred (Fig 2), responden a los procesos de investigación y desarrollo llevada adelante por el Ego de la Red. Se relacionan a las observaciones y las evaluaciones básicas sobre el comportamiento de los materiales genéticos realizados en los campos experimentales, empresas privadas y las cooperativas de productores, tales como la resistencia a las enfermedades, tolerancia a la acidez del suelo, peso de mil semillas, cantidad de proteínas, rendimientos, etc. Asimismo, los análisis físicos – químicos y reológicos de los materiales genéticos realizados en los laboratorios de los actores copartícipes privados. Posteriormente, la sub-red ha incluido a nuevos actores calificados como son las Universidades y los Institutos de Investigación Agrícolas Regionales.

En el ámbito internacional, el programa se relaciona con institutos de investigación de varios países de la región y de los Estados unidos.

SUB-RED DE DIFUSIÓN DE CONOCIMIENTOS EXISTENTES

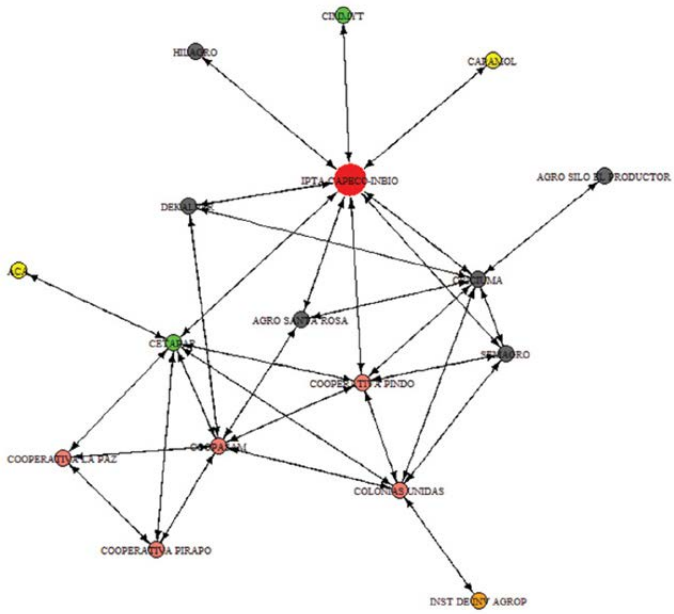
Figura 3. **Sub-red: difusión de conocimientos existentes**



Los vínculos en esta sub-red (Fig 3), se dan a través de distintas formas de aprendizajes de los conocimientos existentes y de las innovaciones, bajo las formas de los días de campos, de capacitaciones (charlas técnicas y seminarios) y de los ensayos y experimentación. Además, se puede identificar intercambios directos entre los actores copartícipes sin que el Ego intervenga entre ellos. Los Seminarios del Programa se realizan cada dos años, bajo el nombre de "Del grano al pan", con la participación de expertos nacionales e internacionales.

SUB-RED DE INTERCAMBIO INFORMAL DE CONOCIMIENTOS

Figura 4. **Sub-red: intercambio informal de conocimientos**



La tercera sub-red de conocimiento (Fig. 4), incluye los vínculos de Intercambio Informal de Conocimientos sobre diversos aspectos de interés y que son claves para el desarrollo del conocimiento y la innovación. Los conocimientos están relacionados al comportamiento de las nuevas variedades en otros campos y en otras regiones, el manejo de cultivo, plagas y enfermedades, y otros aspectos generales. En esta sub-red tienen una activa participación los investigadores, el Ego y la ONG Cetapar.

CAPACIDADES DE LOS ACTORES DE LA RED

Cuadro 1. **Capacidades de los actores de la red**

Tipo de Institución	Cantidad de Empleados	Profesionales		Diversidad de Conocimientos %
		Cantidad	%	
Cooperativas de producción	1.825	197	11%	60%
Empresas agrícolas	612	113	18%	56%
Organismos de Investigación (público)	573	154	27%	80%
ONG	24	10	42%	60%

Los datos presentados en el Cuadro 1 muestran las capacidades de los actores de la Red, en sus recursos humanos calificados y niveles de conocimientos. El total de recursos humanos utilizados se desglosa de la siguiente manera: 60% (1825) en las cooperativas de productores, 20% (612) en las empresas privadas, 19% (573) en el organismo público de investigación y 1% (24) en la ONG. Respecto a la formación profesional, el 16% de los empleados de la red son profesionales, lo cual indica la existencia de un porcentaje relativamente bajo de profesionales, excepto en la ONG y el IPTA.

PROPIEDADES DE LA RED ENTREVISTADA Y SUBREDES POR TIPO DE VÍNCULO

En el Cuadro 2 se observan las propiedades estructurales de la red de entrevistados y de las subredes por tipo de vínculo como ser la densidad, la transitividad y las medidas de centralidad.

Cuadro 2. **Propiedades estructurales de la red de trigo en Paraguay**

Red de actores entrevistados	Cantidad de nodos	Cantidad de Vínculos	Densidad	Transitividad
Red Completa	12	162	65,2%	75,7%
Subred RAD	2	2	1,5%	-
Subred CI	0	0	0,0%	-
Subred AT_TT	8	10	15,2%	0,0%
Subred CAP	12	17	24,2%	20,0%
Subred EYE	11	21	24,2%	21,8%
Subred IIC	12	54	40,9%	47,0%
Subred CC_E	0	0	0,0%	-
Subred OV	11	58	48,5%	64,6%

Referencias:
RAD: Investigación y Desarrollo EYE: Ensayos y experimientación
CI: Contratos de Investigación IIC: Intercambios Informales de Conocimiento
AT_TT: Asis tencia Técnica / Transferencia de Tecnología CC_E: Capacita ción conjunta / Extensión
CAP: Capacitación

Fuente: **Encuestas Semi-Estructuradas ID-CADEP, 2014**

La densidad de la red se calcula mediante el cociente entre la cantidad de vínculos existentes y la cantidad total de vínculos posibles, que alcanza un valor de 65,2%. Más de la mitad del total de los vínculos posibles en la red fueron establecidos efectivamente, por lo que existe una alta conectividad en la red.

La transitividad de una red se calcula como el cociente entre la cantidad de triadas de actores vinculados entre sí y la cantidad máxima de casos posibles en la red. Esta propiedad estructural indica el grado de cohesión social existente, y en el caso de esta red es elevado, siendo el resultado un valor de 75,7%.

Medidas de Centralidad de la red (Cuadro 3), expresan la posición que ocupa un actor en la red según ciertos parámetros predefinidos. Estos parámetros están relacionados con los Grados: de Centralidad, Intermediación, Cercanía, y de Vector Propio.

Cuadro 3. **Propiedades estructurales: Medidas de Centralidad**

Actor entrevistado	Grado de Centralidad		Centralidad de Intermediación	Centralidad de Cercanía	Centralidad de Vector Propio
	Grado de Entrada	Grado de Salida			
IPTA-CAPECO-INBIO (EGO)	11	11	0,24	1,00	1,00
Semagro	6	5	0,00	0,69	0,62
Hilagro	1	1	0,00	0,52	0,13
Cetapar	7	9	0,04	0,85	0,82
Agro Santa Rosa	6	5	0,00	0,69	0,62
Dekalpar	7	8	0,03	0,79	0,78
Cooperativa Pindo	8	8	0,02	0,79	0,83
Colonias Unidas	10	10	0,06	0,92	0,98
Cooperativa La Paz	6	6	0,00	0,69	0,67
Criciuma	7	6	0,01	0,73	0,69
Coopasam	8	8	0,02	0,79	0,83
Cooperativa Pirapo	6	6	0,00	0,69	0,67

En conjunto IPTA/CAPECO/INBIO presenta el mayor grado de centralidad, tanto de entrada (11) como de salida (11).

Centralidad de Intermediación: indica el número de veces en que un actor aparece en el camino geodésico (camino más corto) que une a otro par de actores. IPTA/CAPECO/INBIO posee el mayor grado de intermediación de la red de conocimiento, cuyo resultado (de 0 a 1) es un valor de 0,24.

Centralidad de Cercanía o de proximidad: mide la capacidad que tiene un actor de alcanzar al conjunto de actores de la red, es decir mide cuan próximo se encuentra un actor del resto de los actores de la red. IPTA/CAPECO/INBIO presenta el mayor grado, cuyo resultado (de 0 a 1) es un valor de 1,0, por lo que se encuentra más próximo a todos los demás actores de la red, pudiendo conectarse con todos con mayor facilidad y sin necesidad de pasar por una serie de intermediarios.

Centralidad de vector propio: indica la posición que tiene un actor en la red, tomando en cuenta la posición de los demás actores a los cuales éste está conectado

La relación con los industriales es una parte importante del Proyecto Trigo Nacional.

Foto: Hilagro S.A.

IMPLICANCIAS DE POLÍTICAS

En primer lugar, es necesario que el Estado tome la iniciativa de desarrollar políticas de innovación orientadas a la sustentabilidad del sector agrícola en el país, mediante el uso de redes de conocimiento. Estas redes deben ser reconocidas y aceptadas como un importante instrumento facilitador para el desarrollo de innovaciones en el sector de recursos naturales, ya que en ella participan y cooperan, en conjunto, una diversidad de actores. Se hace necesario promover iniciativas para fortalecer este tipo de organizaciones (redes), promocionar la inclusión de una mayor cantidad y diversidad de actores que cumplan diferentes roles y funciones, para alcanzar sus objetivos comunes, y lograr así la sostenibilidad de la misma.

Segundo, se deben fomentar políticas que promuevan la creación de espacios en la red, en donde los investigadores tengan la posibilidad de interactuar con los actores interesados, a los efectos de identificar sus necesidades y alentar la participación y el involucramiento activo de los mismos en el proceso de investigación-innovación.

Tercero, con el propósito de incentivar la activa participación de los actores copartícipes en los procesos de innovación, se requiere que estos tengan suficientes capacidades en recursos humanos especializados. Para ello, se deben promover programas de capacitaciones y de formación de recursos humanos, con el fin de incrementar sus conocimientos y habilidades.

Cuarto, se debe promover y crear nuevas formas de aprendizaje colectivo para difundir los resultados de innovaciones de manera más eficiente y eficaz. Estos mecanismos de aprendizajes pueden ser de distintas naturalezas, y de carácter formal o no.

También es importante incorporar el aprendizaje durante el proceso de investigación, como se ha visto en el caso de este estudio, donde se han realizado los ensayos y experimentación en campo y laboratorios de los diferentes actores. Asimismo, se deben promover iniciativas para fortalecer la organización de la red de innovación y mejorar su gobernanza. En el caso de este estudio, el papel del Asesor Externo ha sido fundamental.

En resumen, el Estado debe definir una política de priorización sectorial del fomento de la innovación vía conformación de las redes. También deben ser definidos los criterios de priorización sectorial para el aumento de la productividad y la calidad de los rubros seleccionados.

El incremento del rendimiento requiere el uso de todas las tecnologías en el futuro.

Los Próximos 50 Años del Trigo en Paraguay: Retos y Oportunidades

Next 50 Years of Wheat in Paraguay: Challenges and Opportunities

Man Mohan Kohli

Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas, CAPECO
Av. Brasilia 840, Asunción, Paraguay

mmkohli@gmail.com

RESUMEN

Si los avances en la producción del trigo en la última década en el Paraguay han logrado algo, es desacreditar la creencia de que este cultivo no se podía producir en el país. Sin embargo, los efectos de la temperatura y humedad, que eran los factores limitantes desde el inicio de su producción, van a agravarse más por los cambios climáticos pronosticados. Más allá del calentamiento global, son los eventos extremos como la sequía, exceso de precipitación, granizo, heladas etc. los que representan estos retos futuros. Se necesitará utilizar todos los conocimientos y avances científicos para lograr incrementar la producción de una manera estable y sostenible. Los cambios tecnológicos y las innovaciones en la biotecnología, junto con la decodificación del genoma del trigo, permiten la identificación de genes específicos responsables del control de la temperatura, estrés hídrico, resistencia a las enfermedades, calidades deseadas, etc. Estos avances están acompañados por una serie de nuevas tecnologías que posibilitan las modificaciones específicas del genoma recién desarrolladas y que serán de gran apoyo para los programas de mejoramiento a nivel mundial. La relación entre genotipado y fenotipado están cada vez más cerca del mejorador y abren las posibilidades de manejar las poblaciones como nunca. La biología, especialmente la de los hongos, bacterias y virus, también está dando grandes pasos hacia la formación de nuevos fertilizantes y estimulantes de crecimiento del cultivo como en el control biológico de insectos y enfermedades. Al mismo tiempo, hay avances en los equipos y el manejo de la agricultura de precisión que permitirán un mejor uso de los insumos. Por el lado del consumidor, hay exigencias para que el producto que consumen no sea nocivo para la salud

y que proporcione una mejor nutrición. Todos estos avances y/o exigencias requieren una fuerte y continúa apuesta a la investigación nacional, capacitación de los recursos humanos y formación de redes de colaboración con los centros de avanzadas, sea a nivel regional o mundial. Los retos a la producción nacional de trigo en los próximos 50 años tienen un gran aliado en la ciencia.

ABSTRACT

In case the success of wheat production in Paraguay has achieved anything during the last decade, it is discrediting the belief that the crop could not be produced in here. However, the effects of temperature and humidity, which were the limiting factors from the start, will be further aggravated by foreseeable climatic changes. Beyond global warming, extreme events such as drought, excess precipitation, hail storms and frost etc., represent these future challenges. It will be necessary to use all knowledge and the scientific advances to achieve future production increases in a stable and sustainable manner. Technological advances and innovations in biotechnology, along with the decoding of the wheat genome, allow the identification of specific genes responsible for temperature control, water stress, resistance to diseases and pests and desired qualities traits, etc. All these advances are accompanied by a series of new technologies that enable the genome-specific modifications or editing which will be of great support for breeding programs worldwide. The relationship between genotyping and phenotyping are increasingly closer to the breeder and open the possibilities of managing populations as never before. Biology, especially that of fungi, bacteria and viruses, is also taking great strides towards the formation of new fertilizers and stimulants of crop growth as well as for biological control of insects and diseases. Simultaneously, there are advances in equipment and the management of precision agriculture that will allow a better use of inputs. On the consumer end, there are requirements that the product to be consumed is not harmful to health but also provides better nutrition. All these advances and / or demands require a strong and continuous commitment to national research, training of human resources and formation of collaborative networks with the advanced centers, either regionally or globally. The challenges of wheat production in Paraguay over the next 50 years have a great ally in science.

Visita al campo del Sr. Maximino Lazzaroto, de Molino Harinero D' Italia.

INTRODUCCIÓN

Es una alegría que estemos celebrando los 50° Aniversario del Programa de Investigación de Trigo en el Paraguay ya que puede ser el momento para reflexionar sobre los hechos del pasado. En primer término, los avances en producción triguera logrados durante este periodo han dejado atrás la creencia que el ambiente nacional no era apto para el cultivo de trigo debido a las altas temperaturas y otros estrés climáticos y bióticos, entre estos las enfermedades. No cabe duda, que estos limitantes siguen presentes, pero los avances tecnológicos y el compromiso de los productores han hecho que el país sea autosuficiente en la producción del cereal y exporte una cantidad pequeña cada año. Sin embargo, los logros de los últimos 50 años, deben ser mantenidos y mejorados para que el país siga contando con mayor y mejor producción en el futuro. Es este reto que se va a tratar en este trabajo y explorar los avances que hay en la ciencia y tecnología que pueden considerase aliados para lograr el objetivo.

Considerando la presencia de muchos estudiantes y técnicos jóvenes, la pregunta de qué va pasar en los próximos 50 años o que es lo que puede pasar es importante, para que ellos estén preparados; no solamente ser un ingeniero agrónomo, para tomar un cargo, para vender fertilizante o herbicidas o para vender un pesticida. Con eso no quiere decir que el negocio no sea importante, sino para abrir la mente y ver los avances de la investigación en el mundo. La ciencia está evolucionando a un ritmo más veloz de lo que aprendimos en los libros actuales en las universidades o bibliotecas.

Es importante recalcar al inicio, que habrá un tercio más de bocas que alimentar en 2050 y que se necesita incrementar la producción de alimentos en un 70 por ciento en los próximos 30 años (Fig. 1). Es un reto que el rendimiento de trigo debe aumentar de 3,7 a 4,2 tn/ha., durante los próximos años, y no es solo en este cereal, sino todos los demás que son la base alimentaria de una mayor parte de la población mundial. Es ahí, donde el papel de cada país, chico o grande, es importante.

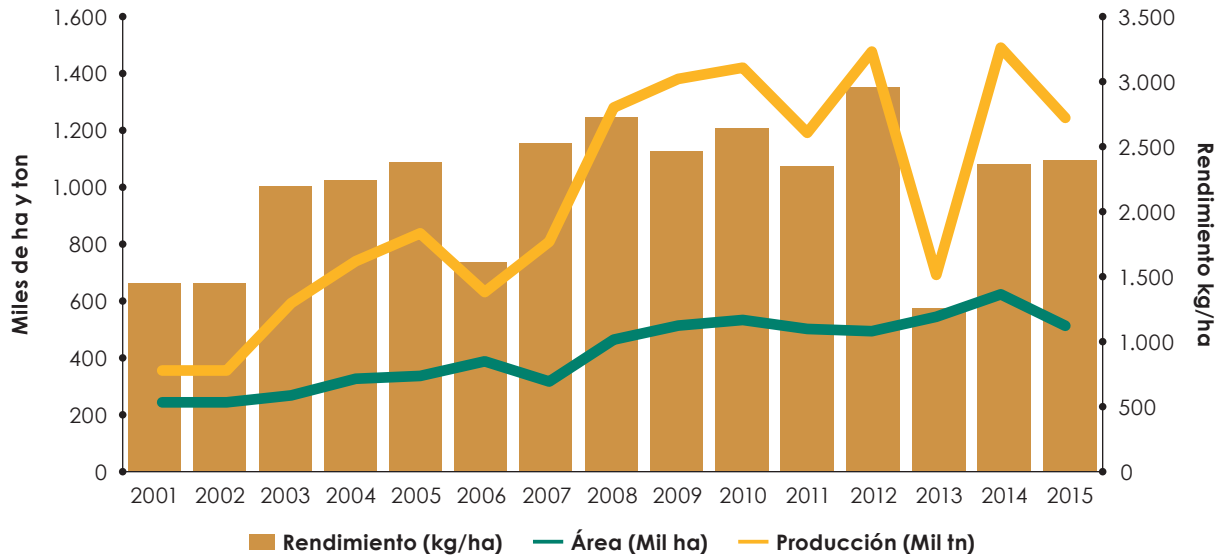
Figura 1. **Requerimiento de la producción alimentaria hacia 2050**

La contribución del Paraguay en proveer la seguridad alimentaria mundial es muy importante, pero no se puede quedar con los laureles que hoy alimenta a 50 millones de personas. Paraguay tiene la capacidad, los recursos naturales y la tecnología para dar de alimentar a mucho más que 50 millones de personas. Y si fuese así, los jóvenes tienen una responsabilidad para capacitarse en los temas que pueden ser importantes en el día de mañana.

AFIANZAR LOS AVANCES LOGRADOS

No hay duda que es imprescindible afianzar los avances ya logrados. Paraguay, junto con otros países del Cono Sur, ha logrado grandes avances en adoptar y establecer la Siembra Directa en gran parte de su territorio. Es algo muy bueno lo de proteger el suelo y Paraguay es uno de los líderes mundiales en realizarlo. Entre 80 a 90 por ciento de toda la producción de granos paraguayos se produce bajo siembra directa. Sin embargo, recientemente hay una preocupación seria sobre la calidad de la siembra directa. De la misma manera, la producción de trigo en Paraguay ha incrementado de unas 300 mil Toneladas de trigo a principios de los años 2000, a más de un millón o un millón trescientas mil toneladas (Fig. 2). Es muy necesario afianzar eso, porque tal como paso con la calidad de siembra directa mencionada antes, o inclusive con la producción de trigo en la década de los 90s, cualquier descuido, menor que sea, puede tener impactos negativos. En otras palabras, no se puede dejar que se pierdan los logros ya alcanzados.

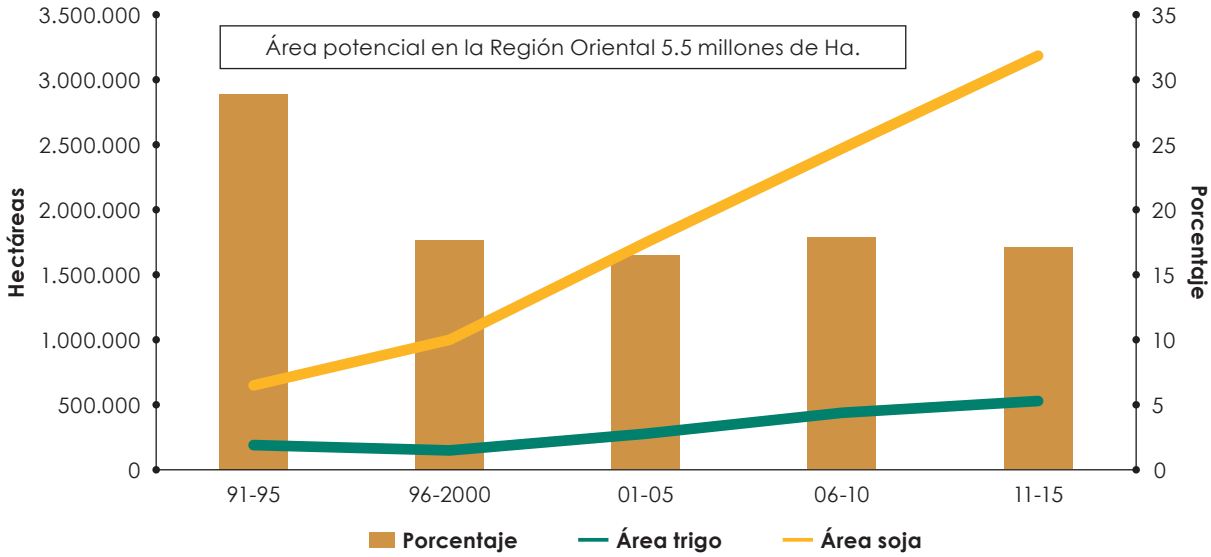
Figura 2. **Avances en la producción de trigo en Paraguay**



Fuente: **CAPECO**

Para reforzar el argumento habrá que analizar lo que ha pasado con la superficie de trigo en comparación con el área bajo soja (Fig. 3). La gráfica muestra que, desde la década de 90s, la superficie del cultivo de soja ha aumentado de unas 600 mil hectáreas a casi 3,3 millones de hectáreas actuales. La superficie del trigo que fue casi 200 mil hectáreas en los 90s, hoy llega a un poco más de 500 mil hectáreas. Hay una gran brecha en la tasa del crecimiento entre los dos cultivos. En el periodo 91 a 95, el trigo representaba casi un 30 por ciento de la superficie de soja, y hoy es solo 16 a 17 %. Este hecho, no solo es negativo desde el punto de vista de las rotaciones, sino actúa contra la economía nacional y de los productores. Así que hay un lugar donde Paraguay puede aumentar la superficie de trigo, porque durante los meses de invierno no hay otro cultivo que sea más rentable. En resumen, lo primero e importante es una duplicación de esta área de trigo para llegar al 30 por ciento de la superficie bajo soja. Cabe señalar que llegar a ese nivel no es un tema utópico, porque el área potencial de la soja en el país es de casi 6 millones de hectáreas; así que la superficie de soja todavía va aumentar y detrás de eso el trigo debe aumentar.

Figura 3. **Evolución del área bajo cultivos de soja y el trigo entre 1991 y 2015**



Fuente: **CAPECO**

FACTORES A CONSIDERAR EN LOS PRÓXIMOS 50 AÑOS

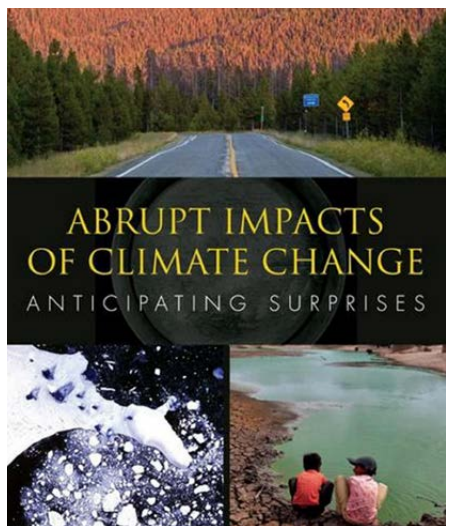
Si se considera un aumento de la superficie de trigo en el futuro, esto debe ser acompañado por la mejor tecnología disponible. La palabra mágica del futuro es cambio. Se vislumbran cambios climáticos, cambios tecnológicos, cambios informáticos, cambios en los hábitos de consumidores etc., que van a seguir tomando un ritmo mayor en el futuro. Lo que uno puede hacer es capacitarse y al mismo tiempo no olvidar al productor que finalmente tiene que adaptarse a esos cambios y adoptar nuevas tecnologías de producción.

Cambio climático

El trabajo del Ing. Eduardo Sierra trata este tema en mayores detalles, pero lo más preocupante de estos son los cambios climáticos abruptos; tanto de ecosistemas, de eventos climáticos y cambios en la disponibilidad de agua subterránea que son tan críticas para la agricultura (Fig. 4).

Figura 4. **Impactos abruptos del Cambio Climático: Anticipando sorpresas**

Los cambios abruptos en los ecosistemas, los eventos climáticos extremos y la disponibilidad de las aguas subterráneas, críticos para la agricultura, parecen ser mas afectados, severos e inminentes



THE NATIONAL ACADEMIES PRESS.

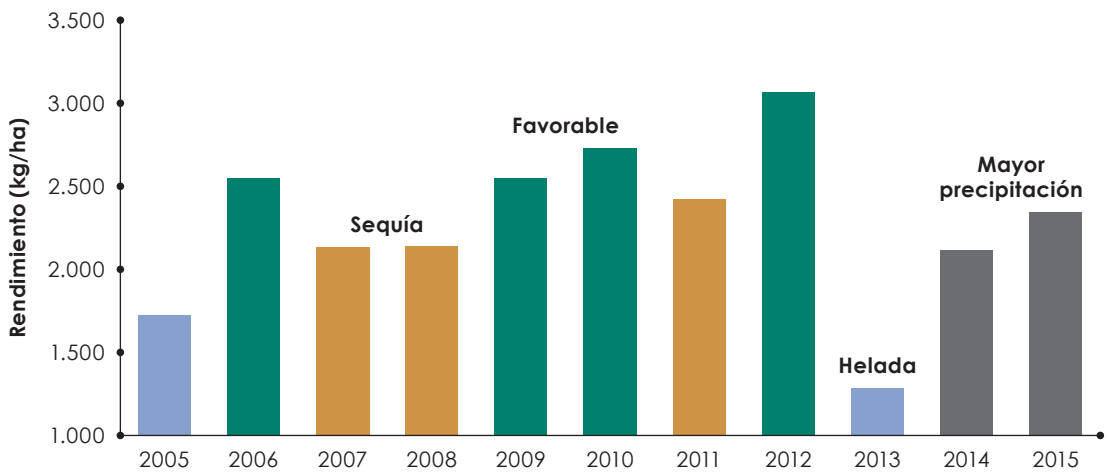
El último informe del National Academies Press y de la Asociación Mundial de Meteorología señala que estos afectos son severos e inminentes y ya están encima de nosotros. Sin embargo, una gran mayoría de los países no están preparados para contrarrestar sus impactos, especialmente de las inundaciones, sequías o fuegos forestales.

Un ejemplo de eventos extremos tuvimos recientemente durante una visita de campo en Pergamino, Argentina, donde un temporal vino sobre nosotros de forma repentina y a una velocidad increíble. Apenas, hubo tiempo para salir ya que en 5-7 minutos esa tormenta de granizo había llegado al campo de evaluación destruyendo las parcelas de trigo (Fig. 5). La sorpresa fue que duro solo 15 minutos, seguido por la salida del sol. Estos son los eventos abruptos que la agricultura puede sufrir con gran frecuencia.

Figura 5. **Tormenta repentina con granizo destroza parcelas de trigo**

Los factores climáticos que afectaron el rendimiento de trigo en Paraguay durante los últimos 10 años están presentados en la Fig. 6. Se puede ver que el trigo sufrió de la helada en el año 2005 y 2013, tuvo sequía en 2007, 2008 y 2011, y mucha precipitación en 2014 y 2015. Solo los años 2006, 2009, 2010 y 2012 pueden ser considerados favorables para la producción de trigo cuando los rendimientos llegaron entre 2600 a 3000 kg/ha, promedio nacional. En los años con estrés climático y dependiendo de la severidad, los rendimientos varían entre 2000 a 2300 kg/ha, excepto en los años de helada cuando pueden caer a niveles de 1200 – 1300 kg/ha. Sobre los diez años, el rendimiento promedio

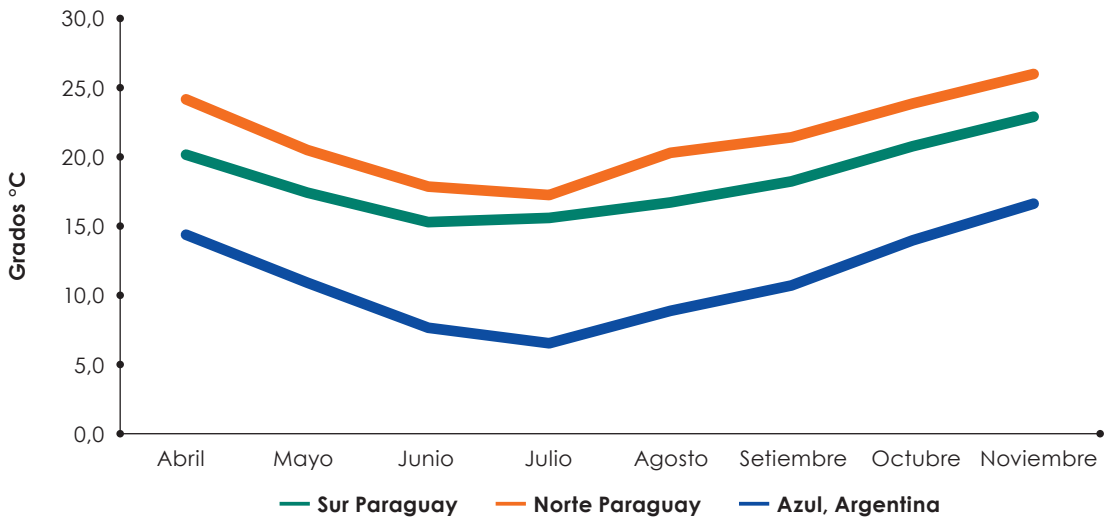
Figura 6. **Factores climáticos y el rendimiento del trigo en Paraguay, 2005-15**



fue de 2.366 kg/ha, que es 10% más que el costo promedio del productor, lo que puede llegar a ser una limitante en el futuro. La variación de condiciones climáticas no solo afecta el rendimiento del cultivo, sino también la calidad de grano producido, lo que puede ser otro factor negativo ya que una parte importante de la producción es exportada y puede tener repercusión en el mercado.

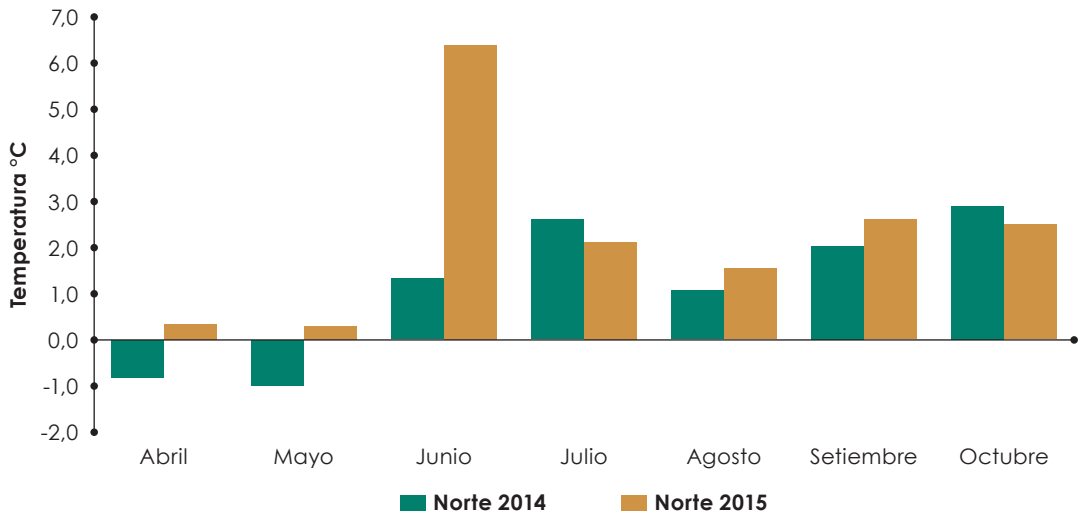
El tema de la temperatura alta durante el invierno o calentamiento global es un aspecto que se debe seguir con mucha cautela. La temperatura media de una región productora (Azul, Argentina), en el corazón del área triguera, y su comparación con las temperaturas del Norte y Sur de Paraguay están presentadas en la Fig. 7. Se puede apreciar un diferencial de temperatura entre un 3˚ a 5 ˚C más en Paraguay, lo que requiere una adaptación específica para ambos ambientes. Y esto, sin tener en cuenta lo que puede ser en el futuro debido a los cambios climáticos.

Figura 7. **Temperatura media durante el cultivo de trigo**



Una señal de este cambio se puede ver por la anomalía de temperatura durante los últimos dos años sobre el promedio de casi 40 a 50 años de datos (Fig. 8). Durante los ciclos 2014 y 2015, hay un aumento de entre 2 y 6˚C más de temperatura sobre la media en la región Norte (Canindeyú) del país. Aunque las condiciones particulares de dos años sobre los 50, no son representativas, solo alertan lo que puede venir en el futuro para tomar las medidas necesarias.

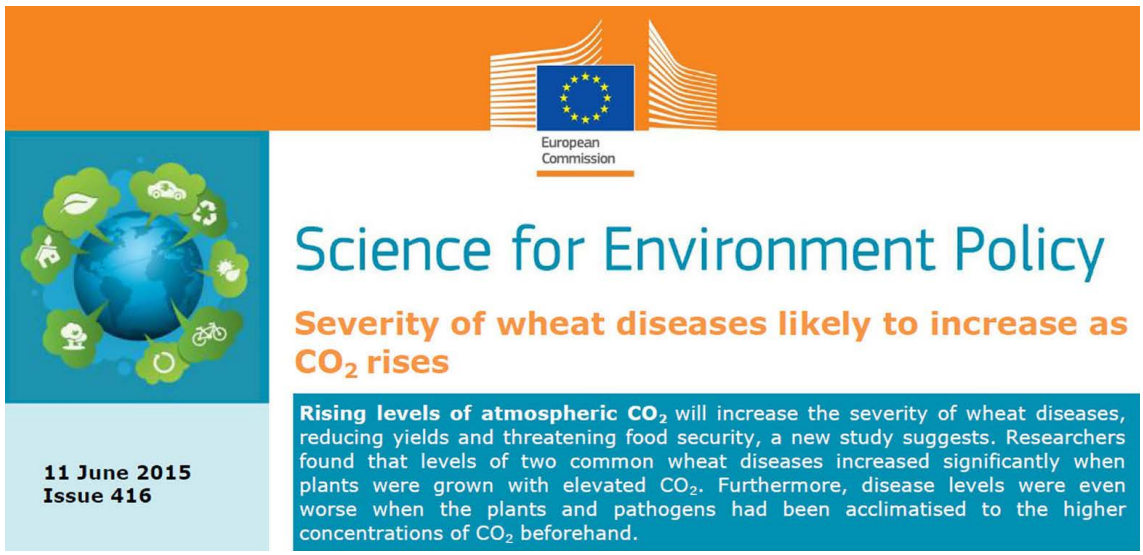
Figura 8. **Anomalías anuales de la temperatura durante el ciclo de trigo**



¿QUÉ EFECTO PUEDE TENER EL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL TRIGO?

El informe de la Comisión Europea sobre Ciencia para la Política Ambiental señala un aumento en la severidad de las enfermedades relacionada al aumento en los niveles de dióxido de carbono (CO_2) en el ambiente (Fig. 9). Los datos presentados en este estudio que fueron publicados muestran aumento en dos enfermedades, Fusariosis de la espiga y Septoriosis.

Figura 9. **Impacto del Cambio Climático sobre las enfermedades de trigo**



Fuente: **Issue 416, 11 June, 2015**

En el estudio, dos variedades, una resistente y otra susceptible, fueron aclimatadas o no al doble de dióxido de carbono (CO_2) bajo condiciones controladas, para usar la semilla. También fueron adaptados los hongos al doble de dióxido de carbono (CO_2) y que fueron utilizados en inoculaciones forzadas. Los resultados de la infección con Fusariosis de la Espiga, importante en Paraguay, están resumidos en el Cuadro 1 (Fig. 10). Uso de un hongo adaptado a mayor cantidad de dióxido de carbono (CO_2) sobre una variedad adaptada a dióxido de carbono (CO_2) resulta en la pérdida de 76% en número de granos y 59% en peso de granos en la variedad susceptible. Pero lo importante del estudio es el incremento del 28% de infección en la variedad resistente y que pierde 27% en número de granos y 20% en peso de granos. En otras palabras, el mayor nivel de dióxido de carbono (CO_2) en el ambiente puede requerir un mayor nivel de resistencia para una enfermedad tan problemática, como es la Fusariosis de la Espiga.

Figura 10. **Impacto de la concentración de CO_2 sobre la Infección de Fusariosis de la Espiga**

Genotipo*	Incremento infección (%)	Pérdidas (%)	
		Número de granos	Peso de granos
Susceptible	-	76	59
Resistente	28	27	20

* Concentraciones de CO_2 de 780 ppm por volumen (ppmv).
Controles en concentraciones ambientales de 390 ppmv

Fuente: **Global Change Biology (2015) 21, 2661–2669, doi: 10.1111/gcb.12899**

Por otra parte, la enfermedad Pyricularia o brusone, causada por *Pyricularia oryzae*, ya es un limitante serio para la expansión de trigo en las regiones tropicales de Paraguay, Bolivia, Brasil. El campo de 1100 hectáreas mostrado en la Fig. 11, cosecho solo 150 kg/ha de trigo por causa de brusone, en 2014. No fue solamente este campo, sino que distintos niveles de infección de brusone causaron pérdidas significativas en alrededor de 50.000 hectáreas en 2014 y otras 20.000 hectáreas en 2015.

Figura 11. **Vista panorámica de la destrucción causada por Brusone en campos comerciales**

Pérdida total en Troncal 4, 2014

Por ahora, se conoce muy poca variabilidad genética para la resistencia a brusone y está identificada en la línea avanzada Milán, de origen CIMMYT. De acuerdo a un informe de la Universidad del Estado de Kansas, la resistencia de Milan es relacionada con la translocación de un segmento (2NS) de *Triticum ventricosum* en trigo y que puede bajar la infección del brusone hasta un 76%. Sin embargo, se han detectado varias cepas del hongo en Paraguay que son virulentos sobre Milan y otros materiales genéticos que contienen el segmento 2NS.

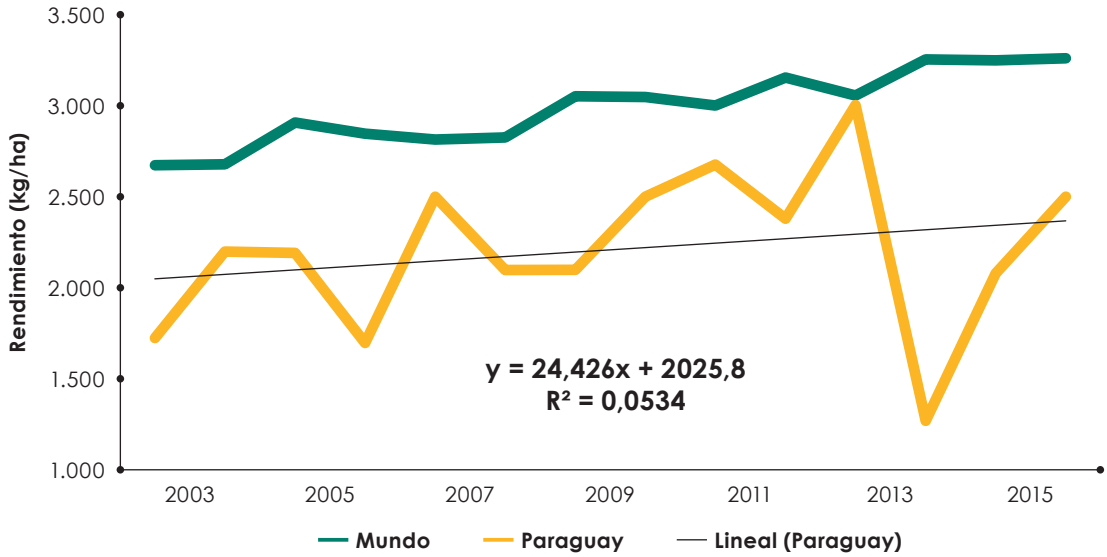
La roya del tallo es otra enfermedad que aprovecha las altas temperaturas y que ha sido importante en Paraguay. Últimamente las amenazas de la roya del tallo, especialmente en Argentina y Uruguay, están relacionadas con la introducción del germoplasma francés en las variedades comerciales. Para Paraguay y Brasil la raza UG99 (primero identificada en África) y sus derivados virulentos sobre la resistencia en *Sr31* y sus combinaciones, aunque no reportados en la región, pueden ser muy importantes considerando que un gran porcentaje del germoplasma local es susceptible. Cabe señalar, que el CIMMYT ha hecho avances significativos para introducir la resistencia a este grupo de razas de la roya del tallo en germoplasma de alto potencial de rendimiento que debe ser aprovechado por el programa de mejoramiento regional.

También se ha identificado una raza de roya amarilla adaptada a altas temperaturas en África y Asia y que ataca al germoplasma basada en la resistencia del gen *Yr27*. Aunque la roya amarilla o estriada no es un problema actual del trigo en el Paraguay, pero las pruebas realizadas con el material local en África muestran alta susceptibilidad. En otras palabras, los cambios climáticos y altas temperaturas tienen muchas incógnitas para el programa local que deben ser incorporadas en los preparativos futuros.

Los problemas de la alta temperatura no solo favorecen a las enfermedades mencionadas, sino también a la presencia o el aumento de los ataques de insectos. Actualmente, con los adelantos en la época de siembra de la soja, cuando el trigo todavía está en el campo, se ha observado problemas de chinches, tanto los chinches verdes (*Nezara viridula*) como los chinches marrones (*Euschistus heros*). Estos han causado daños directos sobre espigas, granos y calidad industrial; todo por el aumento de las altas temperaturas.

Los avances de rendimiento durante los últimos 10 a 12 años son impresionantes, a una tasa de 2.5 % por año, Fig. 12. Durante los últimos tres años esta tasa se ha reducido a 1 % debido al fracaso del año 2013, pero aun igual al avance de promedio mundial. Esta tasa reducida no es suficiente porque aún tenemos mucho espacio para seguir creciendo a una tasa de 2% anual. Sin embargo, con los

Figura 12. **Avance en el rendimiento del trigo**



cambios que fueron mencionados anteriormente, sean de clima o los estreses bióticos, deben ser manejados con cautela para tener mejores materiales genéticos y la tecnología de producción apta y adaptadas al nuevo escenario.

Los retos en este caso son entender mejor las interacciones del genotipo, ambiente y el manejo. El Dr. Rajaram señaló muy bien cómo hay que manejar todo esto y por supuesto seguir desarrollando tecnologías adaptativas elásticas. No se puede tener tecnologías inestables, que estén bien un año y el siguiente no; que en condiciones de sequía este bien y en condiciones de mucha lluvia no. Es un reto desarrollar tecnologías que sean adaptadas, fáciles de adoptar y sobretodo económicamente y ambientalmente sostenibles.

CAMBIOS TECNOLÓGICOS

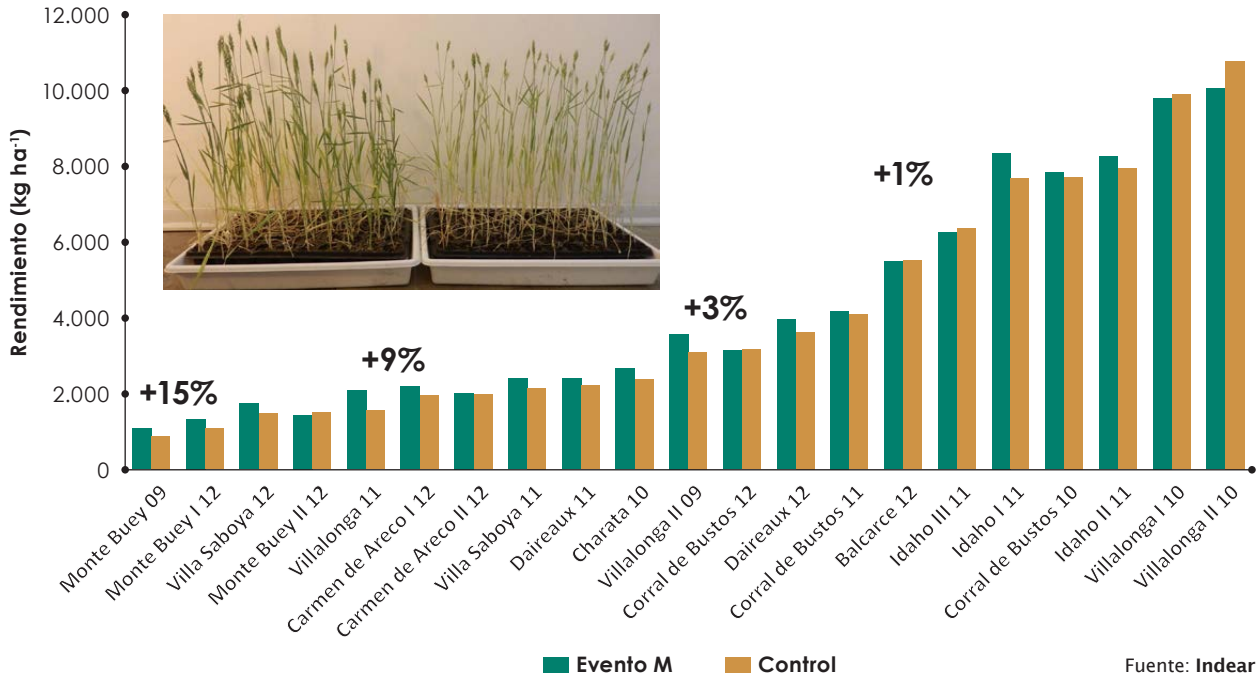
Biotecnología

En cuanto a las tecnologías, no hay duda que la biotecnología está dando pasos gigantescos para apoyar los avances de mejoramiento y desarrollo de nuevos materiales genéticos con rasgos novedosos. El Dr. Ravi Singh, junto a un equipo grande de científicos, han clonado el *Lr67*, que es llamado "gen mágico" porque controla oídio, roya de la hoja, roya del tallo, roya estriada y posiblemente algo más.

Recientemente se ha observado un gran auge en las clonaciones de genes para características específicas en diferentes cultivos. Algunos ejemplos, que pueden ser importantes para el mejoramiento de trigo incluyen, el gen para resistencia al calor en arroz, el gen que otorga tolerancia a la sequía en la cebada, la secuencia del gen de fitasa para activar o utilizar el fosforo fijado en el suelo etc. La genética ya está disponible, solo falta introducirlas en genotipos correctos y los ambientes reactivos para evaluar si se pueden expresar o no.

En el caso de sequía y salinidad, el grupo INDEAR/BIOCERES en Argentina ha utilizado el gen Hahb4, de origen girasol. Este gen ya fue introducido en el trigo, soja y maíz por ahora. Es un gen de transcripción que no causa ningún tipo de castigo cuando el rendimiento es alto, pero se activa bajo condiciones de sequía proporcionando hasta 15% más de rendimiento en trigo (Fig. 13). Se puede ver en la gráfica que el aumento del rendimiento en condiciones de la sequía es del 15%, y cuando está parcialmente seco el aumento es del 9% y ahí en adelante no hay castigo en el rendimiento. Además de la sequía, el Hahb4 también otorga tolerancia a la salinidad, que puede ser utilizada en millones de hectáreas pérdidas por la salinidad en Asia y África.

Figura 13. **Rendimiento promedio de trigo transgénico Hahb4, tolerante a sequía, 2009-12**



Fuente: **Indear**

Considerando que es un trigo transgénico, aún falta un camino largo hasta que llegue al campo y el mercado. Pero lo interesante es que la transgénesis en trigo es exitosa en explorar caracteres complejos. Un ejemplo de este hecho es el trigo transgénico que expresa UDP-glucosiltransferasa de cebada, que detoxifica el deoxinivalenol (DON), y otorga altos niveles de resistencia a *fusarium graminearum.* En el campo, el transgénico tiene niveles de infección de la Fusariosis comparables con la variedad resistente Sumai 3 y también reduce el DON. Aparentemente hay que usar la transgénesis como una de las herramientas para avanzar en caracteres difíciles y usarlas ya que son mejores.

La decodificación del genoma del trigo está abriendo nuevos caminos para dilucidar la genética de las características poco entendidas. Además de la decodificación, las nuevas tecnologías de edición de genomas disponibles son capaces de crear mutaciones específicas o cambios del ADN poco imaginados hasta ahora. No son una mutación en una especie diploide como cebada o arroz, sino que, en un hexaploide, que tiene tres genomas.

En un trabajo recién publicado en la revista Nature Biotechnology, un equipo de científicos chinos usó dos tecnologías, Nucleasas Efectoras similares a los Activadores de Transcripción (Transcription activator-like effector nucleases, *TALENs*) y sistemas de nucleasas asociados a repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente espaciadas (CRISPR)/Cas (sistema asociado a CRISPR), (TALEN y CRISPR-cas9), para crear mutaciones específicas y simultáneas en los tres genomas del trigo. El objetivo del trabajo fue crear un genotipo resistente al oídio y el grupo pudo introducir modificaciones en los tres genomas del trigo, A, B y D simultáneamente. Ellos identificaron que la combinación recesiva de los alelos en los tres genomas proporciona inmunidad al oídio en lugar de total susceptibilidad en el progenitor original (tipo silvestre). En resumen, la decodificación del genoma de trigo está proporcionando la base genética, y las tecnologías tienen la capacidad de modificarla de manera que sirvan a la humanidad. Es imprescindible utilizar las dos juntas.

Uso de colecciones mundiales

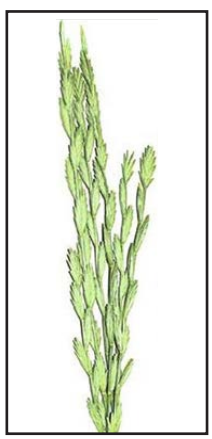
Hay un arca de genes no explorados en los bancos de germoplasma en el mundo (Fig. 14). Los bancos de germoplasma de trigo en Rusia, Turquía, Estados Unidos, India, Etiopia y Australia están llenos de colecciones, probablemente clasificadas, pero no exploradas en todo. Ahí está el acervo de genes para una gran parte de los estreses siendo buscados y que deben ser utilizadas con el apoyo de las nuevas tecnologías.

Figura 14. **Número de entradas en diferentes colecciones mundiales de trigo**

Major *Triticum* Collections		
Global	CIMMYT, Mexico	111.681
USA	USDA/ARS, Aberdeen, Idaho	56.218
Russia	NI Vavilov Res. Inst., St. Petersburg	39.880
Global	ICARDA, Syria	37.830
India	NBPGR, New Delhi	32.880
Australia	AWCC, Tamworth	23.917
France	INRA, Clermont-Ferrand	15.850
Iran	National Genebank, Karaj	12.169
Czech R	Res. Inst. Crop Production, Prague	11.018
Ethiopia	PGRC/IBCR, Addis	10.745

Por supuesto antes de explorar estas colecciones, será necesario desarrollar una base de datos de lo que está disponible y su caracterización agronómica. También hay que juntar los conocimientos fisiológicos, genéticos y agronómicos para seleccionar lo que puede servir para aumentar el rendimiento o mejorar la adaptación a los estreses. Hace varios años, el equipo del CIMMYT hizo un excelente trabajo sobre la contribución del gen *Lr19* proveniente del Thinopyrum ponticum. Ellos encontraron que este gen no solo era responsable para otorgar resistencia a la roya de la hoja, sino también mejoraba varios parámetros fisiológicos de la planta, que en su conjunto proporcionaban 15% más granos/m^2 y 13% más rendimiento (Fig. 15). ¿Cuantos más genes como *Lr19* no están identificados que puedan aumentar el rendimiento en un 13 %, y dónde están? ¿Quién las está buscando o utilizando? Con las tecnologías disponibles hoy, es una tarea pendiente, que puede cambiar el potencial y la adaptación del trigo no solo en las regiones trigueras, sino también en aquellas consideradas marginales.

Figura 15. **El impacto de la introducción de gen *Lr19* sobre características agronómicas y fisiológicas**



(Promedio de 6 pares de líneas isogénicas con y sin segmento de Thinopyrum ponticum, (Lr19), Reynolds et al 2000)

Conductancia estomática	**+ 21%****
Actividad fotosintética	**+ 22%****

Rendimiento	Lr19	+Lr19	%
Potencial de rend. (t/ha)	6.4	7.2	13**
Granos/m^2	16,000	18,300	15**
Peso seco de espiga (%)	18.6	21.3	15**

Productos eficientes de origen biológicos

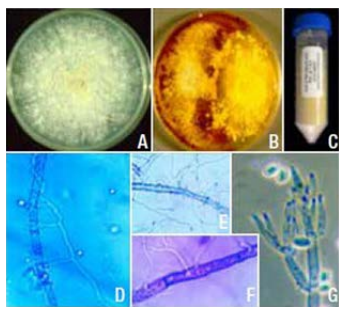
Los conocimientos y las tecnologías en el desarrollo de productos biológicos han logrado grandes avances. Los biofertilizantes son productos formulados en base a microorganismos benéficos del suelo, principalmente bacterias y/o hongos. Estos viven asociados o en simbiosis con las plantas y ayudan su nutrición de manera natural. Además de ayudarlos en crecimiento, son mejoradores de suelo que facilitan la fijación de nitrógeno o en el suministro del fósforo etc.

Al mismo tiempo hay avances notables en la disponibilidad de los bioestimulantes que, al aplicarse a las plantas, son capaces de mejorar su eficacia en la absorción y asimilación de nutrientes. La nueva generación de los bioestimulantes no solo promete mejorar la tolerancia de la planta a los estres abiótico o biótico, sino también a algunas características agronómicas. De igual manera hay avances en el desarrollo de productos que ayudan en el crecimiento, biodegradación o son factores de descomposición etc. La gran tarea es evaluar la eficacia de estos productos individualmente o en combinación con productos químicos para lograr la nutrición balanceada y económicamente viable.

Así como biofertilizantes, también hay biopesticidas, de origen biológico, organismos vivos o sustancias sintetizadas por ellos. Esto incluye los insecticidas y fungicidas en base a organismos vivos, como hongos, bacterias, virus etc. Aunque la gran mayoría de estas son bacterias, también hay productos derivados de hongos, como las de *Trichoderma* spp. o *Bacillus subtilis* etc.

Recientemente el Departamento de Agricultura y Agro Alimentos de Canadá hizo un trabajo sobre la identificación de *Clonostachys rosea,* que utilizado en combinación con Folicur, resultó capaz de reducir tanto el DON (a causa de la fusariosis de la espiga) como incrementar el rendimiento (Fig. 16). Este tipo de investigación confirma la utilidad de los biopesticidas, solo o en combinación con químicos, pero abre las posibilidades para seguir trabajando en esta área de investigación.

Figura 16. **Control de Fusariosis de la Espiga por *Clonostachys rosea* raza ACM 941**



Trat.	AUDPC	Severidad	Inf. granos	DON
	(% de disminución)			
ACM 941 + ACM 941	26.1	28.3	41	4.4
ACM 941 + Folicur	67	91.6	62.6	64.8
Folicur + Folicur	70.5	92.6	59	56

Fuente: **http://www.agr.gc.ca/resources/prod/doc/pmc/pdf/biofungicide_fs_en.pdf**

Todos estos trabajos de investigación no se pueden realizar solos; y para eso hay que crear redes, redes en conexión regional o internacional con grandes centros de tecnologías avanzadas. El Consocio Mundial de Arroz es un ejemplo dedicado a tratar de modificar el proceso fotosintético de arroz a C4 (Fig. 17). De la misma manera, el CIMMYT ha creado un Consorcio Mundial de la Piricularia de Trigo del cual Paraguay es una parte que conduce investigaciones colaborativas e intercambia resultados sin restricción. Dependiendo de las necesidades nacionales, se puede crear una red con los países del Cono Sur para atender problemas comunes y relacionar con instituciones de avanzada activos en el problema.

Figura 17. **Desarrollo de Consorcios Tecnológicos internacionales sobre objetivos específicos**

Cabe señalar que el desarrollo de los consorcios tecnológicos y la capacitación de los recursos humanos sigue siendo uno de los retos más importantes.

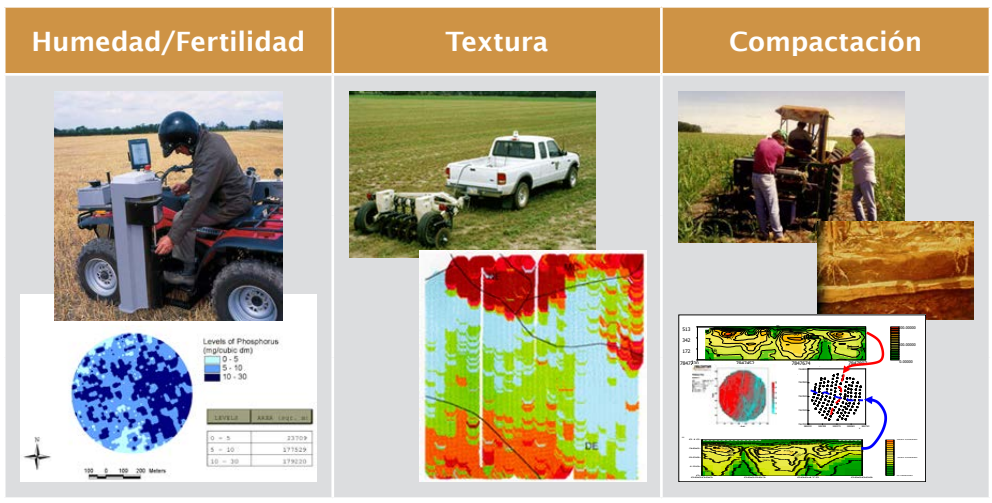
Agricultura de precisión, instrumentación e informática

Hay grandes avances en la instrumentación e informatización en la agricultura de precisión, optimización de máquinas e insumos (Figs. 18 y 19). Los instrumentos modernos y digitales para el análisis de suelo son más rápidos; sea para la humedad, fertilidad, o la textura o compactación etc.

Figura 18. **Avances en la Instrumentación y su uso en la Agricultura de Precisión**

Fuente: **http://www.deere.com.br/wps/dcom/pt_BR/products/equipment/agriculture_management_solutions/**

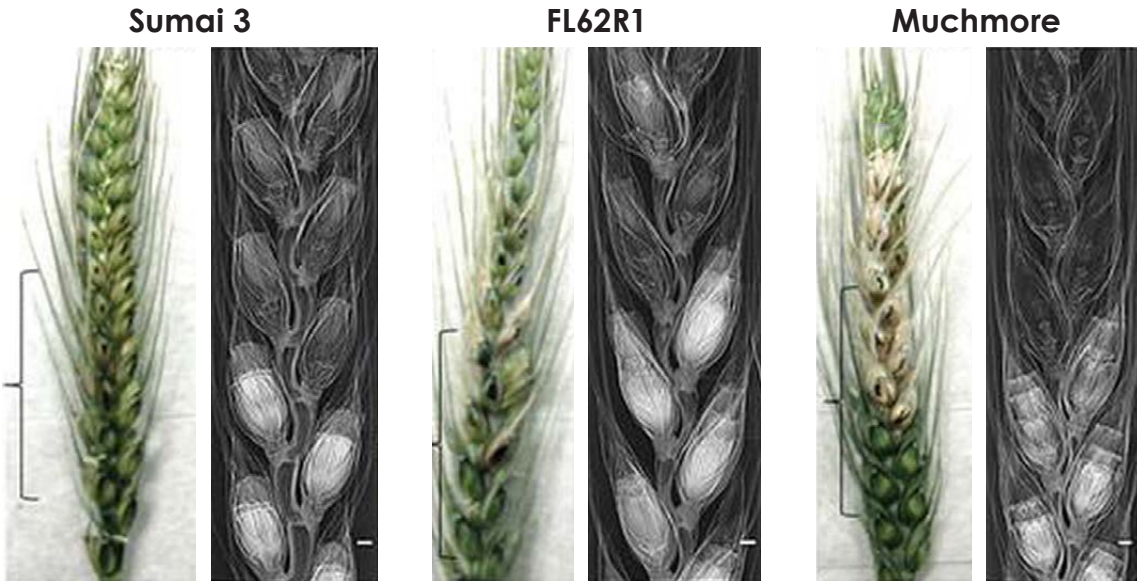
Figura 19. **Análisis de suelo mas rápido y a bajo costo**



Diapositiva: **Evandro Mantovani, EMBRAPA**

Un grupo de científicos canadienses han utilizado los rayos X de contraste basado en Sincrotron y la espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) para tomar fotos de las espigas de trigo infectadas por Fusariosis de la Espiga (Fig.20). Ellos pudieron revelar diferencias estructurales y biomoleculares en espiguitas que juegan un papel significativo en la resistencia a la Fusariosis en trigo. Si se puede validar este estudio, sirve de base para evaluar las espigas inoculadas o de infección de manera más precisa y rápida.

Figura 20. **Rayos X de contraste y Espectroscopía infra-rojo muestran diferencias estructurales y bio-moleculares en las espiguillas que juegan el rol en resistencia a la Fusariosis de la espiga**



Lahlali, Rachid, et al. "Synchrotron based phase contrast X-ray imaging combined with FTIR spectroscopy reveals structural and biomolecular differences in spikelets play a significant role in resistance to Fusarium in wheat." BMC plant biology 15.1 (2015): 24.

DOI: 10.1186/s12870-014-0357-5

¿Cuáles son las nuevas tendencias? Hoy hay creciente uso de vehículos aéreos a control remoto, analizadores de rendimiento, mapeos, recomendaciones variadas de siembra y manejo por punto en el campo (Fig. 21). Todos los avances tecnológicos o de instrumentación que están relacionados con satélites. Muchos de los programas y datos ya están disponibles en los teléfonos celulares. Existe la capacidad de hacer mucho más a través del teléfono, la tecnología que puede estar en el bolsillo del productor para ayudarlo a tomar una decisión en el momento preciso etc. Este progreso y la disponibilidad de nuevos equipamientos solo se va a mejorar en el futuro

Figura 21. **Aplicaciones agrícolas para el celular**

1. Vehículos aéreos a control remoto (UAVs)
2. Analizadores de rendimiento
3. Mapeos del campo (con GIS)
4. Recomendaciones variadas de siembra y manejo
5. Satélite/aéreo

Fuente: **http://www.croplife.com/equipment/precision-ag/2015-precision-agriculture-dealer-survey-top-four-trends-to-watch/**

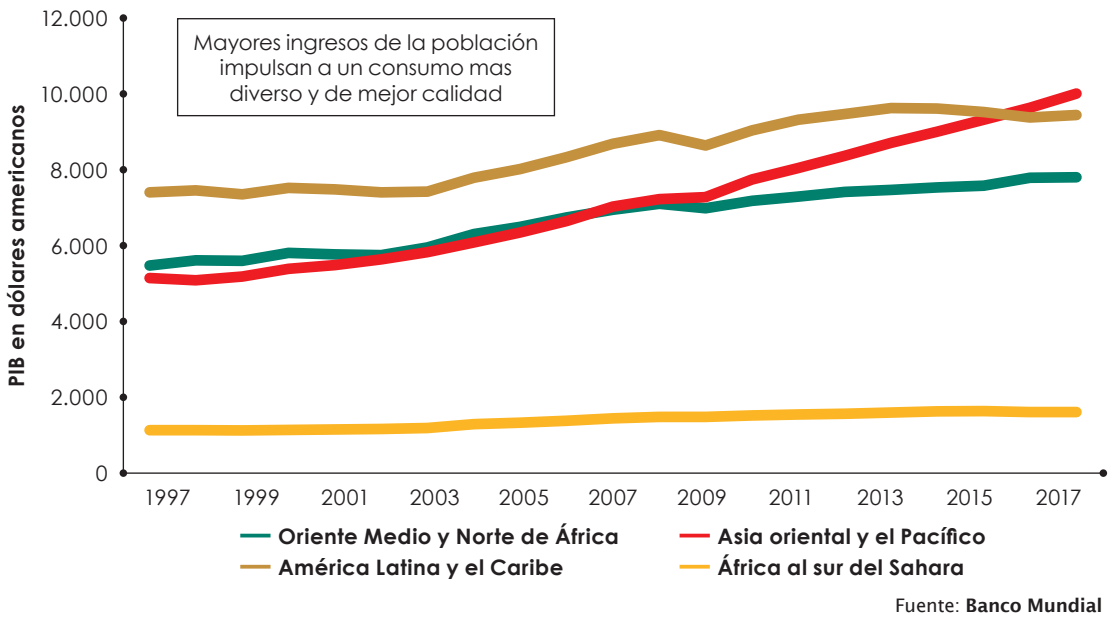
El reto principal aquí, no solo es tener un dato, sino como interpretarlo. Quien puede interpretar la resolución de los datos y hacer las recomendaciones adecuadas va a ser un grande reto para técnicos futuros.

En este sentido, los avances en la informática en manejo de mega-sets de datos sobre fecha de siembra, previsión meteorológica, topografía, características y humedad del suelo, datos de variedad, estado del desarrollo, mercado etc. van a ser de gran utilidad. Hoy día ya hay empresas privadas manejando estos datos para ayudar en la toma de decisiones y van a ser mucho más disponible en los próximos 50 años.

Cambios en los hábitos de los consumidores

El incremento de los ingresos en los países en vía de desarrollo es responsable para crear cambios en los hábitos de los consumidores (Fig. 22). El consumidor común o promedio ya no está satisfecho con el pan o la galleta como antes, sino que procura comida más diversa y de mejor calidad. Aunque del punto de vista global es una tendencia positiva, va a requerir muchos más esfuerzos tanto a nivel de investigación como de producción e industria.

Figura 22. **Cambios en el nivel de ingresos (PIB) de la población en diferentes regiones del mundo**



Fuente: **Banco Mundial**

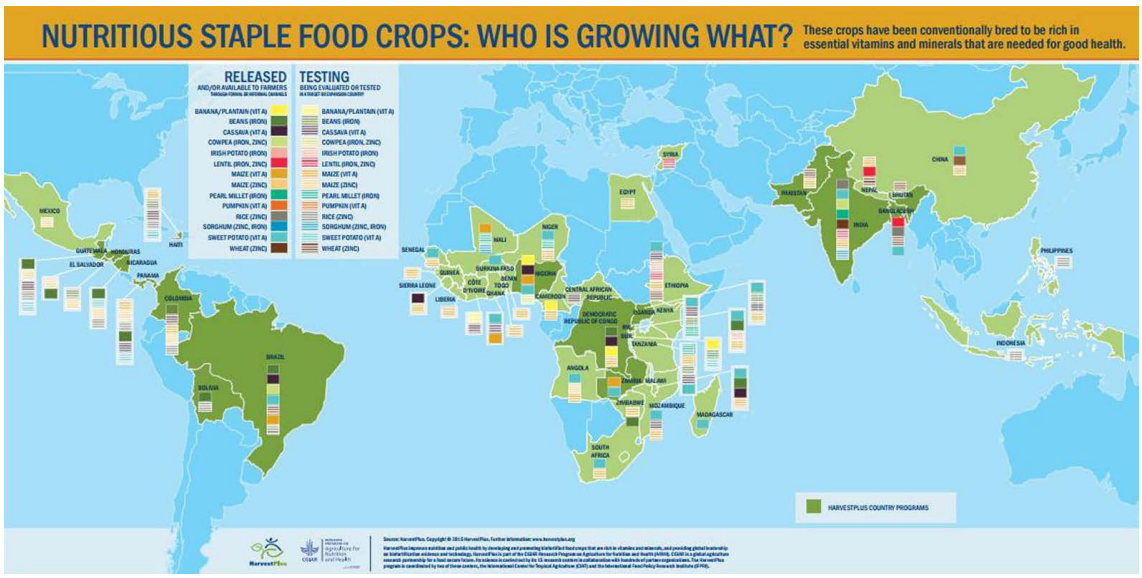
Junto a la tendencia de alimentos diversificados, hay gran preocupación en la población sobre la inocuidad de los alimentos consumidos. En este sentido, la presencia de micotoxinas naturales o de los residuos químicos están bajo la lupa a nivel mundial. Brasil, que es el país mayor importador de trigo en la región, ya puso límites sobre la presencia del DON causado por la Fusariosis, y está punto de restringir varios de los productos químicos usados para el control de enfermedades o insectos o usados en la desecación del cultivo. De acuerdo a los límites brasileños sobre el DON, este va ser el país más estricto del mundo aceptando solo 1 ppm del DON en el grano de trigo en lugar de 2 ppm aceptado por la mayoría de países incluyendo los Estados Unidos y Canadá. Brasil aceptaría apenas 0,75 ppm del DON en la harina en lugar de 1 ppm aceptado en Argentina y Uruguay. Lograr cumplir este tipo de restricciones va ser un reto, especialmente en los años húmedos.

La otra tendencia es sobre los residuos de pesticidas en los alimentos. Aunque sea una alarma falsa, deja a la población súper sensibilizada. Recientemente la prensa en Inglaterra publicó que más del 60 % de pan vendido en el Reino Unido contiene residuos de pesticidas; los niveles no llegaron a ser detectables, pero si crearon un problema para los productores y la industria *(http://www.theguardian.com/environment/2014/jul/17/pesticide-residue-breads-uk-crops)*. Pero en Turquía sí pudieron detectar pesticidas como Aldrin, clorofenil, Hexaclor en las muestras de trigos recolectadas *(http://*

www.researchgate.net /profile/Yavuz_Cakmak/ publication/41434960_Organochlorine_pesticide_residues_in_wheat_ from_Konya_region_Turkey/links/02bfe50e6c58aacaa8000000.pdf).

El valor nutritivo de los alimentos es cada vez más importante. Los consumidores están conscientes no solo del aspecto nocivo de los alimentos, sino también de valor nutricional. En este sentido el trabajo de Harvest Plus, está dando grandes resultados en desarrollo de cultivos o frutos biofortificados (Fig. 23).

Figura 23. **Auge de alimentos biofortificados en el mundo apoyados por el Programa Harvest Plus**



En resumen, el reto futuro no es solamente producir más alimentos para la población creciente, sino producirlos de manera sostenible, amigable para el ambiente, no nocivos para la salud humana y animal y que sean de mayor valor nutricional.

EL MAYOR RETO FUTURO

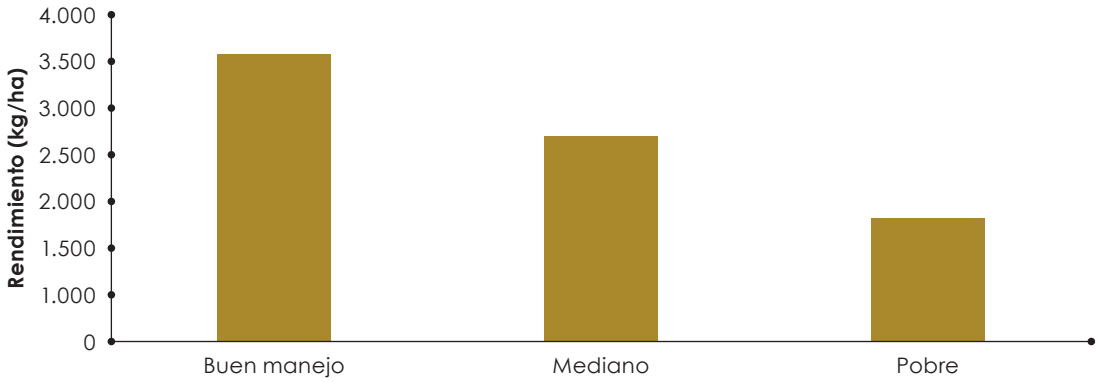
El mayor reto futuro es combinar todas esas innovaciones y tecnologías discutidas en recomendaciones prácticas para el productor de campo.

Las innovaciones o tecnologías, que quedan en los laboratorios u oficinas de los técnicos o publicaciones, no sirven al campo para que el productor pueda producir; no importa que sea semilla mejorada, tecnología de manejo eficiente, sostenible, calidad nutritiva y comercial o lo que sea. El reto futuro es tratar de convertir las innovaciones y los resultados en recomendaciones para que los productores sigan produciendo eficientemente.

¿Cómo se puede lograr eso?, repensando las bases que existen hoy día, con la adopción de buenas prácticas agrícolas, que van a ser validos en 50, 100 o 200 años: curva de nivel, siembra directa, rotación de cultivos, barreras vivas de protección, manejo de los bosques nativos etc. Junto a las innovaciones, son las buenas prácticas agrícolas que son claves para incrementar la producción de manera sostenible.

El segundo reto para los trigueros en el Paraguay, es reducir la brecha del rendimiento (Fig. 24). Se ha mencionado que el promedio nacional de rendimiento de trigo sobre una década es alrededor de 2500 kg/ha. Sin embargo, durante el mismo periodo los productores que manejan bien su campo tienen promedio más de 3500 kg/ha. Muchos de ellos sufren menos por las heladas ya que tienen sus fechas de siembra escalonada. El productor, Victor Dickel de Itapúa, quien es un líder en manejo de la siembra directa y manejo de las rotaciones, cosechó 3980 kg/ha en un año que los buenos

Figura 24. **Brecha en el rendimiento de trigo entre distintos niveles de manejo**

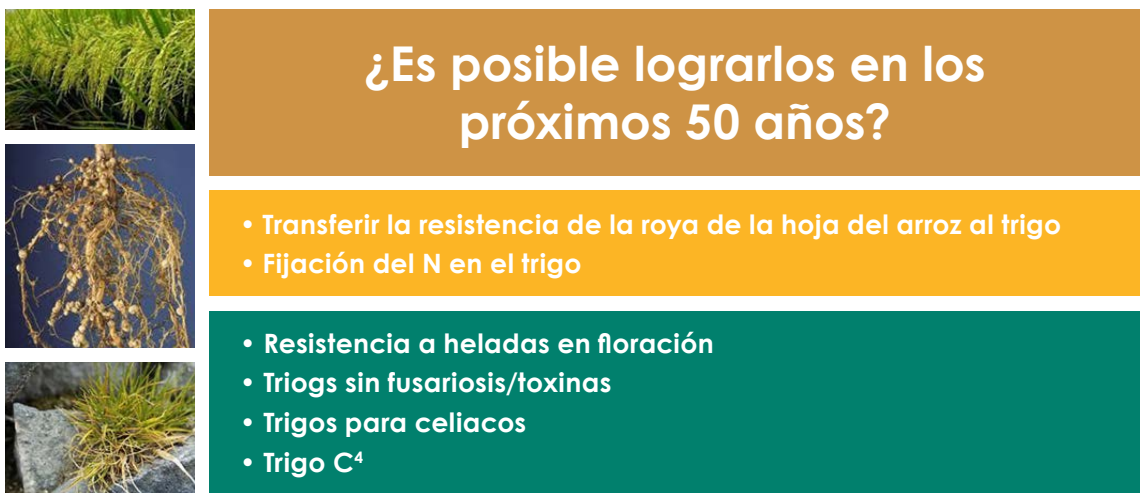


productores promediaban 3500 kg/ha. Los productores que usan la mediana tecnología llegan a 2500 kg/ha y con pobre tecnología 1500 kg/ha. El reto es como llegar a un productor de este nivel, aunque represente menos del 20% del área, para apoyarlo a mejorar su promedio. Llenar esa brecha será un gran trabajo y reto constante para los próximos 50 años. ¿Es posible lograrlo?

Como se está tratando de una visión futura, el Dr. Norman Borlaug, Premio Nobel de la Paz, 1970, siempre hablaba de sus sueños. Para él, transferir la resistencia de la roya de la hoja del arroz al trigo y mejorar la fijación microbiana del nitrógeno en el trigo, eran dos aspectos importantes. Ha habido avances en los dos, pero aún no se ha logrado resultados concretos para ser llevados al campo. Se espera que, con los avances futuros, sus sueños lleguen a una realidad en los próximos 50 años.

Hace dos años atrás, en el quinto seminario, unos sueños míos fueron agregados a la lista. Estos son, lograr la resistencia a heladas en floración; tener un trigo de alto rendimiento y buena calidad industrial sin Fusariosis y toxinas; desarrollar los trigos para celiacos, y desarrollo de un trigo C4. El reto para los jóvenes es usar todos los conocimientos y tecnologías disponibles para lograr estas metas en los próximos 50 años (Fig. 25).

Figura 25. **Algunos retos tecnológicos para los técnicos de trigo en el futuro**



Para responder la pregunta ¿si es posible alimentar a 9000 millones de personas en el 2050? Debemos de recordar las palabras de Dr. Borlaug de nuevo; “Para producir alimentos, hay que salir de las oficinas, entrar en el campo, ensuciarse las manos y transpirar. Es el único lenguaje que entienden las plantas”

Hay que reiterar que “No hay tiempo para la complacencia”.

Escenarios de Cambio Climático para el Cultivo de Trigo en Paraguay

Scenarios of Climate Change for Wheat Crop in Paraguay

Eduardo Sierra

Facultad de Agronomía UBA / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

edmasi@fibertel.com.ar

RESUMEN

En el presente estudio se discuten los posibles escenarios de cambio climático para el cultivo del trigo en el Paraguay, esperables durante las próximas décadas, desde el presente hasta el final del siglo XXI. Se utilizaron datos productivos de trigo provenientes del Ministerio de Agricultura del Paraguay, de CAPECO y de la red de ensayos territoriales. Se emplearon datos climáticos provenientes de los servicios meteorológicos del Paraguay y los países lindantes; la Administración Nacional de la Atmósfera y los Océanos (NOAA) de los EE.UU., la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Unidad de Investigación Climática (CRU) de la Universidad de East Anglia, etc. Para la zonificación de la aptitud agroclimática del territorio paraguayo para el cultivo del trigo se consideraron: El balance hídrico del suelo, la disponibilidad de frío invernal, el riesgo de heladas en floración y la temperatura del mes más cálido. Mediante dichos índices se definió la aptitud agroclimática del territorio paraguayo en el escenario actual y en los escenarios futuros. Se tomaron en consideración los principales procesos de cambio del sistema climático, tanto en lo que hace a su estado medio como a su variabilidad. Como procesos de cambio en el estado medio, de origen natural, se consideraron los ciclos determinados por las variaciones en la actividad solar, la Oscilación Antártica (AAO), la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO), etc. Como proceso de variabilidad interanual se consideró a "El Niño Oscilación del Sur" (ENSO). Como proceso de cambio en el estado medio del clima, inducido por la actividad humana, se consideró el Calentamiento Global. La información provista por dichas fuentes fue procesada mediante el "Grid Analysis and Display System" (GrADS), elaborándose los mapas de aptitud agroclimática correspondientes al presente y a los distintos escenarios futuros considerados. Pudo inferirse que la década 1991-2000 en la que se combinaron fases favorables de la mayoría de los índices atmosféricos, al mismo tiempo que el calentamiento global se encontraba en un estado incipiente, constituyó un óptimo climático. El estado del clima durante la última década 2006-2015 experimentó el inicio de un cambio de fase desfavorable en la mayoría de los índices: La AAO comenzó a observar fuertes oscilaciones, que produjeron una sucesión de condiciones otoño invernales, o bien demasiado cálidas y húmedas, o bien demasiado frías y secas, marcando el retorno de heladas de fines de invierno con graves daños productivos,

en la temporada 2013, mientras que la estabilización del calentamiento global en un valor de alrededor de +0,45 ˚C contribuyó a la falta de frío invernal en varios de los años considerados. Por su parte, los índices correspondientes al ENSO, mostraron efectos moderados a escasos sobre el comportamiento del trigo en el Paraguay, lo cual resulta lógico teniendo en cuenta que el período de acción de dicho fenómeno va de noviembre a marzo, no superponiéndose con el ciclo de la especie. En lo que hace a la proyección hacia el futuro de los índices considerados definieron tres escenarios de calentamiento global: Escenario 2030 (Inicial): Leve disminución de la disponibilidad de frío invernal, manteniéndose el riesgo de heladas y leve negativización del balance hídrico. Escenario 2050 (Medio): Moderada reducción de la disponibilidad de frío invernal, con desaparición del riesgo de heladas y leve a moderada negativización del balance hídrico. Escenario 2100 (Pleno): Sin frío invernal y moderada negativización del balance hídrico. Como alternativa a los escenarios de calentamiento global, se consideró la posibilidad de ocurrencia de un período frío, causado por una disminución de la actividad solar, con reducción de la temperatura y las precipitaciones. Puede observarse que estos tres escenarios no asumen cambios abruptos ni extremos, y van evolucionando en forma lenta y gradual, dando el tiempo necesario para que el mejoramiento fitogenético y los avances tecnológicos en el manejor del cultivo, permitan mantener la aptitud el Paraguay para el cultivo del trigo.

ABSTRACT

The possible scenarios of climate change expected during the next decades till the end of the 21st century and their impact on wheat cultivation in Paraguay is to be discussed. In order to do so, wheat production data from several national institutions and climatic data from various meteorological services of Paraguay, neighboring countries and major international services were analyzed. For regionalization of the agro-climatic aptitude of Paraguayan wheat area, the following parameters were considered: soil water balance, coldness of winter, frost at flowering and the temperature of the warmest month. These parameters were used to define current and the future scenarios taking into consideration the changes of the climate system in its average state as well as in its variability. The cycles determined by the variations in the solar activity, the Antarctic Oscillation (AAO), the Atlantic Multi-decadal Oscillation (AMO), etc. were considered to study the processes of change (of natural origin) in their average state. "El Niño Southern Oscillation" (ENSO) was considered as a process of inter-annual variability. The Global Warming, induced by human activity, was considered as a process of change in the average state of the climate. The information provided by these sources was processed through the "Grid Analysis and Display System" (GrADS), elaborating the agro-climatic aptitude maps for the present and different future scenarios. It could be inferred that the 1991-2000 decade, when most atmospheric indices were favorable and global warming was in an incipient state, constituted a climatic optimum. The state of the climate during the last decade 2006-2015 has experienced the beginning of an unfavorable phase and changes in most of the indices: The AAO observed strong oscillations thereby producing a succession of autumn/winter seasons to be too warm and humid , or too cold and dry; marking the return of late winter frosts with serious production losses as in the 2013 season, and also the stabilization of global warming at around +0.45 ˚ C, which contributed to the lack of winter cold in several years under consideration. On the other hand, ENSO indexes showed moderate to limited effects on the performance of wheat in Paraguay, which seems logical considering that it impacts during November to March period, not in the wheat season. These indices project three global warming scenarios for the future: i) Scenario 2030 (Initial): Slight decrease in the availability of winter cold, though maintain the frost risk and slight fall of the soil water balance; ii) Scenario 2050 (Medium): Moderate reduction in winter cold, with disappearance of frost risk and mild to moderate drop of the soil water balance and iii) Scenario 2100 (Full): Lack of winter cold and moderate drop of the water balance. As an alternative to global warming scenarios, the possibility of occurrence of a cold period, due to a decrease in solar activity and causing reduction of temperature and precipitation is also discussed. These three scenarios do not assume abrupt or extreme changes, as they evolve slowly and gradually, giving sufficient time to conduct crop improvement and develop crop management technologies, to maintain wheat cultivation in Paraguay.

INTRODUCCIÓN

En este estudio se discuten algunos de los escenarios de cambio climático que pueden afectar al cultivo de trigo en Paraguay en las próximas décadas. Básicamente se pregunta cuáles serían las consecuencias sobre la producción de trigo en caso de que ocurra el cambio climático, con elevación de la temperatura, conocido como "Calentamiento Global".

Este posible cambio suele ser presentado, especialmente por lo medios, como un escenario de alto impacto negativo, pero los parámetros que se exponen en este trabajo muestran que esto no sería tan extremo, por lo que la adaptación al climático global podrá ser hecha en forma gradual y exitosa.

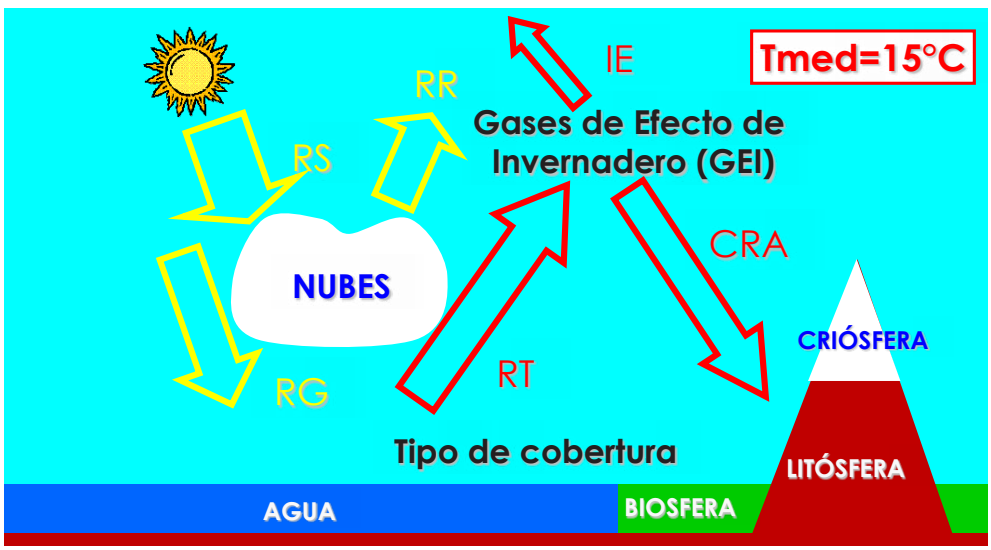
HISTORIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El Equilibrio Energético del Sistema Climático

Aunque el calentamiento global está siendo presentando, en forma tendenciosa, como el único, primero y más intenso evento de este tipo ocurrido en la historia del Planeta, numerosas investigaciones científicas y testimonios históricos demuestran que el planeta ha observado una nutrida sucesión de cambios climáticos de gran magnitud que se han sucedido a lo largo del tiempo a través de muchos millones de años, así como a lo largo de la historia de la humanidad.

El equilibrio energético del planeta no es estático, sino dinámico y depende del balance los flujos de energía que mantienen en marcha al sistema climático (Figura 1), tanto en lo que hace a sus componentes físicos (La litósfera, la hidrósfera, la criósfera), como a sus componentes vivos (La biósfera).

Figura 1. **Los flujos de energía del sistema climático**



Simplificadamente, este proceso puede presentarse de la siguiente manera:

La radiación solar de onda corta o visible (RS) llega al límite superior de la atmósfera, a partir de donde se difunde dentro del sistema climático, proveyéndole la energía que lo mueve y lo mantiene dentro de ciertos límites térmicos.

De esto puede deducirse que, si la radiación solar que llega al límite de la atmósfera aumentara o disminuyera significativamente,

Lo primero que ocurre, es que parte es reflejada (RR) por las nubes, reduciendo la radiación global (RG) que es la que llega a la superficie terrestre, calentándola.

De esto, surge que un aumento de la nubosidad podría producir una disminución de la temperatura. Esto ha ocurrido en el pasado en ocasiones en que grandes erupciones volcánicas produjeron extensas nubes de polvo que redujeron la llegada de la radiación solar a la superficie terrestre. En Junio de 1991, la erupción del Volcán Pinatubo (Filipinas) produjo una nube de polvo y gases que se extendió sobre gran parte del Pacífico, reduciendo significativamente la radiación solar, al punto que se calcula que la temperatura del Planeta se redujo, durante algunos meses, en aproximadamente -0,5˚C.

Para que la radiación solar no sobrecaliente el Planeta, y este proceso se mantenga en equilibrio, se necesita que el sistema climático devuelva al espacio una cantida energía de energía igual a la que recibió del Sol.

Ello se logra porque la superficie terrestre emite radiación de onda larga no visible (RT) que viaja hacia el espacio, tendiendo a balancear el proceso.

No obstante, ciertos componentes de la atmósfera, denominados gases de efecto invernadero (GEI) absorben la mayor parte de la radiación terrestre (RT) y la devuelven hacia la superficie como contra radiación atmosférica (CRA), permitiendo que solo una pequeña proporción escape hacia el espacio como radiación efectiva (RE), provocando la acumulación de una gran cantidad de energía dentro del sistema climático.

Dentro de ciertos límites, este proceso es beneficioso, ya que puede calcularse, que sin el efecto de invernadero la temperatura planetaria se ubicaría alrededor de +5,3 ˚C, es decir unos 10˚C, por debajo del actual promedio térmico planetario de +15˚C.

Si el contenido de gases de invernadero atmosféricos disminuyera substancialmente, el planeta se enfriaría, entrando en una era de hielo. Si aumentaran por encima de cierto límite, el planeta podría calentarse considerablemente.

El gas de efecto invernadero de primer orden es el vapor de agua, que por su mayor abundancia (2% en promedio de la masa atmoférica, variando desde casi 0 hasta el 5%), es el responsable del 95% del efecto de inverndero atmosférico.

En segundo lugar viene el dióxido de carbono, que si bien es más activo que el vapor de agua, por su menor abundancia (0,04% de la masa atmosférica o 400 partes por millón), solo explica el 3,5% del efecto de invernadero.

En tercer lugar vienen varios gases, entre los que se destaca el metano que, en conjunto, explican el 1,5% del efecto de invernadero.

A pesar de esta proporción, es el dióxido de carbono el que, casi invariablemente, se toma como medida del potencial de efecto de invernadero atmosférico, y a cuyo incremento durante los últimos años, se atribuyen prácticamente todos los cambios climáticos.

Los Cambios Climáticos en Escala Geológica

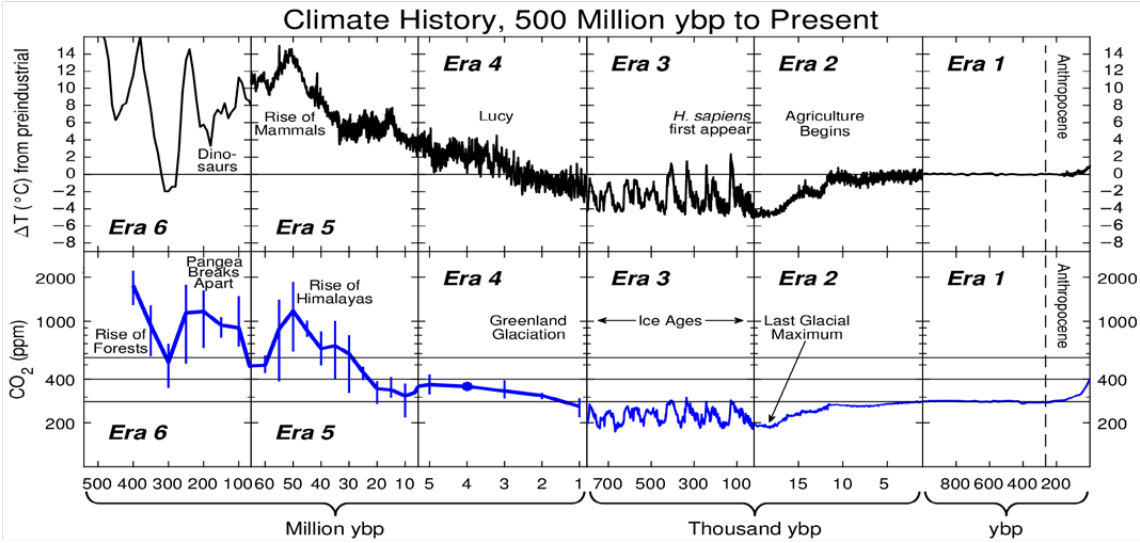
El equilibrio entre estos flujos de energía tuvo grandes fluctuaciones a lo largo de la historia del planeta, generando una sucesión de ambientes muy contrastantes, algunos muy adversos, pero en todos los casos los seres que forman la biósfera lograron adptarse con éxito.

La Figura 2 muestra que entre 500 y 50 millones de años antes del presente, hubo una serie de oscilaciones térmicas en que la temperatura osciló entre -4˚C y +14˚C por encima del nivel actual, lo que equivale a decir que en lugar del promedio de +15˚C que se considera normal en la actualidad, el promedio osciló entre +11˚C y +29˚C.

Paralelamente, el contenido de dióxido de carbono atmosférico osciló entre casi 2000 ppm (cinco veces el contenido actual), y algo menos de 400 ppm (el contenido actual), aumentando en los períodos cálidos y disminuyendo en los fríos.

Esta variación en función de la temperatura, se debe a que el océano es el gran reservorio de dióxido de carbono de la Naturaleza son los mares, donde el mismo se encuentra disuelto.

Figura 2. **Evolución geológica de la temperatura y el contenido de $C0_2$ medios planetarios de la atmósfera terrestre**



Este proceso responde a la Ley de Van Hoff que regula la solubilidad de los gases en el agua. Cuando se enfrían los mares el dióxido de carbono se disuelve en el agua y cuando éstos se calientan, liberan dióxido de carbono.

Lejos de que estas condiciones impidieran la vida sobre el Planeta, durante dicho lapso se cumplieran las Eras Paleozoica y Mesozoica y la primera parte de la Era Cenozoica (Eras 6 y 5 en la Figura), durante las cuales la vida se difundió en el Planeta, evolucionando y diversificándose.

Las elevadas temperaturas y la alta concentración de dióxido de carbono favorecieron la actividad fotosintética, provocando una producción de biomasa vegetal muy superior a la que permiten las bajas temperaturas y el bajo nivel de dióxido de carbono atmosférico que predominan en la actualidad.

Durante el Carbonífero, entre 360 y 318 millones de años antes del presente, aparecieron los primeros grandes bosques que, según lo expuesto, alcanzaron concentraciones de biomasa muy superiores a las existentes en la actualidad, en que solo las selvas tropicales de la Amazonia y el Congo alcanzan niveles similares al los existentes en el pasado.

La fuerte actividad tectónica registrada entre comienzos y mediados del Carbonífero, hizo que grandes extensiones de esos bosques primitivos fueran sucesivamente enterradas en condiciones de alta presión y temperatura y anaerobiosis, dando lugar a la formación de la mayor parte de los yacimientos de carbón que actualmente se están utilizando para producir energía y para la industria carboquímica.

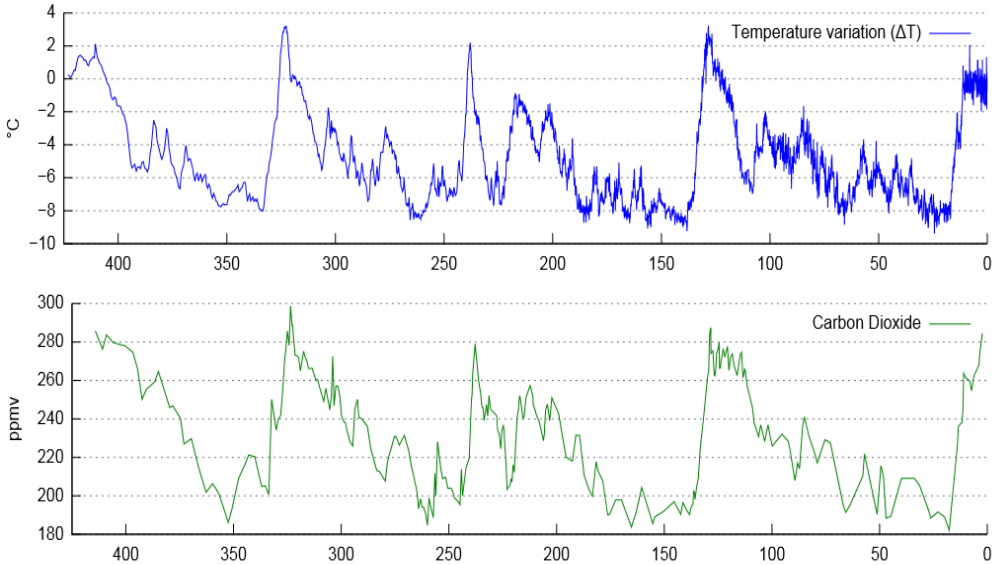
Una transformación similar de grandes cantidades materia orgánica procedente del zooplancton y algas producidos en los mares y zonas lacustres del pasado geológico, los cuales fueron posteriormente enterrados bajo pesadas capas de sedimentos en condiciones de alta temperatura y anaerobiosis, dio lugar a la formación de los yacimientos de hidrocarburos (petróleo, gas natural, etc) que actualmente proveen la mayor parte de la energía que se emplea para el transporte.

Estos procesos formadores de biomasa alcanzaron su máxima intensidad en los períodos en que la temperatura del Planeta y la concentración de dióxido de carbono atmosférico fueron elevadas, disminuyendo significativamente en los períodos glaciares, como el que se produjo a finales del Carbonifero.

Posteriormente, el Planeta fue enfriandose, provocando la disminución del contenido de dióxido de carbono atmosférico, y reduciendo la formación de materia orgánica.

Durante el último medio millón de años (Fig. 3) se observaron periodos fríos muy largos en los que la temperatura media del Planeta descendión más de son 8˚C por debajo del nivel de equilibrio de 15˚C que actualmente se considera normal, dando lugar a sucesivas glaciaciones, con duraciones de entre 100.000 y 150.000 años.

Figura 3. **Evolución de la temperatura y el contenido de $C0_2$ medios planetarios de la atmósfera terrestre durante las eras glaciales e interglaciales**



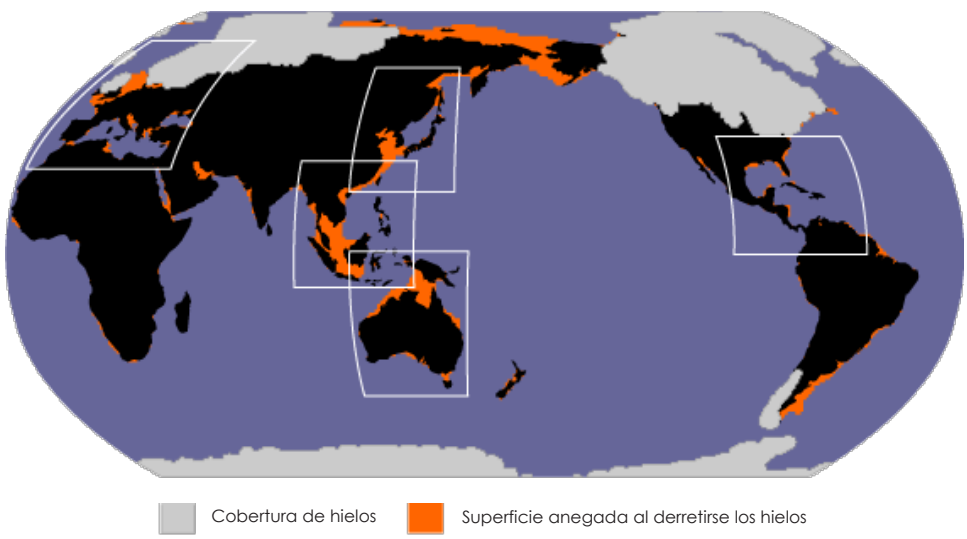
Entre estas glaciaciones se intercalaron período interglaciares,mucho más cortos, con duraciones de aproximadamente 15.000 años, en que la temperatura ascendió a niveles similares al del actual nivel de equilibrio de 15 ˚C.

El mecanismo causal del cliclo glacial/inter glacial es de origen astronómico, y fue estudiada por el astrónomo Milutin Milanktovich, nacido en el siglo XIX en lo que, actualmente, es Croacia.

Según la teoría de Milankovitch los cambios en la excentricidad de la órbita terrestre, la inclinación del eje terrestre y la precesión de las estaciones, se combinan para producir un ciclo de unos 150.000, en los cuales, el 90 % del tiempo es abarcado por un período glacial, y el 10 % por un interglacial.

Hace 20 mil años, en el apogeo del último período glacial, gran parte de la superficie del Planeta estaba cubierta por extensas banquisas de hielo (Fig. 4). Se calcula que aproximadamente 80 millones de Km cúbicos de agua se encontraban aprisionados por este proceso.

Figura 4. **Cobertura de hielos del Planeta en el apogeo del ultimo período glacial, y superficie anegada al comenzar el actual período interglacial**



Fuente: **Proudman Oceanographic Laboratories**

Estas banquisas de hielo no deben confundirse con los hielos flotantes, que comprenden cantidades de agua mucho menores,, ni con lo campos de nieve cordilleranos, que en total, no llegan a un millón de km cúbicos, y están sujetos a un ciclo anual, derritiéndose en su mayor parte en la estación cálida y regenerándose en la estación fría.

La última glaciación fue muy larga y severa, reduciendo significativamente la biomasa, y obligando al ser humano a abandonar su área de origen, que se supone en el nordeste del Continente Africano, e iniciar una larga migración que lo llevó a poblar todo el Planeta.

Este proceso se vio favorecido porque, al acumularse grandes cantidades de agua en las banquisas de hielo, el mar descendió 110 metros, proveyendo "puentes de tierra" entre los continentes, uno de los cuales era el actual estrecho de Bering que, en esa época, estaba por encima del nivel de las aguas, comunicando Asia con América.

Los Cambios Climáticos en Escala Histórica

Actualmente se transita el último periodo inter glaciar, que comenzó hace aproximadamente 15.000 años, determinando un rápido incremento de la temperatura del Planeta.

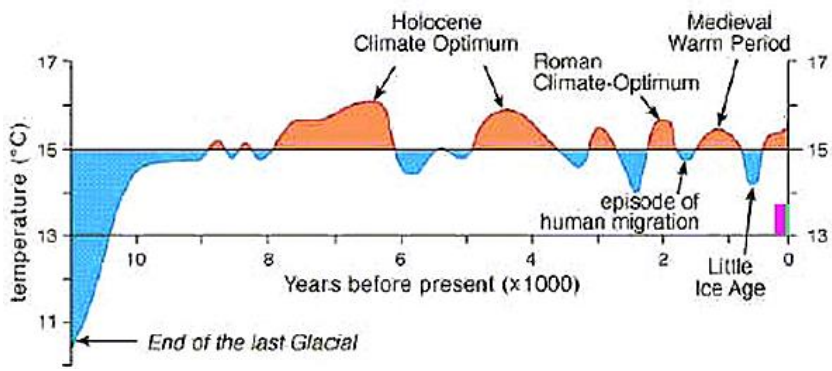
En poco más de 1000 años, la temperatura del Planeta subió unos 8 ˚C, pasando de un promedio de 7˚C, al final de la última Era Glacial, a un promedio de 15˚C, en el actual Inter Glacial.

Este proceso produjo el derretimiento de unos 50 millones de Km cúbicos de hielo, que se encontraba en las banquisas de hielos continentales, haciendo que que el nivel del mar subiera 110 metros, cubriendo una considerable extensión de zonas bajas (Areas en rojo en la Fig. 5), y cortando los "puentes de tierra" entre los continentes.

Sólo las banquisas de hielo que se encuentran depositadas sobre el Continente Antártico (28 millones de Km cúbicos) y Groenlandia (2 millones de Km cúbicos), reduciendo el total de hielos continentales a unos 30 millones de Km cúbicos.

Paralelamente, al calentarse los mares, sus aguas liberaron parte del dióxido de carbono que tenían disuelto, haciendo que su contenido atmosférico pasara desde 190 ppm, al final del Glacial, hasta poco más de 280 ppm, hacia el comienzo de la Era Cristiana.

Figura 5. **Evolución de la temperatura y el contenido de $C0_2$ medios planetarios de la atmósfera terrestre desde el inicio del último período interglacial hasta el presente**



Este cambio, exigió un enorme esfuerzo adaptativo, tanto para la Naturaleza, como para el Ser Humano, pero estos esfuerzos fueron cumplidos con éxito: La Vida continuó sobre el Planeta, y el Ser Humano su progreso.

Es más, es posible que, sin la migración forzada que impuso el último Período Glacial, el ser Humano nunca hubiera abandonado su área de origen, en la actual Etiopía, y no hubiera llegado a ser la especie dominante del Planeta.

Hace unos 15.000 años, ocurrió el final de la última era glacial dando comienzo al actual período inter-glacial.

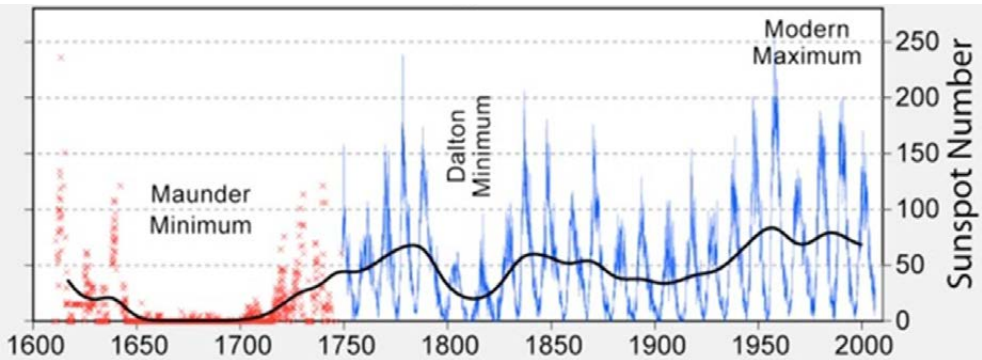
La temperatura ascendió hasta el promedio planetario de 15 ˚C, considerado normal actualmente, pero continuó mostrando oscilaciones del orden de 1 ˚C, que produjeron una sucesión de períodos cálidos y fríos.

Estas oscilaciones fueron causados por las variaciones de la orbita de la tierra, sino por dos factores convergentes:

a) Las erupciones volcánicas que aumentaron la turbidez de la atmósfera, haciendo que ingresara menos radiación solar hasta la superficie terrestre.

b) Las oscilaciones de la actividad solar (Fig. 6).

Figura 6. **Variaciones de la actividad solar expresadas a través del numero de manchas solares**



Puede observarse el Ciclo de Schwabe de 11,2 años

Los períodos cálidos como el "Optimo del Holoceno", el "Optimo Romano" y el "Optimo Medieval" facilitaron la producción de alimentos y la actividad humana en general, facilitando el surgimiento de las grandes civilizaciones, como la egipcia, la persa, la griega y la romana.

Contrariamente, los períodos fríos, fueron sumamente nefastos.

Uno de ellos, denominado de la "Grandes Migraciones", hizo que las tribus bárbaras, que habitaban el Norte de Europa, al verse privadas de su fuentes de alimentación, descendieran hacia el Mediterráneo, provocando la caida del Imperio Romano.

El "Optimo Medieval", que XV, de la Era Cristiana, permitió una recuperación, que puso en marcha el repoblamiento de Europa y el renacimiento de la cultura.

Pero, desde mediados del Siglo XV comenzó un prolongado período frío, conocido como la "pequeña era del hielo", que se extendió hasta mediados del Siglo XX.

El lapso más frío tuvo lugar entre 1645 y 1715, debido a una racha de muy baja actividad solar denominada "Minimo de Maunder".

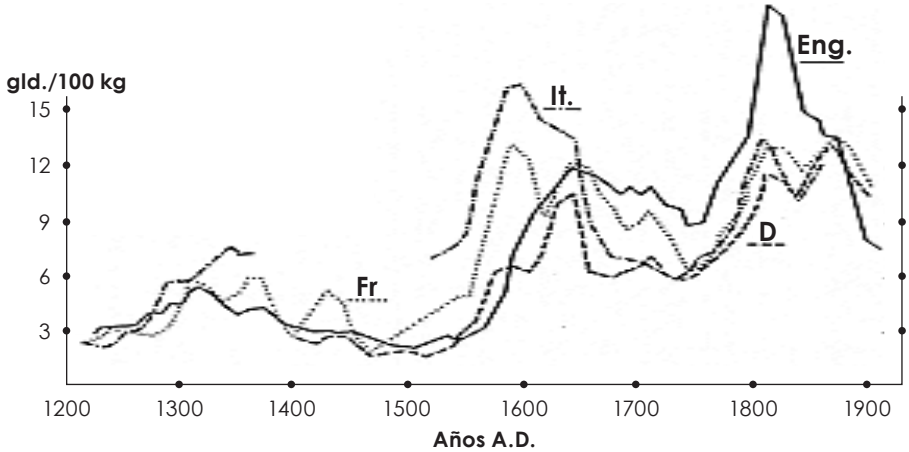
Las cosechas volvieron a fallar, produciéndose una escasez de alimentos.

En la Fig. 7 pueden observarse las fluctuaciones del precio del trigo en distintos países a desde el final del "Optimo Medieval" hasta comienzos del Siglo XX.

Hasta finales del "Optimo Medieval", el precio del trigo oscilaba alrededor de los 5 Guilders por quintal.

Al hacerse sentir los efectos de la "Pequeña Edad de Hielo", a comienzos del Siglo XVI, el precio del trigo subió abruptamente, hasta alcanzar un máximo hacia comienzos de Siglo XVII.

Figura 7. **Precio de trigo (100 kg) expresado en guilders holandeses por quintal en distintos países desde fines del óptimo mediaval hasta comienzos del siglo XX**



Fuente: **Lamb, 1995**

Desde mediados del Siglo XVII hasta mediados del Siglo XVIII el precio del trigo bajó, aunque manteniéndose por encima del "Optimo Medieval", pero, hacia mediados del Siglo XIX volvió a dispararse.

Hacia comienzos del Siglo XX, al moderarse los efectos de la "Pequeña Edad de Hielo" e incorporarse adelantos técnicos que incrementaron lo rindes, el precio del trigo volvió a bajar, aunque manteniéndose por encima del "Optimo Medieval".

Este prolongado período frío volvió a producir guerras y migraciones masivas.

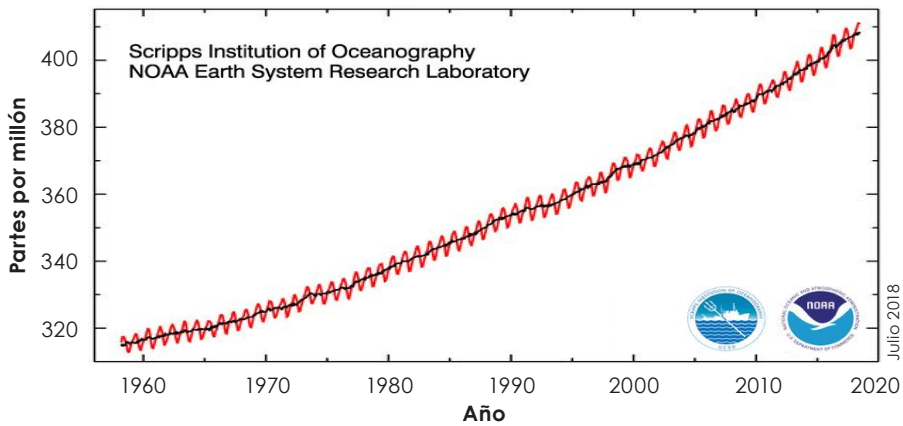
El imperio Turco, acosado por el fracaso de las cosechas en su territorio, trató de conquistar la Cuenca del Danubio, dando lugar a una prolongada guerra, que se extendió desde mediados del Siglo XV, hasta mediados del Siglo XVIII.

Por su parte, las potencias europeas, acosadas por la reducción de las cosechas, se lanzaron a una serie de conquistas territoriales, que llevaron a la Conquista de América, de gran parte del Africa, de Oceanía y de gran parte de Asia.

El Calentamiento Global

Toda vez que se habla del cambio climático global, se pone un gran énfasis en el incremento del dióxido de carbono atmosférico causado por la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural, etc). Durante el último medio siglo este proceso se aceleró, según puede observarse en la evolución registrada en el período 1958-2000 (Fig. 8).

Figura 8. **Incremento del contenido atmosférico de dióxido de carbono 1958 - 2017**



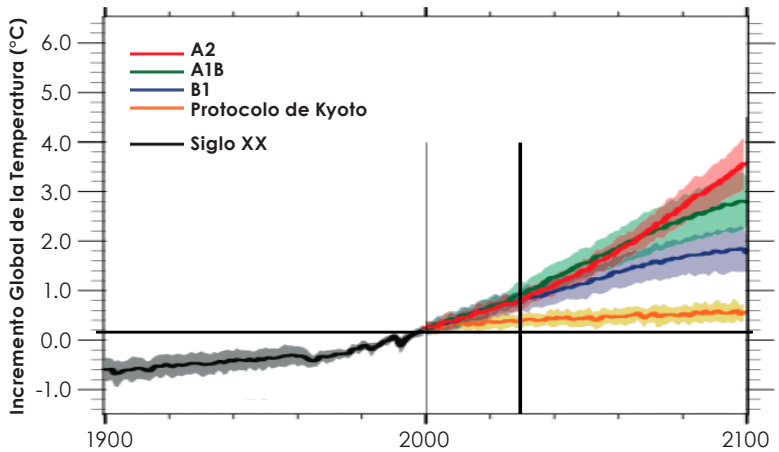
En condiciones naturales, es decir antes del inicio de la Era Industrial, se calcula que el contenido de dióxido de carbono atmosférico era de unas 280 partes por millón, que mantenía a la superficie del Planeta en una temperatura media (promedio del Ecuador a los Polos) de aproximadamente 15 ˚C.

Desde el inicio de la Era Industrial hasta el presente, la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo) provocó un gradual aumento del contenido de dióxido de carbono de la atmósfera y, por lo tanto, el efecto de invernadero de la atmósfera, con el consiguiente incremento de la temperatura del Planeta.

En función a esa teoría, se han modelado una serie de escenarios de lo que se llama calentamiento global; que se han difundido en los medios en forma muy sensacionalista.

La realidad es menos extrema, pero plantea cambios ambientales que no pueden ignorarse. En la Fig. 9 pueden observarse los escenarios que podrían darse desde el año 2000 hasta el año 2100.

Figura 9. **Escenarios de incremento global de la temperatura del IPCC**



Cabe hacer notar que no se plantea un solo escenario catastrófico, como aparece frecuentemente en los medios, sino que las posibles evolucione son varias, dependiendo del cuidado que se ponga en reducir las emisiones de gases de invernadero.

Esto equivale a decir que lo que ocurra en el futuro dependerá de la voluntad de los Seres Humanos de defender o agredir al medio ambiente que les da vida.

Todos los escenarios parten de un incremento térmico, por encima del nivel preindustrial, de +0,5˚C en el año 2000, pero varían mucho en el nivel que podría alcanzarse hacia el año 2100.

Puede observarse que los escenarios extremos, que podrían causar cambios catastróficos, son los A y los B, en los que se produce un gran incremento del consumo de combustible fósiles con el consiguiente incremento el dióxido de carbono en la atmósfera, generando la previsión de que, hacia el año 2100, la temperatura ascienda unos 3,5 ˚C por encima del equilibrio natural.

Aunque este posible incremento térmico planetario haría necesarios grandes esfuerzos adaptativos, cabe señalar que muchas de las consecuencias catastróficas que se le atribuyen, como el derretimiento del Polo Sur y el consiguiente ascenso de 70 metros del nivel del mar, han sido exagerados en forma desproporcionada.

Contrariamente, el incremento del nivel del mar previsto por los científicos para el año 2100 en el escenario más extremo, es de solo 90 cm, y no sería causado por el derretimiento del Polo Sur, sino por la dilatación del agua provocada por la mayor temperatura.

Por su parte, el escenario previsto para el caso en que hubieran podido cumplirse los objetivos correspondiente al Protocolo de Kyoto, muestra un potencial de calentamiento, para el año 2100, de solo +0,6˚C.

Lamentablemente, ello hubiera requerido una reducción de las emisiones de gases de invernadero que, hoy, se considera inalcanzable, por lo que se hace necesario prepararse para enfrentar a los escenarios más intensos, del tipo A y B.

Los medios presentan estos escenarios desde una perspectiva catastrófica, en la que el calentamiento global representa el único cambio ambiental que ha experimentado el planeta en toda su historia de millones años, y cuyas consecuencias serían tan terribles que determinarían el fin de la Vida sobre el Planeta, incluyendo, por supuesto, a la especie humana.

No obstante, detrás de esta visión hay algunos intereses, que tienen que ver con el manejo de los recursos energéticos del Planeta, especialmente en lo referente a las reservas de petróleo, que hacen que la realidad se vea notablemente distorsionada.

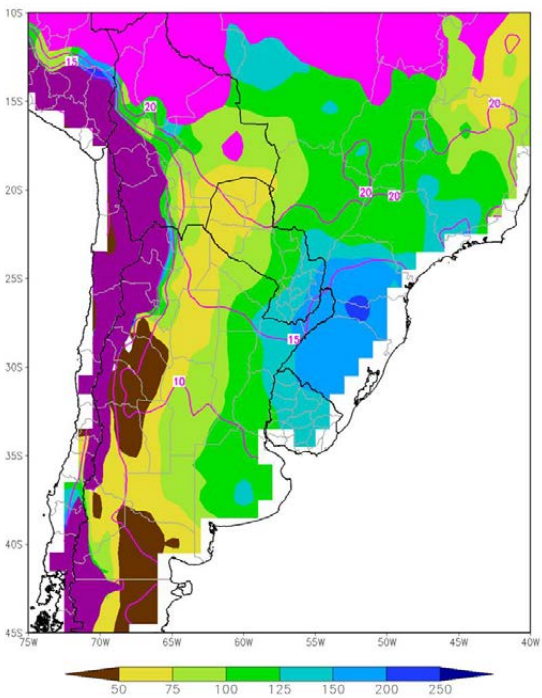
Ni el calentamiento global es el primer cambio experimentado por el balance energético del Planeta, ni sus consecuencias alcanzan para erradicar la vida.

EL TRIGO EN LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS PASADOS PRESENTES Y FUTUROS

Escenarios Agroclimáticoss desde la Introducción del Trigo en la Cuenca del Plata hasta el inicio del Calentamiento Global

Durante el "Optimo Climático Medieval" el Cono Sur mantuvo una aptitud agroclimática similar a la que exhibe en la actualidad (Figura 10).

Figura 10. **Escenarios de cambio climático para el trigo. Aptitud agroclimática óptimo medieval**



ESCALAS

Régimen Térmico: Con el color violáceo claro, se representan inviernos demasiado cálidos, de más de 23°C, con escasa o nula disponibilidad de frío y elevadas temperaturas nocturnas; El violeta oscuro, indica veranos demasiado frescos, con temperatura media de menos de 15° C, donde el trigo no logra madurar, quedando al estado pastoso.

Régimen Hídrico: El marrón indica un el clima árido, donde debe darse un riego total al cultivo; El amarillo señala un clima semiárido, donde es necesario un riego complementario; El verde amarillento representa un clima sub-húmedo; El verde obscuro indica un clima húmedo; Los tonos de celeste a azul señalan grados crecientes de excesos hídricos.

Puede verse que el área con temperatura media del mes más frío superior a 23˚C (Violeta claro), que representa inviernos demasiado cálidos y sin disponibilidad de frío se encontraba sobre el centro del Brasil, no resultando limitante para la mayoría de la Región.

La línea correspondiente a una temperatura del mes más cálido inferior a 15˚C (Violeta obscuro), que resulta insuficiente para asegurar una adecuada maduración, se encontraba sobre el área cordillerana y el Sur de La Argentina y Chile, por lo que tampoco resultaba limitante.

Gran parte del centro y el este de Bolivia, Pte Hayes y toda la Región Oriental del Paraguay, el centro-este y el sudeste del Brasil, el centro y el este de La Argentina y la mayor parte del Uruguay se encontraban comprendidas dentro del área con régimen hídrico equilibrado (Verde) o húmedo (Azul).

Esta combinación de disponibilidades proveía una extensa superficie apta para el cultivo del trigo, dentro de la cual, la Región Pampeana de La Argentina se destacaba por su mayor disponibilidad de frío, y por su régimen hídrico equilibrado. No obstante, gran parte del Paraguay mostraba una adecuada aptitud.

El advenimiento de la "Pequeña Edad de Hielo" modificó considerablente esa aptitud, dando por algún tiempo una considerable ventaja al Paraguay que, por estar más cercano al Trópico, se vio menos afectado.

Fue durante este período que el trigo hizo su entrada en el Río de la Plata, llegando al Paraguay.

Durante la expedición de Sebastián Gabotto, tuvo lugar la primera siembra de trigo en la Cuenca del Plata, en el Fuerte Sancti Spiritus, en el actual territorio de la Pcia de Santa Fe en La Argentina.

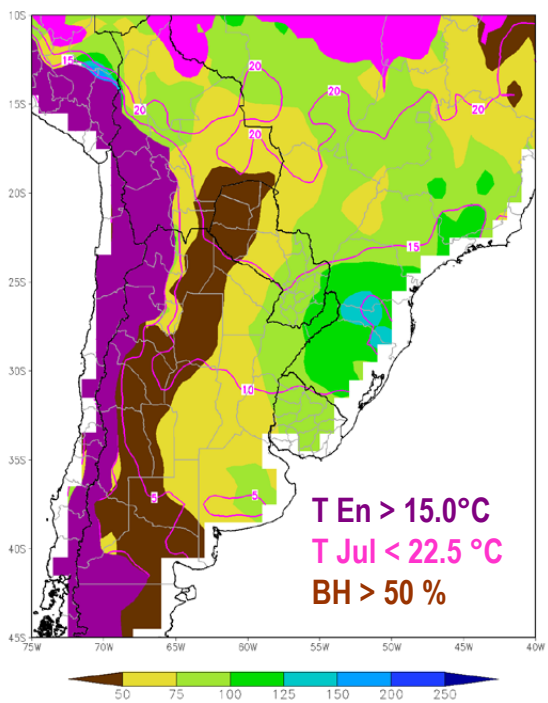
Las siembras se extendieron a lo largo de 1527, 1528 y 1529, con buenos resultados y con superficie creciente, pero se interrumpieron al abandonarse el emplazamiento debido a lo ataques de los indígenas.

En 1535 llegó al Río de la Plata la expedición comandada por Pedro de Mendoza, que fracasó en su intento de mantener una población estable en lo que hoy es la Ciudad de Buenos Aires, en parte por la hostilidad de los indígenas, pero también porque el ambiente seco y con un régimen térmico riguroso, que imponía la "Pequeña Edad de Hielo" no resultaba apta para la manutención de la ciudad, que padeció un intenso episodio de hambre.

Sus capitanes buscaron un ambiente menos frío y más húmedo hacia el Norte, y así fue que en 1537 fundaron el Fuerte de Nuestra Señora de la Asunción que, en 1541, se convirtió en La Muy Noble y Leal Ciudad de Nuestra Señora Santa María de la Asunción.

En ese momento histórico, en pleno climax de la Pequeña Edad de Hielo (Figura 11), el clima asunceño era más benigno que el de la Región Pampeana Argentina.

Figura 11. **Escenarios de cambio climático para el trigo. Aptitud agroclimática pequeña Edad de Hielo**



Puede observarse que la mayor parte del área agrícola argentina había pasado a exhibir un régimen hídrico de tipo semiárido (amarillo), con escasas disponibilidades hídricas. Sólo el Uruguay conservaba un régimen hídrico equilibrado, aunque algo frío.

Mientras tanto, la Región Oriental del Paraguay conservaba un régimen hídrico equilibrado y buenas disponibilidades térmicas, que le otorgaban una aptitud similar a la que habían tenido la Argentina y el Uruguay durante el "Optimo Medieval".

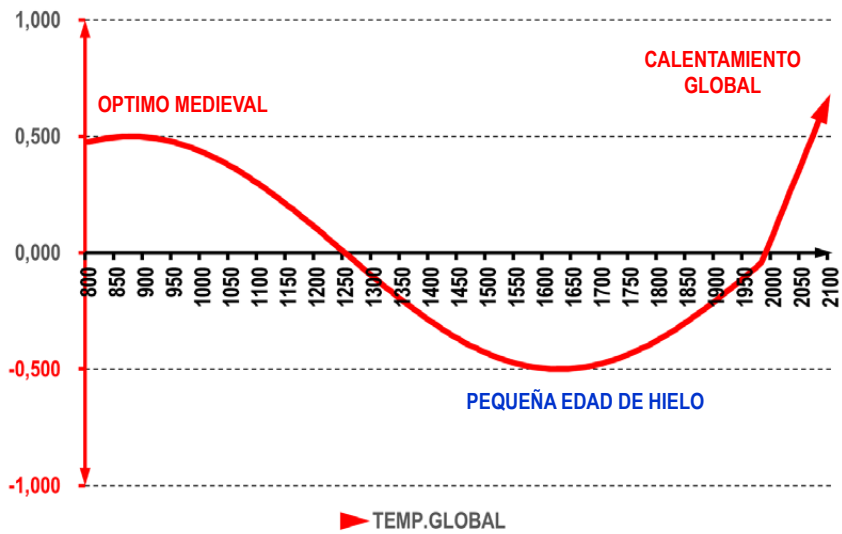
Estas condiciones, unidas a la necesidad de contar con una provisión local del cereal hizo que el, cultivo del trigo fuera introducido en el Paraguay, durante el segundo gobierno de Domingo Martínez de Irala.

Al principio se limitó a los alrededores de Asunción, pero se extendió considerablemente con el establecimiento de las Misiones Jesuíticas en el siglo XVII.

El viajero Félix de Azara señala que, en el inicio de la colonia, Buenos Aires, Santa Fe y otras ciudades recién fundadas, se abastecían de trigo producido en el Paraguay.

Posteriormente, la intensidad de la Pequeña Edad de Hielo fue disminuyendo gradualmente, haciendo que la Argentina y el Uruguay mejoraran sus condiciones con respecto al Paraguay (Línea en rojo Figura 12).

Figura 12. **Ciclo climático Sudamericano desde el "Optimo Medieval" hasta el final del Siglo XXI**



Esto hizo que la producción de trigo en el Paraguay fuera perdiendo importancia, al punto que, hacia finales del siglo XVII e inicios del XIX, prácticamente desapareció la producción de este cereal.

En el gobierno del Dr. Francia tuvo un efímero resurgimiento pero, a pesar de algunos intentos de fomentar su cultivo, volvió a decaer durante el gobierno de los López, no figurando en la lista elaborada por el viajero Alfred de Demersay.

En esa época, la poca harina consumida en el Paraguay era traída de los Estados Unidos. Después de la Guerra contra la Triple Alianza, su cultivo desapareció completamente del país.

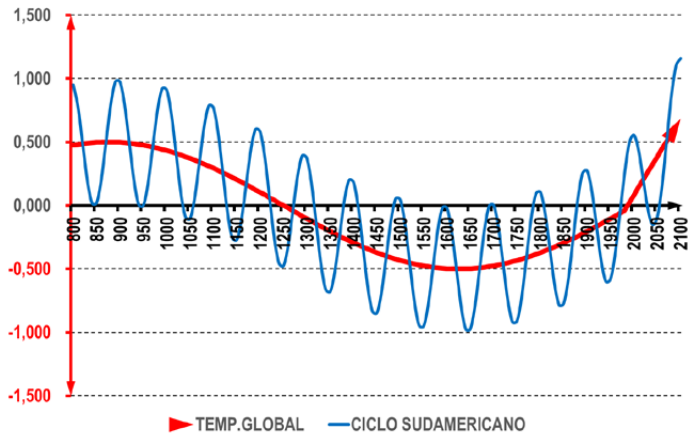
A lo largo de los siglos XVIII y XIX, el clima continuó recuperándose gradualmente de la fuerte caída que le impuso la "Pequeña Edad de Hielo", pero recién hacia mediados del Siglo XX logró volver al nivel de equilibrio (Figura 12).

No obstante, poco a poco, el clima fue mejorando, hasta alcanzar un óptimo, que tuvo lugar hacia la década de 1980, cuando los efectos de la "Pequeña Edad de Hielo" ya habían desaparecido, y todavía no se notaban los efectos del calentamiento global (Figura 12).

En este último aspecto, es interesante hacer notar que, en cuanto desaparecieron los últimos síntomas de la "Pequeña Edad de Hielo", comenzaron a hacerse notar los primeros síntomas, haciendo que el Planeta pasara, casi sin solución de continuidad, de un largo período frío, igualmente contrastante (Figura 12).

No obstante, este proceso observó una notable serie de altibajos, debidos a que durante el último milenio, a los efectos de la "Pequeña Edad de Hielo", se le sumó una oscilación cuasiperiódica de unos 100 años de duración, con una alternancia fases positivas y negativas de medio siglo de duración cada una (Línea ondulada en azul en la Figura 13).

Figura 13. **Ciclo climático Sudamericano desde el "Optimo Medieval" hasta el final del Siglo XXI**

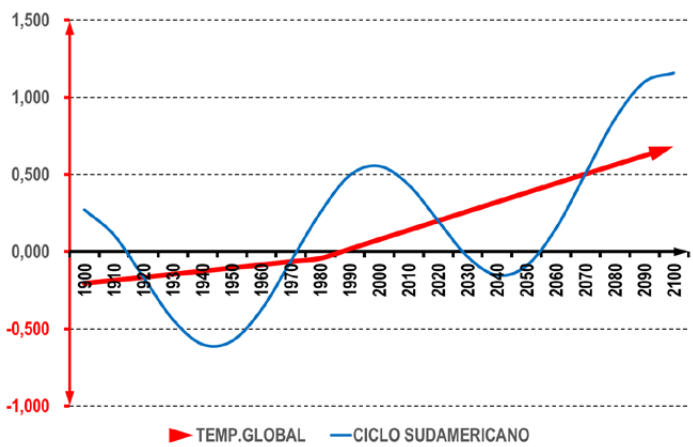


Las fases positivas presentan un régimen térmico moderado, con veranos cálidos e inviernos benignos, que van acompañados por lluvias abundantes y regulares, que se distribuyen en numerosos eventos de moderada intensidad, con baja frecuencia de tormentas severas. Contrariamente, las fases negativas observan un régimen térmico riguroso con veranos tórridos e inviernos heladores, a la vez que las precipitaciones disminuyen su volumen y se hacen erráticas, acumulando la mayor parte de su caudal en unos pocos eventos de gran intensidad con tormentas severas, con riesgo de vientos granizo y aguaceros torrenciales.

Durante las fases positivas, la agricultura fue ganando gradualmente terreno, que le quitó a la ganadería, mientras que en las fases negativas, debió ceder terreno a esta última.

La evolución del último siglo y su proyección hacia el futuro (Figura 14) muestran una notable contraposición de ambientes, que hicieron variar mucho la aptitud agroclimática de la Región.

Figura 14. **Ciclo climático Sudamericano desde el comienzo del Siglo XX hasta el final del Siglo XXI**



Entre comienzos de la década de 1920 hasta mediados de la década de 1970 se desarrolló una fase negativa, que produjo una sucesión de episodios de sequía, acompañados por intensas heladas invernales y fuertes calores estivales, que redujeron considerablemente la aptitud agrícola de la Región.

Cabe mencionar que esta fase negativa tuvo su correlato en el Continente Norteamericano, siendo una de las causas que dispararon la caida de la bolsa de Wall Street a fines de Octubre de 1929.

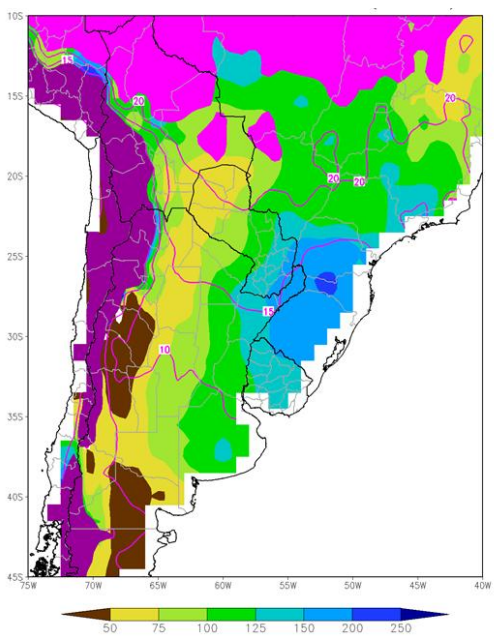
A mediados de la década de 1970 comenzó una fase positiva, que revirtió el escenario agroclimático, contribuyendo al avance de la agricultura. Fue en este ambiente sumamente favorable, que la agricultura, y con ella el cultivo del trigo, se desarrollaron en el Paraguay en una dimensión nunca vista hasta ese momento.

Este proceso permitió que la agricultura, y con ella el trigo, fue ampliando su superficie.

El mejor momento de esta fase positiva tuvo lugar hacia mediados de la década de 1980 (Figura 15).

Aunque, el Paraguay mostraba un cierto déficit de frío invernal, en todos los demás aspectos, su clima era equivalente al de la Argentina, el Uruguay y el Sur del Brasil, lo cual contribuyó a su proceso de difusión en el país.

Figura 15. **Escenarios de cambio climático para el trigo. Aptitud agroclimática 1981-1990 (+0.10 C)**



Escenarios Agroclimáticos desde el Presente hasta el Final del Siglo XXI

Lamentablemente, a partir de la intensa sequía que afectó a la campaña agrícola 2008/2009, comenzaron a notarse los primeros síntomas que indican que podría estar desarrollándose una nueva fase negativa, que alcanzaría su clímax hacia la década de 2040, combinándose con los efectos del calentamiento global.

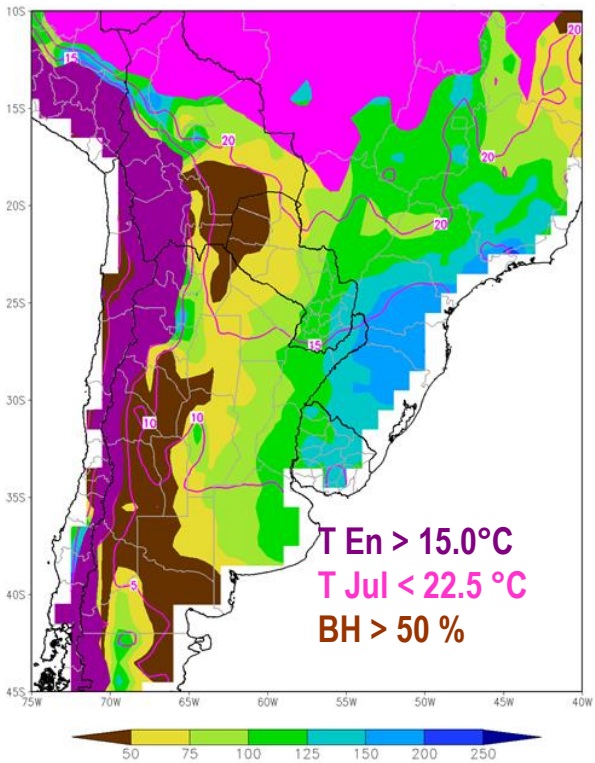
Esta nueva fase negativa observará un gradual aumento de la temperatura promedio, impulsada por el calentamiento global, lo cual reduciría las disponibilidades de frío y elevaría las temperaturas nocturnas, durante el semestre otoño-invernal.

No obstante, es probable que, al mismo tiempo, se vea afectado por un régimen de heladas severo, como ya lo demostraron los inviernos de 2013 y 2017, que volvieron a impactar sobre el agro paraguayo después de varias décadas de no hacerlo.

Desde el punto de vista hídrico, esta fase negativa incluirá una moderada reducción de las precipitaciones, pero en un grado mucho menos grave que el observado en la fase negativa anterior, ya que el incremento de la temperatura media incrementa la capacidad de contener humedad de la atmósfera, generando un efecto compensador.

Las condiciones observadas durante el período 2006/2015 comenzaron a mostrar los primeros signos de este proceso de desarrollo de una nueva fase climática negativa (Figura 16).

Figura 16. **Escenarios de cambio climático para el trigo. Aptitud agroclimática 2006-2015 (+0.50 C)**



Se observó una leve a moderada disminución del régimen hídrico de la Región, que afectó predominantemente a su porción occidental, provocando algunos impactos de consideración, como los registrados en las campañas 2008/2009, 2011/12 y 2017/2018.

Por sus menores requerimientos hídricos, el trigo fue poco afectado por este proceso, pero sufrió considerablemente con las heladas experimentadas en los inviernos de 2013 y 2017.

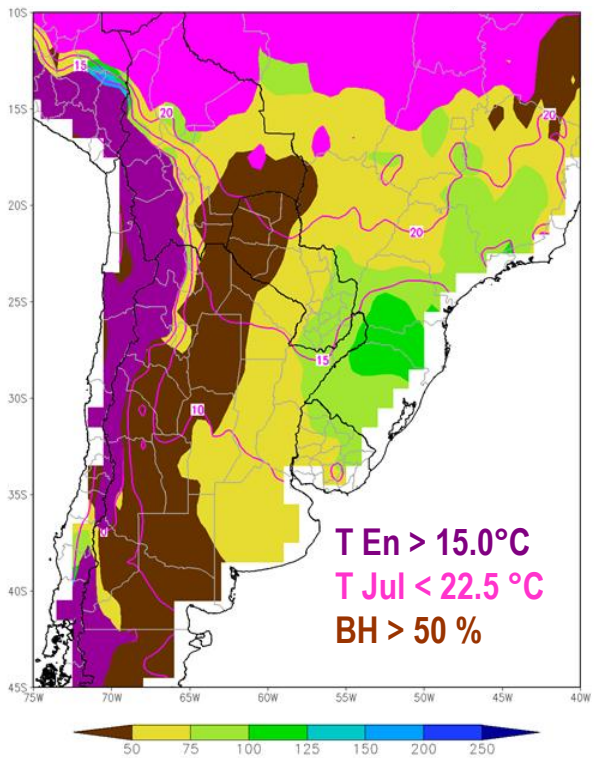
En este sentido, cabe hacer notar que, en el Paraguay, la vulnerabilidad del trigo a las heladas invernales se encuentra acentuada por la posición que ocupa su cultivo dentro del esquema de rotación.

Debido a que el trigo debe cosecharse en forma muy temprana, para liberar los campos para la subsiguiente siembra de soja, su ciclo se desarrolla casi en contraestación, haciendo que sus fases de floración, llenado de grano, y comienzo de maduración se cumplan entre Julio y Agosto, cuando el riesgo de heladas es mayor y su sensibilidad también lo es.

Asimismo, el incremento de la temperatura global +0,5˚C por encima del nivel de equilibrio preindustrial, causó una leve reducción de las disponibilidades de frío y un incremento de las temperaturas nocturnas que, aunque por el momento, no llegó a causar problemas sensibles, genera preocupación en lo que hace a su posible desarrollo futuro.

En caso que la tendencia climática actual se mantenga hacia el futuro, la fase climática negativa, que ahora está en sus comienzos, alcanzaría su clímax hacia la década de 2040, combinando un incremento térmico planetario de +1,1 ˚C con una reducción general de las precipitaciones (Figura 17).

Figura 17. **Escenarios de cambio climático para el trigo. Aptitud agroclimática 2030-2040 (+1.1 C)**



En esta situación, la mayor parte del área agrícola argentina y uruguaya pasarían a exhibir un régimen hídrico semiárido, que limitaría considerablemente su aptitud.

La Región Oriental del Paraguay conservaría un régimen hídrico equilibrado, que le otorgaría ventajas comparativas.

Aunque las disponibilidades de frío continuarían reduciéndose al mismo tiempo que se elevarían las temperaturas nocturnas, puede estimarse que, hasta este punto, estos cambios no serían limitantes en un grado significativo.

No obstante, es recomendable que la selección fitotécnica trabaje para obtener variedades de trigo adaptadas a esta tendencia.

En este escenario más cálido, parecería que el riesgo de heladas tendría que reducirse.

Sin embargo, no es posible asegurarlo porque la experiencia está demostrando que la evolución del calentamiento global no es lineal, y tiene muchos mecanismos de retroalimentación.

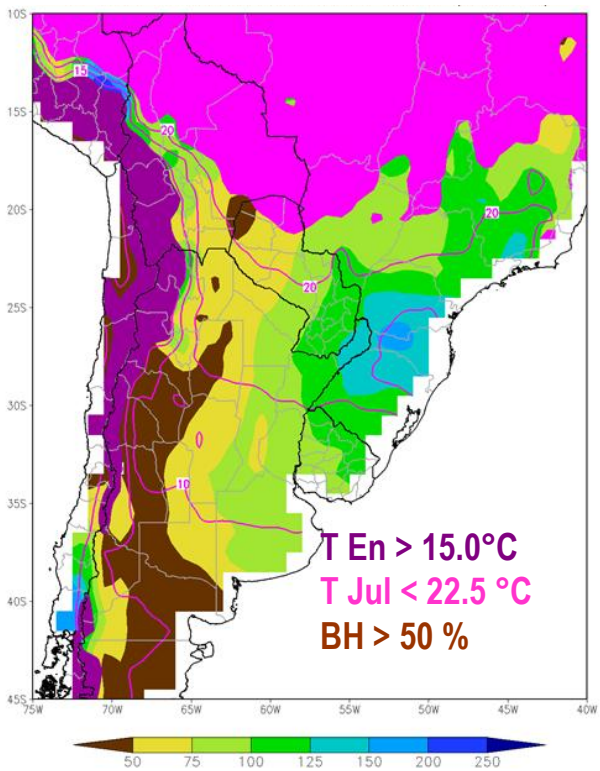
Uno de estos mecanismos de retroalimentación, consiste en que aunque tanto el Ecuador como los Polos se calientan, al mismo tiempo la diferencia de temperatura entre ambos se incrementa, vigorizando tanto las irrupciones de aire cálido desde el Ecuador hacia los Polos, como las irrupciones de aire polar desde los Polos hacia el Ecuador.

Prueba de ellos son las frecuentes olas frío y calor que están sufriendo, en los ultimos años, muchas Regiones del Globo.

Esto podría hacer que las irrupciones de aire polar, que comenzaron a hacerse más frecuentes en los últimos años, continúen impactando a la producción de trigo del Paraguay en forma significativa, a pesar del incremento del promedio térmico.

Estas irrupciones, son particularmente peligrosas, porque son precedidas por prolongados lapsos cálidos que mantienen a los trigos en un nivel de actividad muy alto, impidiendo que se rustifiquen, y haciéndolos extremadamente vulnerables al frío.

Figura 18. **Escenarios de cambio climático para el trigo. Aptitud agroclimática 2070-2080 (+2.5 C)**



Hacia mediados de la década de 2070 (Figura 18, Diapositiva 18), el clima entraría en una nueva fase positiva que se combinaría con un nivel de calentamiento global del orden de +2,5˚C.

El régimen hídrico comenzaría a recuperarse, restableciendo gradualmente la aptitud del área triguera de la Argentina y el Uruguay, mientras que el Paraguay incrementaría la suya, pero manteniéndose en el rango equilibrado, ya que parte del aumento de las precipitaciones será compensado por el aumento de la evapotranspiración causado por el calentamiento global.

Es probable que, en este punto, la reducción de la disponibilidad de frío y el aumento de las temperaaturas nocturnas, comenzarán a incidir en el rendimiento de las variedades tradicionales de trigo, haciendo necesario contar con materiales mejorados que permitan adaptarse con éxito a este cambio ambiental.

Aunque es difícil asegurarlo, es bastante probable que el riesgo de heladas se mantenga, determinando un ambiente en el que prolongados lapsos cálidos den paso, en forma abrupta, a vigorosas irrupciones de aire polar, provocadas por el desequilibrio térmico entre el Ecuador y los Polos.

Finalmente, hacia finales del Siglo XXI se combinarán el clímax de la fase positiva iniciada en la decada de 2070, con un posible calentamiento global del orden de +3,5˚C (Figura 19).

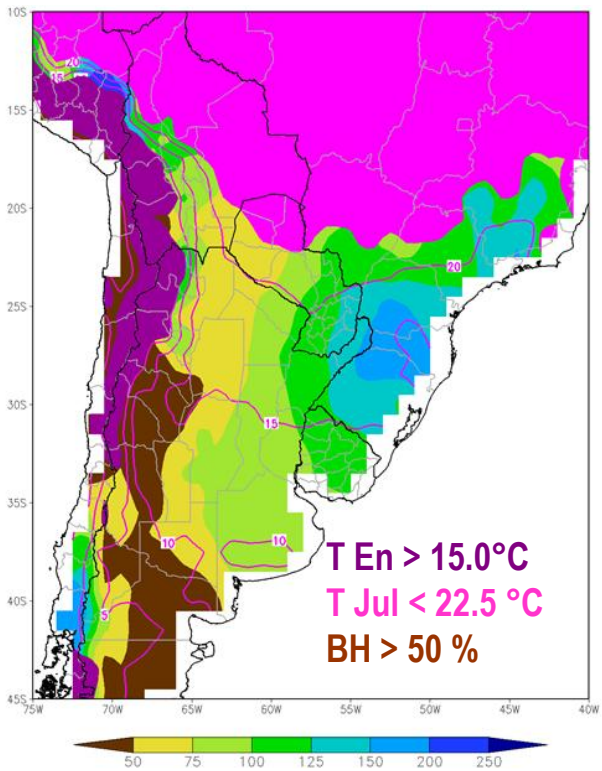
Desde el punto de vista hídrico, se producirá una recuperación que baneficiará a la mayor parte del área agrícola de la Región, permitiéndole completar su recuperación con respecto a la fase negativa precedente.

No obstante, el incremento térmico llegará a ser limitante en toda el área triguera del Cono Sur,haciendo imprescindible contar con variedades adaptadas a este cambio ambiental.

Por su posición más cercana al trópico, el Paraguay será más afectado, en este aspecto que los países situados más al Sur.

Por el momento, es muy difícil prever que podría pasar con el régimen de heladas en este escenario de calentamiento global.

Figura 19. **Escenarios de cambio climático para el trigo. Aptitud agroclimática 2090-2100 (+3.5 C)**



Una visión lineal indicaría que el riesgo de heladas tendería a desaparecer, dejando de impactar sobre la formación del rendimiento de los trigos de siembra otoñal temprana, como sucede en la actualidad.

No obstante, como ya se ha dicho, esto es muy difícil de asegurar, porque pareciera estarse poniendo en marcha un mecanismo no lineal de compensación, en el cual las vigorosas irrupciones inverno-primaverales de aire polar son necesarias para equilibrar la diferencia térmica entre el Ecuador y los Polos.

Es conveniente recordar que estas irrupciones, son particularmente peligrosas, porque son precedidas por prolongados lapsos cálidos que mantienen a los trigos en un nivel de actividad muy alto, impidiendo que se rustifiquen, y haciéndolos extremadamente vulnerables al frío.

CONCLUSIONES

El Calentamiento Global no debe ser visto como el augurio de enormes calamidades, sino como uno de los sucesivos cambios que ha experimentado, experimenta y experimentará el Planeta.

Cabe reconocer que, por primera vez en la historia del Planeta, la actividad humana es al menos parcialmente responsable del mismo, y que, por lo tanto, hay acciones que podrían tomarse para mitigarlo.

Lamentablemente, los hechos recientes ponen en evidencia que la mitigación del Calentamiento Global está muy lejos de ser una alternativa viable, por lo que es mucho más prudente pensar en las medidas adaptativas que resulta imprescindible tomar para enfrentar este desafío con éxito.

En lo referente al cultivo del trigo en el Paraguay, las medidas adaptativas al cambio climático que parecen más conducentes son las siguientes:

· Revisar el rol del trigo en el planteo de rotación de cultivos, a fin de posibilitar siembras más tar-

Resistencia a la helada, uno de los retos para el futuro.

días, cuya etapa de formación del rendimiento se produzca después de la épocas de mayor riesgo de heladas.

- Mejoramiento fitogenético dirigido a obtenere variedades sin requerimientos de frío, con tolerancia a altas temperaturas nocturnas y a golpes de Sol.
- Mejoramiento fitogenético destinado a obterner variedades con tolerancia a lapsos secos, que se adapten a la fase negativa del clima que alcanzará su clímax hacia la década de 2040.

Dado que el proceso de Calentamiento Global parece destinado a continuar su avance, es imprescindible encarar estas medidas en forma inmediata.

Los avances producidos por la “Revolución Verde” aseguran que se dispone de los conocimientos científicos y el herramental técnico necesarios para concretar estas innovaciones tecnológicas que gradualmente se harán necesarias para mantener la viabilidad del cultivo del trigo en el Paraguay.

Incrementos de la Temperatura Nocturna y los Golpes de Calor: ¿Cómo Afectan el Rendimiento y la Calidad en los Cereales Invernales?

Increases in Night Temperature and Heat shocks: How do they Affect Yield and Quality in Winter Cereals?

Daniel J. Miralles[1,2]

G.A. Garcia[1,2], **R.A. Serrago**[1], **M.F. Dreccer**[3], **I. Alzueta**[1,2]

[1] Cátedra de Cerealicultura, Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires y CONICET, Av. San Martin 4453, C1417DSE Buenos Aires, Argentina

[2] IFEVA-CONICET, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martin 4453, C1417DSE Buenos Aires, Argentina

[3] CSIRO Plant Industry, Cooper Laboratory, University of Queensland, PO Box 863, Gatton, Queensland 4343, Australia.

miralles@agro.uba.ar

RESUMEN

El desafío continuo que representa el clima para la producción agrícola y, por ende, la seguridad alimentaria mundial se magnifica frente al cambio climático. Teniendo en cuenta la importancia estratégica que tienen para el Cono Sur y el mundo la producción de trigo y cebada, resulta necesario predecir el comportamiento de ambos cultivos frente a los escenarios climáticos proyectados: i) mayor temperatura media, debido a incrementos en la temperatura nocturna (ITN), y ii) golpes de calor (GC) más frecuentes, a fin de poder diseñar eficientes medidas de adaptación. Esta presentación mostrará los principales resultados sobre el tema obtenidos por el Grupo de Cereales de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Los estudios se basaron en: (i) la experimentación a campo, la cual, si bien pierde precisión en la cuantificación de la respuesta de un proceso fisiológico a un factor ambiental específico, entrega información extrapolable a condiciones productivas, y (ii) la fisiología comparada de cultivos de invierno (trigo y cebada), herramienta útil en el entendimiento de procesos funcionales afectados.

Los experimentos correspondientes al ITN combinaron: (i) dos cultivares primaverales con fenología similar, adaptados a la Pampa Ondulada Argentina: un trigo pan (Baguette 13 Premium) y una cebada de 2 hileras con calidad maltera (Scarlett), expuestos a (ii) diferentes regímenes de temperatura nocturna: temperatura ambiente y alta temperatura durante el período crítico (i.e. desde DC33 hasta 10d post-DC65) o durante el llenado de granos (i.e. desde 10d post-DC65 hasta DC95), durante (iii) dos estaciones de crecimiento contrastantes en términos de radiación y temperatura: una fecha de siembra tardía en 2011 (6 de Agosto, 400 plantas m^{-2}) y

una fecha de siembra temprana en 2013 (6 de Junio, 300 plantas m^{-2}) en Buenos Aires (34˚35´S, 58˚29´W, 26 msnm). En todos los casos, los cultivos fueron conducidos sin limitaciones hídricas (riego complementario a las precipitaciones ocurridas), nutricionales (fertilización ajustada de acuerdo a análisis de suelo), ni bióticas (control químico de malezas, plagas y enfermedades). Los ITN (ca. 4˚C) fueron obtenidos por medio de carpas de calentamiento mediante un sistema automático de calentamiento con sensores internos y externos para mantener incrementos de ca. 4 ˚C respecto de la temperatura ambiente nocturna. Las estructuras fueron colocadas sobre el canopeo entre las 19 y 7h cada día de tratamiento. Producto de la combinación de ambientes, la temperatura mínima nocturna promedio durante el período crítico varió entre ca. 11 y 17˚C, mientras que durante el llenado de granos el rango explorado fue entre ca. 14 y 22˚C. Focalizándonos en el período crítico, trigo y cebada mostraron una reducción similar del rendimiento frente a noches más cálidas (ca. 7% $˚C^{-1}$), debido a una reducción en el número de granos por m^2 fijados (ca. 6% $˚C^{-1}$), ligado a un menor establecimiento de espigas por m^2. Las mayores temperaturas nocturnas aceleraron el desarrollo del cultivo reduciendo la duración del periodo, afectando negativamente la captura de la radiación y la producción de biomasa, con consecuencias negativas sobre la determinación del número de granos y, por ende, el rendimiento. En lo que respecta al llenado de granos, el peso de grano tanto de trigo como de cebada fue reducido en forma similar por el ITN (ca. 3% $˚C^{-1}$), causando una caída del rendimiento de ca. 4% $˚C^{-1}$. Nuevamente, el impacto de la temperatura nocturna sobre la tasa de desarrollo del cultivo resultó ser el proceso más relevante. Noches más cálidas acortaron el llenado efectivo de granos, reduciendo el peso logrado, a pesar de que la disponibilidad de asimilados (medida como senescencia y carbohidratos solubles en tallo) no fue significativamente afectada. En cuanto a los efectos sobre la calidad en trigo, el ITN incrementó el contenido de proteína en granos debido a un menor efecto de dilución debido a las caídas en el rendimiento. Los aumentos en proteína promovieron mayores valores de fuerza de masa (W), reducciones en la tenacidad (P) y aumentos en la elasticidad de la masa (L), aumentando la relación P/L.

Los experimentos correspondientes a GC combinaron: (i) los dos cultivos mencionados, los cuales fueron expuestos a (ii) GC de diferente duración durante el período crítico: un control (temperatura natural) y 2, 4 o 6 días consecutivos con temperatura máxima mayor a 32˚C, durante (iii) dos estaciones de crecimiento contrastantes en términos de radiación y temperatura: una fecha de siembra temprana (6 de Junio, 300 plantas m^{-2}) y una tardía (25 de Julio, 400 plantas m^{-2}) durante 2013. Los tratamientos de GC fueron aplicados en el periodo que va desde hoja Bandera (Z 39) hasta antesis (Z 65). Los cultivos fueron conducidos sin limitaciones hídrico, nutricionales, ni bióticas. Los GC fueron obtenidos por carpas de calentamiento específicamente construidas para mantener la temperatura interna a 32ºC. La suma de temperaturas estresantes (i.e. suma de temperatura horaria por encima de 32˚C) registrada en cada tratamiento de GC (i.e. 0, 2,4 o 6 días) fue 0, 32, 106 o 141 ˚Ch, y 0, 49, 59 o 160 ˚Ch en la fecha de siembra temprana y tardía, respectivamente. El número de granos por m^2, principal componente del rendimiento, fue reducido como consecuencia de los eventos de GC. A pesar de que se observaron algunas respuestas no aditivas, a medida que la duración del GC fue más larga, la reducción del número de granos fue mayor. Cebada tendió a ser más susceptible que trigo frente a los GC, aunque no se registraron diferencias significativas entre cultivos y fechas de siembra. En promedio, cereales de invierno irrigados mostraron pérdidas de granos de ca. 1.6% por día de GC durante el período crítico. En cuanto a la calidad industrial en trigo, con excepción del tratamiento más prolongado (6d) que redujo los valores de W y L, los GC no afectaron parámetros de la calidad industrial. La información generada podría ser utilizada como punto inicial para diseñar estrategias de manejo y/o mejoras tendientes a mejorar la adaptación de los cultivos de trigo y cebada frente al cambio climático.

ABSTRACT

The continuous challenge of the climate for agricultural production and, therefore, world food security is magnified in the face of climate change. Given the strategic importance of wheat and barley production in the Southern Cone and the world, it is essential to predict the behav-

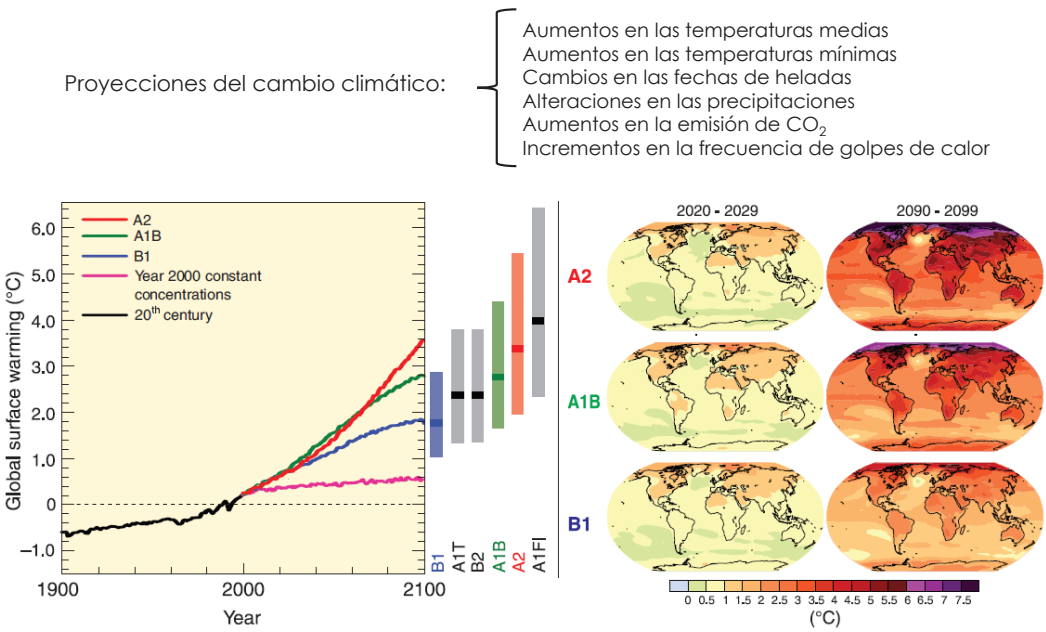
ior of both crops against the projected climatic scenarios: i) higher average temperature, due to increases in nighttime temperature (ITN), and ii) more frequent heat shocks (GC), in order to design efficient adaptation measures. The presentation will highlight some results obtained by the Grains Group of the Faculty of Agronomy of the University of Buenos Aires. The studies were based on: (i) field experimentation, which, although loses precision in the quantification of the response of a physiological process to a specific environmental factor, but delivers extrapolated information on production conditions, and (ii) comparative physiology of winter crops (wheat and barley), a useful tool in the understanding of affected functional processes. The experiments corresponding to the ITN combined: (i) two spring cultivars with similar phenology, adapted to the Argentine Pampa: one wheat bread (Baguette 13 Premium) and 2 row malting barley (Scarlett), exposed to (ii) different night temperature regimes: room temperature and high temperature during the critical period (i.e. from DC33 to 10 days post-DC65) or during grain filling (i.e. from 10 days post-DC65 to DC95), during (iii) two growing seasons contrasting in terms of radiation and temperature: a late sowing date in 2011 (August 6, 400 m^{-2} plants) and an early sowing date in 2013 (June 6, 300 m^{-2} plants) in Buenos Aires (34 ° 35'S, 58 ° 29'W, 26 masl). In all cases, the crops were conducted without limitations of water (complementary irrigation to the rainfall), nutrition (fertilization adjusted according to soil analysis), or biotic (chemical control of weeds, pests and diseases). The ITN (ca. 4° C) were obtained by means of heating tents with an automatic heating system with internal and external sensors to maintain increments of ca. 4° C with respect to the night ambient temperature. The structures were placed on the canopy between 19 and 7 h each day of treatment. As a result of the combination of environments, the average minimum nighttime temperature during the critical period ranged from ca. 11 and 17 ° C, while during the grain filling the range explored was between ca. 14 and 22° C. Focusing on the critical period, wheat and barley showed a similar reduction in yield in warmer nights (ca. 7% $°C^{-1}$), due to a reduction in the number of grains per m^2 (ca. 6% $°C^{-1}$), caused by a smaller number of spikes per m^2. The higher nocturnal temperatures accelerated the crop development, thereby reducing the duration of the period, negatively affecting the capture of the radiation and the production of biomass, leading to negative consequences on the determination of the number of grains and, therefore, the yield. With regard to grain filling, the grain weight of both wheat and barley was similarly reduced by the ITN (ca. 3% $°C^{-1}$), causing a yield drop of ca. 4% $°C^{-1}$. Again, the impact of the night temperature on the rate of crop development turned out to be the most relevant process. Warmer nights shortened the effective grain filling and reduced the weight achieved, although the availability of assimilates (measured as senescence and soluble carbohydrates in stem) was not significantly affected. Regarding the effects on quality in wheat, the ITN increased the protein content in grains due to a lower effect of dilution caused by the in yield. Increases in protein promoted higher values of dough strength (W), reductions in tenacity (P) and increases in the elasticity of the dough (L), resulting in an increased P / L ratio.

The experiments corresponding to heat shocks (GC) combined: (i) the two crops, which were exposed to (ii) GC of different duration during the critical period: one control (natural temperature) and 2, 4 or 6 consecutive days with maximum temperature at 32 °C, during (iii) two contrasting growth seasons in terms of radiation and temperature: an early planting date (June 6, 300 plants m^{-2}) and a late one (July 25, 400 plants m^{-2}) during 2013. The GC treatments were applied in the period ranging from flag leaf (Z 39) to anthesis (Z 65). The crops were conducted without water, nutritional or biotic limitations. The GCs were obtained by heating tents specifically constructed to maintain the internal temperature at 32ºC. The sum of stressful temperatures (i.e. sum of the hourly temperature above 32 °C) recorded in each GC treatment (i.e. 0, 2, 4 or 6 days) was 0, 32, 106 or 141 °C h, and 0, 49, 59 or 160 °C h on the date of early and late planting, respectively. The number of grains per m^2, the main component of yield, was reduced as a consequence of GC events. Although some non-additive responses were observed, an increase in the duration of the CG, resulted in a higher reduction in the number of grains. Barley tended to be more susceptible than wheat to GC, although there were no significant differences between crops and sowing dates. On average, irrigated winter cereals showed grain losses of ca. 1.6% per day of GC during the critical period. Regarding the industrial quality in wheat, with the exception of the longer treatment (6d) that reduced the values of W and L, the GCs did not affect parameters of industrial quality. The information generated here can be used as an initial point to design breeding and / or crop management strategies to improve the adaptation of wheat and barley to climate change.

PREVISIONES CLIMÁTICAS Y PRODUCCIÓN TRIGUERA

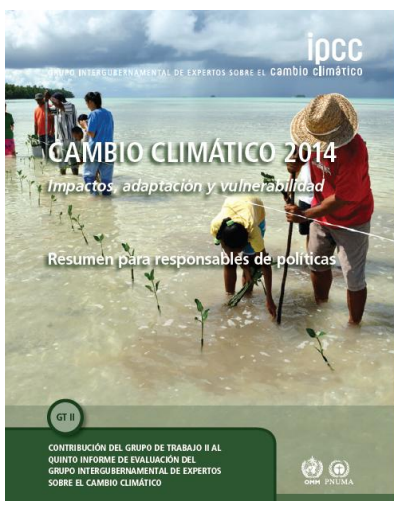
Muchísimas gracias por la invitación y es un placer estar aquí. Las explicaciones del Ing. Sierra sobre clima global me vinieron muy bien para ser breve en los aspectos de cambio climático. Tal cual lo mostró el Ing. Eduardo Sierra, esto es lo que más o menos se espera en los próximos años que podríamos llamar cambios globales Fig. 1. En Argentina y en algunos países del cono sur (como Uruguay), se espera aumento en las temperaturas mínimas que determinaran aumentos a las temperaturas medias; cambios en los periodos de heladas; podemos esperar alteraciones en las lluvias, aumentos en la emisión de dióxido de carbono y aumentos en la frecuencia de golpes de calor. Estos son algunos factores que van a tener aparejados los cambios climáticos.

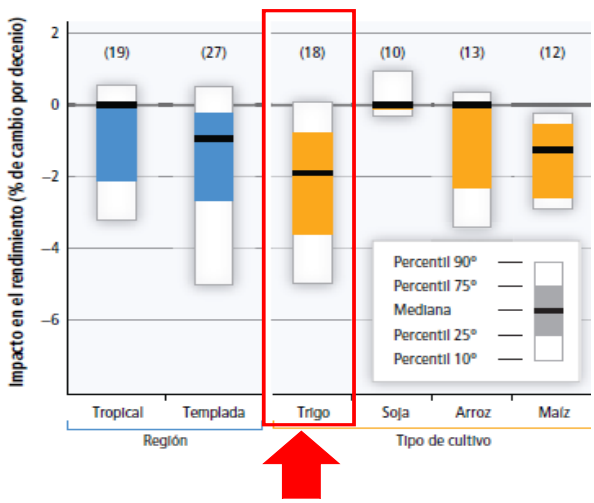
Figura 1. **Cambio climático y el manejo de los cultivos invernales**



En su informe del 2014, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático muestra el impacto que podría tener el rendimiento en distintos cultivos, trigo, soja, arroz, maíz, debido al cambio climático, Fig. 2. Lo que se observar es que en la mayoría de los cultivos el impacto es negativo. En algunos, como en la soja, el impacto podría ser neutro o incluso favorable. Pero, en el caso particular de trigo, lo que se espera en el peor escenario, con reducciones cercanas a un 5% de reducción en el rendimiento.

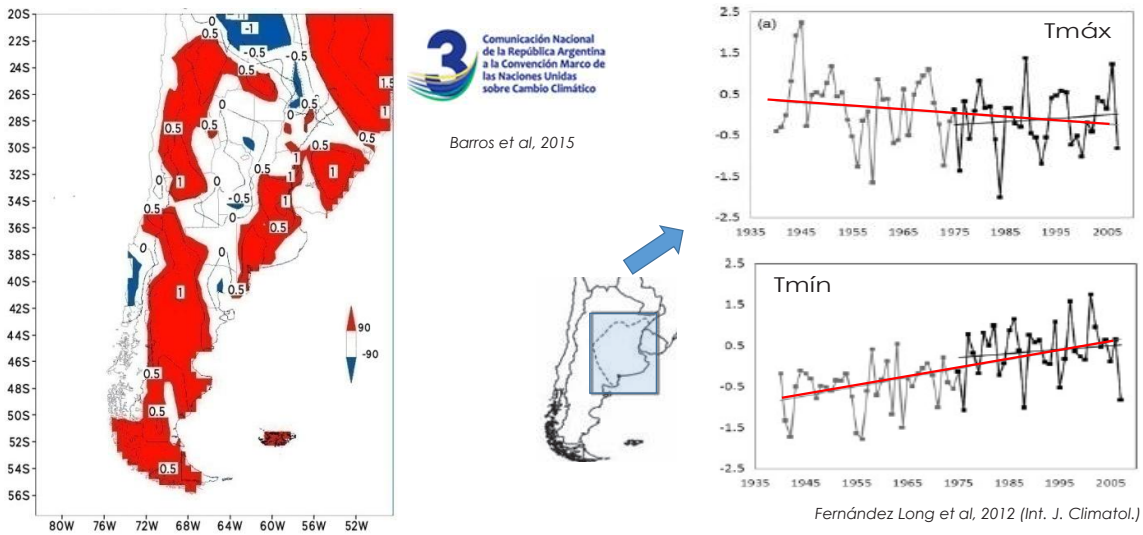
Figura 2. **Trigo: el cultivo mas afectado por el cambio climático**





Estos son datos para Argentina, de la tercera comunicación nacional que se presentó en el Congreso A Todo Trigo. El Dr. Barros, el director del grupo de análisis de cambio climático en Argentina, ha observado un aumento de media global de medio grado a 1 ˚C aproximadamente entre el año 1960 y 2010, Fig. 3.

Figura 3. **Cambios en el clima en Argentina: Temperatura**

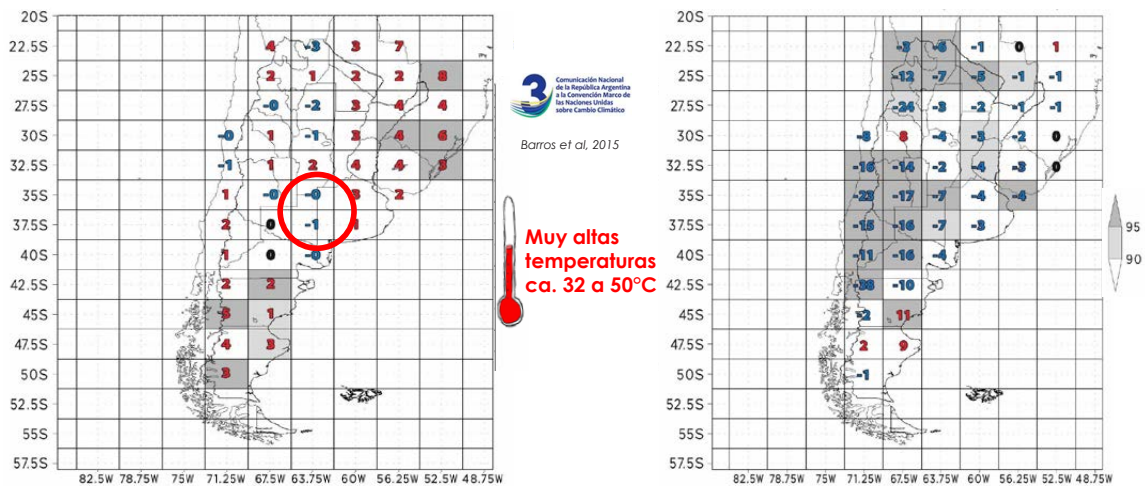


Cambio en la temperatura media anual entre 1960 y 2010: Aumento de temperatura media anual de 0.5 a 1 grado

Mayores temperaturas medias debido a noches más cálidas

Si se observa la composición de ese cambio, tenemos el mismo rango de años mostrando los cambios de la temperatura máxima, así como los cambios en la temperatura mínima. Lo que se ve en todas las áreas productoras trigueras del Argentina es un aumento en las temperaturas mínimas en una gran proporción de las zonas, y no se observan cambios de relevancia en la temperatura máxima, Fig. 4. Quiere decir que este aumento en la temperatura media está asociada al aumento de la temperatura mínima, es decir noches más cálidas.

Figura 4. **Cambios en el clima en Argentina: Temperatura y heladas**



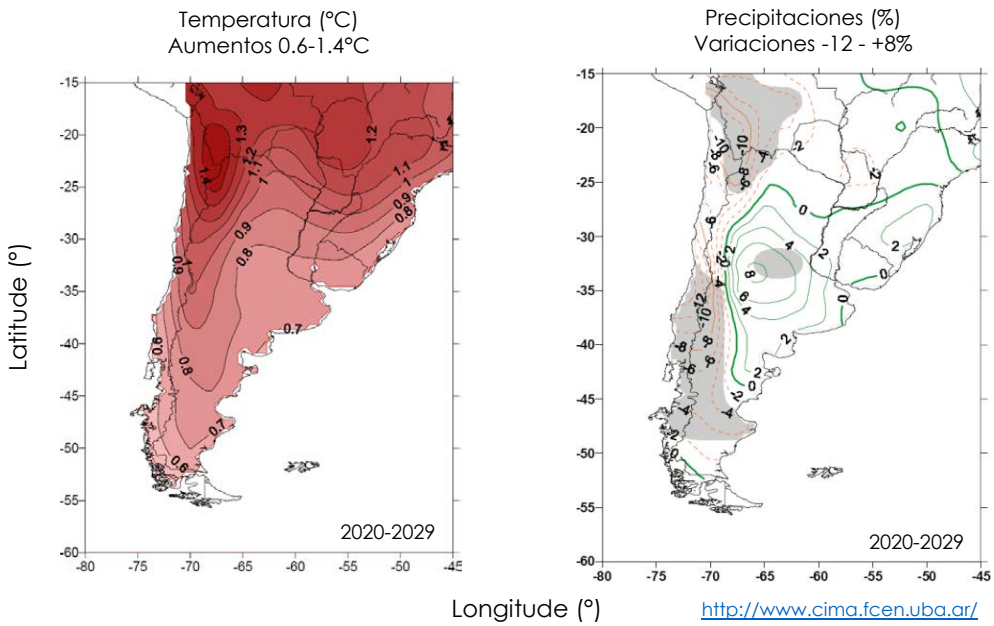
Las olas de calor aumentaron considerablemente en el norte y este

Las heladas disminuyeron en la mayor parte del país (confianza alta)

Lo que trae aparejado esos cambios son los periodos libres de helada. En general, lo que tenemos con los cambios en las temperaturas; la que tiene una alta tasa de predicción; y los periodos libres de heladas, sin cambios en las fechas de las últimas heladas. Por otro lado, otra consecuencia de estos cambios es un aumento en la frecuencia de golpes de calor; una mayor frecuencia de temperaturas mayores de 32 a 35 ˚C.

El Ing. Sierra comentó sobre los distintos escenarios climáticos. En los próximos años podemos esperar un incremento en la temperatura media y cambios mucho más aleatorios y con menor grado de confiabilidad, en lo que son las precipitaciones, donde no hay tendencia hacia un aumento (Figs. 5, 6 y 7). Como puede verse en la Fig. 5, la temperatura que tiene un grado alto de confianza con respecto a la precipitación.

Figura 5. **Escenarios climáticos futuros en Sud América**



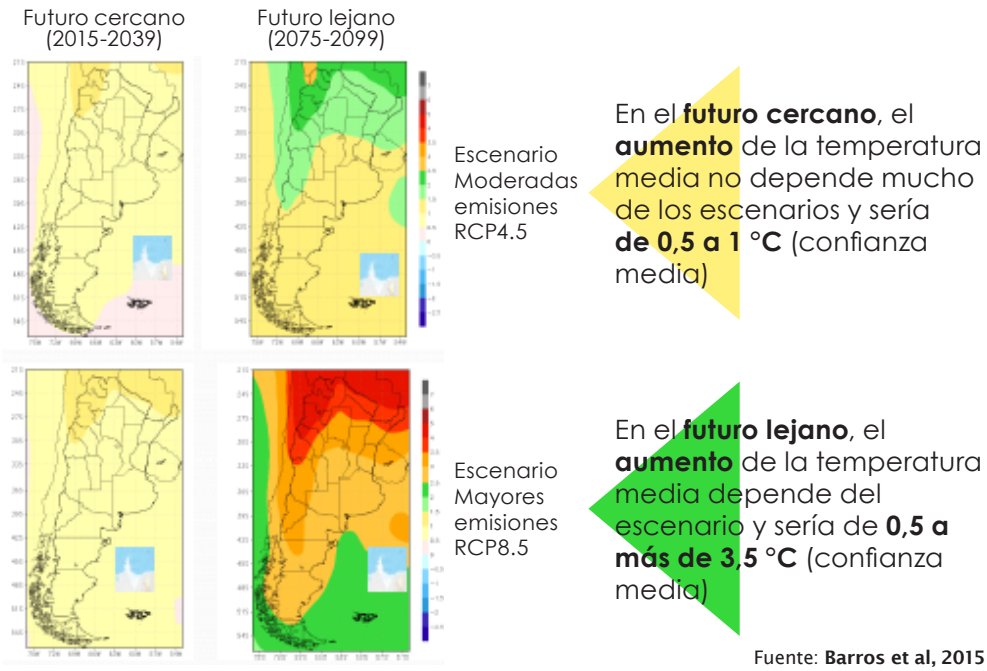
Tanto en los escenarios de alta emisión, que mostró Eduardo Sierra donde tenemos incrementos de temperaturas hasta el 2100 de 4˚C aproximadamente, hasta los escenarios de menor emisión con menores incrementos. Como se detalló en las precipitaciones no se ve una tendencia en general muy consistente (Figs. 6 y 7).

¿EN ESTOS ESCENARIOS QUÉ ES LO QUE PUEDE PASAR CON LOS CULTIVOS?

¿Qué se espera de los cultivos invernales, trigo o cebada y en particular de trigo? Hay muchísimos modelos de simulación, que nos permiten proyectar con series climáticas, históricas o a futuros, de series sintéticas, series modificadas, lo que puede pasar con un cultivo en el marco del cambio climático. En un trabajo liderado por Graciela Magrin, usaron los modelos de simulación de la familia DSSAT, sobre un área muy importante triguera de la argentina, que es Pergamino, la pampa ondulada. La proyección de que lo que ha pasado con el cultivo de trigo entre los años 1930 a fines de los 1990, con el aumento de la temperatura, esta presentada en la Fig. 8. La pregunta es, ¿se afectaría la potencialidad del rendimiento de trigo como consecuencia del cambio climático? Como se puede observar en la gráfica, la tendencia es negativa. Si se evalúan los años desde 1930 a fines del 1990, el rendimiento potencial del cultivo pierde cerca de 27 kg/ha/año por efecto de aumentos térmicos. Pero si se observa una serie más corta del 1970 al 2000, esa tasa de caída es de 53 kg/ha/año.

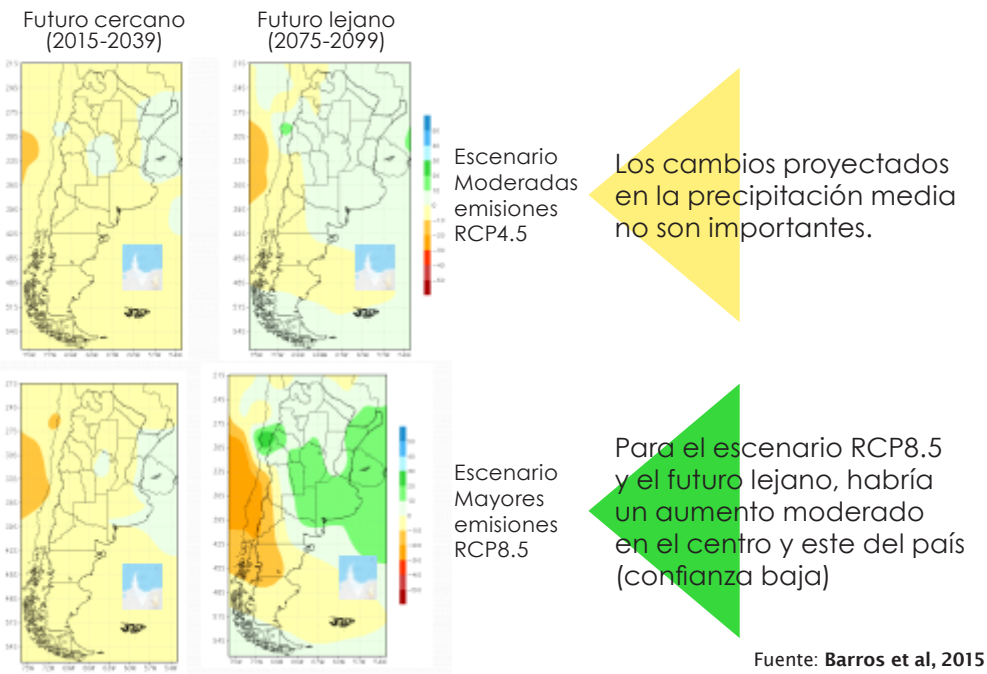
El cultivo de trigo se desarrolla en el cono sur desde mayo o junio hasta diciembre. No todas las etapas tienen la misma sensibilidad a cambios de temperatura o a cambios de precipitación a lo largo del ciclo del cultivo de trigo. Existen periodos llamados críticos cercanos a la floración donde se define buena

Figura 6. **Cambios proyectados en la temperatura**



Fuente: **Barros et al, 2015**

Figura 7. **Cambios proyectados en la precipitación**

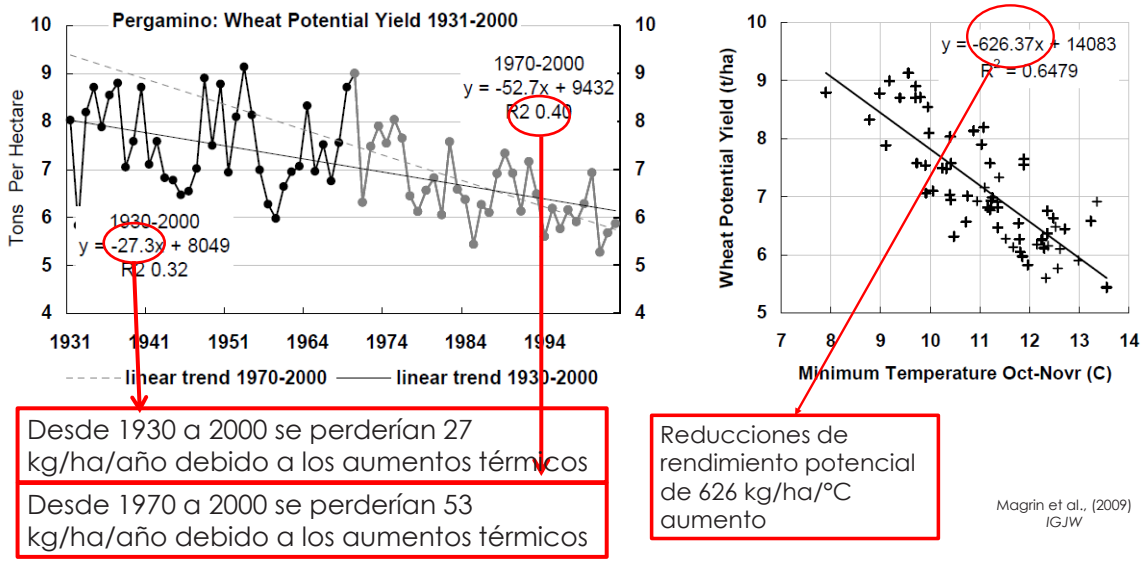


Fuente: **Barros et al, 2015**

parte del rendimiento. En el caso particular de los cultivos invernales como trigo, cebada, ese periodo ocurre desde casi un mes antes de la floración, 2 a 3 nudos aproximadamente, hasta 10 días posterior a la floración, eso es lo que llamamos periodo crítico para la definición del rendimiento. En la segunda gráfica de la Fig. 8 se puede observar lo que ocurre con el rendimiento potencial del trigo en función a la temperatura mínima durante ese periodo, en los meses de octubre – noviembre.

Los datos muestran que el rendimiento potencial se reduce cerca de 600 kg/ha por cada grado ˚C de aumento de la temperatura mínima. En otras palabras, si hay o se espera noches más cálidas, va a resultar en reducción del rendimiento potencial, y seguramente en el rendimiento real del trigo, a medida que haya temperaturas cada vez más elevadas nocturnas en ese periodo.

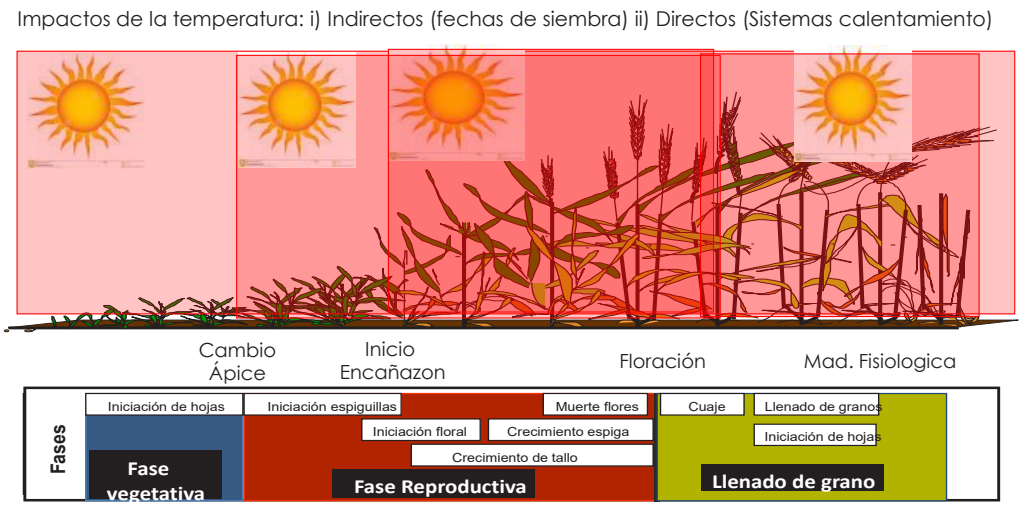
Figura 8. **Simulación de los efectos del aumento térmico sobre el rendimiento potencial**



Estos datos que he mostrado están obtenidos a partir de un modelo de simulación (Fig. 9). Sin embargo, el modelo de simulación trata de representar la realidad, pero no es la realidad, que en definitiva es la que ocurre en el cultivo sobre el lote de producción. Entonces, la pregunta es: ¿hay formas de tratar de simular la realidad de cómo sería un calentamiento, y si la hay, existen métodos indirectos y directos para estimar su impacto sobre los cultivos?

Método indirecto: consiste en mirar una secuencia de fechas de siembras, siembras tempranas hasta fechas tardías, y evaluar cómo afecta la temperatura; teniendo en cuenta que ese cultivo esta

Figura 9. **Simulación del calentamiento global y su impacto en el campo**



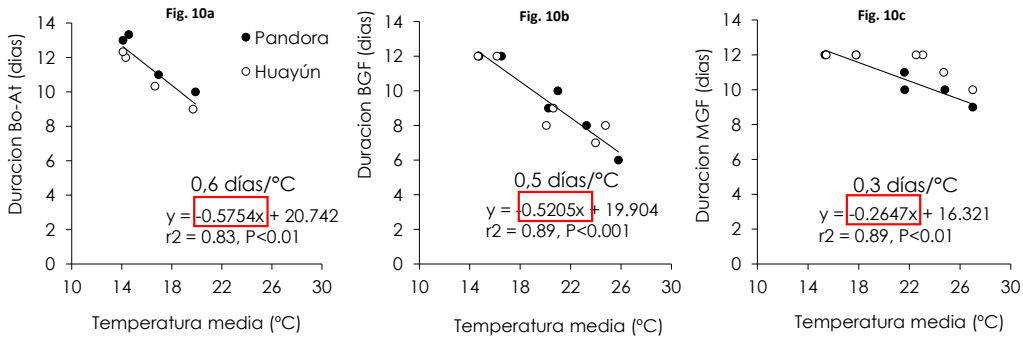
regado, y que no tenga otra variable que afecte el cultivo mas que la temperatura. Sin embargo, en esta aproximación hay otros factores mezclados: la radiación que cambia con la fecha de siembra, el fotoperiodo, etc. Si cambia el momento de ocurrencia del periodo crítico debido al fotoperiodo, por ejemplo, indicado por el rectángulo rojo del esquema de generación de rendimiento de un cultivo invernal (Fig. 9), las condiciones ambientales también se modifican y habrá efectos confundidos no solo atribuibles a la temperatura.

También hay métodos directos de simular el calentamiento global. Hay distintos sistemas de calentamiento, sistemas abiertos, sistemas cerrados, y siempre a nivel de parcela o lote de producción. La

literatura muestra que esos sistemas directos pueden calentar simulando el cambio de temperatura durante todo ciclo del cultivo, calentando una parte de ese ciclo, concentrando en periodos críticos, o en llenados de granos, si uno quiere ver cuál es el impacto de ese aumento de temperatura en esa última parte del ciclo del cultivo. En otras palabras, podemos analizar algunos datos que se han obtenido con métodos directos, de cómo afecta el aumento térmico al rendimiento de los cultivos y los componentes.

Daniel Calderini y su grupo en Valdivia, Chile, calentaron el cultivo de trigo, en dos cultivares comerciales, generando unas carpas de calentamiento, donde solo aumentaba la temperatura promedio en distintos momentos de ese cultivo; en el periodo crítico (Fig. 10a), en el inicio de llenado (Fig. 10b) y durante el llenado de los granos (Fig. 10c). En todos los casos lo que se puede observar es un acortamiento del periodo que se expone a mayor temperatura y esa reducción en cada uno de estas etapas tuvo distintas sensibilidades. En la primera etapa vinculada con el periodo crítico, la parte inicial del llenado, se acorta prácticamente medio día (0,5 días) por cada ˚C de aumento de temperatura media; mientras que en la última etapa del llenado este acortamiento fue sustancialmente menor, cerca de 0.3 días por cada ˚C de aumento de temperatura. Las consecuencias de estos calentamientos fueron reducciones de 5% del rendimiento por cada ˚C de aumento térmico.

Figura 10. **Cambio climático y el manejo de los cultivos invernales**



GY: -5% (este estudio)
-6% (Prasad et al., 2008)
-6% (Asseng et al., 2013)

Aumentos en la temperatura media entre el inicio del periodo critico y el llenado de granos redujeron la duración del ciclo entre 0,3 y 0,6 días/°C. El acortamiento del ciclo redujo el rendimiento 5% /°C

Lizana & Calderini (2013) *J. Agric. Sci.*

RELACIÓN TEMPERATURA NOCTURNA Y EL RENDIMIENTO DE TRIGO

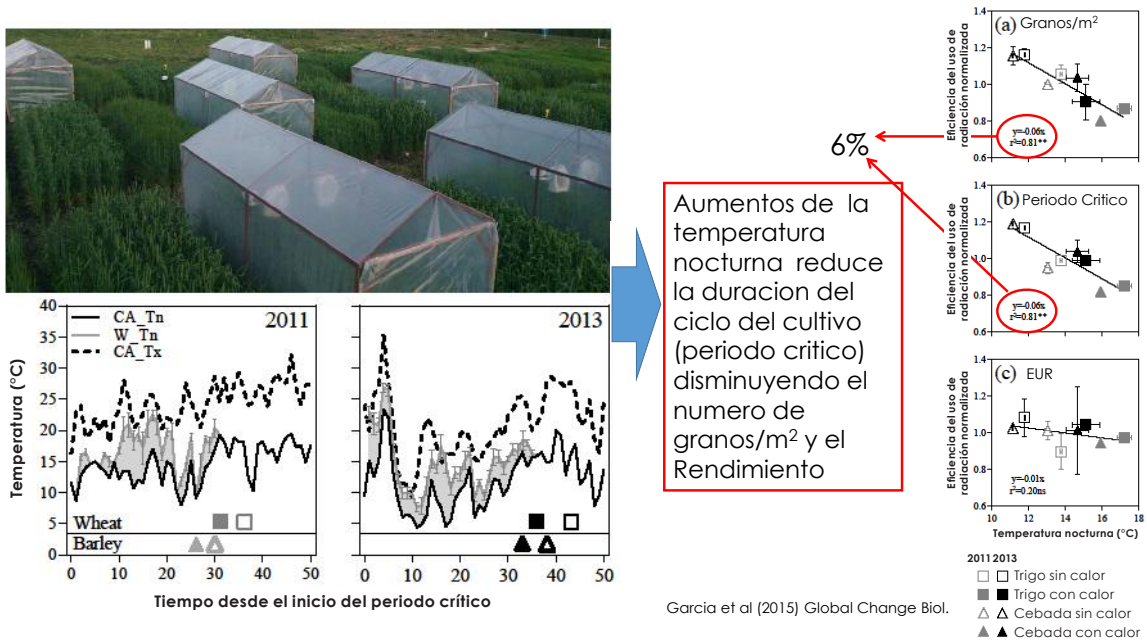
En un otro trabajo que fue conducido en la Facultad de Agronomía, se puede observar las carpas de calentamiento nocturnas (Fig. 11). Estas carpas fueron colocadas desde las 07:00 de la noche hasta las 07:00 de la mañana del día siguiente, solo para aumentar la temperatura nocturna con un sistema automático de sensores externos e internos. El sensor lee la temperatura externa y con un sistema automatizado aumenta la temperatura en el interior de la carpa 4˚C respecto a la temperatura exterior y permanentemente, cada minuto y medio, corrige el aumento programado a la temperatura interna. El incremento que se logra está indicado en color gris de las gráficas, dentro de las carpas. Lo que se trata de simular son los escenarios, como comentó Eduardo, los escenarios más negativos del cambio climático.

Lo que se puede observar en la Fig. 11a, a la derecha, es el cambio de número de granos, un cambio normalizado en función a la temperatura nocturna en base a varios años y distintos cultivares. Hay una caída en el número de granos por metro cuadrado por aumentos en la temperatura nocturna.

La variación normalizada en la duración del periodo crítico, Fig. 11b, en el cual se aplicó el calentamiento nocturno, presenta una pendiente similar (en términos normalizados) a la caída de números de granos por metro cuadrado. En otras palabras, la reducción en el número de granos por metro cuadrado fue debido a un acortamiento en el periodo crítico por el aumento de la temperatura nocturna.

Cuando se observan otros atributos, susceptibles a cambios asociados al aumento de temperatura de acuerdo a los modelos de simulación como por ejemplo la eficiencia del uso de la radiación (es decir los gramos de biomasa producidos por unidad de radiación interceptada) tal como se muestra en la Fig. 11c, no hubo cambios estadísticamente significativos asociados al aumento de la temperatura nocturna. Es decir, el aumento de la temperatura nocturna no afecta la eficiencia de transformación de la radiación hacia la biomasa. Esto demuestra que, en principio, el efecto negativo de aumentos nocturnos de temperatura sobre el rendimiento se asocia exclusivamente a un acortamiento del ciclo del cultivo. Esto de alguna manera es alentador ya que si tuviera efectos sobre la eficiencia de uso de la radiación (o la fotosíntesis), sería mucho más complejo de manejar los efectos del cambio climático asociados a la temperatura. En los ensayos llevados a delante por nuestro grupo de investigación hemos observado un acortamiento del 6 % en el periodo crítico, lo que determinó una reducción de 6 % en el número de granos (y el mismo porcentaje en el rendimiento). Es bien sabido que en los cultivos invernales y en la mayoría de los cultivos de granos, los cambios de números de granos por metro cuadrado se asocian muy fuertemente con el rendimiento, los resultados de estos estudios confirman que la caída en el rendimiento fue del 6% por cada ˚C de incremento en la temperatura nocturna.

Figura 11. **Reducción en los rendimientos debido a aumentos en la temperatura nocturna**



Las siguientes preguntas lógicas son sobre los componentes afectados. ¿Se acorta el ciclo? ¿Se reduce el número de granos? ¿Qué componentes del número de granos? Los dos componentes del número de grano, entre otros, son los que tienen marcados en el recuadro (Fig. 12), que son (i) el número de espigas por metro cuadrado y (ii) el número de granos por espigas. Cuando se calentaron esas parcelas, que estaban en un lote de producción, se redujo principalmente el número de espigas por metro cuadrado debido a un acortamiento del periodo crítico, sin que haya mayores cambios, por lo menos en este experimento, en el número de granos por espigas. Es decir que las penalizaciones en el rinde debido a aumentos térmicos estuvieron asociadas a la reducción de números de granos por metro cuadrado y ese menor número de granos se debió a una reducción en el número de espigas por metro cuadrado.

En resumen, el efecto del cambio climático global en términos de aumentos en las temperaturas mínimas será de más o menos entre un 6 a 7 % de reducción en el rendimiento, por cada ˚C de aumento en la temperatura nocturna (Fig. 13). ¿Qué pasaría cuando la temperatura nocturna se incrementa durante el llenado de granos? También tiene un aspecto negativo, pero un efecto sustancialmente menor que el calentamiento en el periodo crítico, que es donde se define el número de granos. Durante el llenado se define el peso de los granos y los resultados demuestran que calentamientos

Figura 12. **Impacto del aumento de la temperatura nocturna sobre los componentes de rendimiento**

Table 1 Growing season (GS), crop (C) and night temperature regime during the critical period (NT) effect on wheat and barley grain yield (GY), time to anthesis (DC11-65), grain number per unit area (GN), average grain weight (GW), spike number per unit area (SN), grain number per spike (GNS), above ground dry matter accumulated during the whole cycle (AGDM) and harvest index (HI). Summary ANOVA (bottom of the table) shows significance levels for main effects and their interaction

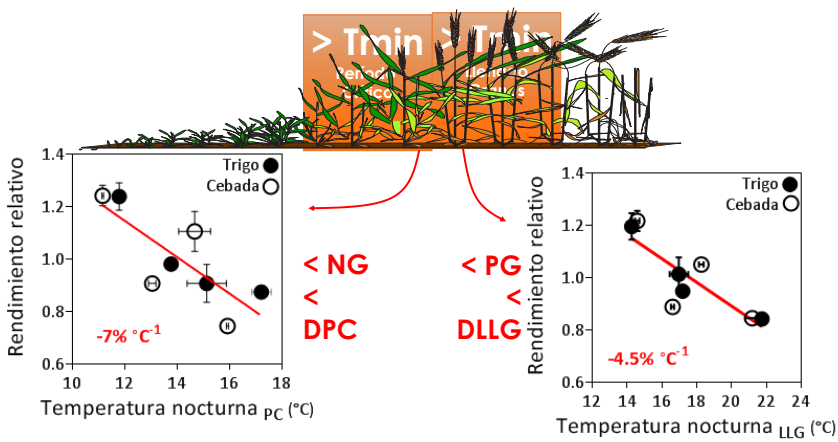
GS	C	NT	GY, g m^{-2}	DC11-65, days	GN, grains m^{-2}	GW, mg	SN, spikes m^{-2}	GNS, grains spike^{-1}	AGDM, g m^{-2}	HI
2011	Wheat	ANT	481	73	15 111	31.9	485	31	1229	0.39
		HNT	428	68	12 444	34.4	413	30	984	0.44
	Barley	ANT	550	70	16 788	32.8	864	20	1206	0.46
		HNT	452	66	13 435	33.7	730	18	954	0.47
2013	Wheat	ANT	607	115	16 635	36.4	552	30	1498	0.41
		HNT	445	108	12 933	34.6	457	28	1192	0.38
	Barley	ANT	753	110	19 363	39.0	1050	18	1524	0.49
		HNT	670	105	17 367	38.6	997	17	1350	0.50
ANOVA		GS	**	**	*	**	*	*	**	ns
		C	**	*	**	*	**	**	ns	**
		NT	**	**	**	ns	**	ns	**	ns
		GS*C	**	ns	ns	*	*	ns	ns	ns
		GS*NT	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*
		C*NT	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		GS*C*NT	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Ambient (ANT) and high (HNT) night temperatures.
ANOVA results: $^{**}P < 0.01$, $^{*}P < 0.05$, ns: not significant ($P \geq 0.05$).

Reducciones en el numero de espigas/m2. No se observaron efectos significativos en el NG/espigas

Garcia et al (2015) Global Change Biol.

Figura 13. **Reducción en los rendimientos debido a aumentos en la temperatura nocturna**

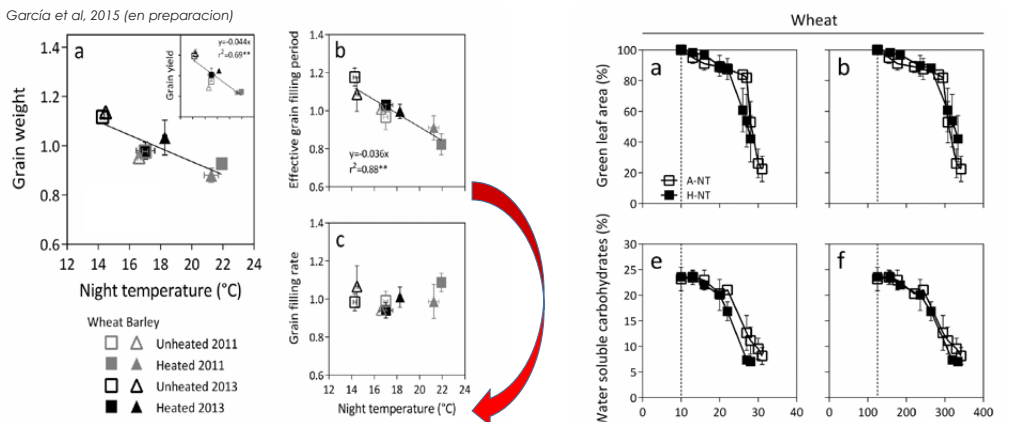


Garcia et al (2015) Global Change Biol.

García et al, 2015

Figura 14. **Impacto del aumento de la temperatura nocturna sobre el llenado de granos**

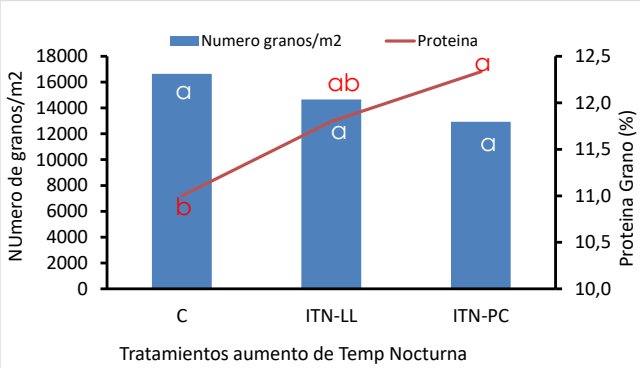
García et al, 2015 (en preparacion)

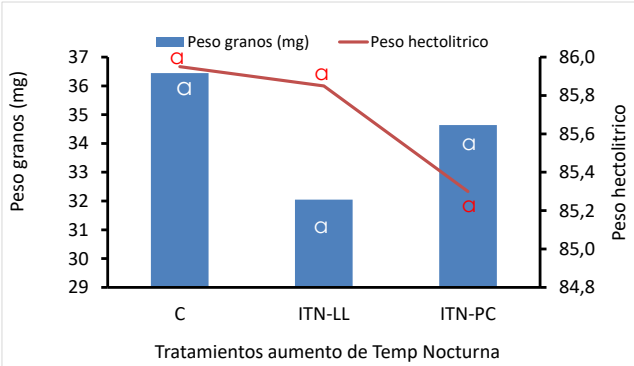


Aumentos de la temperatura nocturna redujo el peso de los granos (c. 4 %) debido a reducciones en la duración efectiva del llenado mas que por cambios en la tasa de llenado de granos

Aumentos de la temperatura nocturna no afectaron la dinámica del área foliar ni los niveles de reserva de carbohidratos en los tallos a madurez.

Figura 15. **Impacto del aumento de la temperatura nocturna sobre la calidad comercial**





Aumentos de la temperatura nocturna incrementaron el porcentaje de proteína en los granos debido a una menor efecto de dilución asociado a un menor numero de granos y a un menor rendimiento

Aumentos de la temperatura nocturna redujeron el Peso de los granos (especialmente en el llenado) disminuyendo ligeramente el peso Hectolitrito de los granos

nocturnos durante el llenado de granos producirá una reducción entre 3-4% que es menor que la reducción observada por aumentos términos en el periodo crítico (Fig. 14).

¿A qué se debe esa reducción en el peso si aumenta la temperatura nocturna? El peso del grano está conformado por la duración del llenado y por la tasa de llenado. Los aumentos en temperatura nocturna durante el llenado de granos cortan su duración del llenado, como pasaba en el caso anterior del periodo crítico, y eso lo que determina la reducción en el peso del grano (Fig. 14). En la imagen se puede observar que hay una clara reducción en la duración del llenado efectivo, pero no se ve en la tasa de llenado. Cando esta tasa de llenado es normalizado, incluso midiendo la tasa por unidad de ˚C día, el efecto negativo de aumentos de temperaturas nocturnas (mínimas) sobre el peso de los granos está dado por un acortamiento en el tiempo de llenado de los granos, muy similar a lo que pasaba en el periodo crítico.

Si se reduce el peso de los granos, debido a un acortamiento del llenado es posible preguntarse si se debe a una falta de fuente del área foliar para llenar los granos. Eso podría ser una hipótesis. Lo que se ve en la segunda gráfica es la duración del área foliar en el cultivo calentado y no calentado el trigo, sin embargo, no se observan grandes diferencias entre esas dos dinámicas, lo que quiere decir que la duración del área foliar no hace al atributo que afecta el peso del grano.

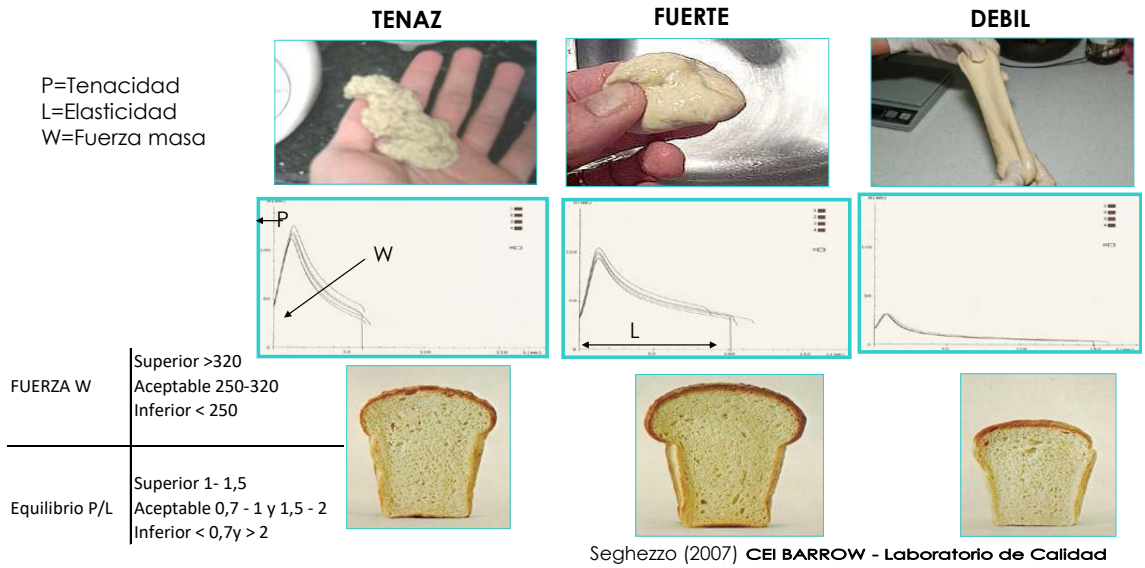
¿Qué pasa con las reservas? Lo que se observa en la imagen de abajo es el nivel de carbohidratos solubles acumulado en los tallos como una medida de las reservas que pueden ser usadas durante el llenado de granos en caso que no le alcance el área foliar para llenar los granos. En este atributo tampoco hay ninguna tendencia. Se ve alguna tendencia en días, lo que es natural, porque se acortó el periodo, pero cuando se corrige esa duración en ˚C días, en estas dos figuras de la derecha no se ve absolutamente nada.

En conclusión, lo que se observa de nuevo es un acortamiento de la duración, que compromete el peso final de los granos; no es una cuestión de fuentes, sino que es debido a que la duración del llenado es acortada por calentamiento y eso impacta en el peso final.

AUMENTO DE LA TEMPERATURA Y LA CALIDAD

Se ha mencionado que el número de granos se ve fuertemente afectado por el calentamiento en el periodo crítico, y no tanto en el llenado donde el componente que se afecta es el peso que tiene una incidencia menor en el rendimiento ya que el numero de granos están establecidos durante el llenado y no se ven afectados. El efecto del aumento del calentamiento global sobre la calidad de los granos ha sido mucho menos estudiado que los efectos sobre el rendimiento. Los resultados que hemos llevado adelante en el grupo de investigación demuestran que la proteína en grano, aumentó con el calentamiento (Fig. 15). La especulación posible es que se redujo fuertemente el número de granos, y la fuente de proteína enton-

Figura 16. **Relación entre el tipo del gluten, valor alveográfico y la panificación**



Seghezzo (2007) CEI BARROW - Laboratorio de Calidad

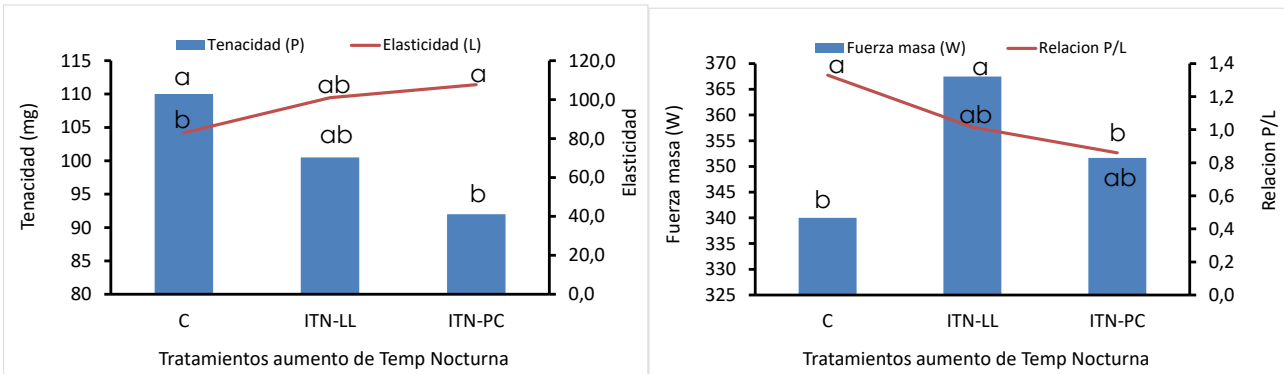
ces se reparte en: menor número de granos y así aumenta el contenido de proteínas. Desde el punto de vista de calidad y solamente viendo la proteína parece que el calentamiento tuvo un impacto favorable, en este caso como producto de la reducción en el número de granos en el rendimiento.

¿Qué pasa con el Peso Hectolítrico y el calentamiento? Es interesante ver que el aumento de la temperatura nocturna durante el llenado, que redujo el peso de los granos, también impacta en el peso hectolitrito que tiene una tendencia a caer. Sin embargo, el peso hectolitrito cae fuertemente, cuando el calentamiento se produce en el periodo crítico. Hay un efecto tal vez en la densidad de los granos que modifica el peso hectolitrito, y cae más abruptamente cuando se produce el calentamiento en el periodo crítico.

El típico grafico de un alveógrafo con sus parámetros, la tenacidad la "P", la extensibilidad la "L", y el "W" que es la fuerza de la masa que esta presentada en la Fig. 16. El W es uno de los parámetros reológico más importantes que determina la calidad de esa masa. Por ejemplo, si el gluten de la masa es muy tenaz, el pan resultante tendrá muy poca porosidad, un pan muy duro. Si el gluten es muy elástico, muy débil y tiene muy poca tenacidad, no se necesita mucha presión para inflarlo y se dilata rápidamente dando un pan con burbujas muy grandes que se rompen no elevándose mucho y no es un pan muy adecuado.

En Argentina, valores de fuerza de la masa W <250, no son considerados buenos. Los aceptable son entre 250 – 320 y valores >320 son considerados superiores en términos de calidad. También es importante la relación entre la tenacidad y la extensibilidad, es decir la relación P/L.

Figura 17. **Aumentos de temperaturas nocturnas y los parámetros reologicos**



Aumentos de la temperatura nocturna incrementaron la elasticidad y redujeron la tenacidad

Aumentos de la temperatura nocturna en el llenado de granos aumentaron la calidad industrial (W) debido a un aumento de proteína en granos

Los datos muestran que el calentamiento en el periodo crítico o periodo del llenado reduce la tenacidad (Fig. 17). La mayor reducción de la tenacidad se produce en el periodo crítico, y como contra parte hay un aumento de la elasticidad como consecuencia de la temperatura nocturna. Considerando el aumento en el porcentaje de proteína a lo largo del calentamiento resulta en un aumento en la fuerza de la masa. Con el calentamiento nocturno, la fuerza de la masa aumenta cuando la temperatura se incrementa en el periodo crítico, pero especialmente durante el llenado de los granos. Es decir, con el aumento de la proteína parecería haber un grado de correlación, no demasiado fuerte, con la fuerza de la masa; la tenacidad y la elasticidad. Así, a medida que el calentamiento se fue produciendo en el periodo crítico o llenado, se fue reduciendo esa relación P/L.

¿QUÉ PASA SI AUMENTA LA FRECUENCIA DE GOLPES DE CALOR?

Con el objetivo de simular el comportamiento del cultivo cuando se producen golpes de calor, se generaron tratamientos a campo que permitan establecer las consecuencias de los mismos. Así, se implementaron los siguientes tratamientos: un control sin golpes de calor, y tratamientos de incrementos de temperaturas mayores a 32˚C en el cultivo durante 2 días, 4 días, y 6 días de golpe de calor (Fig. 18). Esos golpes de calor se simulan con unas estructuras de nylon transparente de polietileno cristal que dejan pasar la radiación, sin condensación de la humedad y al colocarlas sobre las parcelas permiten un aumento de la temperatura. En este caso se trata de llevar la temperatura

Figura 18. **Tratamientos del ensayo sobre aumento de temperaturas máximas a campo**

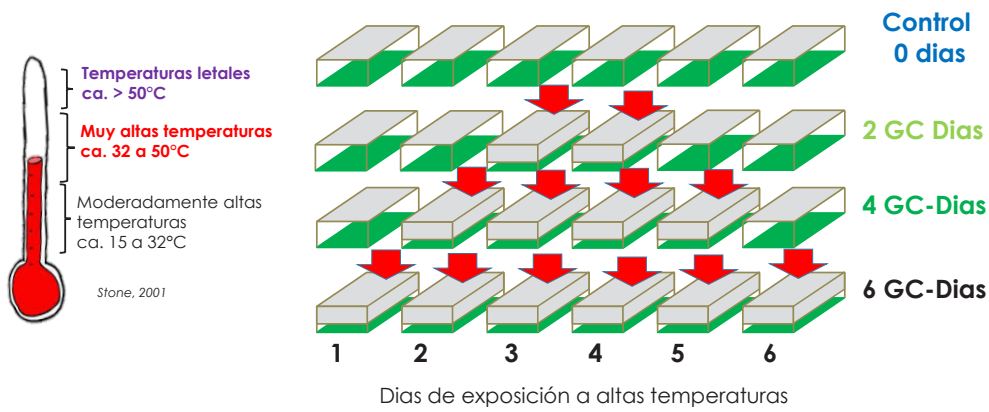
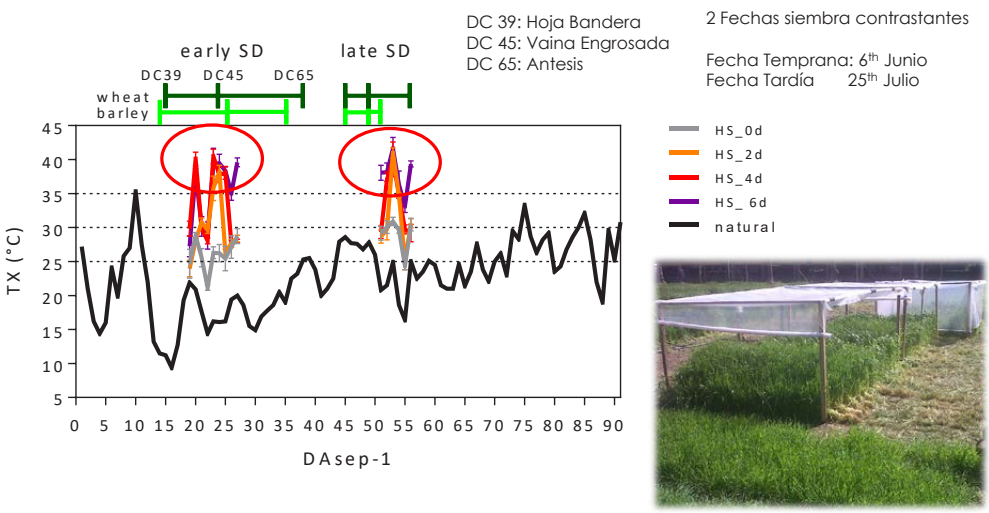


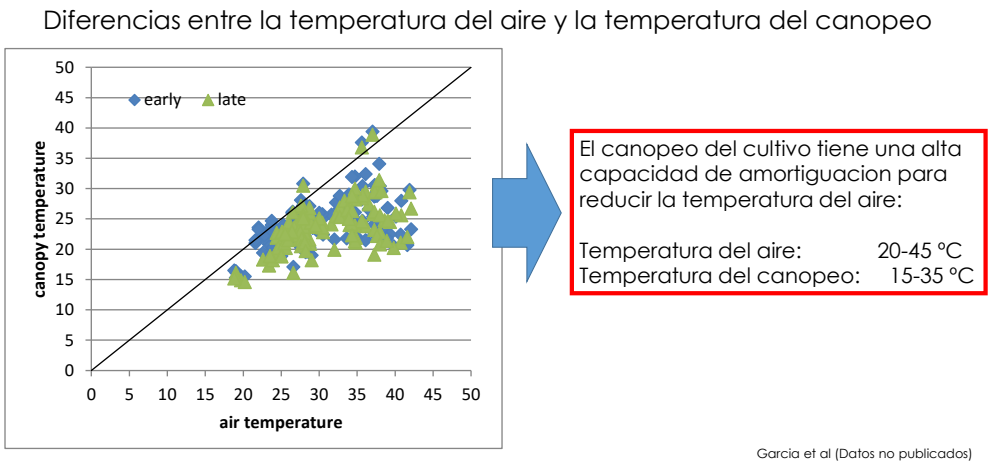
Figura 19. **Estadios de cultivos expuestos a temperaturas máximas a campo**



arriba de los 32˚C a 34˚C alrededor del periodo crítico, en el cultivo que fue sembrado en dos fechas de siembra: una fecha temprana y la otra tardía (Fig. 19).

Es importante mencionar para los que manejan los modelos de simulación; hay temperatura de la hoja y la temperatura del aire; uno siempre se guía por la temperatura del aire, pero el registro de ambas temperaturas son diferentes si se grafican en una relación de 1:1 (Fig. 20). La capacidad amortiguadora que tiene la hoja, por la capacidad transpiratoria puede bajar la temperatura de esa hoja entre 10 y 15 ˚C. Entonces es muy importante la temperatura que experimenta el cultivo ya que no necesariamente es la temperatura que experimenta el aire. Lo que se aprecia en verde es la fecha tardía y en azul la fecha temprana, y puede verse que todos los puntos están mezclados no habiendo un efecto relevante de la fecha de siembra en la diferencia entre la temperatura del aire y de la hoja.

Figura 20. **Diferencia entre la temperatura del aire y la temperatura del canopeo**

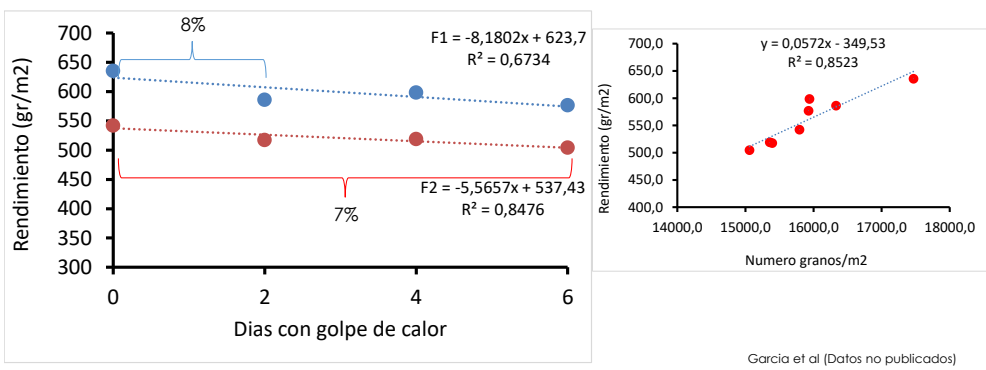


Garcia et al (Datos no publicados)

¿QUÉ PASA CON EL RENDIMIENTO Y EL GOLPE DE CALOR?

Cabe señalar que los datos presentados en la Fig. 21, provienen de un cultivo que estaba regado, lo cual amortiguó de alguna manera el golpe de calor. Los resultados muestran que el golpe de calor afectó el rendimiento del cultivo tanto en fecha temprana como tardía aun cuando la fecha temprana tuvo una potencialidad mayor que la fecha más tardía de siembra. Las reducciones debidas al golpe de calor fueron entre un 7 y 8 % de reducción en el rendimiento. En general, las mayores reducciones en rendimiento ya ocurren con 2 días de golpe de calor; es decir 2 días de temperaturas mayores a 32 ˚C fueron suficientes para generar el mayor impacto en la reducción del rendimiento.

Figura 21. **Impactos de los golpes de calor sobre el rendimiento**

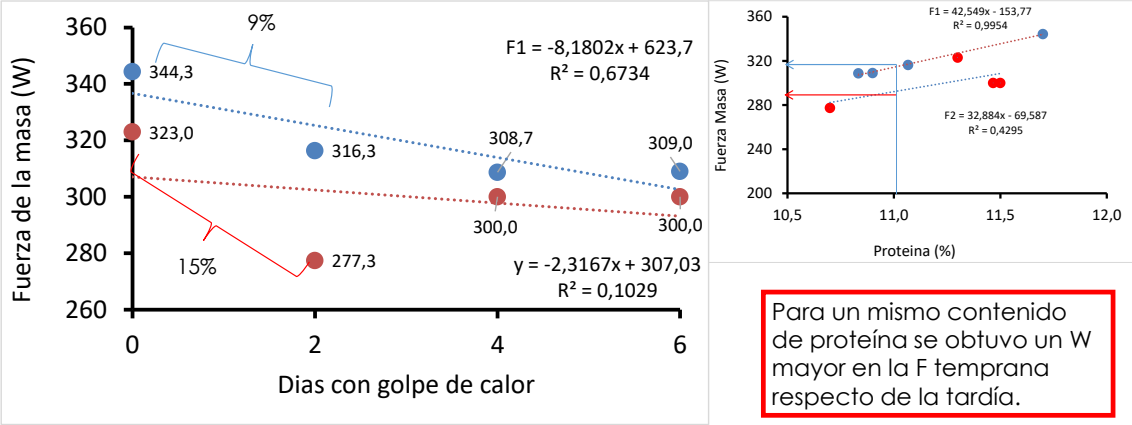


Garcia et al (Datos no publicados)

Aumentos en los días con golpes de calor redujeron el rendimiento en fechas tempranas y tardías a diferente tasa: Fechas tempranas: -82 kg/ha °C por día de golpe de calor y en fechas tardías -56 kg/ha °C por día de golpe de calor.

Figura 22. **Impactos de los golpes de calor sobre la fuerza de la masa**

Garcia et al (Datos no publicados)



Para un mismo contenido de proteína se obtuvo un W mayor en la F temprana respecto de la tardía.

Aumentos en los días con golpes de calor redujeron la fuerza de la masa en ambas fechas de siembra. El mayor impacto negativo se produjo con 2 dias de GC. - 9% (Fecha temprana) y -18% (fecha tardía). El W se correlacion con el contenido de proteína

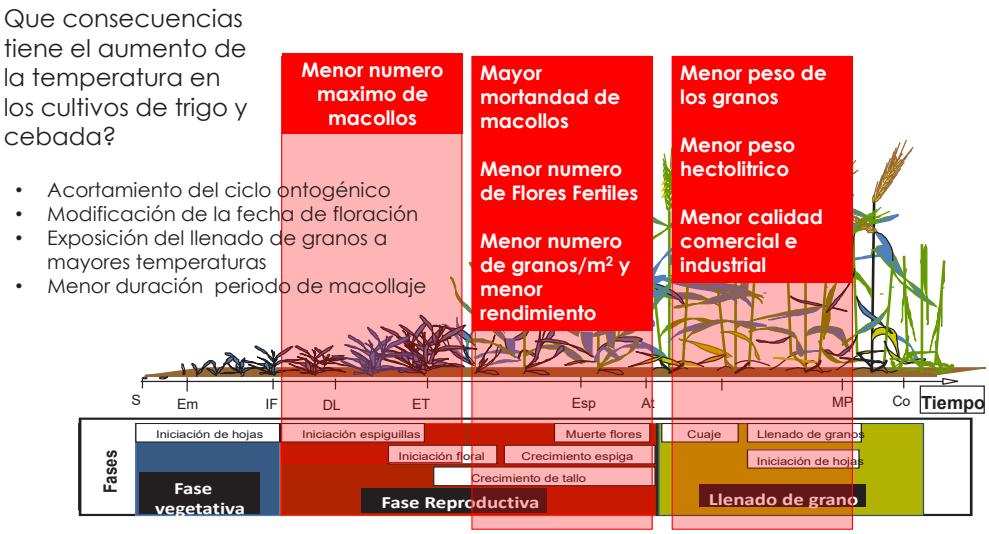
¿QUÉ PASA CON LA CALIDAD DE GRANO Y LOS GOLPES DE CALOR?

En la calidad solo fue tomado la fuerza de la masa (valor W), porque es uno de los más relevantes (Fig. 22). Se puede apreciar que, en la siembra temprana, ya con dos días de golpe de calor, la calidad de la masa o la calidad panadera disminuye y el valor del W se reduce en un 9 %; mientras que en la fecha tardía en esos 2 días puede llegar a caer un 15 %. El golpe de calor durante más de 2 días sostiene una caída similar al efecto observado con 2 días de golpe de calor; es decir que ya hay un impacto inicial de una pequeña cantidad de días de golpe de calor, lo cual es suficiente para reducir tanto los rendimientos como la calidad.

La relación entre la fuerza de la masa y la proteína es diferente entre la fecha de siembra temprana, y la tardía (Fig. 22), aunque el rango de proteína que se exploró en ambos casos, son similares; los dos alcanzaron entre 10.5 y 11.7 % de proteína. Para el mismo nivel de proteína la fuerza de la masa fue mucho más favorable en una fecha temprana que, en una fecha tardía, teniendo en cuenta que se trata de un mismo genotipo, pero sometido a dos condiciones climáticas completamente diferentes. ¿Hay algo más allá de la proteína que determina las alteraciones en la calidad?, ¿Pudo el golpe de calor, incluso en la fecha de siembra más tardía, afectar esa deposición de harina y proteína?, estas son algunas de las preguntas que podrían hacerse considerando que el tipo de proteína que se deposita en el grano puede afectar la calidad de la harina.

Para resumir, el impacto del cambio climático y en particular del aumento de las temperaturas sobre el cultivo producen: (i) un acortamiento del ciclo ontogénico como el efecto mas relevante, (ii) no aparecen, por lo menos en el peor escenario climático con 4°C de aumento de temperatura ensayada, que la temperatura produzca cambios en los atributos más finos del cultivo, en la generación de biomasa como eficiencia de uso, por ejemplo, o la capacidad fotosintetica a nivel hoja, (iii) si el aumento de temperatura se ocurre en parte temprana del ciclo (Fig. 23), que es entre la cuarta hoja emergida y el inicio de la encañazon, que es el periodo de producción de macollos, el cultivo tendra una menor producción de macollos y por lo tanto puede comprometerse el número final de espigas, (iv) si los aumentos de temperatura se dan en el periodo crítico (Fig. 23), puede generar mayor mortandad de macollos, tener menor número de macollos fertiles. En nuestro ensayo, el número de granos por espiga no fue afectado, pero si hay aumentos mayores de temperatura podría haber un aborto floral y podría verse comprometido el número de granos por espigas y finalmente (v) si el aumento térmico se da en la última etapa del ciclo es decir en el llenado de granos (Fig. 23) se afectará el peso de los granos, tendrá menor peso hectolítrico y se comprometerá la calidad comercial e industrial.

Figura 23. **Cambio climático y el manejo de los cultivos invernales**

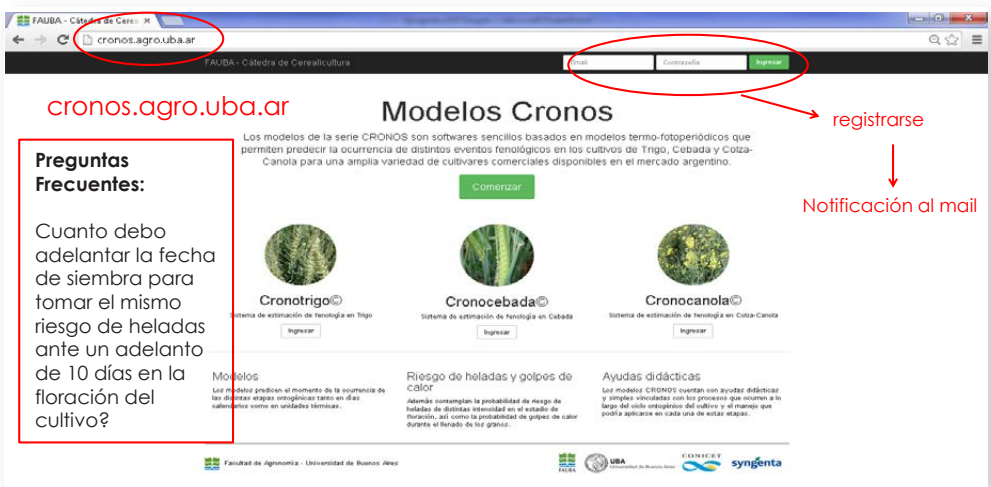


ESTRATEGIAS QUE PODEMOS EMPLEAR PARA MITIGAR EL EFECTO DEL CALENTAMIENTO GLOBAL

La estrategia que podemos emplear para manejar este aumento de temperatura depende de la fecha de la última helada. En general, actualmente si mantenemos la misma fecha de siembra del cultivo se está tomando menor riesgo de heladas en la floración, que la que estaba hace 10 años. Si eso ocurriera, podemos adelantar la floración, de esta manera lo que haremos es tomar el mismo riesgo de heladas que se estaba tomando antes de la modificación del incremento térmico. ¿La pregunta es cuanto tengo que adelantar la fecha de floración? Si se ha adelantado la fecha de heladas 10 días, se podría adelantar la floración 10 días para tomar el mismo riesgo. Pero la pregunta más interesante, ¿cuánto adelanto la fecha de siembra para que la floración se me adelante 10 días? Para responder esta pregunta hay herramientas disponibles.

CRONOTRIGO© Es un modelo fenológico diseñado en la cátedra de Cerealicultura de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (Fig. 24), que funciona a través de la página web bajo dominio cronos.agro.uba.ar en cualquier celular con sistema Android, con sistema Windows. Es un desarrollo patentado a través de la Facultad de Agronomía UBA y el CONICET, es totalmente gratuito, de acceso libre para todos los usuarios. En la Argentina actualmente hay más de 16.000 usuarios

Figura 24. **Modelos Cronos: una herramienta para predecir fenología**



registrados en google para análisis de uso y hay tres modelos: CRONOTRIGO, CRONOCEBADA Y CRONOCANOLA, siendo este ultimo experimental. Los modelos CRONOTIGO y CRONOCEBADA están funcionando con 25 materiales registrados en el propio modelo. Son materiales comerciales que se usan en Argentina de ciclo corto, intermedio y largo.

Una vez elegida la localidad, un cultivar y la fecha de siembra, el modelo corre 35 años de datos para dar predecir la ocurrencia de los distintos estadios ontogénicos y determina un riesgo de heladas y golpe de calor. En el ejemplo que se muestra el modelo se corrió para una localidad de Argentina en la que se sembró el 10 de junio y va a florecer el 26 de octubre; el modelo puede dar una fecha de floración con su error respectivo, el periodo crítico en rojo cuando comienza a encañar, la fecha de emergencia y cuando será la madurez fisiológica de ese cultivar, en esa fecha, y en esa localidad (Fig. 25). A su vez, el modelo predice cuál es el riesgo de heladas y golpe de calor mediante una probabilidad. Esto último fue desarrollado con María Fernández Long, quien pertenece al área de climatología agrícola de la UBA, le va a indicar cuál es la probabilidad de la última helada y si es suave, moderada o extrema y la probabilidad de golpe de calor que puede tener durante el llenado de grano de ese cultivo.

Figura 25. **Relación predicha entre la fecha de siembra y el periodo crítico de floración**

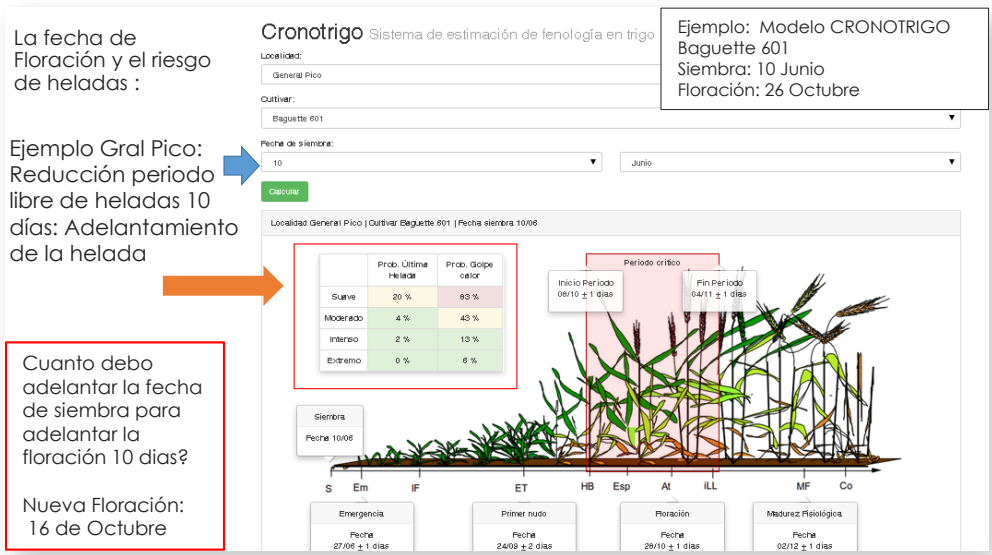
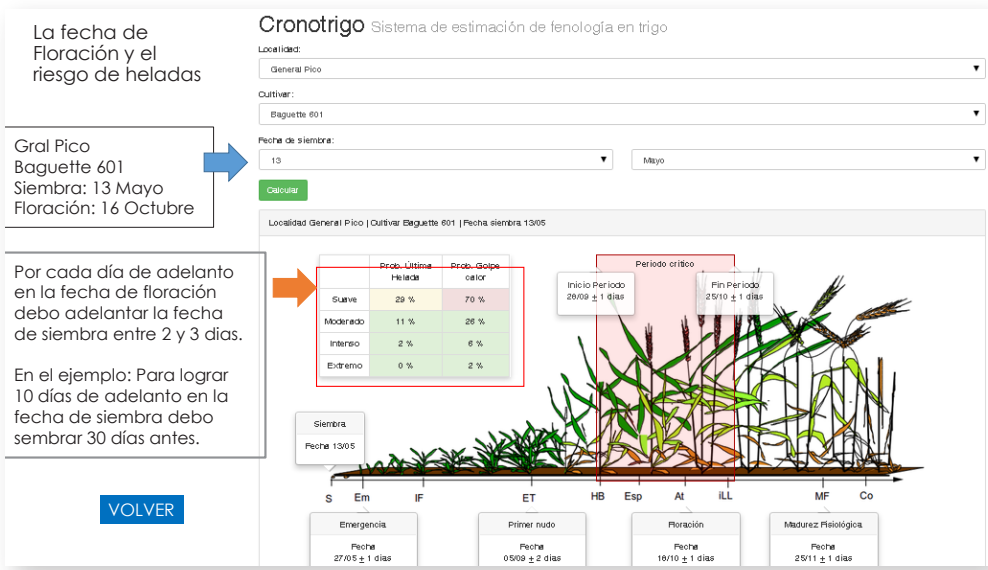


Figura 26. **Cambio requerido en fecha de siembra para lograr una floración adelantada**

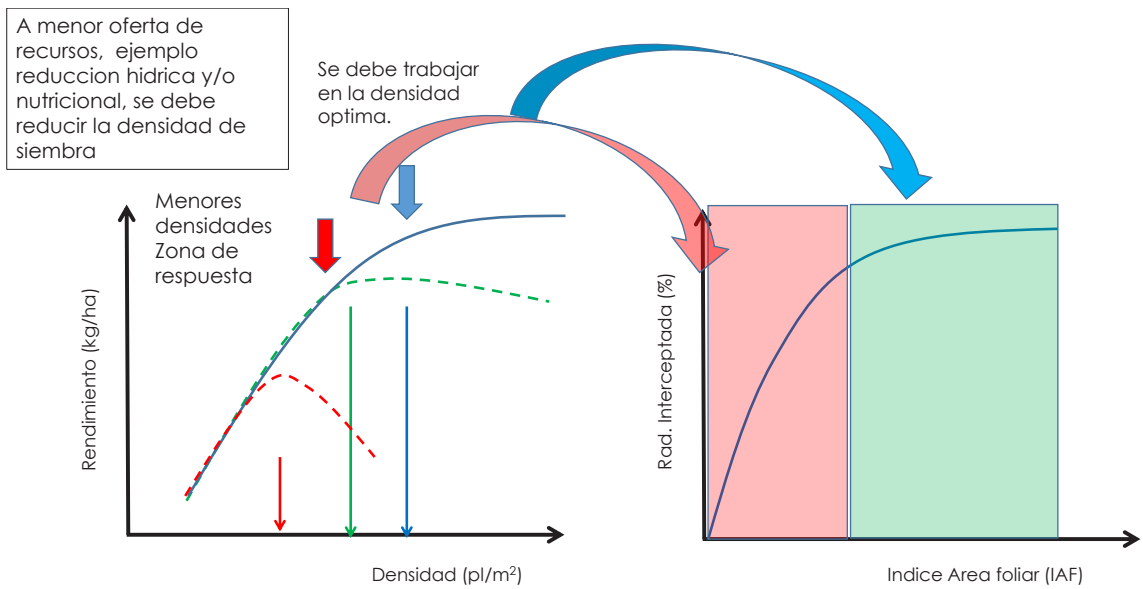


La respuesta a la pregunta inicial ¿cuándo hay que sembrar para adelantar la floración 10 días? En este caso de ejemplo la floración deberá ocurrir el 16 de octubre asumiendo que había 10 días de adelanto. Si se corre el modelo, el resultado señala que para adelantar la floración 10 días se necesita sembrar más o menos 30 días antes (Fig. 26). En otras palabras, por cada día de adelanto de la floración, se necesita contemplar de 2 a 3 días de adelanto en la fecha de siembra. Esto es particular para cada material, de cada localidad y de cada fecha de siembra.

El otro punto es sobre acortamiento en el ciclo asociado al aumento térmico. El manejo de cambio en la fecha de siembra (adelantándola) es poner al cultivo afuera de ese aumento térmico y posicionarlo en periodos donde el clima y la temperatura en particular fuera similar al periodo de tiempo previo a estos aumentos térmicos. Si se acortara el periodo de macollaje (que es clave mantenerlo para tener un numero potencial de espigas que no restrinja el número de granos) en esa situación de aumentos de temperatura probablemente habrá menos cantidad de espigas por metro cuadrado. ¿qué debería hacer en esos casos? Probablemente sea necesario modificar la densidad (es decir aumentarla para compensar el numero de espigas).

Sobre este aspecto hay dos esquemas teóricos: rendimiento en función de la densidad y la intercepción de radiación en función de la densidad (Fig. 27). Si uno queda corto con la densidad, se ubica en la zona de respuesta de la densidad afectando negativamente la radiación interceptada debido a una menor área foliar, menor biomasa y menor rendimiento. De cualquier manera, es importante saber en qué condición ambiental estoy posicionando el cultivo. Si el cultivo está en una zona de mayor temperatura y restricción hídrica, no se puede aumentar la densidad, porque puede incrementar la competencia en condiciones de limitante hídrico, de temperatura, o de nutrientes.

Figura 27. **Cambios en los ciclos y la densidad de siembra**



Desde el punto de vista fisiológico, existen algunas posibilidades para mitigar el impacto del cambio climático: (i) explorar cambios en las temperaturas bases en las etapas para poder cambiar el desarrollo del cultivo ante un aumento térmico, (ii) cambiar la duración relativa de las etapas, (iii) adelantar el periodo crítico sin comprometer la capacidad de macollaje (Fig. 28). Si se compromete la capacidad de macollaje, hay que manejar el cultivo con el aumento de la densidad.

En esos escenarios, nuestro grupo trabaja de forma interdisciplinaria. El mejoramiento debe trabajar con la fisiología, con el mejoramiento y con el técnico y el productor. Debido a que los cambios en el clima alteran las condiciones predisponentes para enfermedades y plagas, es necesario trabajar con fitopatólogos. En resumen, el desafío para aumentar la producción es el trabajo multidisciplinario.

Figura 28. **Cambio climático y el manejo de los cultivos invernales: Estrategias de adaptación al cambio climático**

MANEJO:
- ✓ Adelantos de la fecha de siembra considerando el riesgo de heladas en floración. Uso de modelos Fenologicos ej. CRONOS
- ✓ Ligeros aumentos en la densidad de siembra si el ciclo de acorta aun con adelantos en la fecha de siembra. Ej. Densidad

MEJORA:
- ✓ Cambios en las temperaturas base para las distintas etapas ontogénicas.
- ✓ Cambios en la duración relativa de las etapas adelantando el periodo critico y el llenado de los granos.
- ✓ Sensibilidad a la temperatura de procesos claves de crecimiento y desarrollo.

Trabajos interdisciplinarios
Modelos de simulación como herramienta de testeo

Preguntas y plenaria

- Pregunta: ***La relación entre la reducción del ciclo y baja de rendimiento se ve en el campo. ¿por qué las variedades de ciclo largo rinden más? Esto va contra la tendencia del productor que quiere sembrar soja temprana. ¿Cuál sería la solución?***
- **Daniel Miralles:** Lo importante me parece, es que las variedades de ciclo largo y de ciclo corto deberían posicionar el periodo crítico en las mejores condiciones ambientales. Eso quiere decir que las variedades del ciclo largo las estarías sembrando más temprano que las de ciclo corto. Si las variedades de ciclo corto tienen un acortamiento en el periodo previos a la floración (ejemplo macollaje) tenemos que corregir eso con manejo, en principio aumentar la densidad, más allá de la potencialidad de los largos o de los cortos.

  En Argentina, que es el ejemplo que más conozco, no hay una diferencia muy marcada entre el rendimiento de ciclos largos y ciclos cortos. Si uno toma la red nacional de ensayos comparativos (RET), los ciclos largos y cortos rinden un promedio muy similar, con mayor desvío en los ciclos largos y menor desvío en los ciclos cortos. Pero en general, lo que necesitamos hacer es posicionar ese famoso periodo crítico que fue identificado por Tony Fisher en los años 80, en la mejor condición. Es decir, primero, sacarlo del riesgo de helada, que la mejor premisa, y luego posicionarlo en la mejor condición agroclimática que pueda tener. En ese contexto, los ciclos largos y cortos deberían florecer en el mismo momento. Ahora hay muchos casos en que la alternativa es limitada: Si un ciclo largo lo siembro tarde por la razón que fuere; ejemplo o no tengo un piso en el lote, o lo he sembrado más tarde por falta de maquinaria desplazo el periodo crítico para etapas sub óptimas. En ese caso debería cambiar de genotipo por un ciclo más corto. lo cual implica que pongo el periodo crítico en una mejor radiación de cociente foto termales, y en condiciones de temperatura más favorable, y hay menor probabilidad de golpes de calor respecto de un ciclo largo. A veces, no se puede evitar sembrar más temprano por una cuestión operativa. El productor no pudo sembrar antes un ciclo largo, y esa es la situación que debería evitar es decir mantener un ciclo para una fecha de siembra que no es la adecuada. De este modo debería organizar el sistema operativo de siembra, para posicionar corto y largo en un mismo momento de floración.
- Pregunta: ***El golpe de calor afecta la fertilidad de la espiga. ¿Esto sería teniendo temperaturas mínimas mayores durante la noche? ¿Se puede atribuir a otra variable?***
- **Daniel Miralles:** Cuando uno tiene temperaturas mayores durante la noche, no se ve un cambio importante en el número de granos por espiga. Eso implica que no hay una esterilidad de polen. Más bien que lo que hace es afectar el establecimiento de esas flores

a granos. Eso con temperaturas nocturnas de incrementos de alrededor de 3 grados. Sin embrago, cuando hay un golpe de calor en ese momento que se está definiendo la polinización, ahí si puede haber esterilidad del polen o sea un golpe de calor en el periodo que se está definiendo la antesis, la fecundación de esas flores. En esa situación se puede afectar severamente el índice de cosecha, porque va impactar el establecimiento de las flores a granos, es decir la fecundación. Entonces no veo que pueda haber efectos negativos en el polen con el aumento de temperatura nocturna, pero si con golpe de calor, donde sí el número de granos se puede ver seriamente afectado.

- Pregunta: ***¿En qué etapas del cultivo afectarían los golpes de calor en las etapas de macollaje, floración o llenado de granos?***

- **Daniel Miralles:** Son tres etapas en los ciclos de cultivo, y recién a mediados de los 80s, se empezó a vislumbrar que había un periodo crítico del cultivo de trigo. Bastante tiempo después, alrededor del 2006, se identificó el periodo crítico para cebada, que es un poco distinto al que tiene el trigo, dependiendo si es dos o seis hileras. Incluso hay cultivos en donde no está ni siquiera claro el periodo crítico. Para colza, canola, no hay un trabajo que demuestre claramente cuál es el periodo crítico, algo tan sencillo de experimentar. En el caso particular del trigo, ese periodo crítico se centra, en la última etapa de la encañazón, y el periodo inmediatamente posterior a la encañazón, fundamentalmente centrado en el momento previo a la floración. Esos 25-30 días previos a la floración y 5-6 días posteriores, allí es donde el golpe de calor es muy importante. Porque siempre hay que pensar que cualquier condición de estrés, sea una sequía, un golpe de calor, o una falta de nutrientes, en qué momento y que componente afecta el cultivo. Mientras el cultivo no esté expuesto a los estreses puntuales en el periodo crítico, puede haber recuperación. Si tenemos un anegamiento, y de eso tenemos datos, dado que hay otra línea en nuestro grupo de trabajo que experimenta en anegamiento, todo el anegamiento que se produzca durante la primera etapa del cultivo, antes del periodo crítico, el cultivo tiene la capacidad de recuperación, pero no en el periodo crítico.

  Cuando el cultivo entra en ese periodo crítico, cada vez es mucho más difícil recuperarlo, y es en ese periodo cuando el golpe de calor va a tener severos problemas. Sí, especialmente cuando se está produciendo la fecundación de las flores. Yo diría que, dentro del periodo crítico, ese sub-periodo pequeño es el más letal, porque podría producir una esterilidad de las flores, y si no hay flores no hay granos, sino hay granos no hay rendimiento.

  Piensen que la compensación del peso del grano, debido a caídas en el número de granos, puede llegar a un 15-20%, porque el componente principal del rendimiento es el número de granos, no el peso de granos. El golpe de calor ¿puede afectar el peso? Sí, una vez establecido el número de granos y el golpe de calor lo toma al cultivo en el llenado de granos. ¿El golpe de calor durante el llenado de grano va a estar en cualquier momento? No. Cuanto más temprano durante el periodo de llenado se produzca el golpe de calor, más grave es su daño. No es lo mismo un golpe de calor 25 días luego de la floración, que 5-10, o 15 días después de la floración, cuando más avanzado está el periodo de llenado, el golpe de calor es menos dañino. Pero de nuevo, para redondear el concepto, el golpe de calor siempre va a ser más letal en el periodo más débil del cultivo, o más susceptible, que es el periodo crítico.

- Pregunta: ***¿Disminuye el peso solamente o también su calidad nutricional?***

- **Daniel Miralles:** ¿Entiendo que se refiere al golpe de calor? En lo nutricional es Iván el que puede responder con mucha más exactitud que yo. Lo que nosotros por lo menos vimos, no de calidad nutricional sino de calidad panadera, es que sí se afecta por el golpe de calor. Incluso, en la calidad que es un concepto muy amplio depende de lo que el cliente defina como calidad. Si hay algún cliente que demanda proteína como calidad, hasta puede ser positivo un golpe de calor. Pero en calidad panadera (reología) el golpe de calor siempre va a tener un efecto negativo.

- **Iván Ortiz:** Sí afecta también la calidad nutricional alterando la concentración de micronutrientes como hierro y zinc, los que incrementan con el estrés de calor. Todo lo que cause que baje el rendimiento, incrementa la concentración de proteína, hierro y zinc. Entonces sí van a ser trigos más nutritivos con el estrés de calor.

Medición de rasgos fisiológicos en generaciones tempranas puede ser un criterio de selección.

Contribuciones Fisiológicas al Mejoramiento de Trigo Tolerante a Temperaturas Altas

Physiological Contributions to Wheat Breeding for Heat Tolerance

César Mariano Cossani

M. P. Reynolds

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT

marianocossani@gmail.com

RESUMEN

El trigo es uno de los cultivos de grano más ampliamente cultivados a nivel mundial. Sin embargo, el mejoramiento del rendimiento potencial de trigo en ambientes de temperaturas altas es un pre-requisito para mantener la seguridad alimentaria global. Los modelos conceptuales, para la definición del rendimiento de trigo bajo condiciones de temperaturas altas y de sequía, están basados en características fisiológicas. El desarrollo de protocolos para el fenotipado de recursos genéticos es una actividad constante en CIMMYT. Al mismo tiempo, se realizan actividades de pre-mejoramiento para incorporar características fisiológicas deseadas (baja temperatura de canopeo, adecuado sistema radical, habilidad de almacenaje y movilización de carbohidratos solubles, mantenimiento del área verde, y estabilidad de membranas frente a episodios de temperaturas altas) en nuevas generaciones de líneas elite. Las nuevas herramientas de fenotipado de alto caudal facilitan el uso de recursos genéticos para incorporar nuevos alelos a la variabilidad genotípica existente en líneas elite. Recientemente, protocolos mejorados para estimar la estabilidad de membranas frente a episodios de temperaturas altas, indicaron que los mejores recursos genéticos muestran en promedio una ventaja del 10% al 25% en dicha característica durante el período de espigado sobre genotipos control. El valor de ampliar la diversidad genética fue demostrado en líneas elites derivadas de trigos sintéticos. Las líneas derivadas de trigos sintéticos presentaron ventajas de rendimiento contra su mejor línea parental del orden del

15% al 13% bajo ambientes de temperaturas altas y de temperaturas extremadamente altas respectivamente, mientras que las ventajas en rendimiento bajo ambientes templados solo fueron del 5%. Otras características fisiológicas de adaptación a ambientes de temperaturas altas de estas líneas fueron: (i) la menor temperatura del canopeo durante períodos previos a espigado; (ii) la precocidad; (iii) el mayor contenido de reservas en tallos durante estadios tempranos de llenado de granos; y (iv) el contenido de pigmentos fotosintéticos del canopeo (medido a través de los índices espectrales, PRI y SIPI) durante la etapa de llenado de granos.

ABSTRACT

Wheat is the most widely cultivated food crop. However, improvement of its yield potential in hot environments is a prerequisite to maintaining global food security. Conceptual models for heat and drought have been developed based on physiological traits, and protocols for phenotyping genetic resources are being continually developed at CIMMYT. At the same time, pre-breeding efforts incorporate desirable traits (e.g. cool canopy temperature, adequate roots, ability to store and remobilize water soluble carbohydrates, stay-green, and high membrane thermostability) into a new generations of elite lines. New high throughput phenotyping tools facilitate the use of genetic resources for incorporating new alleles into existing diversity of elite lines. Recently refined protocols for estimating membrane thermostability indicated that the best genetic resources show an average of 10%, and up to 25% increased membrane thermostability over checks around heading. The value of widening the genepool has been illustrated in elite lines derived from resynthesized hexaploid wheat. These showed yield advantages under heat stress and extreme heat stress compared to the best parent by on average 15 and 13% respectively, while the average yield advantage under temperate conditions was just 5%. Other traits associated with adaptation included increased carbohydrate reserves in shoots during early stages of grain filling, cooler canopies before heading, earliness, and photosynthetic pigments of canopy (estimated through PRI and SIPI index) during grain-filling.

Vista de los ensayos de rendimiento.

INTRODUCCIÓN

Para tratar el tema sobre cómo podemos contribuir desde la fisiología al mejoramiento de trigo tolerantes a altas temperaturas, primero debemos analizar los modelos conceptuales que están desarrollados y cuáles son las características fisiológicas que integran esos modelos conceptuales que determinan el rendimiento.

La contribución de la fisiología al mejoramiento de trigos tolerantes a temperaturas altas puede resumirse en cinco áreas claves:

1. **Mejorar el conocimiento de las características fisiológicas que permiten la adaptación y tolerancia a ambientes de altas temperaturas, y desarrollo de modelos conceptuales**
2. **Desarrollo conjunto y complementario con mejoradores de métodos de fenotípeado**
3. **Identificación de recursos genéticos**
4. **Caracterización fisiológica de poblaciones experimentales para detectar alelos de interés**
5. **Comprender el G x E x M**

Primeramente mejorando el conocimiento de las características fisiológicas que permiten la adaptación y tolerancia, porque ambas son diferentes, una cosa es adaptarse, y otra ser tolerante a las condiciones de altas temperaturas, y otra es mediante el desarrollo de modelos conceptuales.

En segundo lugar es, mediante el desarrollo conjunto y complementario con los mejoradores, el uso de métodos de fenotípeado para poder caracterizar el germoplasma.

El tercer esfuerzo concentra en identificar los recursos genéticos con las características deseadas, en este caso, características que ayuden a superar las altas temperaturas.

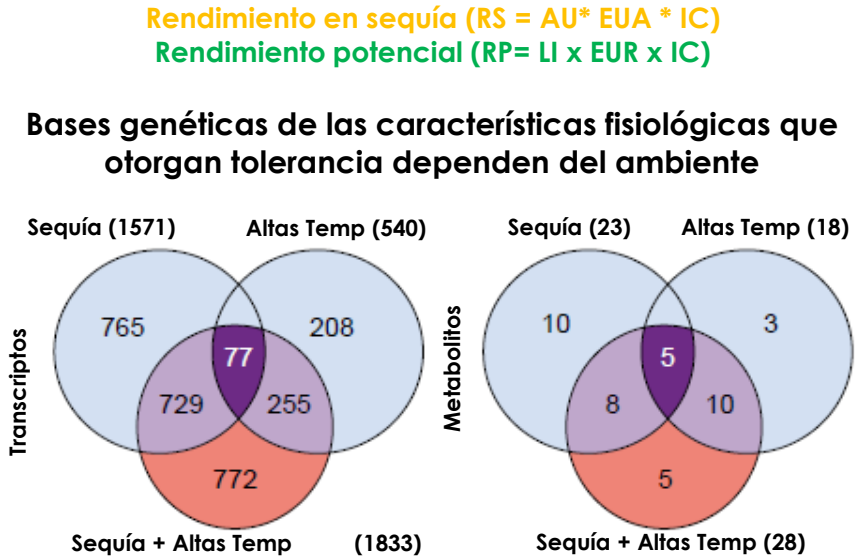
El cuarto requiere caracterización fisiológica de poblaciones experimentales para detectar alelos de intereses; es decir, para qué son los genes que están determinando las características fisiológicas que nosotros queremos.

Y finalmente es importante comprender la interacción de genotipo con ambiente y el manejo. Es lamentable que no se sabe tanto de esta interacción compleja, pero da lugar a que todavía hay mucho por hacer. Entonces voy a dedicarme más que nada a temas que puedan ser novedosas para fisiólogos en conjunto con los mejoradores.

MODELOS CONCEPTUALES PARA LA SEQUÍA Y EL CALOR

En la Fig. 1 se presentan los modelos conceptuales que ya vienen desde hace tiempo; los conceptos de rendimiento bajo condiciones de sequía y rendimiento potencial se definieron a finales de 1970 – 80.

Figura 1. **Modelos conceptuales usados en diferentes ambientes**



Fuente: **Adaptado de Mueller, 2006**

Estos explican que el rendimiento bajo condiciones de sequía (RS), está determinada por la cantidad de agua utilizada (AU), por la eficiencia de agua utilizada (EUA) y por el índice de cosecha (IC). En cambio, el rendimiento potencial (RP), ésta es determinada por la luz interceptada (LI), por la eficiencia con que se utiliza la radiación o luz (EUR), por el índice de cosecha (IC). Sin embargo, aunque tengamos diferentes modelos, que sean muy parecidos (características muy parecidas), las bases genéticas de dichas características no son las mismas y dependen del ambiente.

El trabajo de Mueller en Arabidopsis, que puede ser aplicable al trigo, muestra cómo se expresan los transcriptos y metabolitos en diferentes ambientes. Solamente en sequía hay 765 transcriptos y en altas temperaturas unos 200, totalmente diferentes. Y en sequía en conjunto con altas temperaturas, son unos 700 transcriptos. Entre todos estos hay situaciones variables, solo sequía o sequia de altas temperaturas o solo altas temperaturas y sus variaciones. Como estas situaciones no son las mismas y dependen de cada ambiente, debemos generar modelos conceptuales para cada ambiente específico. En trigo, la súper posición de los transcriptos identificados es de un 70% de las bases genéticas para sequía y para calor.

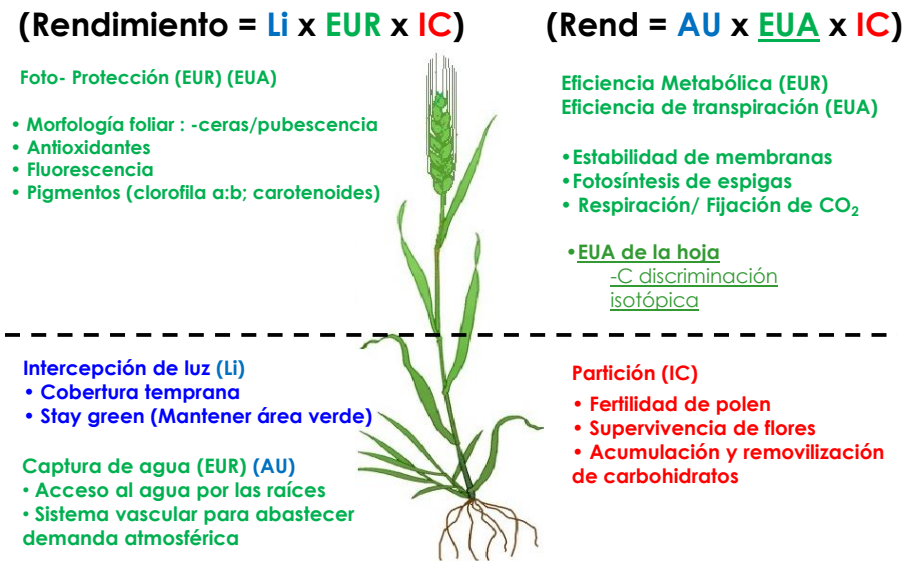
En cuanto al modelo conceptual creado para el calor, incluimos tanto el calor como la sequía (Fig. 2). Aunque los dos modelos son muy parecidos en cuanto a las características, sin embargo, el de sequía está basada en el agua utilizada y el de calor está basada en la luz interceptada, en la eficiencia del uso de la radiación y el índice de cosecha; los colores van a ir indicando el tipo de característica. En este caso la captura del agua es común en los dos modelos, nosotros necesitamos tener acceso al agua por las raíces y eso en sequía implica poder acceder a partes más profundas del perfil del suelo y en el caso de calor implica tener un sistema vascular para abastecer la demanda atmosférica.

Por ejemplo, para mejorar el área interceptada se tendría que aumentar la cobertura temprana del cultivo y el carácter como el “Stay green”, que es la capacidad del cultivo por mantener el área verde a lo largo del crecimiento.

Luego tenemos el mecanismo foto-protección, que mejora las dos eficiencias y el uso de los recursos. Esos mecanismos están dados por la morfología foliar, básicamente por ceras o pubescencia, la cantidad de antioxidante que la planta produce por la fluorescencia y por la cantidad de pigmentos que tienen, y estas cosas las podemos medir. Siempre nos basamos en lo que caracterizamos, qué es lo que queremos buscar y cuáles son las herramientas para medir.

Actualmente, podemos mejorar la eficiencia metabólica y aumentar la eficiencia en el uso de la radiación o la eficiencia de transpiración. Esto lo podemos hacer al tratar de mejorar la estabilidad

Figura 2. **Modelos conceptuales desarrollados para calor y sequía**



Fuente: **Adaptado de Cossani & Reynolds (2012) Plant Phys. 1710–1718**

de las membranas, buscando mejorar la fotosíntesis de las espigas y las relaciones entre lo que la planta respira y de lo que la planta fija. Y por último podemos mejorar la eficiencia del uso de agua de la hoja, es así como la hoja discrimina el carbono.

Finalmente nos queda mejorar la partición. Esto lo podemos lograr mediante la fertilidad del polen, por mejoras en la supervivencia en las flores, mejoras o cambios en la acumulación y re movilización de los carbohidratos y también lo podemos medir como lo mostró Daniel anteriormente.

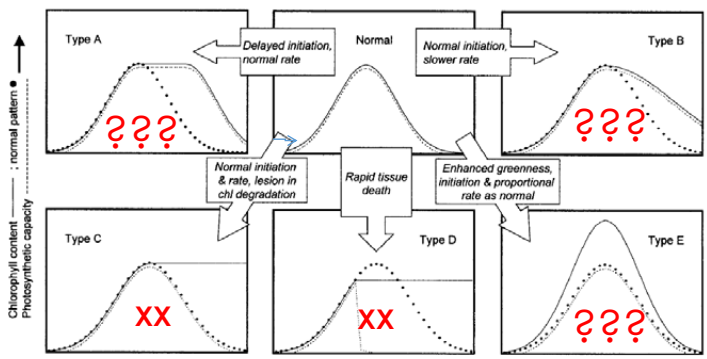
EL CONOCIMIENTO ACTUAL DE LAS CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS

La característica "Stay green", o la capacidad de mantenimiento del área verde, es el mecanismo para aumentar la intercepción de luz y la fotosíntesis total. Hay trabajos que muestran que hay entre un 6 – 28% de mayor rinde en cuanto a los controles en la diferencia en peso de grano.

Gráfica 1. **Stay-green: Mantenimiento de área verde por un periodo prolongado**

Mantener el área verde es un mecanismo para aumentar la intercepción de luz y la fotosíntesis total

Genotipos con 'Stay green' mostraron 6-28% mayor rinde que los controles con diferencias en peso de grano (Christopher et al. (2008) AJAR 59, 354-364).



Adaptado de Thomas and Howarth (2000) JXB, 51, 329-337

No esta identificada cual es la mejor estrategia a seguir en cada ambiente de altas temp.

Max. área verde, tasa de senescencia, duración del área verde, momento de máxima tasa de senescencia y de inicio de la misma

Sin embargo, no todo es tan fácil, tenemos diferentes curvas en la Gráfica 1, la de dinámica, de tiempo, de área verde, hay diferentes dinámicas. En una curva normal, uno empieza a tener área verde, llega a un pico y luego cae. Hay diferentes opciones, dos no son muy comunes, en una que se muere el tejido rápido lo que no es muy común. El otro es de la clorofila. Hay diferentes casos en que el cultivo genera una máxima área foliar, la mantiene por más tiempo y luego cae en una misma tasa; y otro es que dos cultivares generen las mismas máximas de área foliar y uno logre bajar a una menor tasa y eso le hace tener mayor área foliar.

Una tercera opción es que directamente genere diferente área foliar total. Sin embargo, lo que no sabemos es cuál de ella es la mejor. Sabemos que tener mayor área verde en condiciones de stress de calor o tener más fotosíntesis total otorga ventaja; ahora mediante que método todavía no sabemos. Para responder cuál opción es el mejor de los tres, hay que diseñar experimentos en los cuales se mide la máxima área verde, tasa de senescencia, duración de área verde, momento de máxima tasa de senescencia y de inicio de la misma.

En cuanto al "Stay green", se han hecho experimentos en el que se midieron dos poblaciones, bajo condiciones de sequía, de calor y de calor más sequía en forma conjunta. Lo que se encontró es que "Stay green" y la tasa de cuan verde quedaban las plantas y cuán rápido era la senescencia, estuvieron relacionados al rendimiento (Cuadro 1). Cuanto más verde era la planta, estaba positivamente relacionado con el rendimiento y cuanto más rápido era la senescencia, estaba negativamente relacionado tanto en condiciones de sequía, de calor o de calor más sequía, en dos poblaciones diferentes.

Cuadro 1. **'Stay green' y 'la tasa de senescencia' están asociados positiva y negativamente al rendimiento bajo condiciones de estrés abióticos**

Stay green

Los marcadores asociados con atributos que confieren stay green son conocidos y se encuentran en los cromosomas 1AS, 2B, 2D, 3BS y 7Ds

	Drought	Heat	Heat+Drought	HEAT ENVs[a]
POP 1				
Stg H^2	0.6	0.74	0.7	
RS H^2	0.82	0.78	0.49	
Stg YLD (*r*)	−0.11	**0.26**	**0.36**	**0.22**
P	0.07	<0.0001	<0.0001	<0.01
RS YLD (*r*)	**−0.28**	**−0.36**	**−0.21**	**−0.30**
P	<0.0001	<0.0001	<0.001	<0.0001
POP 2				
Stg H^2	0.64	0.39	0.31	
RS H^2	0.29	0.31	0.43	
Stg YLD (*r*)	0.14	**0.36**	**0.4**	**0.22**
P	0.06	<0.0001	<0.0001	<0.05
RS YLD (*r*)	−0.08	**−0.23**	−0.09	**−0.20**
P	0.29	<0.001	0.26	<0.05

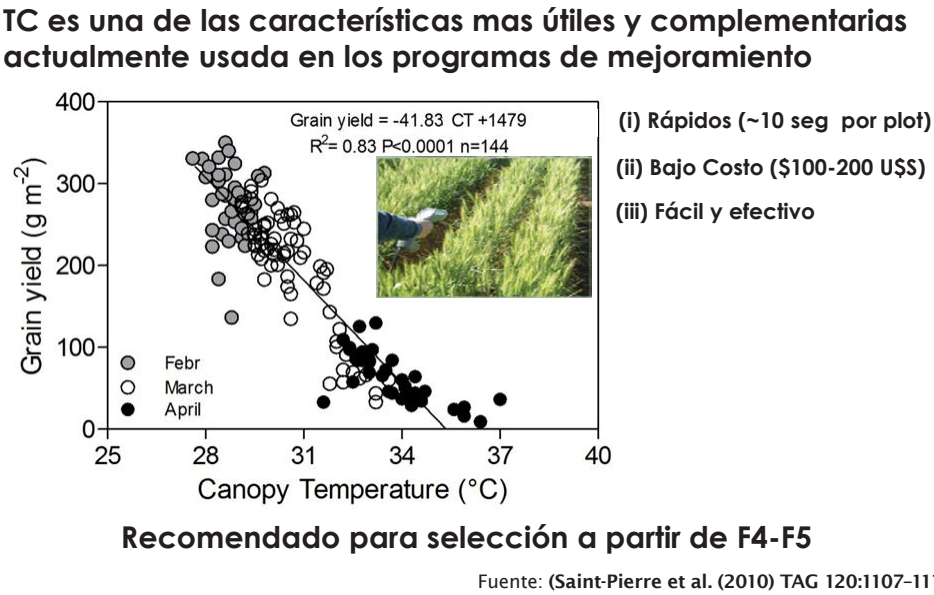
Fuente: **Lopes & Reynolds (2012) J. Exp. Botany doi:10.1093/jxb/ers071**

También se han buscado los marcadores que se conocen para la característica de ´stay green´ en este experimento. Entonces, es una de las características que ya podemos más o menos utilizar en el programa de mejoramiento donde se trata de medir el índice verde, por medio de la medición del área foliar utilizando sensores remotos.

Otra característica es la temperatura de canopeo, como el Dr. Miralles habló anteriormente. Nos decía que el rendimiento de grano bajaba más o menos unos 600 kg/ha por ˚C de aumento de temperatura. En nuestro ensayo observamos una caída de más o menos 40 gr/m² por ˚ C de aumento de la temperatura del canopeo. Fig. 4. Estos son datos de 300 líneas en la ciudad de Obregón, Sonora, México.

¿Qué tiene en particular la temperatura de un canopeo? Es un método rápido que se puede medir más o menos en 10 seg por parcela, o menos aun si usamos ciertas tecnologías. Es bajo el costo de medir este carácter ya que un termómetro cuesta entre 100 a 200 dólares. O sea que pequeños programas pueden hacerlo, es fácil y efectivo porque no se necesita un gran entrenamiento para la

Figura 4. **Relación entre la temperatura del canopeo y el rendimiento de grano**

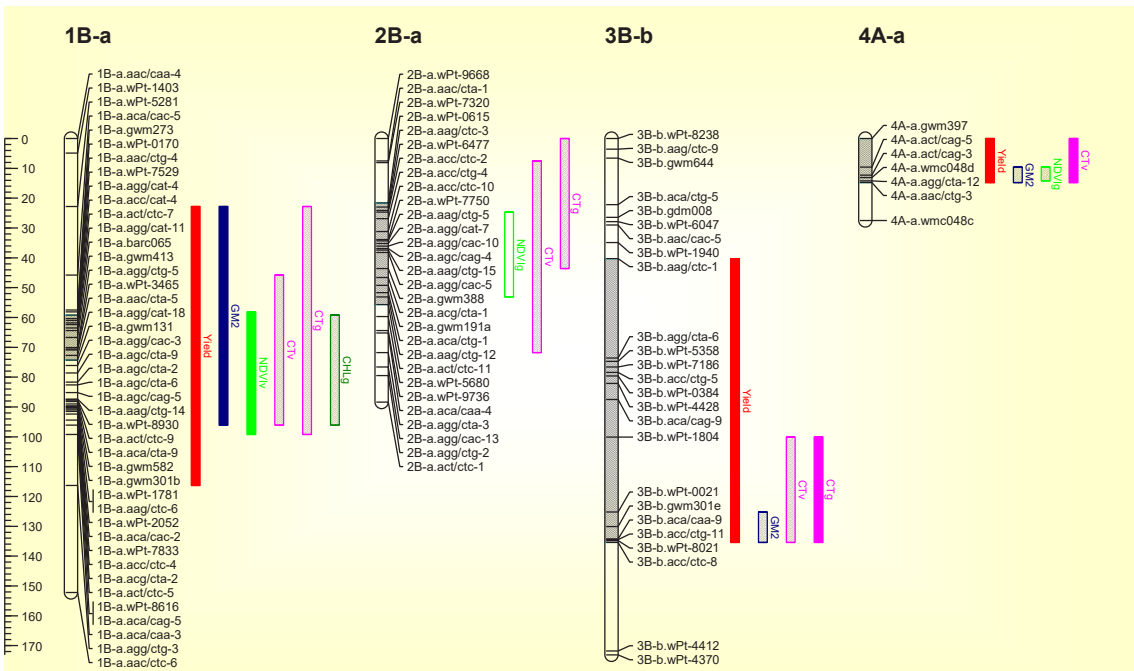


Fuente: **(Saint-Pierre et al. (2010) TAG 120:1107–1117)**

gente; y hay trabajos que demuestran que la selección de plantas por la temperatura de canopeo está recomendada a partir de estadios de F_4 – F_5.

¿Que sabemos aparte de la temperatura del canopeo? Hay marcadores comunes para calor y sequía (Fig 5). Las barras vacías en la Fig. 5 son marcadores solamente de sequía, las barras rayadas son específicas para calor y sequía,

Figura 5. **QTL comunes identificados para altas temperaturas y sequía**

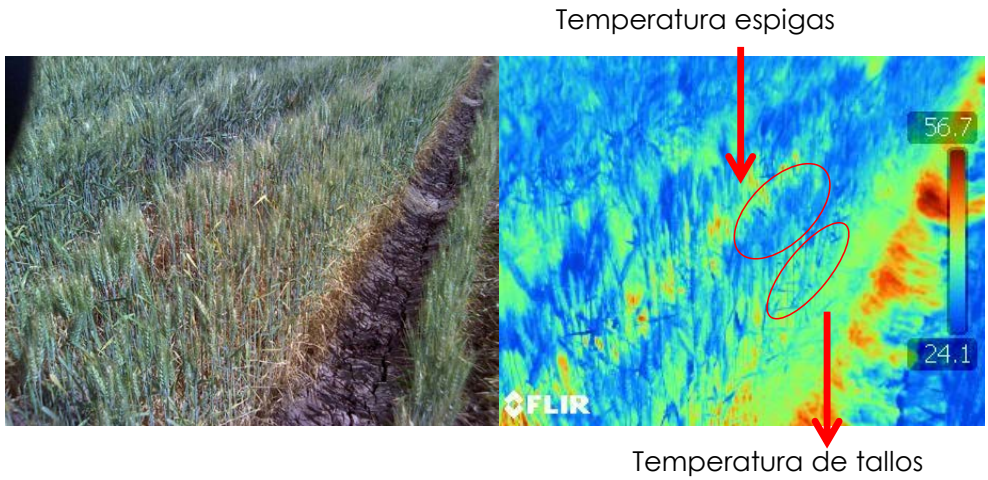


Barras vacías: Sequia QTL
Barras rayadas : Stress QTL especifico para calor y sequia
Barras solidas: QTL identificado bajo stress and condiciones de riego

Fuente: **Pinto, et al. (2010) TAG 121:1001–21**

En los últimos años las cámaras infra rojas aparecen más en el mercado local por el costo decreciente, y a la vez nos permiten hacer trabajos más detallados: tales como tratar de entender las diferencias genotípicas en condiciones de temperaturas en diferentes partes de la planta (Fig. 6). Podemos medir las temperaturas de las espigas, de los tallos, de las glumas o de las hojas nada más. Estas cámaras son unas herramientas que están disponibles y muy útiles.

Figura 6. **El uso de la fotografía con infra rojo en medición de la temperatura del dosel**

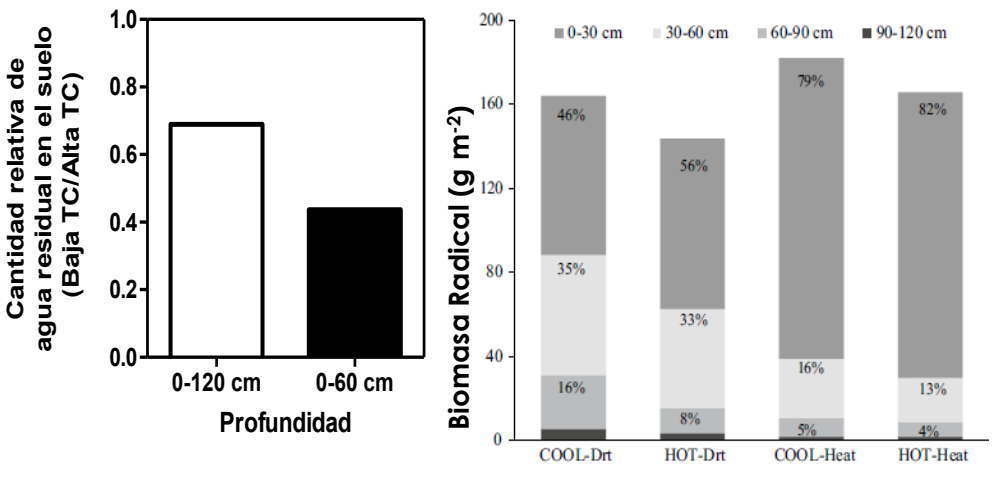


Estimación precisa y simultanea de las temperaturas de las diferentes estructuras de la planta

Otras características que medimos son las raíces. Todavía es un método muy difícil y que nos cuesta mucho medirlas, y es muy tedioso y a la vez es un desafío para la investigación.

Sabemos que hay diferencias en la distribución y cantidad de biomasa radical y el uso de agua entre genotipos de temperaturas más altas y temperaturas más bajas. En la gráfica 2 se puede observar una relación del genotipo; entre el agua que quedaba en el suelo a la madurez, entre un genotipo de baja temperatura de canopeo y otra alta. El de baja temperatura de canopeo, generalmente dejaba menos agua en todo el perfil, pero la mayor diferencia se veía en los primeros centímetros, hasta 60 cm, cosa inversa a lo que pasa en sequía.

Gráfica 2. **Diferencias en distribución y cantidad de biomasa radical y su relación con el uso de agua entre genotipos de diferentes temperaturas de canopeo**

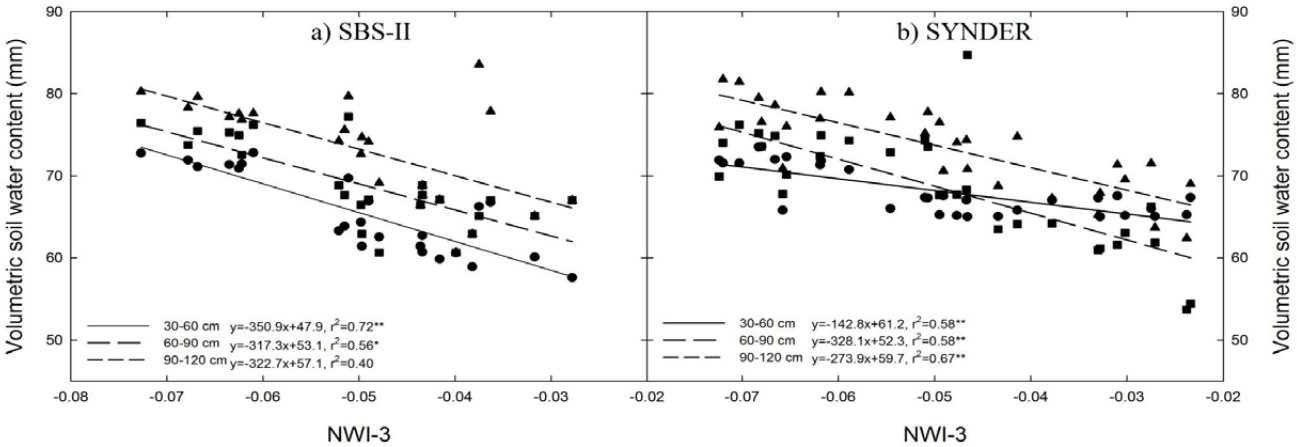


Fuente: **Adaptado de Pinto & Reynolds, 2015**

Los de baja temperatura son los que usan más agua en la parte profunda del perfil, y eso se ve cuando comparamos un genotipo frio bajo condiciones de sequía o en condiciones de calor. En las condiciones de sequía la biomasa radicular varía entre 0 a 30 cm y 30 a 60 (gráfica 2) donde tienen más raíces los genotipos fríos en condiciones de sequía. Sin embargo, cuando vamos a condiciones de calor, no existen diferencias en raíces profundas, sino que un genotipo frio la tiene en las raíces de 0 a 60 cm, tienen más raíces y aparte, la partición de las raíces es diferente.

Como no se puede medir las raíces tan fácilmente, medimos usando métodos alternativos, como son los sensores remotos (gráfica 3). La medición es en índice NWI – 3, que está asociado al potencial hídrico y al contenido volumétrico del agua. En otras palabras, no podemos medir las raíces pero sí se puede estimar el contenido volumétrico del suelo y eso está totalmente relacionado. También utilizamos radares para tratar de detectar las raíces. Lo poco que hicimos no nos funcionó muy bien, muy moderno, pero no logramos detectar las diferencias con este método.

Gráfica 3. **Índice de Agua Normalizada-3 (NWI-3) y su relación con potencial hídrico en hojas y suelo**

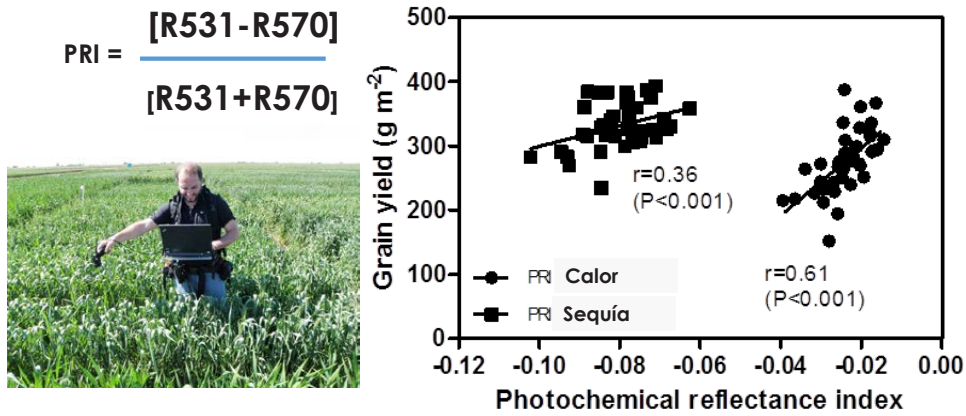


Fuente: **Gutierrez et al. (2010). Journal of Experimental Botany**

Desarrollo de nuevos métodos de fenotípeado a alto caudal para raíces

Otra característica a medir es la disipación de la radiación (gráfica 4) . Hay índices que las miden como el NWI- 3, el cual da una idea de cuánto se disipa la radiación de los cultivos que está asociado al contenido de carotenoides y al rendimiento en forma positiva, tanto en condiciones de sequía como de calor.

Gráfica 4. **Relación entre el Índice de Reflectancia Fotoquímica (PRI) y rendimiento bajo condiciones de estrés**

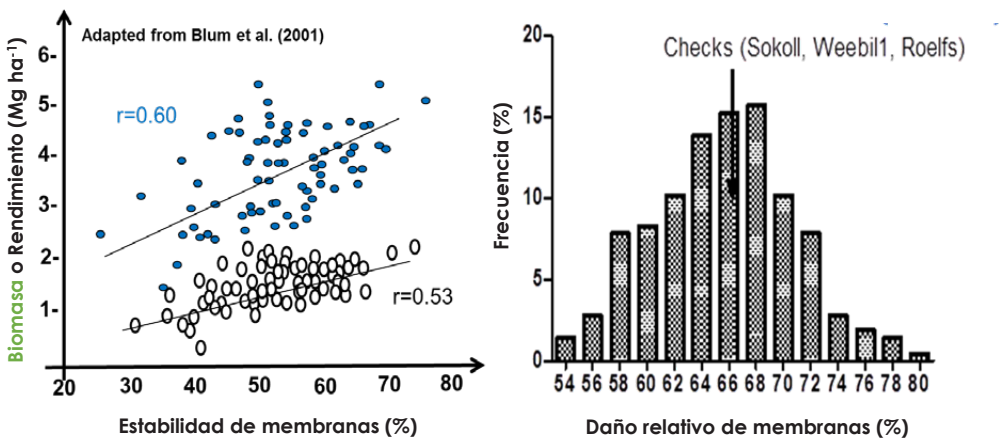


Relaciones positivas entre el Photochemical Reflectance Index (PRI) y el rendimiento bajo condiciones de estrés

También es factible medir la termoestabilidad de membranas, la cual está relacionada en forma positiva, tanto con la biomasa como con el rendimiento. En un análisis de aproximadamente un año, sobre una población de trigo, se puede observar que hay cultivares con menor daño relativo de las membranas, que son los testigos; demostrando entonces que hay variabilidad genética (Fig. 7). Esa variabilidad genética esta utilizada en un proyecto mediante una iniciativa público – privada para producir nuevos trigos tolerantes a altas temperaturas.

Figura 7. **Relación entre la termoestabilidad de membranas y tolerancia a calor**

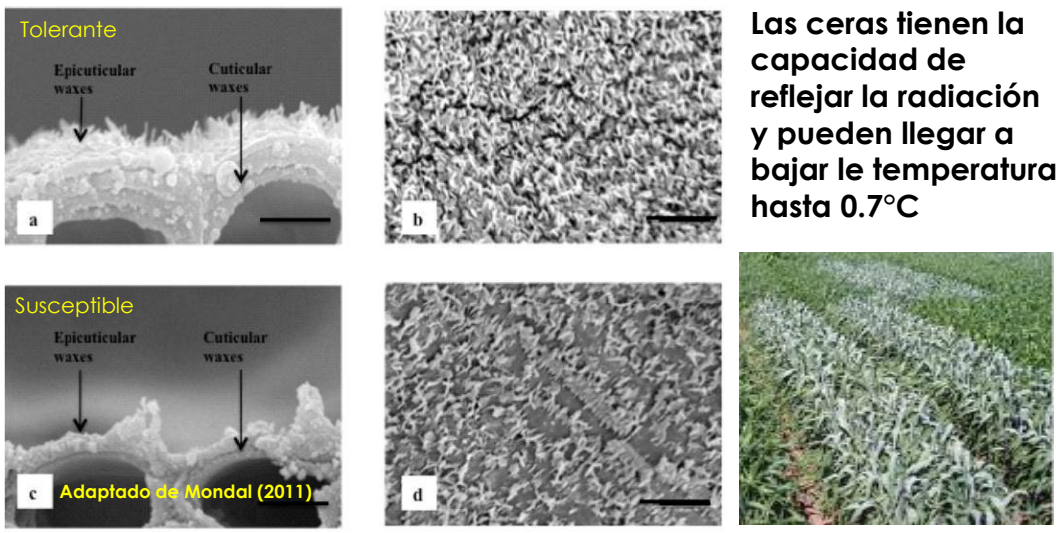
Asociada con tolerancia a calor en varios cultivos



La variabilidad genotípica en esta característica se está utilizando en CIMMYT mediante una iniciativa Publico-Privada para producir nuevas líneas tolerantes a altas temperaturas

El papel de las ceras es otro carácter estudiado (Fig. 8). Se puede ver como se impone la cera en un cultivar tolerante y otro susceptible. El control genético es simple y tiene la capacidad de llegar a bajar la temperatura hasta 0.7 ˚C, entonces es una de las características fisiológicas más fácil de mirar en campo.

Figura 8. **El impacto de la presencia de cera sobre la temperatura de la planta**



El control genético es conocido, simple (2B, 2D)

OPORTUNIDADES EXPLORADAS

Explorar la diversidad de los recursos genéticos es una tarea pendiente que puede ser lograda si generamos las herramientas que nos permitan esto. Este esfuerzo nos permitirá un mejor conocimiento de las líneas parentales.

¿Qué aportan los recursos genéticos? Por ejemplo las cruzas amplias con especies aliadas al trigo son fuentes de resistencia a enfermedades, que permiten una mayor redistribución de raíces a las partes profundas del suelo. Hay ejemplos donde estas especies mejoran la eficiencia fotosintética y permiten lograr mayores reservas bajo altas temperaturas.

En un ensayo comparamos unas línea elite derivadas de sintéticos, con las líneas no elite pero derivadas de sintético y su especie parental hexaploide, 14 líneas en total (Fig. 9). Se fue observado diferencias en todos los ambientes, pero en especial que esas diferencias se expresaban en ambientes de altas temperaturas o de muy altas temperaturas, la línea elite o avanzada (la barra roja) en todos los casos.

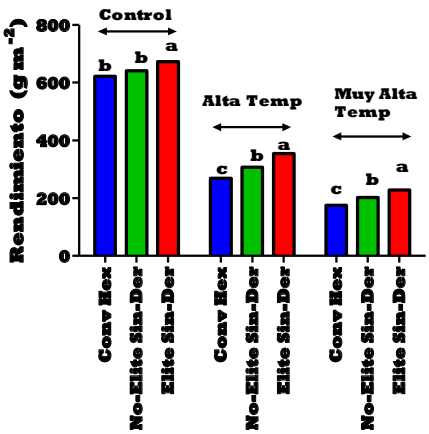
Esa diferencia de rendimiento está determinada por diferencias de biomasa en la madurez, las cuales fueron expresadas en diferencias en altura de la planta y también en diferencia en los carbohidratos que tenían disponible cuando empezaban a llenar los granos (Figs. 10 y 11).

Si bien el Dr Miralles mencionó que estas diferencias no contribuyen a las reservas para el mayor peso de los granos; nosotros encontramos que en la alta temperatura y muy alta temperatura, sí estuvo relacionado el contenido de carbohidratos 10 días post floración con el peso de 1000 granos (Fig. 11). En este caso, creemos que es porque el calor era en forma permanente y no un golpe de calor.

En este experimento, el rendimiento estuvo relacionado negativamente con la temperatura de canopeo. Fue algo esperado ya que las líneas Elíte tenían menores temperaturas y estas fueron medidas

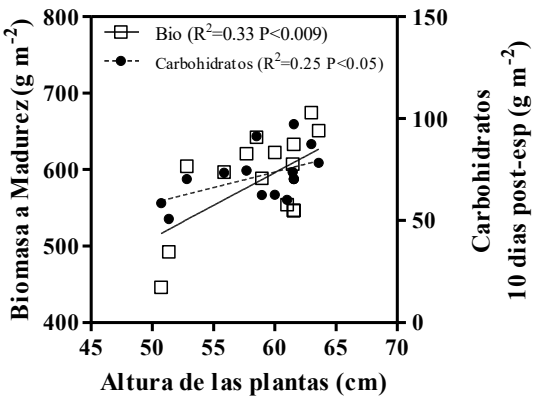
Figura 9. **Comparación del rendimiento entre el trigo pan convencional y líneas derivadas de los trigos sintéticos**

1- Convencional hexaploide (e.g. Pastor)
2- No-elite SIN-DER (e.g. ALTAR 84/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//OPATA)
1x2- Elite/Avanzada SIN-DER (e.g. SOKOLL)



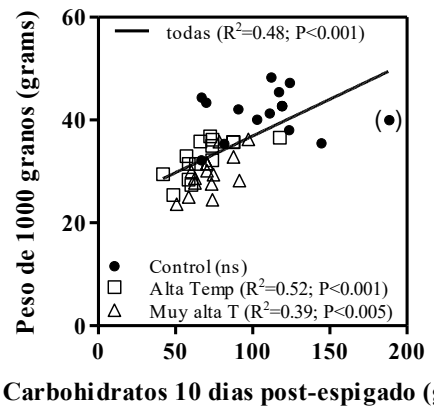
Las líneas avanzadas de derivados sintéticos mostraron superioridad en rendimiento sobre sus padres en tres ambientes

Figura 10. **El impacto de la altura los trigos derivados de sintéticos sobre la biomasa y carbohidratos en tallos**



Fuente: **Adaptado de Cossani & Reynolds (2015)**

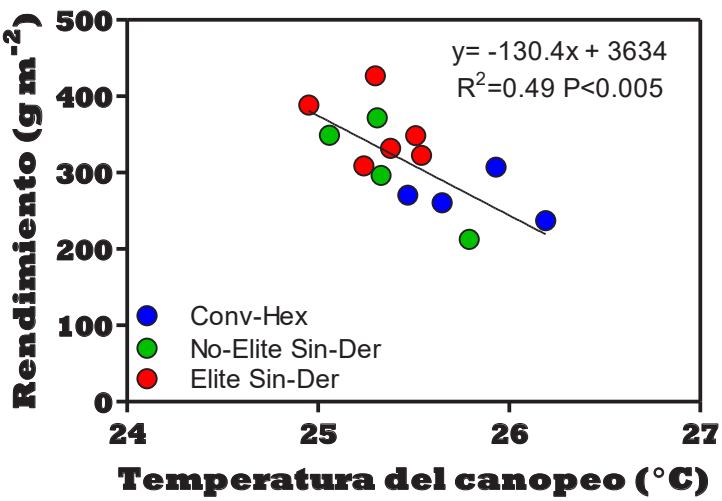
Figura 11. **Relación entre carbohidratos sobre el peso de grano en trigos derivados de los sintéticos**



Fuente: **Adaptado de Cossani & Reynolds (2015)**

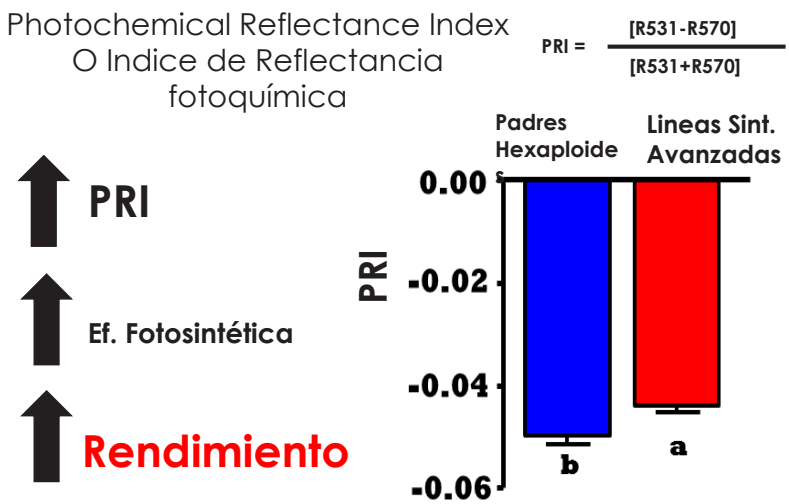
en la etapa pre floración, con lo cual tenían mejores condiciones de metabolismo en el periodo en que el cultivo estaba determinando el número de granos, resultando en mejor rendimiento (Fig.12).

Figura 12. **Relación entre características fisiológicas de los trigos derivados de los sintéticos y el rendimiento de grano**



También aprovechamos para medir el índice fotoquímico de reflectancia (PRI) y comparar los padres hexaploides con las líneas sintéticas avanzadas (Fig. 13). Los resultados mostraron que las líneas sintéticas avanzadas tienen un mayor PRI, lo cual arrojó un mayor índice, mayor eficiencia fotosintética y el mayor rendimiento.

Figura 13. **El impacto del Índice de Reflectancia Fotoquímica en los trigos derivados de sintéticos sobre el rendimiento de grano**



Las líneas sintéticas avanzadas presentaron ventajas en términos de disipación de energía y eficiencia fotosintética medidas por el PRI

El próximo paso es aumentar el caudal de fenotípeado. Esto se puede lograr mediante plataformas aéreas de fenotípeado (Fig. 14), usando diferentes sensores que dependerán de la disponibilidad que tenga cada programa de mejoramiento y de las características deseadas.

Figura 14. **Plataformas aereas de fenotípeado**

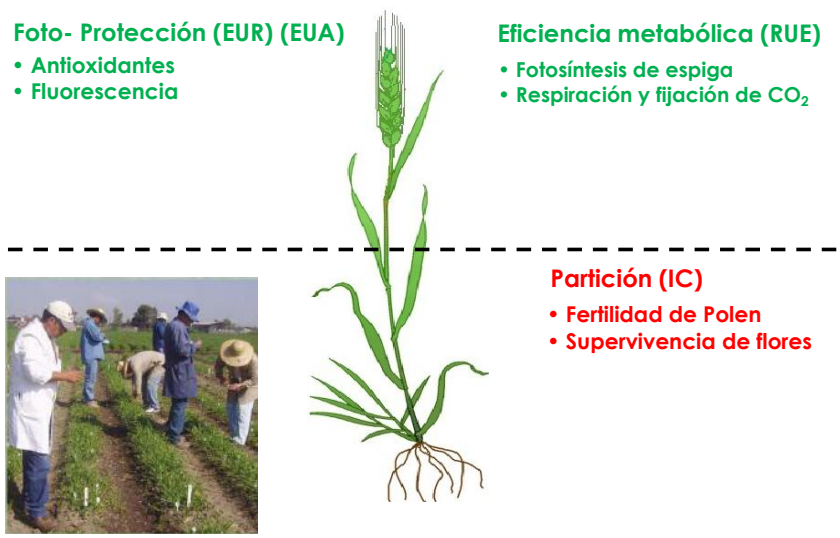
LAS CARACTERÍSTICAS QUE REQUIEREN MAYOR INVESTIGACIÓN Y NECESIDADES FUTURAS

Hay poca información sobre los antioxidantes y la fluorescencia en relación a foto- protección porque es difícil a medir estas cosas.

En cuanto a eficiencia metabólica, no está claro la fotosíntesis en la espiga o los métodos que permitan medir la respiración a nivel del canopeo. Por ahora es difícil diferenciar entre genotipos, con al menos en un método que sirva.

El método de fertilidad del polen sirve para determinar la partición de las reservas en muchos cultivos, como por ejemplo el girasol. Sin embargo, aún no hay experiencias en trigo y quizás habría que empezar a implementarlo. Tampoco se ha estudiado el papel de la supervivencia de las flores, que no es muy común, en la partición.

Figura 15. **Características fisiológicas que requieren mayor investigación**



Además de todo lo que falta por hacer, hay que comprender mejor las interacciones entre las diferentes características fisiológicas. ¿Qué impacto tiene la menor temperatura del canopeo, sobre las ceras o la estabilidad de las membranas? Existe la necesidad de comprender mejor esas relaciones entre las diferentes características.

Por otra parte es necesario integrar el análisis de los datos fenotípicos con los genotípicos, en modelos de simulación. Algunas cosas se están haciendo pero no es algo que sea aun ampliamente usado.

Necesitamos también desarrollar métodos matemáticos y estadísticos para la interpretación de datos multi temporales y multiescala, porque muchos datos están tomados a nivel de hoja, otros a nivel de canopeo y no es lo mismo integrarlos. Por eso es importante desarrollar modelos matemáticos que nos permitan integrar toda la información generada.

Para lograr una mayor participación a nivel mundial en estos trabajos, es importante reducir el costo de plataformas, en especial para los países que están en vías de desarrollo.

Hay que definir los protocolos comunes y estandarizarlos, para poder compartir datos en redes. Si generamos las redes y uno tiene los datos medidos a las 10:00 AM y el otro 15:00 PM, en un caso el genotipo se estaba calentando y en el otro se estaba empezando a enfriar, así que sí los dos tenían las mismas temperaturas pero venían de situaciones diferentes.

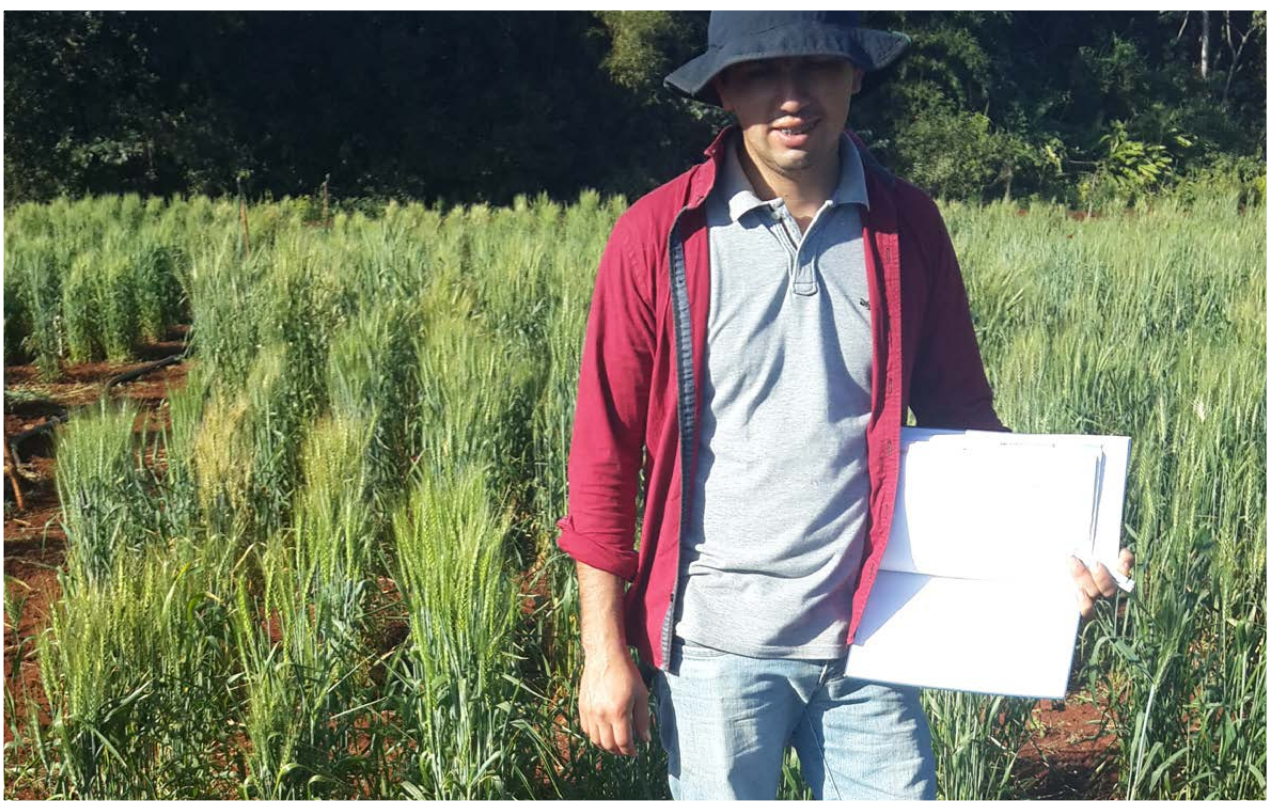
Por último, mejorar la caracterización ambiental; O sea, definir bien cuáles son los ambientes que queremos y tratar de conocerlos bien.

Preguntas y plenaria

- Pregunta: ***¿Qué avances hay en el uso de marcadores para atributos fisiológicos?***
- **Mariano Cossani:** Hay bastantes avances, para las diferentes características. Yo no hablé tanto de la parte genética, sino para mostrar porqué era importante cada característica o qué era. Pero sí hay marcadores para ceras, carbohidratos, estabilidad de membranas. Este año hemos terminado dos años de análisis, en el cual miramos diferentes características que están atribuidas a eficiencia fotosintética y a pigmentos, y se encuentran marcadores en forma consistente. Todavía no está publicado, pero sí hay bastantes avances.

Estreses abióticos como sequía y calor son retos para mejoramiento del trigo en el futuro.

Evaluación de parcelas por tolerancia al calor en el Campo Experimental de Yhovy, Canindeyú.



Avances de Rendimiento en Ambientes Calurosos del Germoplasma de Trigo del CIMMYT

CIMMYT Bread Wheat Germplasm: Advances in Grain Yield under Warmer Environments

Ravi Prakash Singh[1]

J. Huerta-Espino[2], **S. Mondal**[3] **y E. Autrique**[3]

[1] Jefe del Programa de Investigación de Trigo, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT,

[2] Campo Experimental Valle de México INIFAP, Apdo. Postal 10, 56230, Chapingo, Edo. de México, México.

[3] Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT,

r.singh@cgiar.org

RESUMEN

El programa de mejoramiento de trigo del CIMMYT actualmente tiene como objetivo incrementar la producción del trigo harinero que se cultiva en Asia, África y América Latina en aproximadamente 60 millones de hectáreas. No obstante que en la mayoría del área es común encontrar estrés por calor, se ha estimado que 10 millones de hectáreas de trigo sufren altos niveles de estrés por calor cada año. Por cada grado centígrado de aumento en la temperatura nocturna durante la etapa del cultivo, se ha estimado que reduce el rendimiento de grano entre el 6-10%. El CIMMYT ha subdividido las áreas objetivo donde existe estrés por calor en dos grupos: 1) estrés por calor después de la antesis que conlleva a un periodo corto de llenado de grano y que requiere de variedades de trigo con maduración temprana, y 2) estrés por calor continuo con altas temperaturas nocturnas y diurnas que requieren de variedades que van de intermedias a tardías. La presencia de alta humedad relativa a su vez permite dividir los dos ambientes de calor en términos de la incidencia de enfermedades como la mancha marrón, fusariosis de la espiga (FHB) y el brusone además de las royas. El programa de mejoramiento del CIMMYT se enfoca en combinar alto potencial de rendimiento con tolerancia a la sequía y al calor, resistencia durable a royas y otras enfermedades, biofortificación del grano (Zinc y Hierro) y la calidad industrial del trigo con el fin de incrementar la productividad y el beneficio de las áreas que tiene como objetivo. Un incremento continuo del 1% por año en el potencial de rendimiento en el germoplasma nuevo es evidente en las áreas con estrés de calor, lo que demuestra que los cruzamientos específicos entre progenitores diversos con tolerancia al calor y a la sequía, selección por rendimiento y peso de grano bajo ambientes de calor y sequia es la mejor metodología de mejoramiento. La tolerancia a calor es un carácter genético determinado poligénicamente; por tanto, obtener ganancias genéticas de un salto espectacular no es realista. Caracteres fisiológicos, depresión de temperatura del dosel (CTD) e índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) pueden ser usados con relativa facilidad en fenotipear materiales mejorados y en descartar líneas con un alto CTD y bajo NDVI. Estos caracteres permiten seleccio-

nar aquellos con temperatura más fría y la acumulación o retención de biomasa respectivamente. Un fenotipeo de alto rendimiento a gran escala de estos caracteres se implementó recientemente a través de la proyección de imágenes áreas. Estos datos combinados con alta densidad de datos moleculares genotípicos prometen mejorar las tasas de ganancias genéticas seleccionando líneas basadas en el rendimiento pronosticado y predeterminado especialmente.

Una variedad exitosa es la suma de varios atributos agronómicos. La estrategia que prolongue la efectividad de la resistencia es importante para ampliar las ganancias en productividad y proteger el ambiente. El programa de trigo del CIMMYT ha logrado niveles altos de resistencia a la roya de la hoja que se basa en la combinación de varios genes de enroyamiento lento de efectos menores que confieren resistencia de planta adulta (RPA). También se han obtenido buenos resultados en mejorar la resistencia a razas del grupo Ug99 y a un grupo de razas agresivas del hongo causante de la roya estriada o amarilla. Existen fuentes de resistencia efectivas a la fusariosis de la espiga, pero es necesaria más inversión para incorporarlas en trigos con mayor potencial de rendimiento. El establecimiento de plataformas de fenotipado de campo en América del sur es de extrema importancia para generar datos confiables sobre la resistencia al brusone; de lo contrario el progreso seguirá siendo lento pues se requiere primero un alto nivel de resistencia que tiene que ser construida mediante la combinación de genes menores dispersos y presentes en diferentes progenitores.

ABSTRACT

The CIMMYT wheat improvement program currently aims to increase the production of bread wheat grown in Asia, Africa and Latin America, on approximately 60 million hectares. Although heat stress is common in most areas, it has been estimated that 10 million hectares of wheat suffer from high levels of heat stress each year. For each degree Celsius of increase in the nighttime temperature during the critical stages of the crop, it has been estimated that it reduces grain yield by 6-10%. CIMMYT has subdivided the target areas of heat stress into two groups: 1) heat stress after the anthesis that leads to a short period of grain filling and requires early maturing wheat varieties, and 2) stress by continuous heat with high night and daytime temperatures that require intermediate to late varieties. The presence of high relative humidity, in turn, allows the two heat environments to be divided in terms of the incidence of diseases such as spot blotch, Fusarium Head Blight (FHB) and brusone, in addition to the common rusts. The CIMMYT improvement program focuses on combining high yield potential with tolerance to drought and heat, durable resistance to rusts and other diseases, grain biofortification (Zinc and Iron) and the industrial quality of wheat, in order to increase the productivity and the benefit the target areas. A yield potential increase of 1% per year in new germplasm is evident in areas with heat stress, which shows that specific crossbreeding between diverse parents with heat and drought tolerance, selection for yield and grain weight under heat and drought environments is the best improvement methodology. Heat tolerance is a polygenic genetic character; therefore, to expect spectacular genetic gains is not realistic. Physiological characters such as canopy temperature depression (CTD) and normalized difference vegetation index (NDVI) can be used with relative ease in phenotyping improved materials and discarding lines with high CTD and low NDVI. These characters allow to select those lines with colder temperature and the accumulation or retention of biomass which are important characters for adaptation under heat and drought environments respectively. A high-throughput large-scale phenotyping of these characters was recently implemented through the projection of areal images. These data combined with high density of genotypic molecular data promise to improve the genetic gain rates by selecting lines based on the predicted and predetermined special performance.

A successful variety is the sum of several agronomic attributes. The strategy that extends the effectiveness of the resistance is important to expand the gains in productivity and protect the environment. The wheat program of CIMMYT has achieved high levels of resistance to leaf rust that is based on the combination of several slow-rusting genes with minor effects that confer adult plant resistance (RPA). Good results have also been obtained in improving the resistance to races of the Ug99 group and to a group of aggressive races of the fungus causing the stripe or yellow rust. There are effective sources of resistance to FHB, but more investment is necessary to incorporate them into wheats with greater yield potential. The establishment of field phenotyping platforms in South America is extremely important to generate reliable data on wheat blast resistance; otherwise, progress will continue to be slow. Since a high level of resistance is first required, it has to be developed by combining smaller scattered genes present in different progenitors.

INTRODUCCIÓN

Los 60 millones de hectáreas de trigo harinero primaveral en el mundo, están en el mandato del CIMMYT en donde fueron divididos en 6 mega ambientes; hay otros 6 mega ambientes para los trigos invernales y facultativos. El mega-ambiente más importante es el del área con riego completo. Los países o las regiones de cada mega ambiente están mencionados en la Fig. 1.; así, en el caso de Paraguay el ambiente de calor corresponde al mega-ambiente 5 para el CIMMYT. Hay otros ambientes donde hay más lluvia o frio; especialmente en países con zonas altas. Áreas semiáridas son casi 15 millones de hectáreas, la segunda área más importante, y después vienen las regiones calurosas. La gran mayoría de regiones con calor, están en el sur de Asia. Pero también hay otros países, como Sudan, que es muy caliente, conjuntamente con Namibia, Bolivia, Paraguay, y Brasil etc.

Figura 1. **Mega-ambientes manejados por el Programa de Mejoramiento de Trigo del CIMMYT, México**

- **Riego completo (Mega-ambiente 1): 30 m ha**

  Noroeste de India y Pakistán, Afghanistan, Irán, Turquía, Egipto, China, México y Chile

- **Ambiente lluvioso (Mega-ambiente 2): 5 m ha**

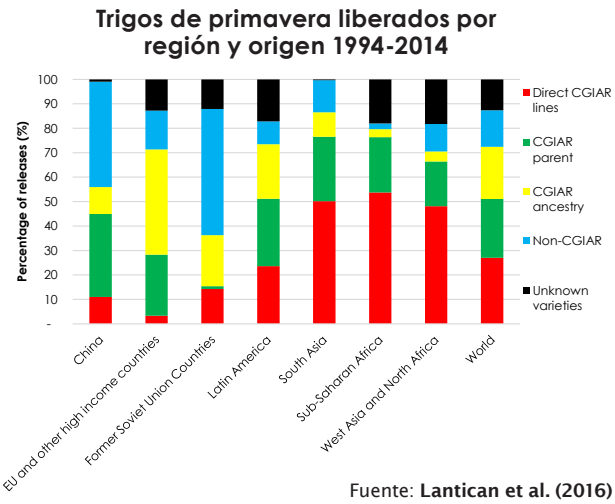
  Asia Occidental , Norte de Africa, Valles Altos de Africa del Este

- **Ambiente Semiárido (Mega-ambiente 4): 15 m ha**

  Asia del Este, Norte de Africa, Centro de India, Sur de Pakistán, y América del Sur

- **Riego con Calor (Mega-ambiente 5): 10 m ha**

  Noroeste, Centro e India Peninsular, Taray de Nepal, Bangladesh, Sureste de Pakistán, Sudán, Nigeria, Bolivia, Paraguay, Brasil, etc.



Fuente: **Lantican et al. (2016)**

Casi la mitad de las variedades liberadas en el Sur de Asia, Sub-Saharan Africa, Asia Occidental y North Africa son derivadas directas del CGIAR; y >30% tienen por lo menos un progenitor producto del CGIAR.

Los enfoques de la investigación y los esquemas de mejoramiento varían para cada una de esas áreas y un poquito menos para otras. No es la misma escala en cada zona.

El estudio representado en la gráfica (Fig 1.) sobre distribución de las variedades de origen CGIAR, fue realizado gracias a las informaciones enviadas por los colaboradores, y áreas sembradas con diferentes variedades. En los últimos diez años todavía se demuestra la importancia del germoplasma del CIMMYT y se presenta como parte de las barras del gráfico en diferentes regiones. El color rojo demuestra variedades liberadas usando germoplasma de CIMMYT directamente. El color verde son aquellas variedades donde uno de los progenitores fue una línea del CIMMYT. Los amarillos, donde ya tiene alguna línea como abuelo y el azul donde no hay una línea de CIMMYT. Como se puede apreciar, el uso de las variedades generadas como líneas por el CIMMYT depende de la zona. Se estima que alrededor del 50-60% de variedades siendo liberadas todavía, derivan directamente del germoplasma CIMMYT. Si no hay evidencias del uso directo, es interesante entender las necesidades de las regiones y la razón por la cual no se utiliza el germoplasma distribuido por el CIMMYT. Eso es más importante para seguir mejorando los materiales en el futuro.

PRIORIDADES DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO

Ya hay mucha información sobre el cambio climático. Para responder a distintos escenarios previsibles, se ha hecho una estructuración en el programa de mejoramiento.

El rendimiento sigue siendo el primer factor de importancia, y lo que se necesita es mejorar el potencial en distintas regiones o seguir incrementándolo de forma paulatina (Fig.2) y hasta el momento no hay otra alternativa. La resistencia a las royas también es muy importante para varios países de pequeños o medianos agricultores, ya mencionados por los Dres. Rajaram y Kohli. Los pequeños agricultores no deben utilizar tantos agroquímicos, sobre todo para controlar las royas, porque hay suficiente resistencia vegetal disponible. La opción es combinar el rendimiento con la resistencia a las royas. Esto representa una prioridad muy alta para el CIMMYT, y varios donadores apoyan el trabajo para mejorar la resistencia genética a las royas, a cualquiera de las tres que atacan al trigo.

Figura 2. **Prioridades del programa de trigo harinero**

Caracteres principales

_ Alto y estable potencial de rendimiento

_ Resistencia durable a royas- del Tallo (Ug99), estriada y de la hoja

_ Uso eficiente del agua/Tolerancia a sequía

_ Tolerancia al calor

_ Calidad industrial apropiada

_ Mayor contenido de Zn y Fe para mayor nutrición (South Asia)

Enfermedades clave en mega-ambientes específicos

_ Resistencia durable a plagas y enfermedades

- Septoriosis (ME2)
- Mancha marrón (ME5)
- Mancha amarilla (ME4)
- Fusarium – fusariosis de la espiga y mico-toxinas (ME2/4/5)
- Carbón parcial (ME1)
- Pudriciones radiculaes y nematodos (ME4)

Conjuntar caracteres múltiples es esencial bajo el escenario del cambio climático para beneficio de los productores de trigo

El uso eficiente del agua o tolerancia a la sequía también ayuda a mantener el alto rendimiento, principalmente en las regiones semiáridas. No son los dos factores solamente, igual es para el calor. Se necesita incorporar genes de tolerancia a la sequía y al calor, junto con los genes de rendimiento. Es la meta actual para tener el mejor beneficio requerido.

Los aspectos de calidad industrial y nutricional, especialmente los incrementos en Zinc y Hierro también son ahora parte del programa. Este programa, el de calidad nutricional tiene un mayor enfoque sobre sur de Asia y eventualmente se va a extender en África. La población en el sur de Asia consume mucho trigo, pan integral de varios tipos, que es más beneficioso. Entonces la prioridad es desarrollar estos materiales e iniciar la combinación de genes ya identificados.

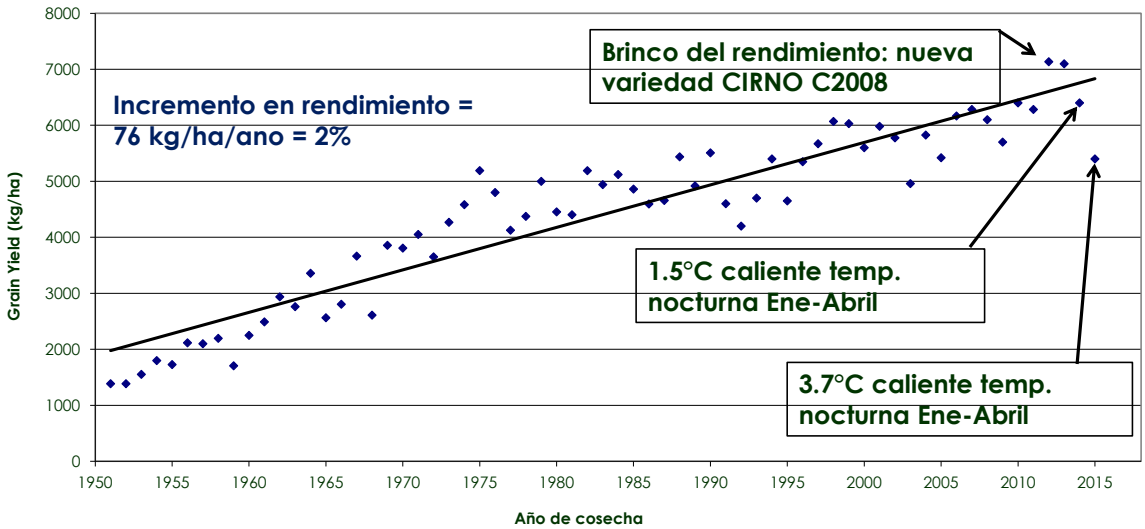
Aparte de las prioridades mencionadas, cada mega ambiente requiere un tipo de germoplasma específico. Diferentes enfermedades, como *Septoria,* es prioritario en ambientes donde hay mucha lluvia y temperaturas bajas. Mancha marrón o helmintosporiosis, y mancha amarilla son importantes en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Aunque estas enfermedades no son tan importantes en otras regiones, pero en el sur de Asia, la mancha marrón es un factor limitante sobre 10 millones de hectáreas en condiciones de mucha lluvia. Hay otras enfermedades importantes como Fusariosis de la Espiga en el Cono Sur y Carbón Parcial en México y algunos otros países. Junto a un nematólogo, se está trabajando para resistencia a nematodos y pudriciónes radiculares.

En estos problemas complejos, lo más importante es no trabajar aisladamente. Es muy importante colaborar con instituciones que estén trabajando en diferentes áreas geográficas para conjuntar los diferentes caracteres múltiples. Hay varios genes responsables detrás de cada carácter, y por eso es esencial juntarlos para responder a los escenarios del cambio climático. No importa en qué dirección vaya el clima, frío o caliente, el programa de mejoramiento del CIMMYT tiene que dar respuesta a todos.

Rendimiento

El incremento del rendimiento en el Valle del Yaqui, México, la estación más importante del CIMMYT, está presentado en la Fig. 3. La gráfica muestra lo que ha pasado alli durante los últimos 3 años. A largo plazo el incremento del rendimiento es casi 2% anual. El Valle del Yaqui tiene entre 180,000-190,000 has de trigo. No es una superficie muy grande, pero muestra la contribución del germoplasma junto a un mejor manejo del cultivo. En el año 1970, cuando todo el mundo estaba muy feliz por el Premio Nobel otorgado al Dr. Borlaug el rendimiento promedio era de 3.5 toneladas/ha; hoy tienen 7.1-7.2 toneladas/ha.

Figura 3. **Tendencia de los rendimientos promedio en campos de agricultores del Valle del Yaqui, México de 1951-2015 a pesar de la reducción del número de riegos de seis a cuatro**



Fuente: **Modificado de K. Sayre**

Los últimos puntos de la gráfica son los rendimientos de la variedad CIRNO C2008, que cubre casi el 90% del área. La variedad sufre cuando es expuesta a las temperaturas calurosas entre enero y abril, que coincide con los estadíos de elongación hasta la cosecha del cultivo. Lo que se ganó en el potencial de rendimiento, se perdió en el 2014 por 1.5 ˚C más de temperatura en promedio. Durante el año 2015 la situación fue peor, por ser 3.7 ˚C más caliente desde enero a abril y el rendimiento cayó a 5.4 toneladas. Misma variedad, misma superficie, misma agricultura, mismas prácticas.

Esta pérdida de entre 6 - 8% más o menos por cada grado de incremento de temperatura NOCTURNA, es muy parecido a los resultados experimentales de Argentina presentados por el Dr. Miralles. En Valle del Yaqui, también puede verse el impacto de la temperatura diurna. El Dr. Iván Monasterio hace sus predicciones basadas en las temperaturas nocturnas y son muy similares de lo que sucede en el Valle del Yaqui.

Considerando que el mejoramiento no se puede hacer para cada lugar específico, veamos lo que pasa a nivel mundial. Hay un tipo de calor que es en una fase después de la floración (*post-flowering*). Este tipo de calor es muy común, en la mayoría del área bajo enfoque del CIMMYT. A veces también ocurren golpes de calor en esa fase de crecimiento y los rendimientos se pierden por bajo peso de grano. Este calor afecta el periodo de llenado de grano y el peso del grano.

La solución que se ha optado para estas regiones es crear variedades precoces para esta última fase del ciclo, además de tener algo más de tolerancia al calor y así tener menor pérdida en el rendimiento. Hasta ahora se ha podido recortar el ciclo sin perder rendimiento.

El segundo tipo de regiones son las áreas donde el calor es continuo. La temperatura nocturna es más calurosa, lo que acelera el crecimiento y reduce la acumulación de biomasa, el número de granos/espiga y el peso del grano.

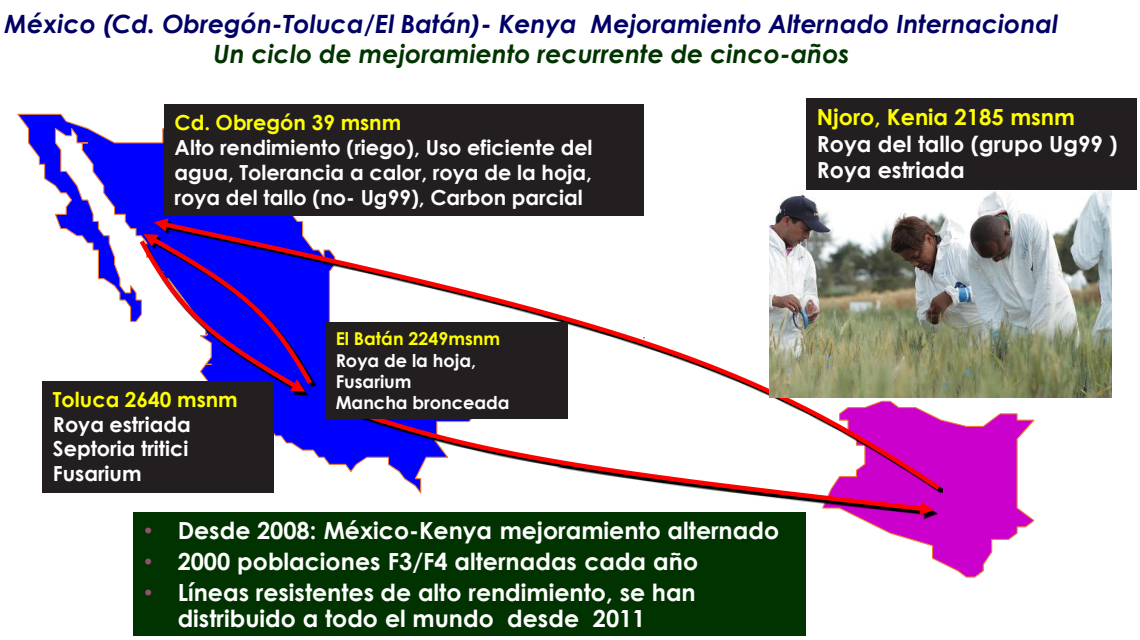
Para este ambiente, las variedades tardías son buenas porque van a tener un poquito más de tiempo para acumular biomasa y para llenar el grano. Es una estrategia muy simple y lo que se hace con líneas de trigo muy tardías en Cd. Obregón, las de mayor rendimiento se retienen ya que son adaptadas en condiciones de calor en ambientes como Sudan y Namibia, donde el calor es continuo. Esta misma situación puede ser válida para algunas zonas del Brasil o Paraguay.

Estas variedades tardías incrementan el consumo de agua para mantener frio el canopeo o dosel. Para eso se requiere un uso eficiente del agua o tolerancia a sequía. Cuando hay estrés por calor, la experiencia muestra el mejor comportamiento en líneas tardías. También se puede decir que la tolerancia al calor no siempre es lo mismo que la tolerancia a sequía. Son dos cosas distintas, pero es factible combinar las líneas de alto rendimiento, con tolerancia al calor, y a sequía. Aunque hay muy pocas en el germoplasma del CIMMYT, pero sí es posible combinarlas.

Mejoramiento alternado (Shuttle breeding)

¿Cómo se puede iniciar el proceso de combinaciones?, se inicia con la identificación de progenitores que se van a cruzar. En este caso, se necesitan datos, información de cualquier tipo agronómico, fisiológico, porque ayuda a la selección de los progenitores. Además, CIMMYT maneja la selección alternada de las poblaciones segregantes en un proceso llamado "Shuttle breeding" (mejoramiento alternado). En este esquema, las poblaciones segregantes se mueven en dos lugares en México: de Ciudad Oregón en invierno y después a la parte central de México, Toluca o El Batan en verano; dos estaciones que están muy especializadas en referencia a enfermedades (Fig. 4). El CIMMYT utilizaba esta metodología desde hace mucho tiempo para lograr nuevas líneas, desde cruzas a nuevas líneas, en 4 a 5 años. Sin embargo, en el 2008, después de la aparición de la raza Ug99 de la roya del tallo, que afecta a casi el 90% del germoplasma y variedades, se inició mover las poblaciones segregantes, F_3 y F_4, a Kenia para realizar la selección allá. Las líneas, ya casi fijas, regresan a Cd. Obregón para la selección final. Entonces es un Shuttle breeding internacional, y hay que visitar cada localidad para seleccionar plantas y mover semillas.

Figura 4. **Cruzas específicas y mejoramiento alternado en selección de segregantes en el campo**



La buena evaluación del rendimiento y diversidad de ambientes

El reto más grande, es este caso, es hacer un buen trabajo para medir el rendimiento de líneas avanzadas. ¿Es el rendimiento un juego de números o un arte, como se decía antes? En realidad, todo es

importante. Arte es saber qué cruzar, qué seleccionar, pero al final cuando ya se tienen las líneas uniformes, los buenos ensayos proporcionan una mayor probabilidad para identificar las mejores líneas.

Actualmente, el programa maneja alrededor de 9100 líneas en ensayo de rendimiento durante el ciclo pasado y es el primer año con manejo de condiciones para lograr rendimiento de 10 ton/ha, para medir su potencial de rendimiento (Fig.5).

Figura 5. **Tipo de pruebas de rendimiento de líneas avanzadas Cd. Obregón, México (2014-15)**

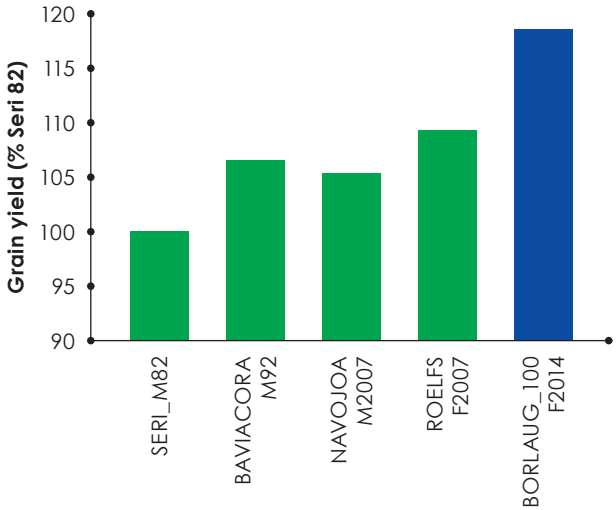
- **1er año ensayos riego completo (9100 líneas + Testigos): 30 líneas/ensayo, 2 reps, diseño alpha-lattice**
  - Camas - 5 riegos
- **2do Año ensayos elite (1092 entries + Testigos): 30 líneas/trial, 3 reps, diseño alpha-lattice**
  - Melgas - 5 riegos (8-9 t/ha)
  - Camas - 5 riegos (8-9 t/ha)
  - Camas - 2 riegos (3-4 t/ha)
  - Melgas - riego por goteo (2-2.5 t/ha)
  - Camas - Siembra temprana (30 days) - (8-9 t/ha)
  - Camas - Siembra tardía (85 days) - (3-4 t/ha)

Al segundo año, las mejores líneas seleccionadas por rendimiento, enfermedades, calidad, etc., se prueban en 6 ambientes. Dos de riego en Cd. Obregón: 1) "Melga" es sembrada en parcelitas planas y llenadas con agua y 2) sobre camellones. Normalmente, los camellones son usados en condiciones de mucha lluvia para un mejor drenaje; pero mundialmente todavía no se usa este sistema para riego. También se mide el rendimiento para los dos sistemas de estrés hídrico: dos riegos y riego por goteo, para tener un estrés severo. Los otros dos ambientes son las siembras tempranas, anticipada por un mes y siembras tardías, sembradas casi 3 meses después de la siembra temprana. Todos esos datos generados ayudan para seleccionar el mejor material para cada ambiente o de adaptación general.

En el 2014, fue liberadaa una nueva variedad en Cd. Obregón, Borlaug 100 F2014, porque fue el aniversario del natalicio del Dr. Borlaug. Se puede ver en la gráfica que tiene casi 9% de incremento en rendimiento comparado con la variedad Roelfs ya sembrada comúnmente (Fig. 6). La Fig. 6 corresponde a la multiplicación de semilla original en El Batan. Esta variedad no solo tiene la ventaja de rendimiento en condiciones de riego, sino que está siendo usada en los ultimos tres años como testigo incluyendo los ambientes de sequía y calor. Entonces el reto actual es superar el rendimiento de esta variedad para Cd. Obregón y otros ambientes en el mundo.

La evaluación de las 9100 líneas en el ensayo de rendimiento esta presentado en la Fig. 7. Como se puede ver, muchas de ellas al final no son tan buenas, pero hay que concentrar la atención solo en la parte derecha de la gráfica donde se puede apreciar que 256 líneas (2.8%), tienen el mismo rendi-

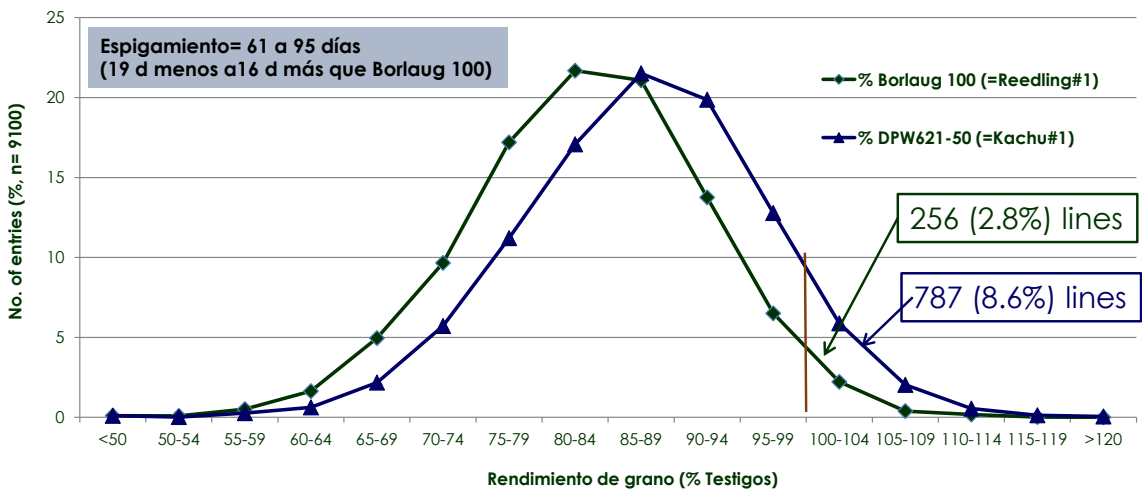
Figura 6. **Comportamiento del rendimiento promedio de grano de variedades recientes bajo condiciones de riego óptimo y libre de enfermedades durante los ciclos 2012-13 y 2013-14 en Cd. Obregón, México**



Variedad de trigo harinero Borlaug 100 liberada en 2014: *9% de rendimiento más que Roelfs liberada en 2007*

Figura 7. **Incremento del rendimiento de grano: Distribución del rendimiento de 9100 líneas de trigo harinero bajo riego óptimo. Ensayos de 1er año (2 reps) en Cd. Obregón ciclo 2014-15**

El ciclo tuvo una temperatura media nocturna 3.7⁰C mayor de Enero-April

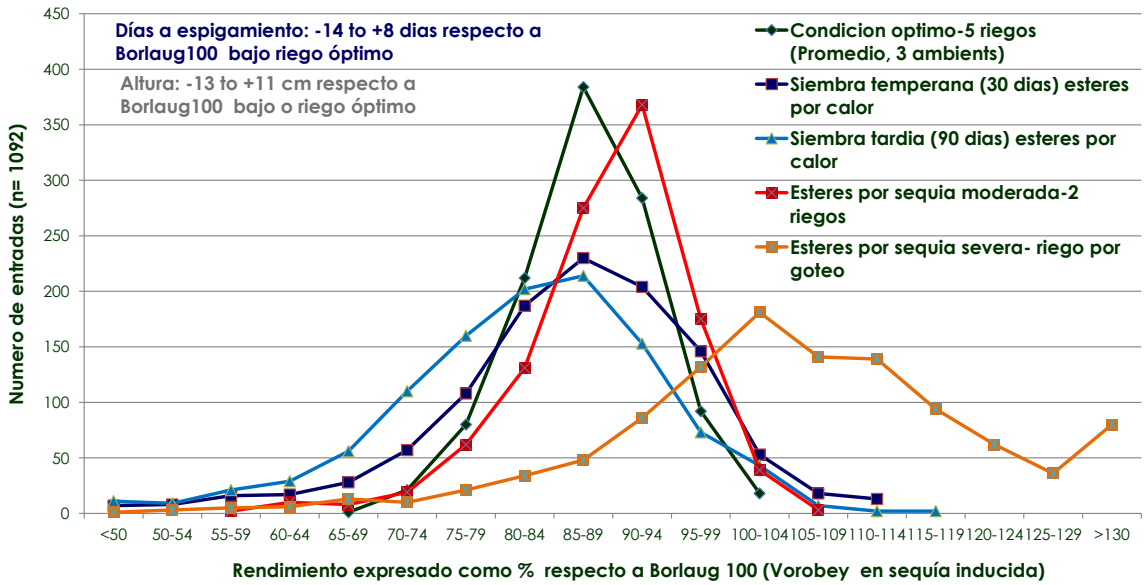


- **Los testigos se cambiaron por nuevas variedades.**
- **Ambas Borlaug 100 (liberada en México) y DPW621-50 (tres líneas hermanas liberadas en India en los últimos 3 años) son tolerantes al calor**

miento o un poquito más que el testigo Borlaug 100 F2014. Pero así era hace algunos años, cuando se inició con "Roelfs" como testigo. Uno sabe que, con el tiempo, esa curva y en particular la media y la varianza va a seguir moviéndose, porque no se ha acabado la variabilidad todavía y que hay posibilidades de aumentar el rendimiento. La otra cosa que se puede ver es que hay mucha diversidad en los días a espigamiento, desde 61 a 95 días en esas líneas. Quiere decir que existen líneas desde casi 20 días más precoces a 16 días más tardías que la variedad Borlaug 100 F2014 y lo importante es mantener esa diversidad.

De la misma manera el comportamiento de las 1092 líneas evaluadas en los seis ambientes antes descritos, muestran resultados complicados, pero lo interesantes es observar el comportamiento de las líneas ilustrado con diferentes colores (Fig. 8). Los resultados de la gráfica muestran datos del segundo año promedio en cinco riegos (línea verde con rombos), en un ambiente un año atrás y hay algunas líneas superiores.

Figura 8. **Rendimiento de grano de 1092 líneas de trigo bajo diversos ambientes en Cd. Obregón (2013-14 y 2014-15)**



Cuando se explora la misma línea bajo diferentes tipos de estrés, permite ver mucha más diversidad. Algunas colapsan, otras presentan mejor comportamiento. Entonces el asunto es utilizar las mejores de un ambiente, cruzarlas entre ellas y esperar que algunas líneas sean mejores en comparación que las actuales. Es la herramienta que hay que buscar, seleccionar y esperar. La línea Borlaug 100 F2014 fue usada como testigo para sequía desde hace muchos años. Pero este ciclo pasado, cuando se combinó sequía con un poco de calor, el comportamiento de Borlaug 100 F2014 falló como testigo y hubo muchas líneas que se comportaron mejor.

Distribución internacional de germoplasma

¿Qué se hace para la distribución internacional? Primero, se identifica el alto potencial de rendimiento con un cierto rango de madurez y después hay que escoger, los mejores del grupo precoz, intermedio y tardío, en ambientes de riego óptimo.

Las líneas con alto rendimiento y peso de grano son los criterios de selección bajo estrés de sequía y calor. Bajo las condiciones de Cd. Obregón, el peso del grano es muy importante; Las líneas que pierden peso del grano en estrés no son tan buenas. El Dr. Miralles hablo sobre la pérdida de peso, entonces es una indicación buena y ademasel rendimiento total. Lo importante es retener las líneas de alto potencial de rendimiento y que mantengan lo máximo posible en comparación con los testigos, en calor o sequía. La meta es eliminar los genotipos que se colapsan,o que pierden fuertemente su rendimiento. Después se selecciona por la resistencia a royas, otras enfermedades y la calidad industrial en nuestro laboratorio que es muy eficiente en analizar miles de líneas por año.

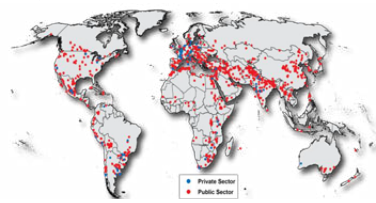
El CIMMYT sigue distribuyendo germoplasma de alto rendimiento en ensayos internacionales (Fig. 9). Hace algunos años se inició separar líneas por el color de grano, en blanco o rojo, porque casi el 50% de los colaboradores o clientes del CIMMYT quieren grano blanco. Solo en el sur de América, que tiene menos de 10 millones de has, o algunos países aislados, prefieren el grano rojo. Pero el

enfoque más importante es para el grano blanco, que se cultiva en casi el 90% de área a dónde va el germoplasma del CIMMYT.

Figura 9. **Distribución Mundial de Germoplasma de Alto Rendimiento en Ensayos Internacionales**

Ensayo/Vivero	Siglas	Entradas (No.)	Objetivo Ambiente	Color de grano
Ensayos de Rendimientos (2 repeticiones)				
Ensayo de Rendimiento de Líneas Elite	ESWYT	50	ME1, ME2, ME5	Blanco
Ensayo de Rendimiento para Zonas Semi-Aridas	SAWYT	50	ME4	Blanco
Ensayo de Rend. para zonas de Alta precipitación	HRWYT	50	ME2, ME4	Rojo
Ensayo de Rendimiento para temperaturas altas	HTWYT	50	ME1, ME4, ME5	Blanco
Viveros de Observación				
Int. Bread Wheat Screening Nursery	IBWSN	250-300	ME1, ME2, ME5	Blanco
Semi Arid Wheat Screening Nursery	SAWSN	150-200	ME4	Blanco
High Rainfall Wheat Screening Nursery	HRWSN	150-200	ME2, ME4	Rojo
Viveros con resistencia a enfermedades				
Vivero internacional de Septoria	ISEPTON	100-150	ME2, ME4	Blanco/Rojo
Leaf Blight Resistance Screening Nursery	LBRSN	100-150	ME4, ME5	Blanco/Rojo
Vivero de resistencia a roya del tallo	SRRSN	100-150	All Mes	Blanco/Rojo
Vivero de resistancia a Fusarium	FHBSN	50-100	ME2, ME4	Blanco/Rojo
Vivero de resistencia a Carbón Parcial	KBRSN	50-100	ME1	Blanco/Rojo

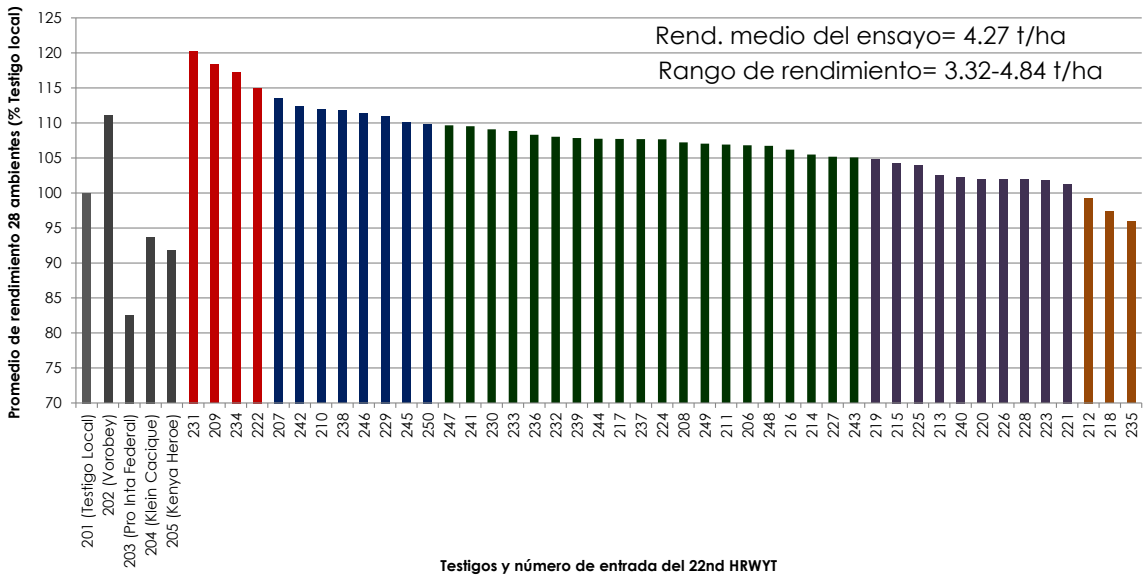
- **50-150 juegos de cada Ensayo/Vivero distribuidos anualmente**
- **40-50% de incremento en la demanda durante la última década**



La distribución internacional se hace en ensayos de rendimiento, viveros de observación y viveros con resistencia a enfermedades etc. Todo este esfuerzo, se hace sin ningún costo para los participantes, hasta cuando nadie sabe. Conseguir fondos de donantes en el futuro sería bueno, pero más importante es pensar si los viveros sirven o no. Se piensa que, como grupo, debe compartir este costo como patrimonio de todos y no solo del CIMMYT. Y otra cosa interesante es que en las ultima décadas, hay más demanda para los viveros desde todos los países y no menos. Es casi un 40-50% de incremento y hay empresas privadas de varios países que también están solicitando la semilla; entonces el germoplasma del CIMMYT es muy importante.

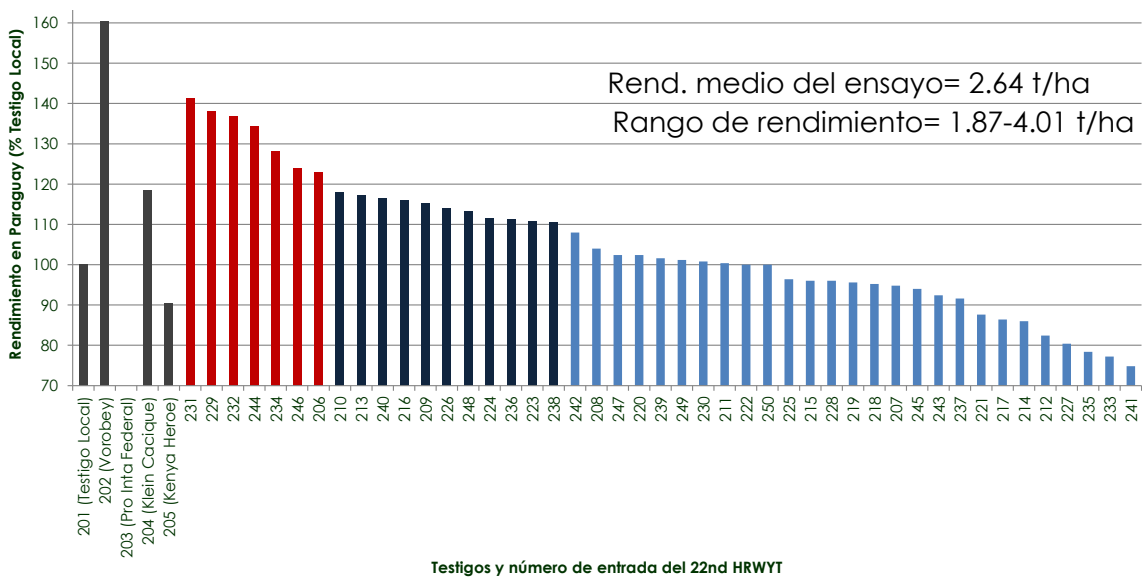
Considerando la importancia del grano rojo en esta región, los datos de 28 colaboradores que sembraron el 22ndHRWYT están presentados en la Fig. 10. El comportamiento de las mejores líneas (marcadas en rojo), en comparación con los testigos locales señala su superioridad en promedio. Hay que considerar que se envían alrededor de 80-90 juegos de este ensayo anualmente, y solamente recibimos datos de 28 colaboradores. Para el programa del CIMMYT es crítico recibir esta información para seleccionar las mejores líneas y cruzarlas otra vez. Entonces, 5 años después tendremos líneas basadas en estos datos que podemos utilizar, en todo el mundo.

Figura 10. **Rendimiento promedio de grano de las entradas del 22nd HRWYT probado en 28 sitios durante 2014-15**



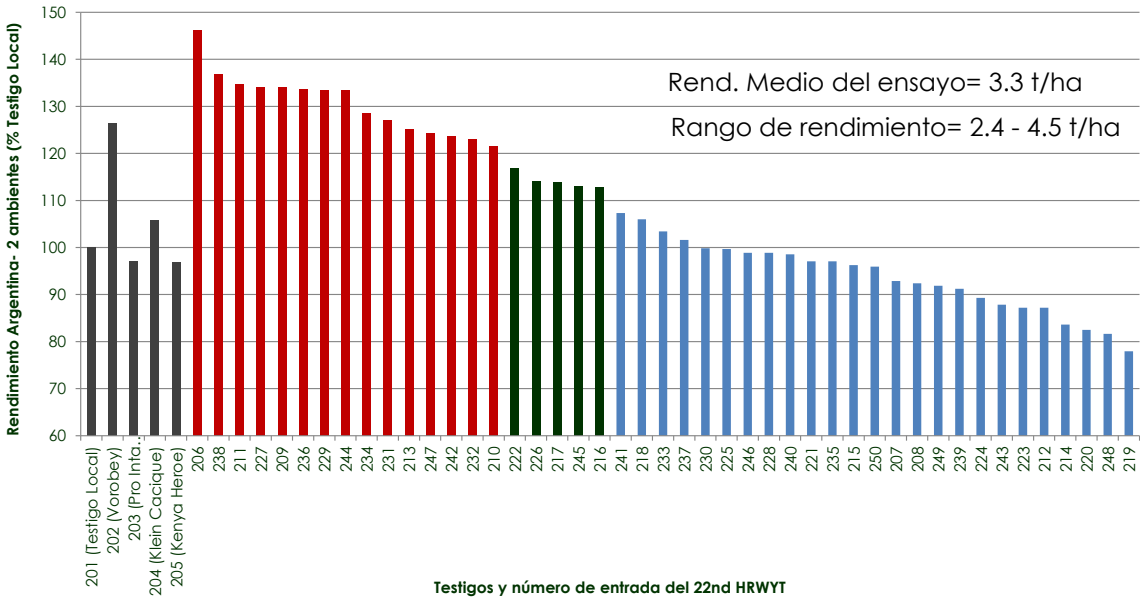
Los datos de los 22 HRWYT sembrados en Paraguay y Argentina están presentados en las Figs. 11 y 12 respectivamente. La segunda columna (202) es la línea Borlaug 100 F2014 y pueden ver otras que hay mejores que el testigo local. La primera, la entrada 231, es la línea número uno a nivel mundial en promedio y después el Borlaug 100 F2014. En Argentina, son los promedios de dos lugares, Marcos Juárez y Pergamino. Muchos juegos de este ensayo fueron enviados a Argentina y los que fueron a compañías privadas no devuelven ningún dato y esperamos que utilicen bien, pero también que compartan la información.

Figura 11. **Rendimiento de grano de las entradas del 22nd HRWYT probadas en Paraguay durante 2014**



Los datos mostrados anteriormente confirman que la estrategia utilizada en CIMMYT para el rendimiento combinado con la resistencia a las royas especialmente *Septoria*, ha funcionado. Si aparecen buenas líneas en Paraguay o Argentina, o lo mismo para las líneas de grano blanco, cualquier país puede seleccionar cuando hay buenas líneas y avanzar en el rendimiento.

Figura 12. **Rendimiento de grano de las entradas del 22nd HRWYT probado en Argentina (Marcos Juárez y Pergamino) durante 2014**

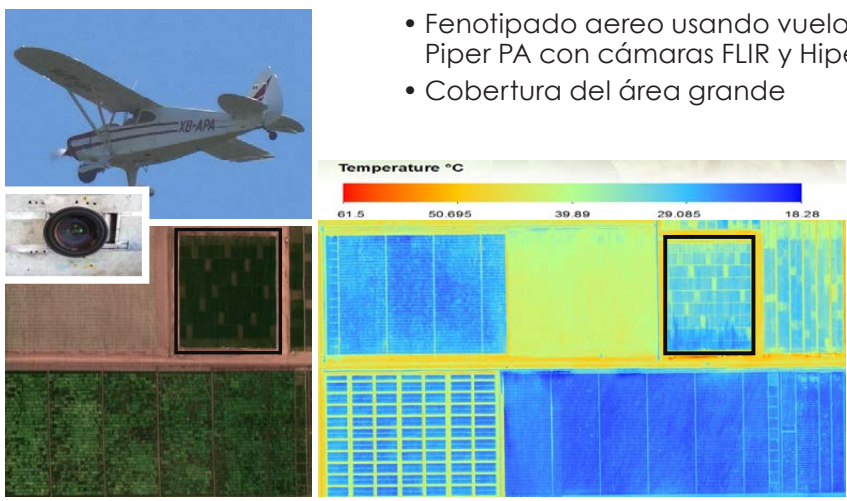


Nuevas opciones para incrementar la tasa de ganancias genéticas de rendimiento

El Dr. Cossani ya habló sobre varias estrategias utilizadas para identificar caracteres fisiológicos, que están asociados con el rendimiento. Hay una nueva estrategia bajo desarrollo que es de selección genómica y está basada en las predicciones. Una vez que tenemos todas estas informaciones, se puede programar para utilizar los datos e información e iniciar haciendo predicciones y nuevo plan de cruzas. Las buenas cruzas son lo más importante; quien no hace buenas cruzas, no tendrá buena línea al final. Entonces se espera que al final en algunos años, podamos hacer algo mejor en predicciones de cruzas. Cual cruza da más probabilidades de generar mejores líneas es la base de cambio del juego (*game changer*) para ver en algunos años si puede hacerse.

En cuanto al uso de caracteres fisiológicos mencionados por el Dr. Cossani, es algo complicado para el mejoramiento genético, en donde hay muchas líneas. No se puede utilizar todos los caracteres, porque son complejos o muy complicados de medir. En este caso, se está intentando utilizar CTD

Figura 13. **Alta capacidad de procesamiento del fenotipado (High Throughput Phenotyping, HTP) en Cd. Obregon - Mejoramiento de Trigos Harineros**



(Depresión de Temperatura del Dosel) o la planta más fría, y acumulación y retención de biomasa. Nada más dos cosas, porque tampoco se pueden hacer las pequeñas mediciones.

Estas mediciones se hacen desde hace dos años, con ayuda del Dr. Iván Ortiz, utilizando avión o drones y cámara, que toma fotos (Fig. 13). La ventaja de este sistema es poder sacar informaciones rápidamente, pero la desventaja es descifrar esa información en números para utilizarlas. Por eso es necesario buenos programas entrando en esa base de datos. Ahora se puede medir la temperatura del canopeo. ¿Puede medir la biomasa o área verde de la hoja?, no.

Si no se dispone de avión, se usa un pequeño dron que se pudo conseguir con el proyecto y cuesta casi 1000 dólares, no muy caro, y se pueden ver las imágenes en la Fig. 14. Se está usando en tres localidades de la India. Pero es más necesario en las parcelas pequeñas de F_5-F_6, donde hay que seleccionar las mejores líneas para incluirlas en ensayos de rendimiento. Si se hace aquí es más para aprender, si se puede utilizar esa información de temperatura de canopeo en el día y capturada para selección en el programa de mejoramiento.

Figura 14. **Uso de la Alta Capacidad de Procesamiento del Fenotipado (HTP) en mejoramiento de trigos pan**

- Drones de bajo costo (UAS)- systemas desarollada en Kansas State University (~1000USD)
- Canon camera con filtro para capturar datos de NDVI
- Uso en fenotipeado de ensayos de rendimientos del programa de mejoramiento en Cd. Obregon, Mexico y en 3 estaciones de BISA-India

Hay mucho interés en construir modelos para predicción, pero no es tan fácil para analizar el *pedigree*. Se puede utilizar Fenotipado de Alto Rendimiento (HTP) y también datos de genotipado o integrar ambos. Se está tratando de integrar todo esto para identificar líneas avanzadas usando valores (Fig. 15). No es un substituto para el ojo del mejorador, pero lo importante es probar nuevos métodos. Hay cerca de 70 -80 mil líneas de F_5/F_6 donde se necesita aplicar la metodología de selección visual. Si funcionan los modelos predictivos, van a ser de gran ayuda (Fig. 16).

Figura 15. **Pedigree análisis, HTP, modelos basados en selección genómica y su aplicación en el mejoramiento**

_ Construir modelos altamente predictivos requiere de un esfuerzo significativo y recursos (población adiestrada grande, muchos datos fenotípicos para estimar los efectos G x A , etc.)

_ Integrar pedigree análisis, HTP y modelos de predicción genómica.

_ Tienen el potencial de:

- Retener líneas avanzadas basados en valores de mejoramiento estimados HTP/ Pedigree/Genómica.
- Predecir las mejores cruzas y combinaciones para incrementar la eficiencia del mejoramiento.

_ > 20,000 líneas de trigo evaluadas en el 1er año y 2do año Ensayos de rendimiento genotipeados durante los ciclos 2013-14 y 2014-15.

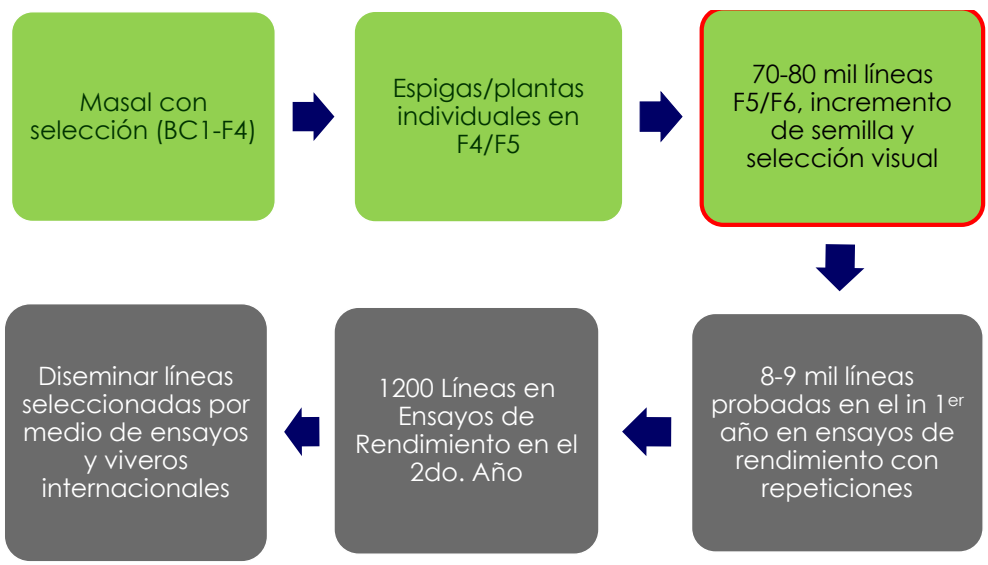
_ Rendimiento y HTP fenotipeado de >500 líneas (IBWSN+SAWSN) en tres sitios (dos con estrés de calor) en India y dos fechas de siembra (normal & tardía) en Pakistan.

_ Todos los datos genotípicos y fenotípicos disponibles en la base de datos.

_ Estudios para descubrir nuevos genes.

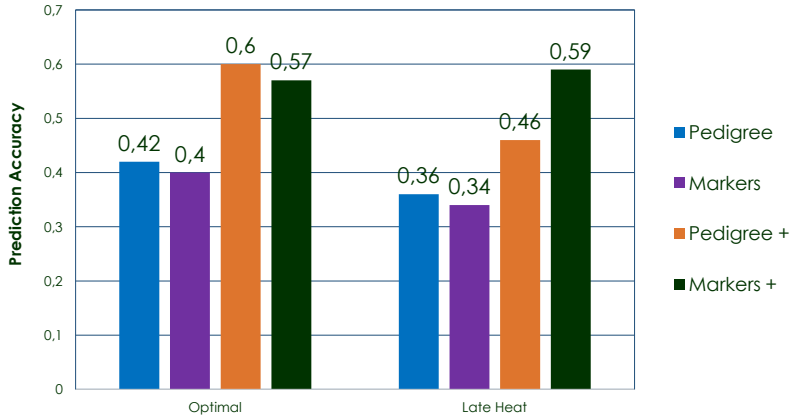
Proyecto financiado por USAID a KSU/CIMMYT/Cornell

Figura 16. **Uso de modelos predictivos para determinar el rendimiento antes de la siembra de ensayos**



Los resultados del modelo de predicciones HTP, sin usar el modelo de *pedigree* solo, estan presentados en la Fig. 17. Usando solo el *pedigree* o marcadores, hay baja predicción del rendimiento bajo riego y aun menor en condiciones de calor. Sin embargo, cuando se combina el *pedigree* o marcador con HTP, la predicción se ha mejorado, ya que 0.6 es bastante bueno. Si se puede lograr la predicción de 0.6 o un poco más, sería muy bueno,

Figura 17. **Acierto de la predicción de rendimiento en dos ambientes**



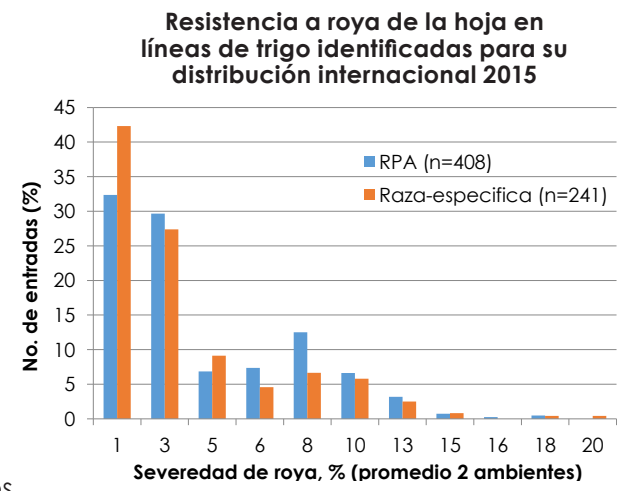
Resistencia a las enfermedades

Entre las enfermedades, las royas, especialmente la roya del tallo y de la hoja son las que van a aumentar a mayor temperatura. En ambientes húmedos, la mancha marrón (borrosa), fusariosis de la espiga y la Piricularia o *blast*, especialmente en Cono Sur tropical son muy importantes.

En cuanto a las royas y desde hace tiempo, muchos de los genes utilizados en el programa del CIMMYT para tener alto nivel de resistencia parcial vienen del Cono Sur. Sin embargo, es una sorpresa ver que los productores en la región están utilizando mucho fungicida, esto no debe de ser; esto debe cambiar. Si se usa fungicida, la enfermedad va a seguir incrementando y eso no es bueno. En muchos casos aquí, las variedades liberadas se basan en genes de raza-especifica, sin embargo, la resistencia parcial se comporta bastante bien contra la roya de la hoja en la mayoría de los países, donde están liberando variedades utilizando germoplasma del CIMMYT. La roya de la hoja ya no es problema en el Valle del Yaqui en Sonora México, lo que antes era un problema grande y recurrente, por eso el enfoque fue trabajar con la resistencia de planta adulta (Fig. 18). Lo que se puede ver es una comparación entre líneas de resistencia a la roya de la hoja con genes de raza especifica o genes de raza especifica combinados con genes menores de resistencia parcial. Las observaciones fueron tomadas en campo con alta presión de la enfermedad y los dos tipos se ven iguales, o sea no hay diferencias si utilizan la resistencia de planta adulta (RPA).

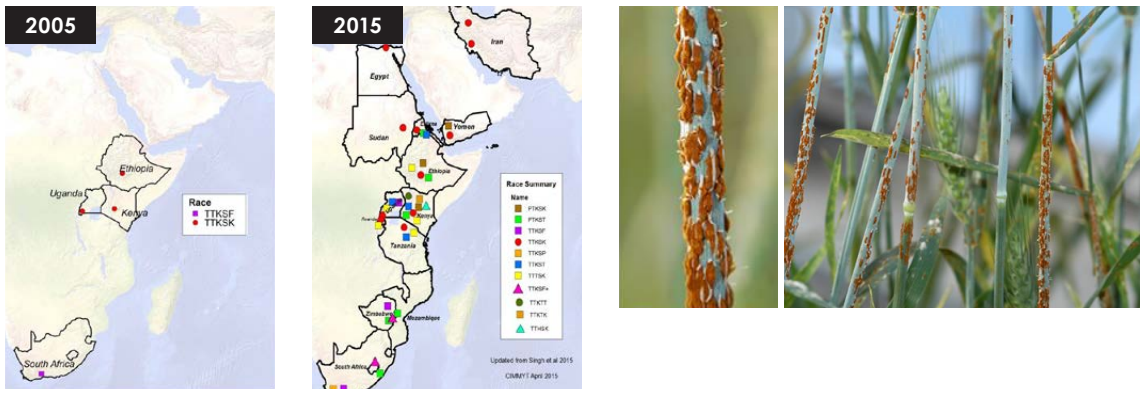
Figura 18. **Resistencia a la roya de hoja en el material distribuido internacionalmente**

- Problema mayor en América del Sur debido a la utilización de genes de raza-específica individualmente.
- Variedades derivadas del CIMMYT y líneas avanzadas poseen adecuados y/o altos niveles de resistencia que se basan en genes de resistencia de patogenia lenta o RPA.



La raza Ug99, de la roya del tallo, estuvo bastante restringida en 2005 cuando se inició su diseminación en algunos países; solo con 2 biotipos dentro de la raza (Fig. 19). Diez años más tarde, está presente en 13 países y tiene 11 razas diferentes. Dos variedades, una en Kenia, otra en Etiopia que tienen el mismo gen de resistencia *SrTmp*, ya no es efectivo, y tienen epidemias a nivel de gran escala afectando de 30-40 mil hectáreas. Muchos pequeños agricultores perdieron toda su cosecha, porque el fungicida no la controló. En el caso de la roya del tallo, si no aplica el control desde el inicio de la enfermedad, los fungicidas no ayudan mucho y el avance también es muy severo.

Figura 19. **Evolución del patotipo Ug99 y sus derivados del hongo causante de la roya del tallo**



- Once razas confirmadas
- Presentes en 13 países
- Contratiempos: susceptibilidad de variedades populares que poseen el gen SrTmp
  - _ Robin en Kenya
  - _ Digalu en Ethiopia (a la raza TKTTF)
- Epidemias localizadas en Ethiopia, Kenia y otros países de Africa del Este

La foto en la Fig. 20 fue tomada hace poco tiempo, en la visita de selección. Se puede ver el campo destruido por la roya del tallo y junto a la línea está la variedad Borlaug 100 F2014. La nueva línea que se ve bastante bien, no es basada en gen mayor sino genes menores. En resumen, casi 10% de líneas en viveros internacionales tienen un alto nivel de resistencia en planta adulta, 40% con nivel moderado y solo hay 30% de materiales con genes de raza específica y el resto es susceptible. Pero la meta del CIMMYT es mover más y más material a un alto nivel de resistencia.

Figura 20. **Avances en el desarrollo de líneas resistentes a la roya del tallo, patotipo Ug99, en los ensayos internacionales**

- 10% líneas con niveles altos de RPA
- 40% líneas con RPA adecuados
- 30% líneas con genes de raza específica

Líneas nuevas con altos niveles de RPA a roya del tallo (Njoro, Kenia 2015).

Hay tres genes bien conocidos que controlan la resistencia de la roya de la hoja , Lr34, Lr46 y Lr67, de planta adulta y son pleiotrópicos (Figs. 21 y 22). En otras palabras, el mismo gen confiere resistencia parcial contra varias enfermedades. El gen *Lr*34, de origen Frontana, muestra otorgar cierta resistencia para Helmintosporiosis y parece que también da algo de resistencia contra *Pyricularia* o *Blast*. El gen *Lr*67 recientemente fue clonado y el CIMMYT participó en su clonación. Este gen reduce el nivel de infección de la roya del tallo, roya de la hoja y oídio. Entonces genes son muy interesantes y el mecanismo de como funcionan también se conoce.Lo interesante es qué el gen *Lr*67 codifica un trasportador de azúcar. Es un gen muy diferente a otros tipos de genes que están en las especies de trigo u otros que tienen una estructura muy parecida. Los dos genes Lr34 y 67, son diferentes, tienen mecanismos muy diferentes para otorgar la resistencia.

Figura 21. **Efectos pleiotrópicos de la resistencia a múltiples patógenos**

- ***Lr34* [Syn. = *Yr18=Sr57=Pm38 =Ltn1=Sb1= Bdv1*]** cromosoma **7DS**

  (Royas de la hoja, estriada y del tallo, cenicilla polvorienta, quemadura de la punta de la hoja, mancha marrón , virus del enanismo amarillo de la cebada-BYDV)
- ***Lr46*** [Syn.**= *Yr29=Sr58=Pm39=Ltn2=Ts?*]** cromosoma **1BL**
- ***Lr67*** [Syn.**= *Yr46=Sr55=Pm46=Ltn3*]** cromosoma **4DL**

  Formación de aposiciones en la pared cellular

  (en contraste a la reacción de hypersesibilidad de los genes NBS-LRR de raza-específica)

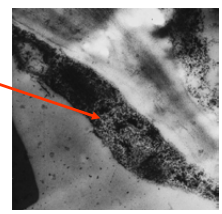


Figura 22. ***Lr67* confiere resistencia en mutantes isogénicas resistentes (R) y susceptibles (S)**

Roya de tallo (Obregón, México) **de la hoja** **de la hoja & estriada (Cobbitty, Australia)** **Oídio (Vollebekk, Norway)**

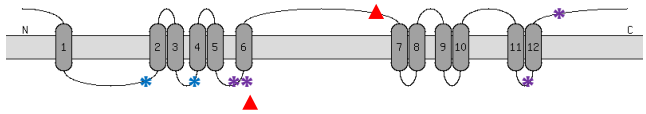
Fuente: **CSIRO Sydney Univ.**

Utilizamos todos los estudios que se han hecho de QTLs para hacer un mapeo con marcadores moleculares y respondieron para roya amarilla, roya del tallo y este para roya de la hoja y oídio (Fig. 23). Hay más regiones que parecen tener efectos pleiotrópicos y son varios loci posiblemente 2, 4, 6 o 8 regiones, aparte de los 3 marcados en la figura 24 (Fig 24.). En realidad, hay que pensar en otro tipo de resistencia que se puede utilizar más frecuentemente.

La mancha marrón es una de las principales enfermedades foliares en las zonas calurosas en el Sur de Asia como en el América del Sur, incluyendo Paraguay (Fig. 25). El programa de trigo tiene la capacidad para hacer una selección muy severa en la estación experimental del CIMMYT en Agua Fría, México, donde la enfermedad es endémica. El proceso de selección es bastante simple ya que la

Figura 23. **Clonación de Lr67/Yr46/Sr55/Pm46**

- Clonación por posición
- Genómica comparativa
- Mutagénesis



- * EMS mutantes
- * Sodium azide mutantes
- ▲ irradiación Gamma mutantes

***Lr67* codifica un transportador de hexosa (azúcar)**

Moore et al. 2015. Nature Genetics, doi:10.1038/ng.3439

Fuente: **CSIRO Sydney Univ.**

Figura 24. **QTLs pleiotropicos RPA potenciales para roya de la hoja, estriada y oídio polvorienta (Li *et al.* 2014 Crop Sci. 54:1907-1925)**

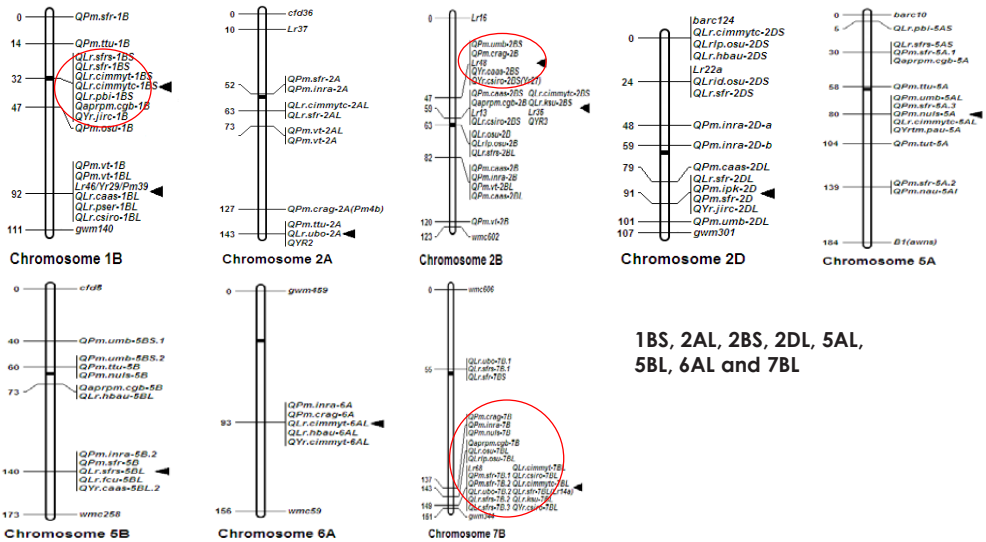


Figura 25. **El manejo de la Mancha Marrón (helmintosporiosis) del trigo en el CIMMYT**

Países objetivo:

- Sur de Asia: India, Nepal, Bangladesh & Pakistan
- América del Sur: Bolivia, Brasil & Paraguay

Selección en Agua Fría, México: Sitio endémico

Criterios de Selección:

- Datos Múltiples: Escala Doble Dígito (00-99)-AUDPC
- Fenología de la planta: Espigamiento y altura
- Evaluación visual de grano: medición punta negra (1-5)
- Peso de grano e información del pedigree

_ El primer gen de resistencia a la mancha marron Sb1, designado es pleiotrópico a otras enfermedades Lr34/Yr18/Sr57/Pm38/Bdv1 (Lillemo et al. TAG, 2013)

presión de inoculo garantiza el desarrollo de la enfermedad puede ser evaluada en la escala 00-99 o en base al área bajo la curva de la enfermedad.

En el caso de la mancha marrón, la selección de grano, principalmente por su llenado y la punta negra son dos criterios muy importantes de selección. Como fue señalado anteriormente, el efecto pleiotrópico del gen *Lr* 34 deidentificado en Frontana, incluye su impacto sobre la mancha marrón, donde el primer gen de resistencia *Sb*1 fue identificado recientemente. Considerando la abundancia de esta fuente de resistencia en el germoplasma CIMMYT, es muy fácil hacer un estudio genealógico de los progenitores para combinar las diferentes fuentes de resistencia para esta enfermedad.

En el caso de la Fusarios de la Espiga, el gen más importante es la Fhb1, que confiere la resistencia junto con otros QTLs, y genes menores (Fig.26). Como este gen está en la fase de repulsión, entonces se agrupa casi en el mismo lugar que el gen *Sr*2, que es muy importante para la resistencia de roya del tallo, en planta adulta. Ahora hay algunas líneas nuevas, material que se han recombinado. Por la combinación de varias líneas en Australia, se trajo algunos materiales nuevos que están en el proceso de incorporación. Se espera que, en el futuro, el comportamiento de líneas en el germoplasma CIMMYT, va ser un poco mejor para *Fusarium.*

Figura 26. **El manejo de la Fusariosis de la Espiga en el CIMMYT**

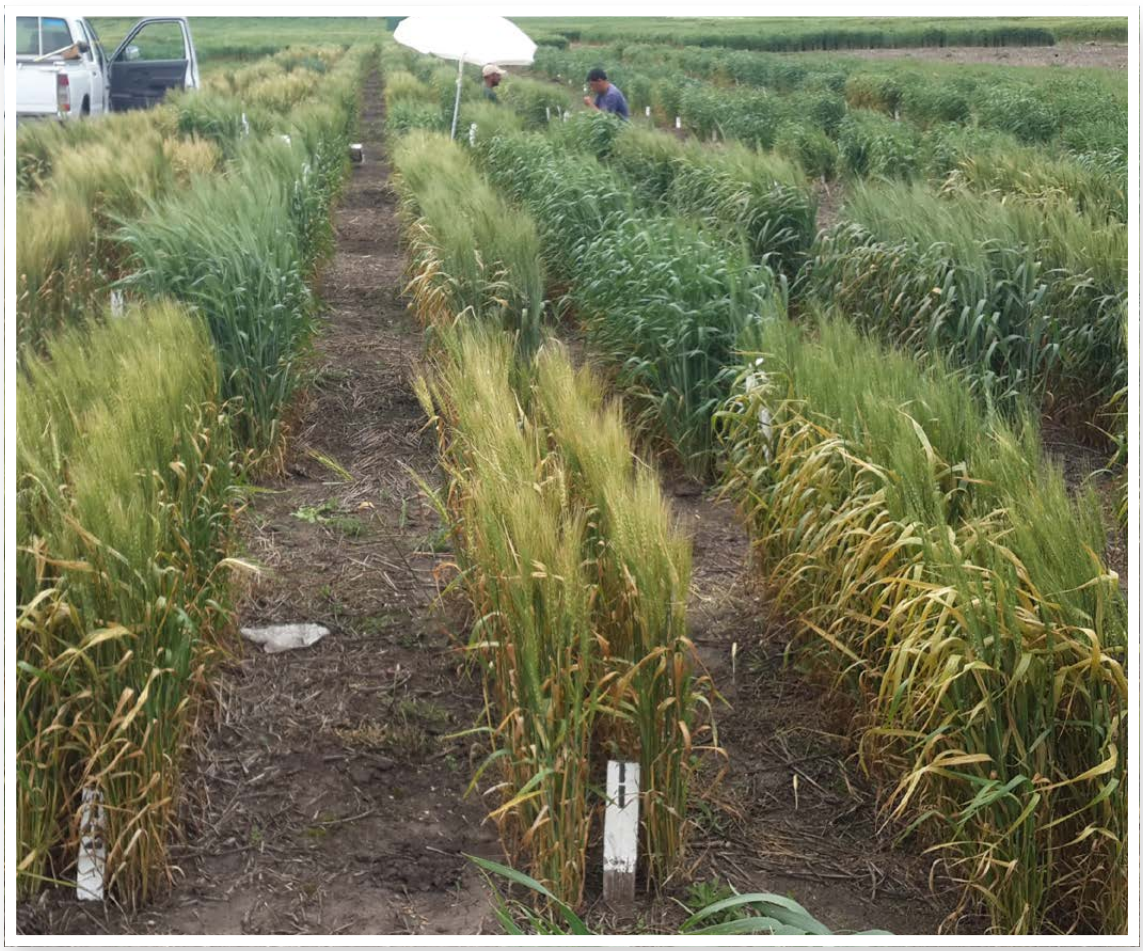
- Diversidad genética alta en el germoplasma, pero poca en variedades mejoradas.
- Resistencia en su mayoría debida a genes menores.
- Sr2-Fhb1 recombinantes en proceso de incorporación en los trigos del CIMMYT.
- El Programa de Trigo del CIMMYT esta incorporando resistencia en germplasma de grano rojo y blanco.

De la misma manera, estimamos que hay resistencia para la Piricularia (Blast), pero condicionada por genes menores y es necesario trabajar conjuntamente en este caso (Fig. 27). Sin traer esos genes en un solo genotipo y no se va a solucionar el problema y las perdidas van a continuar. Por eso es que CIMMYT ha intentado trabajar en los últimos años, a tener una buena plataforma donde sí se puede iniciar este trabajo. No hay un buen conocimiento de la base de la resistencia que no sea de Milan. En Brasil hay información que la variedad Borlaug 100 F2014 tiene buena resistencia, que debe ser comprobada en otras partes.

Figura 27. **La presencia de la Piricularia/bruzone (wheat blast) en America del Sur**

- Resistancia basada en genes de efectos moderados a pequeños.
- No existe mejoramiento para esta enfermedad en CIMMYT.
- Necesidad urgente de una plataforma de fenotipeado de alta precisión en América del Sur.

Colaboración internacional en el desarrollo del germoplasma resistente a múltiples enfermedades.



En conclusión, hay progreso continuo en el incremento del rendimiento de grano bajo estrés de calor y todavía puede seguir. Es claro que no hay ninguna vara mágica, para incrementar el rendimiento rápidamente en cualquier ambiente. Hay que trabajar duro.

Cuando entré en CIMMYT hace 32 años, el programa tenía menos de 1000 líneas en ensayos de rendimiento y había progreso. Hoy se necesita tener casi 10 veces más de líneas para tener el mismo progreso. Tenemos que trabajar más.

Es muy probable que la selección basada en predicción pueda ayudar. En un proyecto de 1.000.000 de dólares de la USAID, junto a las universidades de Kansas, Cornell y CIMMYT. Hay más fondos de la Fundación Gates para aumentar los esfuerzos, y tener una buena base de datos, lo que va a necesitar tener especialistas, modelar etc. No sé si va a producir resultados esperados, pero tenemos que hacer el esfuerzo.

Para mantener la producción sustentable, es necesario mantener la resistencia duradera a la roya de la hoja y tallo, helmintosporiosis, fusariosis, piricularia, todo es importante y necesitan el mejoramiento continuo a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Iniciando con la Fundación Gates, muchos gobiernos y también agricultores, *Agrovegetal* de España, una organización de agricultores, que apoyan este trabajo en varios proyectos. Al gobierno de Australia que ha apoyado por varios años y el Patronato-Sonora que aportan algo de fondos para el Programa de trigo del CIMMYT.

Preguntas y plenaria

- Pregunta: ***Usted mencionó "área de riego y calor" pero en Bolivia, Paraguay y Brasil, no hay riego, ¿cómo planea dar germoplasma para sequía y calor en las condiciones de estos tres países?***

- **Ravi Singh:** Lo que estuve demostrando es medir el rendimiento, y al después también medir tolerancia a sequía y calor de la misma línea. Entonces, cuando uno escoge líneas para enviar en un vivero internacional, se busca líneas que tienen rendimiento y también han demostrado resistencia al calor y a la sequía. Eso a pesar de que en Ciudad Obregón casi no llueve, entonces estamos buscando cómo se pone la cantidad de agua que se quiere. Por eso tenemos un área con riego de goteo, y se calcula cuanta cantidad se puede aplicar. De esta forma podemos hacerlo allá. En algún otro lugar, hay que buscar lugares con características distintas, para hacer pruebas. El Dr. Kohli expuso algo demostrando cómo en Paraguay hay un sitio donde se puede probar líneas para tolerancia al calor. No pensar siempre estar en Chile. En Chile, quizás no hay este tipo de estrés. Por eso nosotros también buscamos estos lugares y creo que es una manera de cooperación. Ir a ayudar donde existe esa situación. Realmente ya existen lugares donde experimentar. Donde haya lo que quizás pueda ser útil en otros lugares.

- Pregunta: **¿Porque el CIMMYT no considera *pyricularia* como importante? ¿Ya que si llega al sur y sur-este de Asia, puede crear desastres?**

- **Ravi Singh:** Sí la consideramos importante, solo que no estamos trabajando en esta línea por las razones que ya mencioné. No tenemos la forma de mandar materiales, no hay datos. Si no sabemos cuales líneas tenemos que cruzar para tener mejores líneas derivadas de esas cruzas. No podemos hacer avances. Si es importante para el Sur de America, ¿porqué no se ha hecho una colaboración con CIMMYT? Ya hablamos varios años y los colegas vienen para discutir, negociar y no ha caminado nada. Si ustedes ponen eso como prioridad, tenemos que buscar un donador, tenemos que ir con la misma voz, que es importante y ya está afectando, y que se puede hacer.

  En todas las presentaciones de CIMMYT siempre hablamos que el *wheat blast* es como una amenaza igual a Ug99, pero no ha caminado. No se porqué. Cuando muchos de los colegas fueron a Obregón, en celebración de Bourlang 100, pensaba que venían con la respuesta para iniciar; pero no fue así, fue "vamos a discutir", y con eso no se avanza. Si no hay un lugar donde podemos establecer viveros, si no hay en este caso el país que quiera avanzar y si se piensa que necesita al CIMMYT también, podemos trabajar. Iniciar y después buscar más recursos, ahí estamos estancados. Si alguien mas quiere comentar, ¿porque no ha caminado esa colaboración?

- **Javier Peña: Lo que quiero aclarar es que CIMMYT Mexico, hace mejoramiento en cuanto a enfermedades, sólo de las enfermedes que están presentes en el país. No puede incluir una enfermedad que está fuera del país e introducirla para hacer investigación. Por lo tanto, los sitios de prueba tienen que ser aquellos, donde está el problema. Es nada mas aclarando lo que esta diciendo el Dr Singh.**

- **Mohan Kohli:** Puedo hacer un comentario? Excelente respuesta y buena presentación. Por favor corríjanme si yo entendí, o entendía mal que en los últimos 5 años, CIMMYT estaba obsesionado para trabajar con Brasil, en el *Blast*, en *pyricularia*, y nunca consideraron a Paraguay ni a Bolivia. Estos dos países tienen ese problema y siempre dispuestos a trabajar o colaborar. En ningún momento, no abrieron la puerta, ni siquiera una ventana de dialogo con estos dos países. Tanto Bolivia como Paraguay podían participar y seleccionar. Este año, hace 2 meses me parece, cuando estuvimos en Uruguay, fue la primera vez que el Dr Ravi Singh me preguntó si había posibilidad de que Paraguay pudiera ofrecer un sitio. Nosotros estamos muy contentos de trabajar con el CIMMYT, en evaluar los materiales. No tenemos las mismas condiciones que tiene Brasil, o la cantidad de técnicos o el PIB que tiene Brasil. Lo que si tenemos es la enfermedad presente, tenemos condiciones para fenotipar y creo que podemos hacer un excelente trabajo para ustedes,

siempre y cuando CIMMYT decida dejar esa obsesion de que "solamente vamos a trabajar con Brasil". Si eso es así hoy dia, esa puerta está abierta? podemos discutir tanto con CAPECO y el INBIO, tomar la posta junto con ustedes y tratar de crear un programa y evaluar ese material.

- **Ravi Singh:** Muy bien, yo voy a llevar esta voz, y decirlo allá. Pero la razón, tu mismo dices Mohan, es que, Brasil esta haciendo aparentemente mucho trabajo con *Blast*, y tiene muchos científicos. La apariencia era que ellos querían trabajar con CIMMYT, y asi fue. Entonces mi condición es lo que mencionamos. Ya lo intentamos varios años, como tu dices pero no ha caminado. Algo hay que no podemos solucionar. Esta plataforma no sería difícil, si ambos lados quisieran trabajar. Entonces que bueno, lo vamos a comunicar.

- **Silvia Pereyra:** Recuerdo que en el 2010, fuimos varios al Brasil al primer workshop que vimos de *Wheat blast* y ahí se conformó un consorcio donde se reunían los países que tienen esta enfermedad con esta problemática, pero también hay los que considerábamos que potencialmente puede ser una enfermedad de riesgo. Habían representantes de Europa, de EEUU, y todos conformamos un consorcio y establecimos prioridades. Han pasado 5 años y no avanzamos en nada. Brasil continuó trabajando y haciendo aportes, ahora muy en colaboración con EEUU, según entiendo, pero no podemos quedar excluidos en el resto de los que si queremos estar. Yo creo que una cosa no invalida la otra. Que Brasil continue avanzando y que también nos podamos incorporar y testear. El caso nuestro es básico, testeamos nuestras líneas por su comportamiento a *pyricularia*, y creo que tenemos interés en colaborar en esa forma.

- **Ravi Singh:** Cuando nosotros tocamos la puerta de algún donador, ellos dicen "Brasil esta haciendo, hay que colaborar". Es la palabra, tenemos que colaborar. Brasil nunca ha dicho que no. Es un problema, tenemos que decir eso. Yo estoy de acuerdo, hay que romper la inercia. Y buscar otra solución.

- **Javier Peña:** La recomendación fue hecha ya hace 3 años, después de haber tenido la reunión en Cd. Obregon, de que nos olvidaremos, de solamente EMBRAPA y viniéramos con los otros que tienen voluntad para trabajar. En ese entonces era Paraguay, Uruguay y otros mas, Bolivia. Creo que es la hora de actuar y desarrolar una estrategia concreta de colaboración sobre esta enfermedad.

REFERENCIAS

- Lantican, M.A., H.-J. Braun, T.S. Payne, R.P. Singh, K. Sonder, B. Michael, et al. 2016. Impacts of international wheat improvement research: 1994–2014. CIMMYT, Mexico City.
- Lillemo, M. A. K. Joshi, R. Prasad, R. Chand R.i P. Singh. 2013. QTL for spot blotch resistance in bread wheat line Saar co-locate to the biotrophic disease resistance loci Lr34 and Lr46. Theoretical and Applied Genetics 126:711-718.
- Li, Z. F, Lan C. X, He Z. H, Singh R. P, Rosewarne G. M, Chen X. M, Xia X. C. 2014 Overview and application of QTL for adult plant resistance to leaf rust and powdery mildew in wheat. Crop Sci 54:1907–1925154.
- Moore, J.W., S.A. Herrera-Foessel, C. Lan, W. Schnippenkoetter, M. Ayliffe, J. Huerta-Espino, M. Lillemo, S. Periyannan, R. Milne, X. Kong, W. Spielmeyer, M. Talbot, H. Bariana, J. Patrick, P. Dodds, R.P. Singh, E. Lagudah. 2015. A recently evolved hexose transporter variant confers resistance to multiple pathogens in wheat. Nature Genetics 47: 1494-1498

Avances en la Biotecnología en Pro del Cultivo de Trigo

Advances in Wheat Biotechnologies

Pablo Sotelo
Julio Iehisa

Facultad de Química, Universidad Nacional de Asunción (UNA)
phsotelo@qui.una.py; jcmiehisa@qui.una.py

RESUMEN

El trigo es uno de los principales cultivos a nivel mundial, solo en el 2010 se cultivaron más de 217 millones de hectáreas en el mundo, siendo el tercer cereal más cultivado detrás del maíz y el arroz.

Recientemente, se han logrado múltiples avances a nivel científico que podrían cambiar la percepción y la manera de cómo se obtendrán las nuevas variedades de trigo. Las nuevas tecnologías de secuenciación, han permitido el desarrollo de nuevos marcadores moleculares genéticos; algunos de ellos asociados a caracteres de interés. Esto, junto con la dilucidación de genomas de los ancestros diploides del trigo, el *Triticum urartu* y *Aegilops tauschii* y un borrador del genoma de trigo hexaploide, *Triticum aestivum,* facilitará la identificación de genes asociados a caracteres de interés agronómico, lo que permitirá una mejora más eficiente del cultivo. Además, actualmente se encuentra disponible la tecnología de edición génica para trigo hexaploide, la cual permite la posibilidad de introducir una modificación genética en el genoma y obtener un fenotipo deseado, sin la necesidad de integrar nuevos genes en su genoma. Durante la presentación se discutirán el impacto de estas nuevas tecnologías disponibles en el cultivo del trigo, sus consecuencias y oportunidades.

ABSTRACT

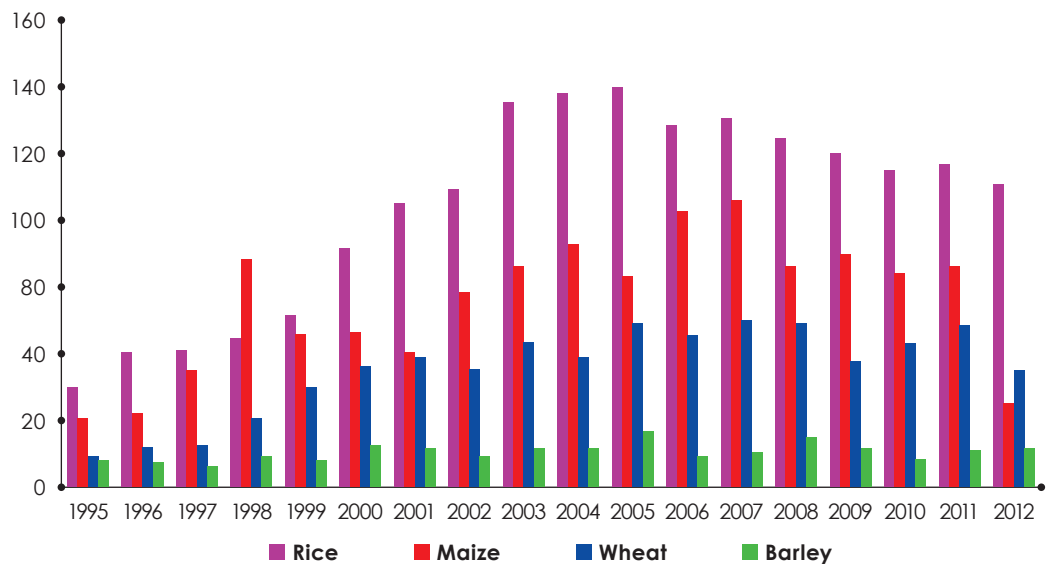
Wheat is one of the major crops worldwide, seeded on more than 217 million hectares, and is the third most cultivated cereal behind corn and rice. Recently, many scientific advances have been made that can change the perception and how the new wheat varieties will be developed. New sequencing technologies have allowed the development of new genetic molecular markers; some of them associated with characters of interest. This, along with the elucidation of genomes of diploid ancestors of wheat, Triticum urartu and Aegilops tauschii and a genome decodification of hexaploid wheat, Triticum aestivum, facilitate the identification of genes associated with traits of agronomic interest, enabling a more efficient improvement of the crop. In addition, gene editing technology for hexaploid wheat is currently available, which allows the possibility of introducing a genetic modification in the genome and obtain a desired phenotype, without the need to integrate new genes into its genome. The presentation will discuss the impact of these new technologies in the development of wheat, its consequences and opportunities.

INTRODUCCIÓN

Una de las mejores maneras de establecer la relación entre la biotecnología y los cereales es analizar una recopilación de publicaciones desde el 1995 al 2012 (Fig. 1). Este análisis muestra que fundamentalmente la mayoría de las publicaciones se asocian a arroz, también está maíz, pero trigo y cebada aparecen bastante rezagados. Sin embargo, la biotecnología en trigo no es algo nuevo.

Ya casi hace 10 años el evento el MON 71800, que corresponde a un trigo que era RR, por lo tanto, era resistente al glifosato, fue aprobado. Esta aprobación fue realizada en los EEUU, pero tuvo problema con los productores que no quisieron y que al final Monsanto retiro el proceso regulatorio. Sin embargo, el proceso quedo operando en Colombia y Nueva Zelanda. Entonces la historia con el trigo y la biotecnología no es algo que sea nuevo. Si es algo que estuvo avanzado y tuvo un contexto histórico interesante incluso relativo al mejoramiento.

Figura 1. **Número de publicaciones relacionadas a la biotecnología en diferentes cereales**



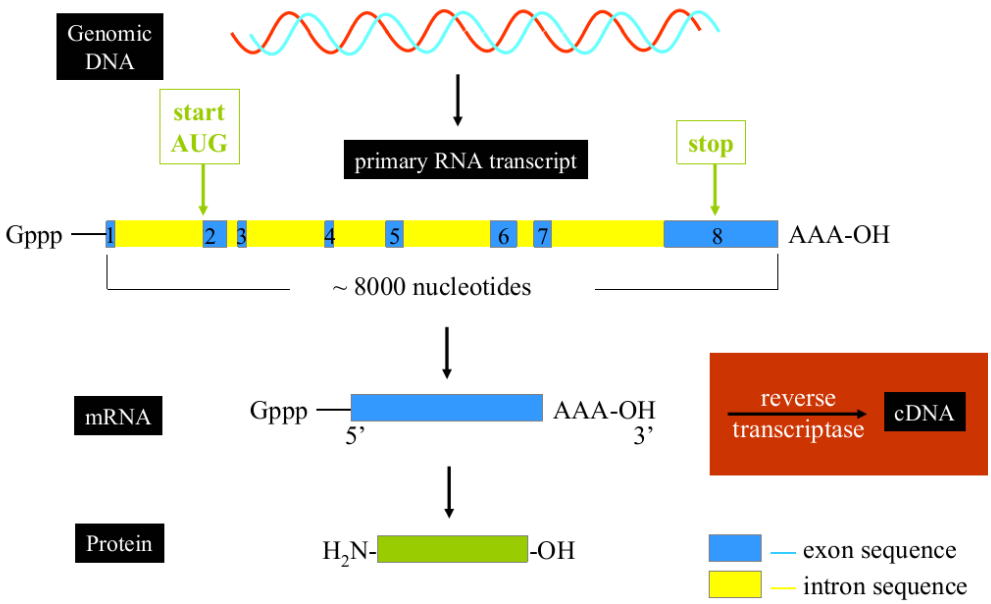
Fuente: **Jones, Wheat Biotechnology: Current Status and Future Prospects, 2015**

En un contexto cronológico, analizaremos las tecnologías que están disponibles, lo que está a punto de estar disponible y lo que estará disponible, no sé si a 20 pero de aquí a 10 años.

CONCEPTOS BÁSICOS

Desde un principio, un concepto base es cómo se expresan los genes. El papel de biotecnología es tratar de expresar genes y ver cómo funcionan. Iniciamos con un DNA que almacena información (Fig. 2). Este DNA debe ser trascripto por una polimerasa en un RNA, el cual tiene que ser procesado por un RNA mensajero, y ese RNA mensajero es traducido en proteína. Son las proteínas las que usualmente hacen el trabajo y son las que nos interesan.

Figura 2. **Dogma central: De ADN a formación de proteína**



En los programas de mejoramiento, lo que se ha hecho hasta ahora es introducir y mejorar; introducir características determinadas. Para introducir un gen hay que introducir DNA y para eso analizamos la estructura básica de un gen, que está compuesto por un promotor, que regula su expresión (Fig. 3). El promotor regula cuando se prende y cuando se apaga el gen; cuando se produce ese RNA que será traducido bajo la acción de la proteína.

Figura 3. **Estructura básica de un gen**

Ubi-1

Act-1

Hsp70 (activado por temperaturas)

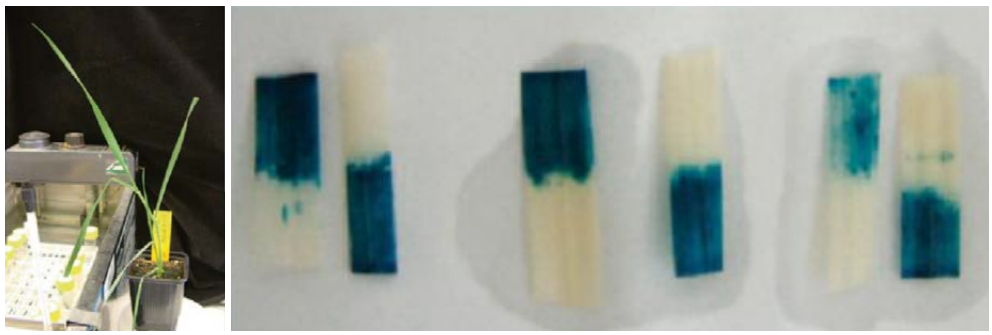
rd29A (Stress abiótico)

Act-1 + HVA22, respuesta a Ac Abscísico

Para el trigo, actualmente hay dos promotores principales, el de ubiquitina1 y el de actina1 de arroz, que son los que más se utilizan. Estos son genes de tipo constitutivos, que están bajo el control de este promotor y que van a estar constantemente prendido. Significa que se va a expresar siempre, por lo tanto, bastante práctico, como en el caso de del gen de resistencia a un herbicida como ocurre con glifosato. Sin embargo, muchas veces es necesario que el gen debe prender y apagar en condiciones determinadas y para eso se utilizan los promotores que respondan a ciertos estímulos. Hay algunos disponibles para trigo, por ejemplo, el Hsp70, que es activado por temperatura; el rd29A, que está en Arabidopsis, lo que tiene que ver con estrés abiótico; y también un hibrido entre el Act1 y un elemento de respuesta Ácido Abscísico, para el estrés. En otras palabras, hay una batería de promotores que nos permiten trabajar con diferentes características, fundamentalmente asociadas con expresión constitutiva. La segunda parte es el gen de interés y usualmente tiene un terminador que determina hasta donde llega la parte codificante del gen.

La expresión de gen Gus, el gen que da color, esta mostrada en la en la Fig. 4, que está sometido bajo el control del Hsp70, el que controla la temperatura. Se puede ver una hoja de trigo, la cual cuando es sometida a 28 C, se pinta de azul. Entonces es posible regular ciertas expresiones del gen asociadas a temperaturas.

Figura 4. **La expresión del gen Gus**



Fuente: **Jones, Wheat Biotechnology: Current Status and Future Prospects, 2015**

¿CUÁLES GENES SE HAN INTRODUCIDO EN TRIGO?

En líneas generales, lo primero que se instaló fue la resistencia a herbicidas, inclusive se ha probado la resistencia a insectos.

Ahora ya se han trasmitido controladores de genes maestros, que, en líneas generales, son proteínas que activan a múltiples genes asociados al gen de respuesta. Uno de los estos, que ya fue probado en trigo es DREB, que responde a sequía; que son proteínas que tienen unión al elemento de respuesta de sequía. Eso permite no solo la activación del gen, sino que activa a múltiples genes. Entonces es posible, por ejemplo, controlar el activador bajo uno de los promotores, y regular la activación de múltiples genes asociados a sequía, solamente usando esa proteína.

También se ha tratado de mejorar características introduciendo gluteninas de alto peso molecular. O sea que las herramientas están disponibles y se puede insertar cualquier gen que se necesite.

Hasta ahora se ha tratado ¿cómo prender un gen, como introducir genes, expresar genes, producir proteínas que generen genotipos? los genotipos con resistencia a herbicidas, insectos, respuestas a estrés, etc.

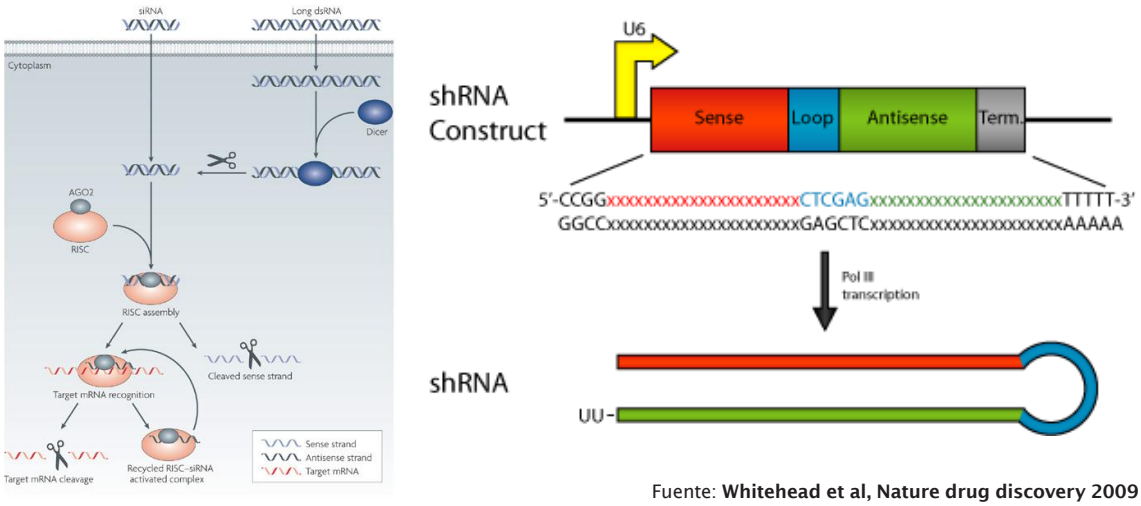
RNA DE INTERFERENCIA, ¿ES POSIBLE APAGAR UN GEN?

Muchas veces no solamente se quiere prender un gen sino también se quiere apagar genes. Entonces hay que referirse a lo que es interferencia y tratar de responder la pregunta: ¿Es posible apagar

un gen? Es posible que un gen que normalmente este prendido, se pueda apagar y evitar que se exprese, porque no se quiere que ocurra esto.

Para ello es necesario comentar sobre qué es una RNA de interferencia (Fig. 5). Se basa en un sistema que tienen los eucariontes. Hay un mecanismo que es capaz de evitar la expresión de genes, si se encuentran genes pequeños complementarios. Un RNA pequeño de doble hebra, la clave es ser doble hebra, es reconocida por una maquinaria basal, *Dicer*, y otro sistema, *RISC*. Lo que ocurre es que cuando encuentra una RNA complementaria a esa secuencia de RNA que fue introducida, es degradada. Reconoce, usa una *nucleasa* y la corta. Por lo tanto, lo que se puede lograr es que ese RNA no esté más disponible para ser traducido y, por lo tanto, no se hace proteínas, para un fenotipo. Este sistema es un sistema que no es al todo o nada. Dependiendo de la cantidad y de la eficiencia de la interferencia uno puede lograr diferentes niveles de inhibición. Ahora, ¿cómo se hace para poder producir un RNA de doble hebra que tiene alguna célula?

Figura 5. **Estructura del RNA de interferencia (RNAi)**



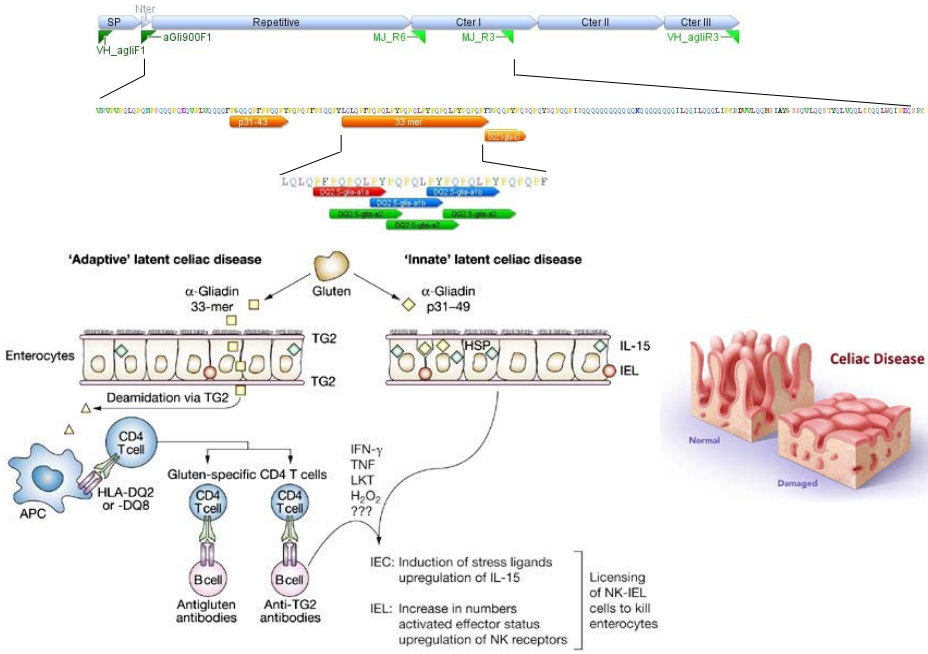
Fuente: **Whitehead et al, Nature drug discovery 2009**

Lo que se hace es construir un gen sintético. Para esto es necesario tener es la secuencia de RNA de interés, una región que permita un giro y una secuencia que sea complementaria. Se sintetiza el ARN, gira la molécula en sí misma y produce la hebra complementaria que se pega por complementariedad de bases. Complementariedad de bases es que se pega A con U y C con G. De esa forma se puede producir un shRNA o small hairpin RNA, en forma de horquilla para expresar el gen que va a provocar a que lo reconozcan y se degrade el RNA que lo ha reconocido como complementario. Al no haber RNA no habrá proteína.

Un ejemplo interesante es lo que ocurre con las *gliadinas*. Sabemos que las gliadinas son un problema para los celiacos y que se acoplan (Fig. 6). Esta es la estructura de las alfa-gliadinas. En su extremo N-terminal tiene un péptido señal luego una región repetitiva, y tres dominios C-terminales que contiene zonas poliQ (poli-glutaminas). Tanto las gliadinas como las gluteninas son ricas en prolina y glutamina. Y estos amino ácidos se encuentran principalmente en la región repetitiva. La presencia de prolina hace que sea resistente a la digestión con enzimas digestivas. Por lo tanto, luego de la digestión se quedan dos péptidos tóxicos para los celiacos. El p31-43 o 49 y el 33mer. El péptido 33mer contiene seis epítopos solapantes. Los epítopos son partes de una molécula que son reconocidos por el sistema inmune para la reacción. Tanto los epítopos del 33mer como el epitopo alfa3 son internalizados por las CPA (células presentadoras de antígeno). Los pacientes celiacos poseen una variante de HLA-DQ que y luego son presentados a la superficie celular unido al CMH (complejo mayor de histocompatibilidad). Entonces una de las preguntas que se hicieron, ¿será posible que uno pueda inhibir la expresión de gliadinas?

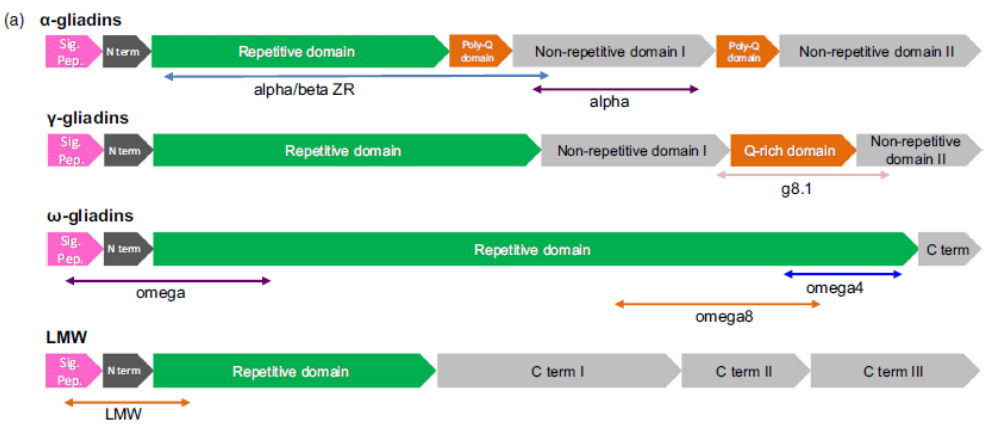
¿Será posible que se puede hacer una quiebra (knock down) en la expresión de gliadinas? Este es un ejemplo de como el RNAi puede cambiar la expresión de un gen hecho por un colega Julio

Figura 6. **La estructura de Gliadinas**



Iehisa y equipo en España (Fig. 7). ¿Cómo lo hicieron? Hay varios genes de gliadinas, Alfa, Gamma, Omega gliadinas, etc. Lo que hicieron fue, tuvieron la secuencia y conocieron la suma de las gliadinas, hay múltiples copias de gliadinas, para ver que regiones están conservadas y con esas regiones diseñaron el RNA en la computadora, que sea específico contra ese gen. De esa forma se diseñaron múltiples combinaciones de diferentes tamaños, algunas para Alfa gliadinas, otras para Gamma gliadinas, también las gluteninas, para diseñar varios genes. Estos fueron combinados en diferentes planos y después los insertados en la planta. Ellos hicieron varias combinaciones para tratar de abarcar la mayor cantidad, entre ellos, el 8.1 que corresponde a gamma, y otro Dhp alfa, que corresponde a Alfa y Omega gliadinas, ahí terminaba Alfa y Omega. Los plásmidos 1,2,3,4,5,6,7 corresponden a diferentes combinaciones de las gliadinas (Fig. 7).

Figura 7. **La estructura de distintos tipos de Gliadinas**



(b)

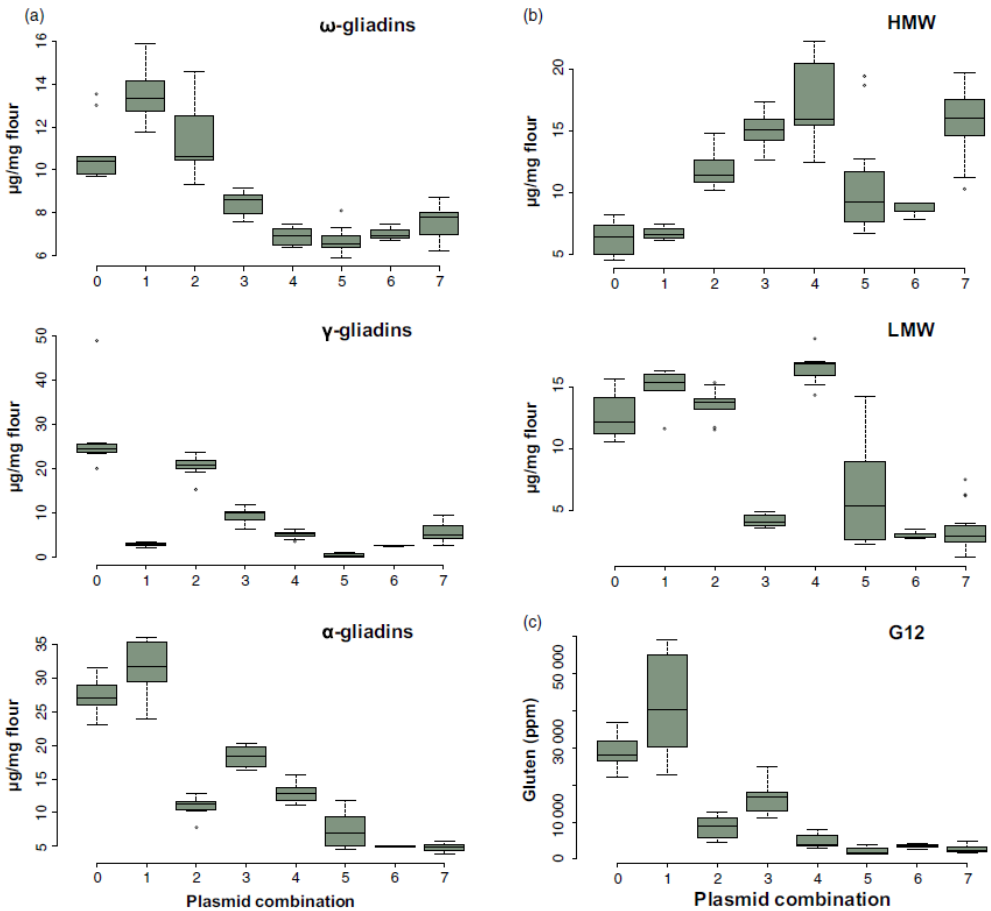
Plasmid name	Sequence name	Sequence length (bp)	RNAi fragment length (bp)
pghpg8.1	g8.1	169	169
pDhp_α/βZR	alpha/beta ZR	377	377
pDhp_ω8ZR	LMW	132	305
	omega8	173	
pDhp_ω4ZR	omega4	109	109
pDhp_ω/α	alpha	170	361
	omega	191	

(c)

Plasmid combination	No. of lines	Plasmid 1	Plasmid 2
0 (wt)	1	NA	NA
1	2	pghpg8.1	NA
2	3	pDhp_α/βZR	NA
3	2	pDhp_ω8ZR	NA
4	3	pDhp_ω/α	NA
5	4	pghpg8.1	pDhp_ω/α
6	1	pDhp_α/βZR	pDhp_ω4ZR
7	6	pDhp_α/βZR	pDhp_ω8ZR

Los resultados presentados en la Fig. 8 muestran que se pudo disminuir la concentración de las gliadinas en diferentes formatos. Se puede apreciar que las combinaciones del alfa gliadina no se vieron afectadas, sin embargo, las de gamma gliadina sí. Y de esta forma es posible mostrar que es posible apagar un gen, disminuir su expresión. Esto es aplicable no solo a las gliadinas sino se puede aplicar a diferentes caracteres, inhibir o silenciar a los genes, lo que es extremadamente útil para los patógenos (Fig. 9).

Figura 8. **Los plásmidos con diferentes combinaciones de las Gliadinas**



Normalmente los patógenos introducen su material genético en el hospedero, y expresan el RNA con su proteína. Entonces si se rediseña un RNA especifico contra el patógeno, se puede inhibir solamente este patógeno, como el *fusarium* del trigo. O sino muchas veces inclusive, hay genes asociados a la resistencia. Entonces, se silencia los genes que hacen facilitar la infección del hongo. Se puede regular inclusive la infección de *fusarium* inhibiendo algunos genes propios, como en este caso la *quitina sintasa.* Esto es algo extremadamente traducible.

Hasta ahora se ha tratado lo que implica introducir material genético. Que implica introducir genes que expresen RNAi y resolver gran parte de la problemática. Hace 10 años ya que un trigo modificado está aprobado, pero nunca pudo llegar al mercado por protestas. Gran parte de eso se debe a que se introdujo material genético foráneo, lo que implica problemas de aprobación y tiene una reglamentación. Es extremadamente complicado, a veces más difícil registrar una planta modificada que registrar un banco. Y gran parte se basa, en que, al insertar material genético foráneo, no se sabe dónde se integra. Al no saber en qué lugar ocurre, uno tiene que demostrar que es el ADN, y como el evento de integración afecta. Ese ha sido el mayor problema además de su impacto sobre el ambiente y la salud, que puntos de discusión eterna.

Figura 9. **Trabajos científicos publicados sobre el silenciamiento de genes en trigo**

In Vitro Cell.Dev.Biol.—Plant (2014) 50:665–672
DOI 10.1007/s11627-014-9634-0

BIOTECHNOLOGY/GENETIC TRANSFORMATION/FUNCTIONAL GENOMICS

Stable resistance to *Wheat streak mosaic virus* in wheat mediated by RNAi

Luisa F. Cruz · Jessica L. Shoup Rupp · Harold N. Trick · John P. Fellers

Plant Biotechnology Journal

Plant Biotechnology Journal (2015) **13**, pp. 1335–1345 doi: 10.1111/pbi.12352

Host-induced gene silencing of an essential chitin synthase gene confers durable resistance to Fusarium head blight and seedling blight in wheat

Wei Cheng[1,2,†], Xiu-Shi Song[1,2,†], He-Ping Li[1,3], Le-Hui Cao[1,3], Ke Sun[1,3], Xiao-Li Qiu[1,2], Yu-Bin Xu[1,2], Peng Yang[1,2], Tao Huang[1,3], Jing-Bo Zhang[1,2], Bo Qu[1,2] and Yu-Cai Liao[1,2,4,*]

[1]*Molecular Biotechnology Laboratory of Triticeae Crops, Huazhong Agricultural University, Wuhan, China*
[2]*College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, China*
[3]*College of Life Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, China*
[4]*National Center of Plant Gene Research (Wuhan), Huazhong Agricultural University, Wuhan, China*

EDICIÓN GÉNICA, ¿ES POSIBLE REESCRIBIR EL GENOMA?

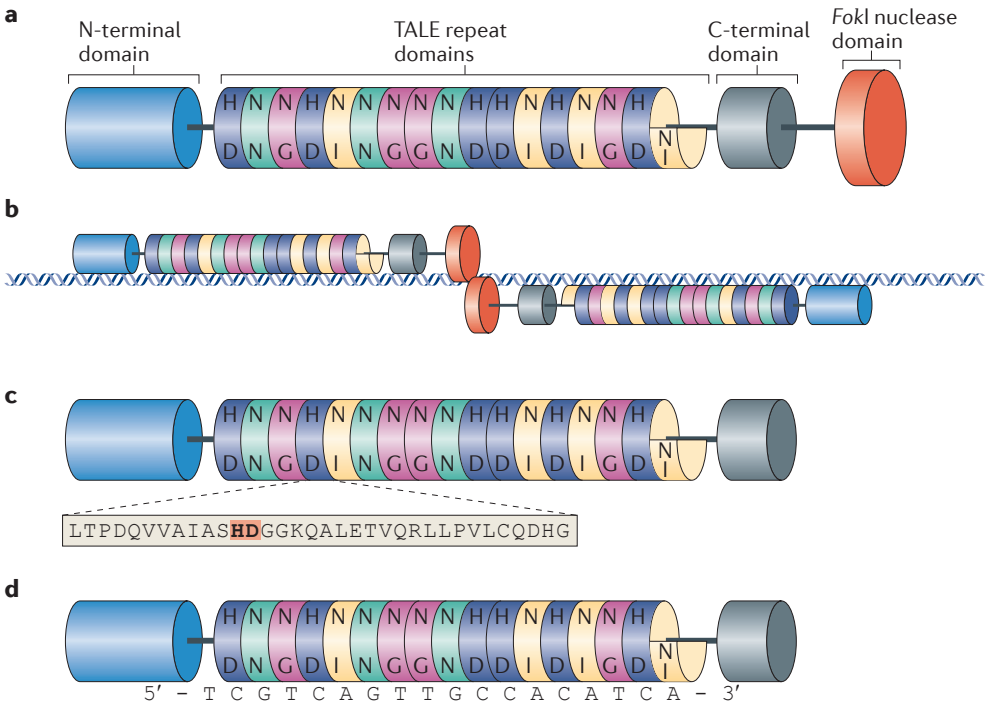
Entonces la siguiente pregunta: ¿Qué pasa si en lugar de introducir genes foráneos, sabiendo toda la normativa que está atrás, se usa otra lógica, reescribir el genoma. Tratar de escribir nuevamente el genoma e introducir caracteres que se puede. Si se sabe que un gen corresponde a resistencia a *fusarium*, puede introducirlo en una variedad (Fig. 9). Es más, eso normalmente se hace por cruzamientos. El problema del sistema de reescritura es que no son muy eficientes, porque hay que modificarlos constantemente. Hay herramientas que hacen posible introducir la variación deseada. En lugar de buscar y encontrar esa variación, uno puede rescribir el genoma; en el lugar que quiero, como quiero. Para eso se necesita dos cosas; para escribir algo se necesita, borrar algo. En palabras no técnicas, se necesita una *goma de borrar* y un lápiz para *escribir.*

La tecnología se ha abocado a buscar *gomas de borrar* y *lápices* que nos permitan modificar genomas o de tomar el genoma y decir: "voy a borrar las bases que están aquí", que representan una característica determinada e "introducir otras bases conocidas" qué representan otras características."

Lo primero que se busca son "*gomas de borrar*", porque hasta hace poco había serios problemas para tratar de cortar o modificar genomas en lugares específicos. Lo que se necesitaba era una enzima que corte en un lugar específico; algo que permita cortar y algo que permita reconocer.

Esto fue posible con la identificación de las Nucleasas Efectoras similares a los Activadores de Transcripción (Transcription activator-like effector nucleases, *TALENs*), unas proteínas que tienen dos módulos (Fig. 10). Un modulo se encarga de reconocer el ADN, para saber exactamente dónde cortar y el otro modulo que es una *nucleasa* que se encarga de cortar. En realidad, las *TALENs* son un grupo de modulitos, cada uno pegado al lado del otro. Las características de estos módulos, una característica proteica, es que tienen dos aminoácidos bien específicos. Con el cambio de un aminoácido, uno puede predecir cual nucleótido va a ser reconocido, el A, T o G. En definitiva, se puede construir secuencias de proteínas que reconozcan secuencias específicas de ADN. Si tiene AAC1 se reconoce C, pero si tiene AAC2 se reconoce G y así sucesivamente. Puede ser una proteína de una longitud determinada, para que reconozca alrededor de 17 nucleótidos aproximadamente y con eso uno puede inducirle el enzima que vaya y corte allí. De esa forma uno genera un "borrador", un lugar

Figura 10. **Estructura de una Nucleasa Efectora similares a los Activadores de Transcripción (TALEN)**

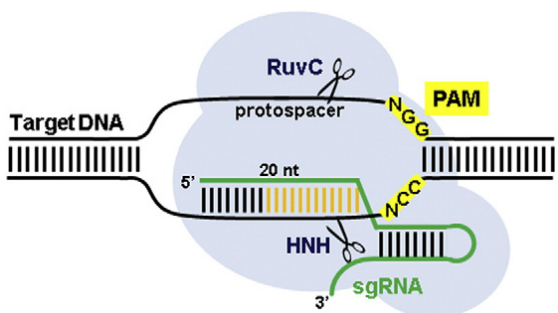


Fuente: **Joung & Sander, Nature Reviews MCB, 2013**

donde se puede el genoma. Esto funcionaba bastante bien, el único problema es que reconocer esa secuencia especifica es complejo y no muy eficiente.

Recientemente surgió el procedimiento de los sistemas de nucleasas asociados a repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente espaciadas (CRISPR)/Cas (sistema asociado a CRISPR), que es un sistema revolucionario (Fig. 11). El sistema CRISPR Cas9 se consolidó en el año 2012. En el 2013 había 33 publicaciones, más de 300 en el 2014, y más de 700 en el 2015. La única vez que vio algo comparativo fue cuando se observó el papel del shRNA.

Figura 11. **Acción del procedimiento CRISPR-Cas 9**



Fuente: **Bortesi and Fischer , Biotechnology Advances, 2015**

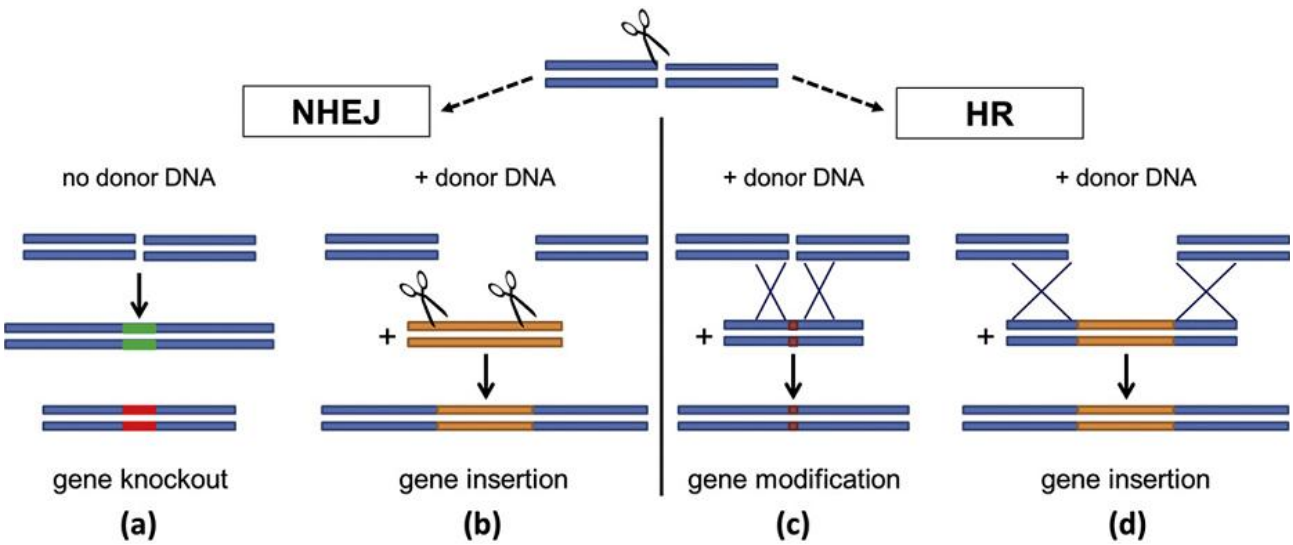
¿Qué es lo que hace CRISPR Cas9? en realidad, está compuesto por dos componentes de RNA. Lo que realiza es reconocer una secuencia determinada. Entonces si uno encuentra una secuencia de 20 nucleótidos, que va a ser complementaria, este RNA se va a pegar ahí en el sitio que se llama sgRNA guía. Después hay la proteína denominada Cas9, que lo que hace es reconocer este DNA. Una vez que reconoce este DNA lo corta. La ventaja está en que estos 20 nucleótidos pueden ser cambiados como quiera y es mucho más fácil que ensamblar las *TALENs*. Esto ha hecho de que a partir de ahora sea extremadamente sencillo cortar en un lugar específico. Porque si uno diseña, hay numerosos

servicios o muchas empresas que las sintetizan Cas 9 de manera optimizada. Hay Cas que funcionan en plantas, mamíferos, pero ha sido bastante transversal. Lo que hay hasta ahora es bastante eficiente para cortar, por lo tanto, borrar. El siguiente paso es escribir.

Por suerte existe una maquinaria basal que lo hace, un sistema celular que se dedica a reparar DNA. En otras palabras, no es solamente el corte, sino la reparación de alguna forma. Lo que ocurre normalmente es que pone equivocadamente los nucleótidos y eso provoca que se apague el gen, que no se pueda prender. Hay tres en el estudio de RNA y es a todo o nada, o esta prendido o está apagado, no es más funcional.

La otra opción es que uno introduce un DNA dador. Es como si uno toma y corta una palabra en una frase y sacarla. El DNA dador es esa palabra que se puede pegar en el sistema. Al haber un corte de doble hebra de DNA, es una señal de emergencia para la célula que debe arreglar esto (Fig. 12). Un problema demasiado grave, porque después no va a poder replicar, o va a morir, etc. Entonces, lo primero que encuentra, la corta y la pega ahí. De esta manera, esto es un sistema más eficiente, que más se está usando ahora; una recombinación homologa que busca resolver este problema por recombinación. Eso podría permitir y facilitar el sistema del Dr. Ravi Singh, que quería combinar genes que estaban en diferentes cromosomas, introduciendo cortes y luego se pueden pegar. O directamente tener un dador DNA, volver otra vez a la palabra que uno quiere insertar ahí, que tenga una región de homología con los dos extremos y pueda recombinar. Acá se está incorporando una inserción, por ejemplo, la proteína, pero se puede hacer reparaciones más pequeñas. Digamos hacer reparaciones que permita cambiar una o dos bases, que al final lo que podríamos hacer son genotipos. Entonces podríamos rescribir genotípicamente.

Figura 12. **El funcionamiento del CRISPR-Cas 9 en la edición génica**



Fuente: **Bortesi and Fischer , Biotechnology Advances, 2015**

Los transformantes estables hechos con CRISPR Cas9 en *Arabidopsis*, arroz, tomate, en tabaco, publicados en 2013 y 2014, están presentadas en las Figs. 13 y 14. Se está tratando de establecer el sistema en diferentes tipos de genes, los genes asociados a sistemas de selección, ya sea por color o resistencia a antibióticos. La eficiencia del sistema es muy variable que va desde 12%, 28%, y algunas con solo 0,04%, depende mucho de la capacidad de hacer el corte. Pero está funcionando, esto solamente contando los que han borrado.

El sistema CRISPR/Cas9 también se ha reparado y se han insertado genes estables en Arabidopsis fundamentalmente. Si hay un error, se puede volver a los marcadores, de color o de resistencia. Lo interesante es que no solo se ha podido borrar, sino también escribir en planta.

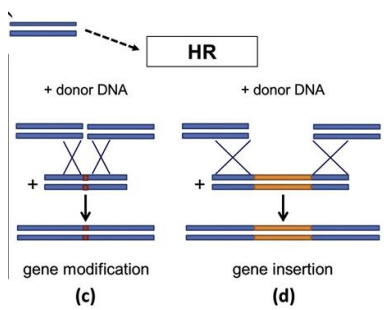
Figura 13. **Lista publicaciones sobre transformaciones realizadas por CRISPR-Cas 9**

Species	Transformation method	Cas9 codon optimization	Promoters (Cas9, gRNA)	Target	Mutation frequency	Detection method	Off-target/detection method	Multiplex (deletion)	Transmission to progeny	Reference
Arabidopsis thaliana	Agro-transformation by floral dip	Human	AtUBQ1, AtU6	Co-transfected *GUUS*	80% (35/44)	Surveyor assay				Mao et al. (2013)
A. thaliana	Agro-transformation by floral dip	Human	AtUBQ1, AtU6	*TT4, CHLI1, CHL12*	38–89%	Phenotype, surveyor assay, sequencing		Yes (230 bp)		Mao et al. (2013)
A. thaliana	Agro-transformation by floral dip	Arabidopsis (Nickase)	PcUBI4-2	*ADH1, TT4, RTEL1*	0.04%	PCR + deep sequencing				Fauser et al. (2014)
A. thaliana	Agro-transformation by floral dip	Arabidopsis	PcUBI4-2	*ADH1, TT4, RTEL1*	26.7%	PCR + deep sequencing			Yes	Fauser et al. (2014)
A. thaliana	Agro-transformation by floral dip	Arabidopsis (Nickase)	PcUBI4-2	*ADH1*	42.8% (Paired Nickases)	PCR + deep sequencing			Yes	Schiml et al. (2014)
A. thaliana	Agro-transformation by floral dip	*C. reinhardtii*	CaMV35S, AtU6	co-transfected *GFP*	58% (35/60)	GFP fluorescence			Yes	Jia et al. (2014)
A. thaliana	Agro-transformation by floral dip	Human	2xCaMV35S, AtU6	*BRI1, GAI, JAZ1*	30% (6/20)–84%(16/19)	PCR + RE			Yes	Feng et al. (2013)
Oryza sativa	Particle bombardment of callus	Rice	2xCaMV35S, OsU3	*OsPDS, OsBADH2*	7.1% (9/97)–9.4% (7/98)	PCR + RE				Shan et al. (2013)
O. sativa	Agro-transformation of callus	Human	OsUBQ, OsU6	*OsMYB1*	50% (10/20)	Surveyor assay				Mao et al. (2013)
O. sativa	Agro-transformation of callus	Rice	ZmUbi, OsU3	*CAO1, LAZY1*	83.3% (25/30)–91.6%(11/12)	PCR + sequencing				Miao et al. (2013)
O. sativa	Agro-transformation of callus	Human	CaMV35S, OsU6	*ROC5, SPP, YSA*	5% (1/21)–75% (24/32)	PCR + RE				Feng et al. (2013)
O. sativa	Agro-transformation of callus	Rice	2xCaMV35S, ZmU3	*PDS, PMS3, EPSPS, DERF1, MSH1, MYB5, MYB1, ROC5, SPP, YSA*	21.1–66.7%	PCR + sequencing	No/whole-genome sequencing	Yes	Yes	Zhang et al.(2014)
O. sativa	Agro-transformation of callus	Plant	2xCaMV35S, AtU6	*BAL*	2% (2/94)–16% (14/90)	PCR + sequencing	No (3 sites)/PCR + sequencing			Xu et al. (2014)
O. sativa	Agro-transformation of callus	Human	2xCaMV35S, AtU6	*BAL*	0% (0/96)–2% (2/96)	PCR + sequencing				Xu et al. (2014)
O. sativa	Agro-transformation of callus	Rice	ZmUbi, OsU6	*SWEET1a-1b-11-13*	12.5% (2/16)–100% (8/8)	T7E1 assay + sequencing	No (6 sites)/PCR + sequencing		Yes	Zhou et al. (2014)
Sorghum bicolor	Agro-transformation of immature embryos	Monocot	OsActin1, OsU6	Co-transfected *DsRed*	28% (5/18)	DsRed fluorescence				Jia et al. (2014)
Solanum lycopersicum	Hairy root transformation by *A. rhizogenes*	*Nicotiana*	CaMV35S, AtU6	*GFP, SHR*	n.d.	RE + PCR; phenotype				Ron et al. (2014)
S. lycopersicum	Agro-transformation of cotyledons	Human	2xCaMV35S, AtU6	*SlAGO7, Solyc08g041770, Solyc07g021170, Solyc12g044760*	75 (6/8)–100% (29/29, 8/8)	phenotype, PCR + sequencing		Yes (90–140 bp)	Yes	Brooks et al. (2014)
N. tabacum	Agro-transformation of leaf discs	Tobacco	2xCaMV35S, AtU6	*PDS, PDR6*	82% (9/11)–88%(14/16)	Phenotype, PCR + RE sequencing	No (1 site)/PCR + RE		Yes	Gao et al. (2014)
T. aestivum	Particle bombardment of embryos	Plant	ZmUbi, TaU6	*MLO-A1*	5.6% (4/72)	T7E1			Yes	Brooks et al. (2014)
Marchantia polymorpha	Agro-transformation of sporelings	Human	CaMV35S or MpEF, MpU6	*ARF1*	11% (5/45)	Phenotype, PCR + sequencing				Sugano et al. (2014)

AtUBQ1, U6 = *A. thaliana* ubiquitin1 or U6 promoter; PcUBI4-2 = *P. crispum* polyubiquitin promoter; CaMV35S = promoter of the 35S gene of the *cauliflower mosaic virus*; 2x35SCaMV = 35S promoter with duplicated enhancer; OsUBQ, Actin1, U3, U6 = *O. sativa* ubiquitin, actin 1, U3 or U6 promoters; ZmUbi, U3 = *Z. mays* ubiquitin or U3 promoters; TaU6 = *T. aestivum* U6 promoter; MpEF = *M. polymorpha* elongation factor 1α promoter; MpU6 = *M. polymorpha* U6 promoter; PCR = polymerase chain reaction; RE = restriction enzyme digestion; T7E1 = T7 endonuclease I assay; n.d. = not determined.

Fuente: **Bortesi and Fischer, Biotechnology Advances, 2015**

Figura 14. **Lista publicaciones sobre edición génica realizadas por CRISPR-Cas 9**



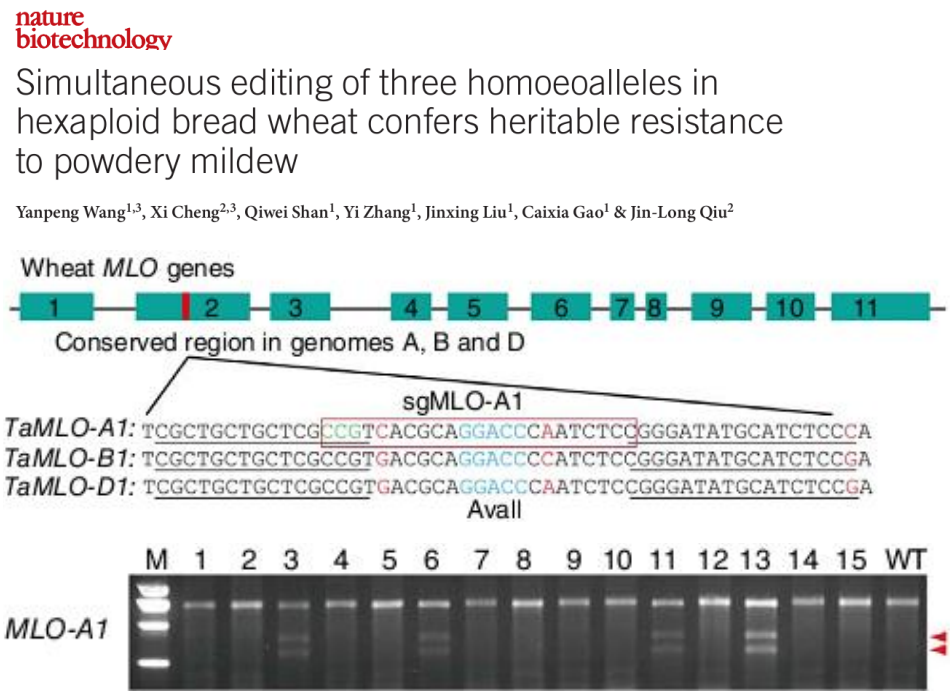
Species	Transfection method	Cas9 codon optimization	Promoters (Cas9, gRNA)	Target	Exogenous HR template	HR frequency	detection method	Reference
Arabidopsis thaliana	Stable Agro-transformation	Human	AtUBQ1, AtU6	*GUUS*	None (SSA)	11.4%	GUS staining	Mao et al. (2013)
A. thaliana	Stable Agro-transformation	Arabidopsis	PcUBI4-2, AtU6	*GUUS, UGUS*	None (SSA, SDSA)	n.d.	GUS staining	Fauser et al. (2014)
A. thaliana	Stable Agro-transformation	Arabidopsis (nickase)	PcUBI4-2, AtU6	*GUUS, UGUS*	None (SSA, SDSA)	n.d.	GUS staining	Fauser et al. (2014)
A. thaliana	Transient PEG-protoplast transfection	Human	2xCaMV35S, AtU6	*YFFP*	None (SSA)	18.8%	YFP fluorescence	Feng et al. (2013)
A. thaliana	Stable Agro-transformation	Arabidopsis	PcUBI4-2, AtU6	*ADH1*	*In planta* released ds DNA, 1.8 kb + 674 and 673 bp homology arms	0.14%.	PCR, phenotype, sequencing	Schiml et al. (2014)
Nicotiana benthamiana	Transient PEG-protoplast transfection	Arabidopsis (with intron)	CaMV35SPDK, AtU6	*NbPDS3*	ds DNA, 533 + 114 bp homology arms	10.7%	PCR + RE	Li et al., 2013
Oryza sativa	Transient PEG-protoplast transfection	Rice	2xCaMV35S, OsU3	*OsPDS, OsBADH2*	ss oligo DNA, 72b	7%	RE + PCR + RE	Shan et al. (2013)
O. sativa	Transient particle bombardment of callus	Rice	ZmUbi, OsU3	*GUUS*	None (SSA)	n.d.	GUS staining	Miao et al. (2013)

AtUBQ1, U6 = *A. thaliana* ubiquitin1 or U6 promoter; PcUBI4-2 = *P. crispum* polyubiquitin promoter; 2x35SCaMV = promoter of the 35S gene of the *cauliflower mosaic virus* with duplicated enhancer; CaMV35SPDK = hybrid promoter, 35S enhancer fused to the maize C4PPDK basal promoter; OsU3 = *O. sativa* U3 promoter; ZmUbi = *Z. mays* ubiquitin 3 promoters; PCR = polymerase chain reaction; RE = restriction enzyme digestion; n.d. = not determined; SSA = single-strand annealing repair pathway; SDSA = synthesis-dependent strand annealing repair pathway.

Fuente: **Bortesi and Fischer , Biotechnology Advances, 2015**

En un trabajo recién publicado sobre el hongo *Blumeria graminis*, el mildiu u oídio del trigo, se observaron un locus que se asocia a la susceptibilidad o la resistencia (Fig. 15). La idea fue explorar ese locus para permitir generar la resistencia. La resistencia al oídio está localizada en los genomas A, B y D y los alelos responsables tienen algunas diferencias. Usando el CRISPR Cas9 y los TALENs, los autores introdujeron un sitio de corte y modificación observada en la imagen, es que, si se amplifica DNA por PCR para tener un fragmento de 500 pares de bases. Lo que se puede ver la foto inferior son los dos alelos, tanto el completo y el que está cortado; significa que por lo menos en las plantas 3, 6, 11 y 13 se ha introducido el cambio sin ningún problema.

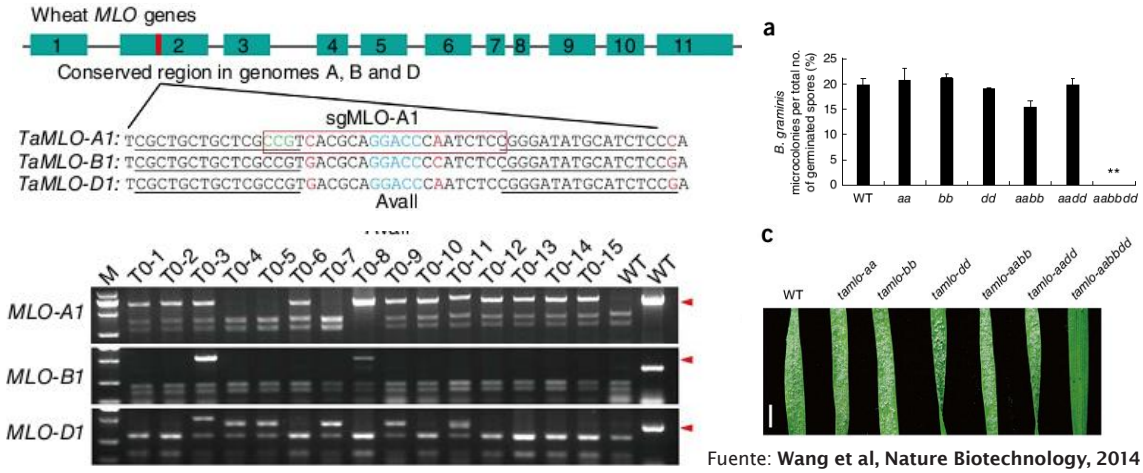
Figura 15. **Publicación sobre edición de los tres genomas de trigo para lograr resistencia al oídio**



Vemos que pueden haber dos fenómenos: la pérdida o no del sitio de restricción. Por ejemplo en la línea T0-4, aquí no ocurrió la pérdida del sitio de restricción en el gen *MLO-A1* (Fig. 16). Las regiones que están subrayadas son los sitios de unión de las TALENs. Entonces estas TALENs introducen un corte en la región que se encuentra entre los dos sitios de unión y activa la maquinaria de la célula que se encarga de reparar este corte. Sin embargo, durante esta reparación pueden ocurrir pequeñas inserciones o pequeñas pérdidas del ADN y por ende, ocurre la pérdida del sitio de restricción indicada en letras azules. Si yo perdí el sitio de restricción significa que la enzima de restricción no puede unirse a esta secuencia indicada en azul y no va a haber corte, por lo tanto se observaría fragmentos más grandes (bandas hacia la parte superior) en el gel. En este caso, en el gen *MLO-A1* de la línea T0-4, como no ocurrió la pérdida del sitio de restricción, este fragmento es reconocida por la enzima de restricción, es cortado en dos fragmentos y como resultado se observan fragmentos de menor tamaño (bandas en la parte inferior) del gel. Lo mismo vemos en el gen *MLO-B1* de la línea T0-4, no ocurrió la pérdida del sitio de restricción y se observan dos fragmentos de menor tamaño. Es decir, tanto el gen *MLO-A1* como *MLO-B1* son del tipo silvestre debido a que están intactos. Sin embargo, el gen *MLO-D1* de T0-4 vemos uno de mayor tamaño, igual al tamaño del gen que no está cortado con la enzima de restricción, y una de menor tamaño. Por lo tanto significa que en este ocurrió la eliminación del sitio de restricción. Es decir, se knockeó en forma heterocigota, porque vemos el completo y también tiene el otro cortado. En cambio en la línea T0-8, el gen *MLO-A1* fue knockeado en forma homocigota. Esta figura indica que en la mayoría de los casos la modificación del gen ocurre en forma heterocigota pero podría ocurrir también en homocigosis.

Se puede ver en la gráfica 'a' y la foto 'c' de la Fig. 16, que efectivamente los cambios introducidos en las plantas mutantes han producido la resistencia al patógeno cuando el gen

Figura 16. **La combinación genética de cada mutante en relación al nivel de resistencia al oídio**



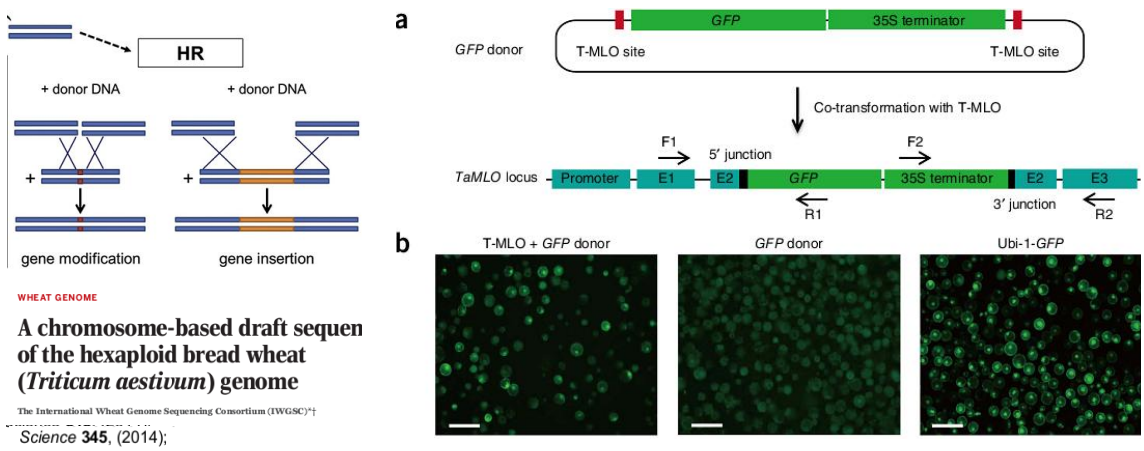
Fuente: **Wang et al, Nature Biotechnology, 2014**

MLO de los tres genomas (A, B y D) están todas knockeadas. Obviamente los autores hicieron una retro cruza para determinar que el locus era homocigoto recesivo para resistencia. La gráfica también muestra el nivel de infección del oídio en el tipo silvestre (Wild type), y las diferentes combinaciones de alelos, que no son resistentes excepto la combinación de los tres homeoalelos.

¿Si hay la capacidad para borrar genes en trigo, es posible reescribir? Como se ha mencionado anteriormente, normalmente la escritura se hace por recombinación homóloga; hay que introducir un fragmento de DNA dador que tenga una característica que pueda ser marcado o seguido. Sin embargo, en las plantas, el mecanismo de reparación del daño causado en el ADN se realiza principalmente mediante la unión de extremos no homólogos (NHEJ), y la tasa de recombinación homóloga es muy baja comparada con los animales y la levadura.

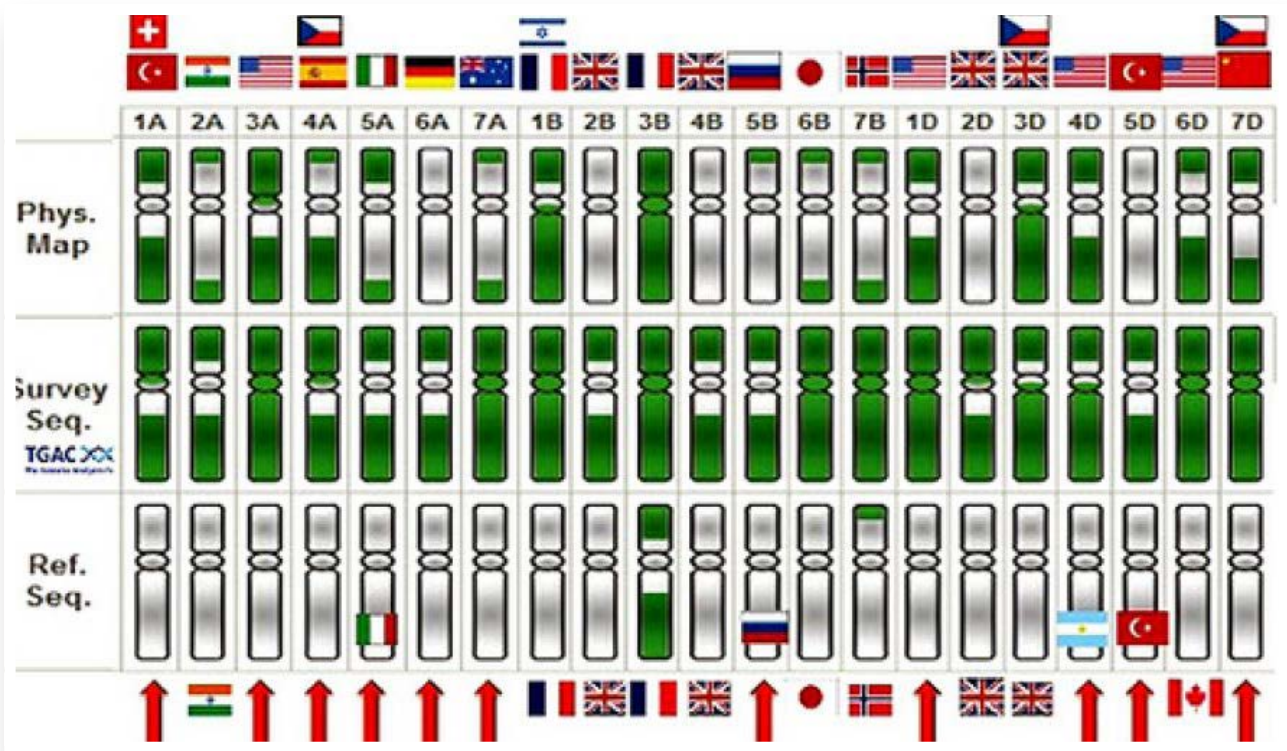
Para la escritura, los autores construyeron un sistema dador, que tiene una pequeña homóloga al gen *MLO* en cada uno de los extremos y en el medio tiene la región del *gfp* (la proteína verde fluorescente) en la Fig.17. ¿Qué pasa si se integra o se expresa verde fluorescente?, va a mantener la señal fluorescente. La Fig. 17 muestra las células verdecitas que corresponden a que se insertó el gen mediante la unión de extremos no homólogos. En otras no hay señal. Sin embargo, Ubi1- gfp es un control, en realidad tiene el sistema completo, el promotor de la *ubiquitina*. El promotor gobierna la expresión a nivel del *gfp*. En resumen, si es posible reescribir en esta situación de biotecnología.

Figura 17. **Borrador del genoma de trigo hexaploide que abre el camino para edición génica**



Fuente: **Wang et al, Nature Biotechnology, 2014**

Colaboración internacional para decodificar el genoma de trigo.



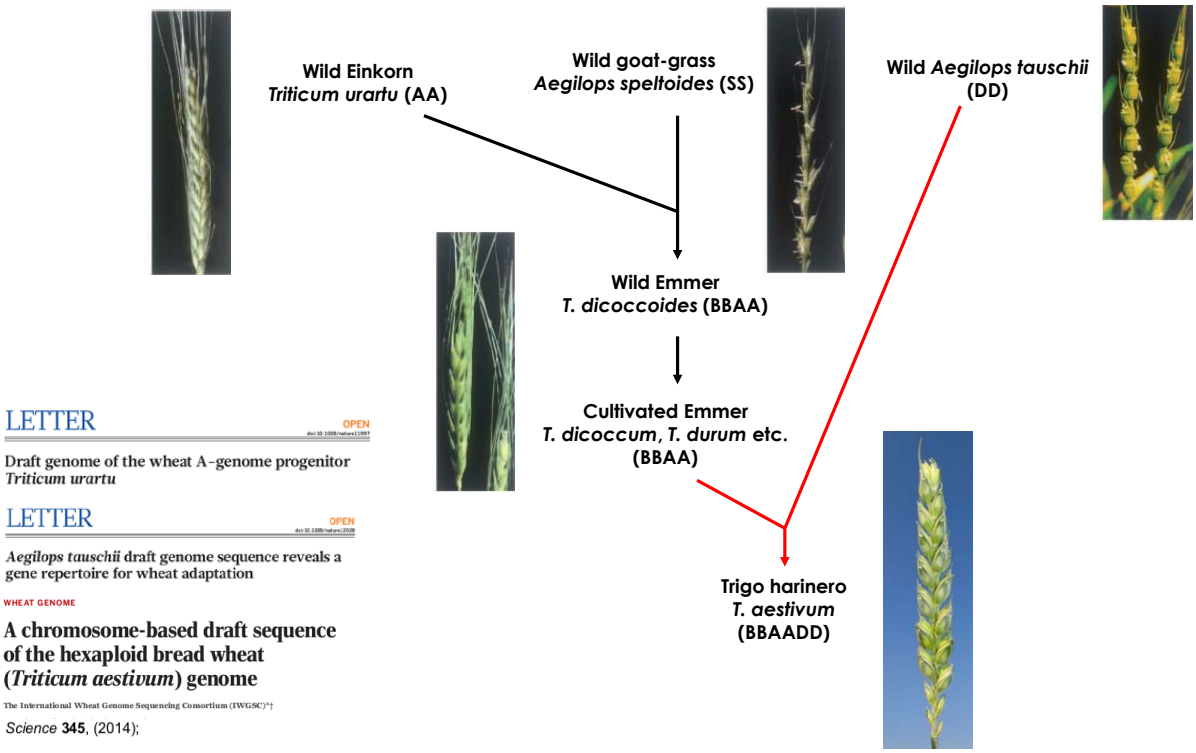
¿CÓMO PUEDE APORTAR BIOTECNOLOGÍA?

Es una de las preguntas que me motivó, mostrar resultados de un grupo en China. ¿Si uno puede reescribir el genoma, en donde está la clave? La clave no está en la capacidad de escribir sino en la capacidad de decir QUE se quiere escribir. Eso implica encontrar genes funcionales, variantes de genes funcionales, lo que mostro el Dr. Singh. Tratar de encontrar cuales son las secuencias correspondientes a características que nos permitan reescribir. Y ese es uno de los principales aportes. Los mejoradores tienen las variedades con los genotipos característicos que las conocen. Los biotecnólogos pueden buscar más o menos en que región está y tratar de encontrarlo. Pero en gran parte el aporte esta en encontrar ese gen y si no lo encuentra uno, lo encontraran otros grupos.

El otro hito de la biotecnología es que ahora hay un genoma de trigo conocido. Lo más importante es saber que el trigo hexaploide tiene tres genomas; un genoma proveniente de *T. urartu,* otro de *Aegilops speltoides* y el tercero de *Aegilops tauschii,* que son A, B y D respectivamente (Fig. 18). Se originó mediante el cruzamiento natural del trigo tetraploide domesticado que posee genomas A y B con un diploide silvestre que es *Aegilops tauschii* con genoma D. Entre los tetraploides se encuentra el trigo duro que se utiliza para producir pasta. El cruzamiento entre *Ae. tauschii* y tetraploide es factible. Por lo tanto, los recursos genéticos disponibles para el mejoramiento del trigo hexaploide son: *tauschii*, tetraploides y los hexaploides. Uno de los caracteres que es objetivo de la mejora es la resistencia al estrés abiótico. Como hay un borrador del genoma de trigo hexaploide disponible, a partir de este uno puede empezar a buscar o identificar un gen.

¿En qué aporta el genoma en esta búsqueda? En líneas generales, ayuda en encontrar genes putativos o buscar por homología; que se sabe en maíz, que se sabe en Arabidopsis, etc. Es buscar genes putativos que son responsables de algunas funciones y que se buscan por homología. Después, de tener un genoma de base estructurada se puede aprovechar las herramientas de nuevas generaciones de secuenciación, que tengan paquetes muy pequeños de ADN y empezar a re secuenciar el genoma y empezar a buscar. Cuáles son las variedades que tienen este trigo en comparación con otro para tratar de identificar caracteres que nos interesen. El problema que hay es, buscar marcadores

Figura 18. **Evolución del trigo pan poliploide**



moleculares, para hacer fitomejoramiento para seleccionar. En ese aspecto tener un genoma permite comparar entre variantes y encontrar polimorfismos de un solo nucleótido (SNPs) más difíciles de encontrar, donde es posible encontrar marcadores mucho más cercanos a los genes de interés y marcadores no tan lejanos. Y después se encuentra ese QTL gigante. Otra vez, teniendo una cualidad de marcador uno puede pensar en el QTL. Inclusive algo interesante son los mapas de asociación para ver qué es lo que está ocurriendo.

Preguntas y plenaria

- Pregunta: ***¿Por qué a pesar del avance de las técnicas moleculares no hay evidencias de un trigo que tenga tolerancia a la sequía o para mejora a enfermedades?***

- **Pablo Sotelo:** ¡Que pregunta!! Creo que primero estamos hablando de caracteres bastante poligénicos. Es difícil asociarlo a un solo gen. Eso dificulta quizás. Podría ser el parámetro más notable y creo que esta tecnología es muy bonita y todo lo que quieren, pero probablemente se asocien más a caracteres que sean monogénicas. No de grandes variaciones en el genoma. Es fácil reescribir un gen pero, reescribir múltiples genes se va a volver más complejo. Por lo menos lo que les mostré ahora va a tener a ser caracteres monogénicos recombinantes, lo primero que va a funcionar. La verdad que esta pregunta la podrían responder mejor los fitomejoradores. Yo no tengo una respuesta… Dicen que igual se conocen vías, ¿verdad? Están las vías de ácido *abcisico* que se conoce bastante bien, inclusive algunos marcadores asociados, la respuesta creo que es porque tiene un componente poligénico. Hay demasiados factores que influyen sobre el fenómeno y eso hace mucho más difícil, determinar una vía especifica.

- Pregunta: ***¿Cuánto tiempo llevaría introducir un gen?*** *…**tardaría para llegar al mercado?... y su costo sería muy elevado?***

- **Pablo Sotelo:** Bueno, primero: Cuanto tiempo llevaría, depende del tipo de tecnología que estemos utilizando. Si estamos hablando de las últimas que se están presentando

aparentemente los tiempos serían más cortos. ¿Cuándo llegaría al mercado? y ahí empezaría el tema de discusión, porque ahí todo este sistema de edición génica plantea una situación tremenda para la regulatoria y en función a lo que defina la regulatoria, va a tardar en llegar al mercado. Y realmente, por lo menos si uno mira los papers, les plantea un dilema tremendo porque a la larga es modificar genes existentes, muchas veces con modificaciones existentes. Claro, mutaciones previamente existentes. Quizás todavía no se ha hecho en plantas eso. Se ha hecho en mamíferos, pero es algo que va en ese camino. Entonces la regulatoria como que pierde varios de los elementos, que complejizan el sistema. No te puedo responder, porque todavía no está claro cuál será el proceso todavía. Y a medida que se vaya avanzando va a llegarse a ese punto, pero por lo menos el espíritu y la percepción que se siente, es que va a ser bastante más sencillo de lo que es ahora.

- **Ravi Singh:** Cuando yo escucho esto, lo veo siempre un poco más difícil en trigo que en otro cultivo. Por razones que mucha gente escoge trigo como la base de su alimento. Es también con el maíz, como ocurre en México, y los norteamericanos, que comen maíz. Pero en otros lugares piensan que el maíz es para animales, entonces no hay problema, hay maíz transgénico, roya igual. Pero cuando llega el tema al trigo todo el mundo está parado y nadie quiere iniciar la discusión. Ese es el problema. Entonces hay que tener una buena tecnología, como puede ser el de *Fusarium* por ejemplo o royas, y demostrar que quizás tiene validez y no va afectar nada. Todavía el camino va a ser largo. Y no será tan fácil.

- **Pablo Sotelo:** Tiene totalmente sentido porque en realidad no tenemos transgénico en el mercado en trigo. Porque el trigo esta en el logo de la FAO, es la relevancia que tiene para la sociedad y uno empieza a jugar con dilemas de la moral. Imagínense una ostia hecha con trigo transgénico, que sea el "cuerpo de Cristo". Hasta esos dilemas morales pueden esperarse a veces. Yo creo que en gran parte no ha llegado al mercado por ese motivo. Si creo en esos avances de no hacer cambios tan radicales. Pueden hacer variantes, pero en realidad la edición génica lo único que hace es acelerar el proceso de fitomejoramiento. Porque si tienes la variante y se logra la variedad que existe en la naturaleza. Creo que podría facilitar bastaste esos procesos. Igual la regulatoria por lo menos en ese tipo de tecnología no está muy claro.

- Pregunta: ***¿Es posible para el gen que se apagó que pueda volver a manifestarse? ¿Puede ocurrir eso?***

- **Pablo Sotelo:** Podría ocurrir. Sería bastante improbable. Debería haber ciertos eventos, con recombinaciones que son poco frecuentes, si el gen no se expresa. Para reparar un daño de ese estilo, por eventos de recombinación, por lo menos dos eventos de recombinación y sería bastante complicado.

- Pregunta: ***Usted conoce nuestras capacidades, ¿cómo qué técnicas podemos usar aquí para modificar atributos de interés?***

- **Pablo Sotelo:** Lo que nosotros estamos haciendo, estamos lejos de hacer la tecnología que he mostrado, pero sí estamos trabajando en eso. En colaboración de Julio con el Dr. Kohli, estamos tratando de buscar unos marcadores moleculares para ver los temas de dormancia. Estamos pensando también en sequía, tratando de apoyar molecularmente estos sistemas de mejoramiento. Sí creo que por ese lado está, y para mí una cosa va de la mano de la otra y un poco la presentación del profesor Ravi le da sentido de lo que es un *trait*, no solamente buscar un marcador. Es buscar el gen, tratar de buscar la mecánica de como ocurre el fenómeno, y de esa forma nosotros podemos aportar. Tratando de buscar esas herramientas, tanto primero los marcadores y luego las herramientas para buscar genes que estén involucrados y tratar de entender mecanísticamente como ocurren. Esa clase de aportes es un poco el espíritu que tenemos en el Departamento de Biotecnología de Ciencias Químicas. Pero tenemos que ir de a poco. Primero debemos caracterizar lo que tenemos y luego tratar de ver en qué punto está el soporte del genoma, tenemos un montón de cosas que debemos ir probando.

Avances en la Investigación de Trigos Biofortificados

Advances in Research for Biofortified Wheat

Iván Ortiz-Monasterio

Velu Govindan; Ravi Singh; Javier Peña

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT,
Apdo. Postal 6-641 06600 México, D.F., MÉXICO
i.ortiz-monasterio@cgiar.org

RESUMEN

El trigo es uno de los principales granos para la provisión energética en la dieta humana. Sin embargo, la deficiencia de los micronutrientes como el hierro, el zinc, la vitamina A, el yodo y el selenio etc. es más común que la deficiencia de carbohidratos en poblaciones de pocos recursos. Se estima que aproximadamente dos billones de personas son deficientes en hierro y zinc, lo que representa una tercera parte de la población mundial. Aunque muchas de estas deficiencias se pueden corregir con la diversificación de las dietas que incluya carne, frutas y verduras, es algo difícil principalmente para personas de bajos recursos. En el caso de trigo, el programa de Harvest Plus esta enfocado a la mejoría de dos micronutrientes: hierro y zinc. Para decidir las regiones en que podía trabajar el proyecto, se tomaron tres factores en cuenta: a) deficiencia de zinc en los suelos, b) alguna evidencia de deficiencia de zinc y de hierro en la población y c) regiones donde el consumo de trigo es una parte importante de la dieta de la población. Los parientes silvestres del trigo como *T. dicoccoides,* y T. *monococcum* y T. *dicoccum* y variedades criollas de colecciones nacionales, especialmente de Irán y Afganistán, fueron identificados como fuentes de variabilidad genética para niveles altos de hierro y de zinc y que fueron usados en el programa de mejoramiento. Al mismo tiempo ha habido una gran evolución en las metodologías de análisis que van desde el infrarrojo cercano a una nueva tecnología de rayos X y la fluorescencia que ayudan a evaluar miles de líneas por su concentración de zinc, en forma rápida y barata. Dos variedades, Shakthi (India) y NR421 (Pakistán), con casi 40% más de zinc, ya son comerciales. A nivel agronómico, los estudios hechos en Turquía muestran que las aplicaciones foliares también son efectivas para aumentar la concentración de zinc en el grano. Aunque una aplicación foliar en encañazón y la segunda en el embuche incrementan la concentración de zinc en el endospermo, lo mejor es hacer una segunda o tercera aplicación en la etapa de lechoso-pastoso para lograr altas concentraciones de zinc en la harina.

ABSTRACT

Wheat is one of the main cereal grains used to supply energy in the human diet. However, in the low-income populations, the lack of some micronutrients such as iron, zinc, vitamin A, iodine and selenium etc. is more common than the carbohydrate deficiency. It is estimated that approximately two billion people are deficient in iron and zinc, which account for a third of the world's population. Although many of these deficiencies can be corrected by diversifying diets, which includes meat, fruits and vegetables, it is difficult, especially for low-income groups. In the case of wheat, the Harvest Plus program is focused on the improvement of two micronutrients, iron and zinc. In order to decide the priority regions globally, the project took three factors into consideration: a) zinc deficiency in the soils, b) some evidence of zinc and iron deficiency in the population and c) regions where wheat consumption is high and an important part of the diet. Wild relatives of wheat such as T. dicoccoides, T. monococcum and T. dicoccum as well as landraces from national collections, especially Iran and Afghanistan, were identified as sources of genetic variability for high concentrations of iron and zinc and were used in the breeding program. At the same time there has been a rapid evolution in the analysis methodologies that span from near infrared to a new technology of X-rays and fluorescence that help to evaluate thousands of lines for their zinc concentration, quickly and cheaply. Two varieties, Shakthi (India) and NR421 (Pakistan), with almost 40% more zinc, have already reached commercial farms. At the agronomic level, studies done in Turkey show that foliar applications are also effective in increasing the concentration of zinc in the grain. Although a foliar application in elongation stage and the second in the boot stage increase the concentration of zinc in the endosperm, it is best to make a second or third application in the milk-dough stage to get higher levels zinc in the flour.

INTRODUCCIÓN

El tema de hoy sobre avances en la investigación de trigos biofortificados requiere cubrir un rango amplio de disciplinas. Había un equipo multidisciplinario que incluía:parte agronómica (Iván Ortiz), desarrollo de variedades con niveles más altos de hierro y zinc en el grano (Belu Govindan y Ravi Singh) y la parte de calidad (Javier Peña), cuando estaba encargado del laboratorio de calidad del CIMMYT. En otras palabras, el tema debe cubrir diferentes aspectos y ángulos de lo que implica desarrollar trigos "biofortificados".

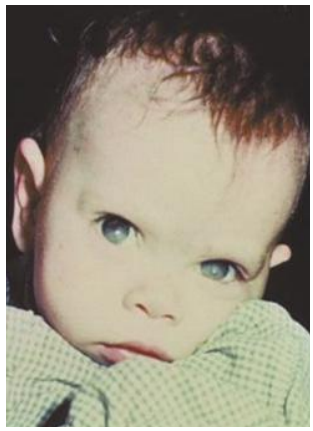
¿Por qué trabajar en trigos Biofortificados? Si se pone los cinco micronutrientes más importantes juntos, que serían: hierro, zinc, vitamina A, iodo y selenio; su deficiencia es la más preponderante. Es una situación más común que la deficiencia de carbohidratos en poblaciones de pocos recursos y el programa de Harvest Plus está enfocando principalmente a Hierro, Zinc y Vitamina A. En el caso específico de trigo, el enfoque es en hierro y zinc. Se estiman que aproximadamente dos billones de personas son deficientes en hierro y zinc, que representan una tercera parte de la población mundial (Fig. 1). Es un problema realmente importante.

En este caso, lo ideal es diversificar las dietas para incluir carne, verduras, frutas etc. en el hábito alimenticio, lo que es difícil principalmente para personas de bajos recursos. Un ejemplo típico es una persona en Bangladesh, que utiliza 70% de su ingreso solamente para comprar arroz. No existe la posibilidad de pedir a ellos que diversifiquen su dieta, porque no tienen los recursos económicos. La otra estrategia es fortificar los alimentos. Los resultados se han visto en leche con vitamina D, o cierto tipo de harina con hierro. Se puede agregar micronutrientes a los productos ya procesados, lo que sería la fortificación. El tercer aspecto incluye las intervenciones, donde a través de los sistemas de salud que distribuyen pastillas para suplementar las dietas de poblaciones con alta probabilidad de ser deficientes.

Figura 1. **Desafío Mundial - Deficiencia de Micronutrientes**

Hierro
2 billones
Aproximadamente

Fe: Disminuye capacidad de razonamiento y de aprendizaje en niños y adolescentes; limita la capacidad de realizar labores físicas.



Vitamina A
500,000 niños al año

Vitamina A: 500.000 niños quedan ciegos por déficit de Vitamina A en el mundo: La mayoría muere. Ésta es la principal causa de ceguera en países en desarrollo. Provoca daños en el sistema inmunológico, intestinos y pulmones. 250 millones de niños en el mundo sufren déficit de Vitamina A.

Zinc
2 billones
Aproximadamente

Zn: Detención de crecimiento; mayor susceptibilidad a infecciones, diarrea y lesiones de la piel

¿QUÉ SE BUSCA CON LA BIOFORTIFICACIÓN?

Desarrollar cultivos importantes en la alimentación de poblaciones de bajos recursos, por ejemplo, trigo, maíz, arroz, mandioca, frijol etc., y adicionar micronutrientes dentro de los granos (Fig. 2). Eso tiene dos atractivos importantes; si se logra hacerlo de forma genética, sería algo que estará disponible año tras año. Por otro lado, esta estrategia principalmente beneficia a poblaciones rurales que tienden a producir sus propios alimentos. Que son personas, que no se ven beneficiadas por los programas de suplementación alimentaria, porque no están cerca del sistema de salud.

Figura 2. **Beneficios de los cultivos biofortificados**

- Desarrollar trigo, arroz, maíz, yuca y otros alimentos básicos con vitaminas y minerales adicionados.
- Beneficios nutricionales provenientes de los cultivos, cosecha tras cosecha, sin costos adicionales.
- Al alcance de todos aquellos que no alcanzan otras intervenciones nutricionales.

HarvestPlus

Esta estrategia de biofortificación no busca competir con las otras estrategias, de diversificar dietas, de dar suplementos y de fortificar alimentos, sino que es una herramienta más, que viene a complementar los otros esfuerzos.

Recientemente, el Dr. Megan Clark, Presidente de la Organización para la Investigación Industrial y Científica del Estado (CSIRO), Australia, dijo que en los próximos 50 años necesitaremos producir tanto alimento como lo que ha consumido el ser humano en toda su historia (Fig. 3). Es una muy buena forma de poner el reto, que ha sido mencionado por Mohan, Javier Peña, y otros, de que es necesario incrementar la producción en un 70% de aquí al 2050. Pero cuando se pone de esta forma es realmente impresionante. Sin embargo, aquí falta agregar que no necesariamente se necesita producir más alimentos, sino que los alimentos deben tener un valor nutricional más alto, sobre todo para las poblaciones de menos recursos.

Figura 3. **Necesidades futuras de alimentos**

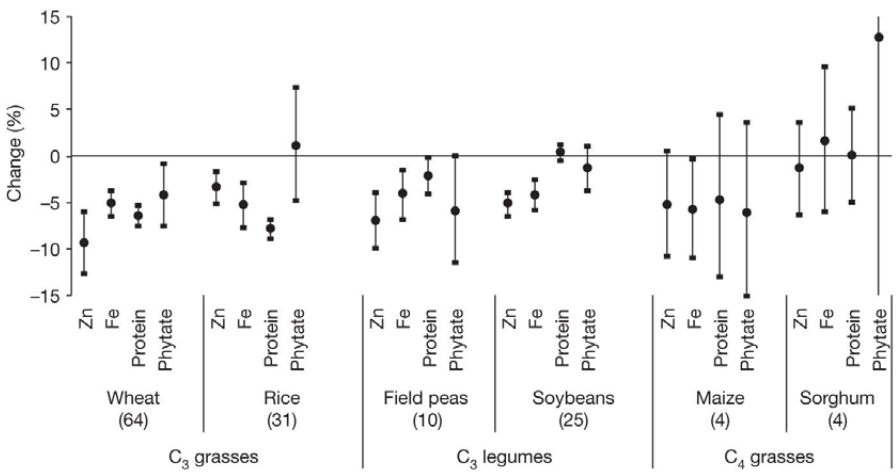
"En los próximos 50 años, necesitaremos producir tanto alimento como lo que ha consumido el ser humano en toda su historia"

Megan Clark, Presidente de la Organización para la Investigación Industrial y Científica del Estado (CSIRO), Australia

Por otra parte, el Ing. Sierra ya hablo sobre el cambio climático; los niveles de CO_2 son un hecho. Hace años, los niveles de CO_2 en la atmosfera eran 330 ppm, y en julio del 2015, ya se pasó la barrera de los 400 ppm. La concentración de CO_2 en la atmosfera está incrementándose.

En un trabajo publicado en la revista *Nature*, estimaron el impacto que puede tener el CO_2 en el trigo, si llegara a niveles de 546 ppm, lo cual es muy probable (Fig. 4). Los datos presentados en la Fig. 4 muestran que el zinc, entre otros nutrientes, es el que se va a ver más afectado. Los autores estiman una reducción de 10%.

Figura 4. **Cambio en el Porcentaje de nutrientes bajo elevados (546–586 ppm) niveles de [CO_2] en comparación a [CO_2] en el ambiente**



nature

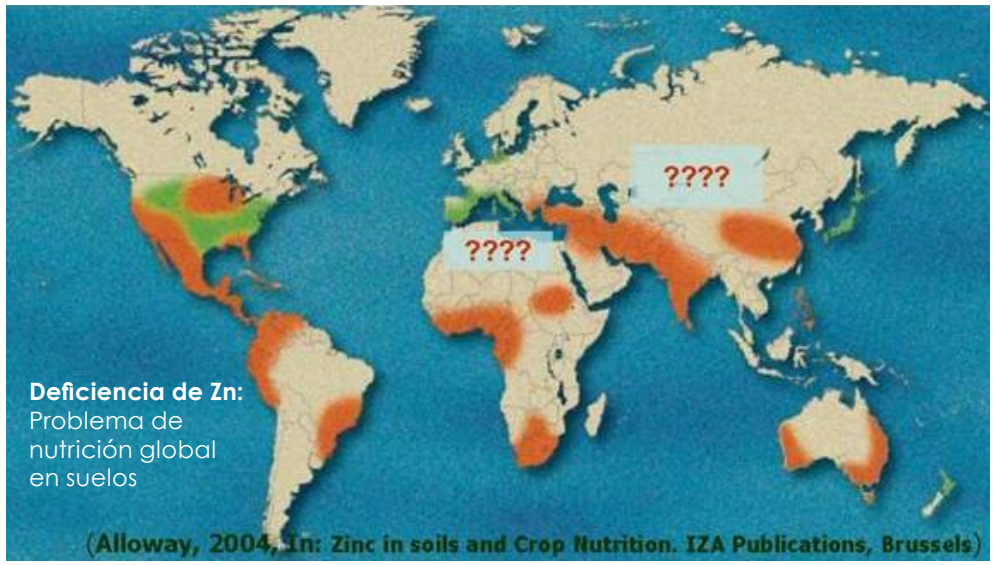
Fuente: **SS Myers et al. Nature 000, 1-4 (2014) doi:10.1038/nature13179**

EL ENFOQUE DEL PROGRAMA DE HARVEST PLUS

Antes de iniciar el proyecto y para decidir en qué regiones se iba a trabajar, se tomaron tres factores en cuenta:

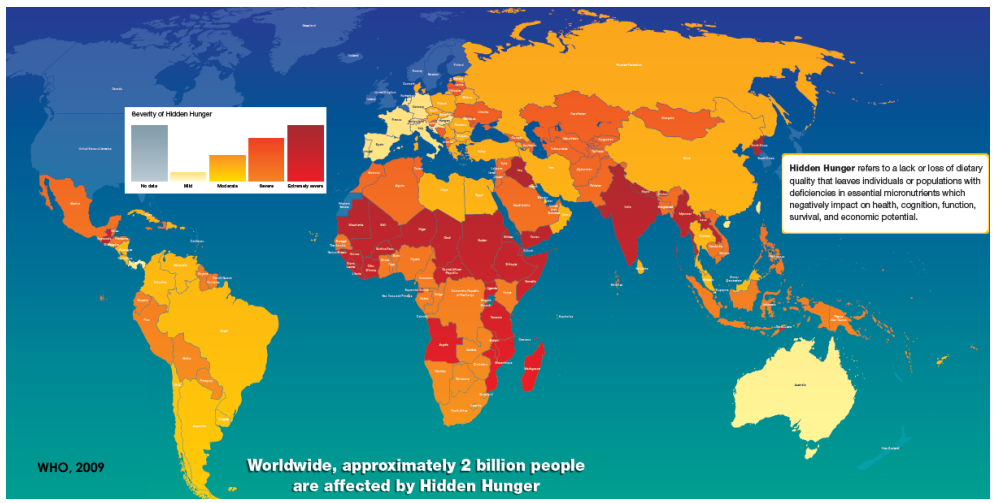
El primer criterio fue analizar regiones con deficiencia de zinc en los suelos, mostrado en el mapa (Fig. 5), que representa las zonas rojas donde la deficiencia de zinc es más severa. El déficit parece alcanzar a tocar la zona productora de trigo en Paraguay. Es importante porque los suelos deficientes en zinc, resultan en plantas deficientes en zinc y por lo tanto en personas deficientes en zinc. Es un ciclo, una cadena, donde todo está conectado. El mapa también muestra que los países como India y Pakistán, son zonas con problemas serios de deficiencia de zinc.

Figura 5. **Distribución geográfica de suelos con deficiencias de Zinc severa (rojo) y moderada (verde) a nivel mundial.**



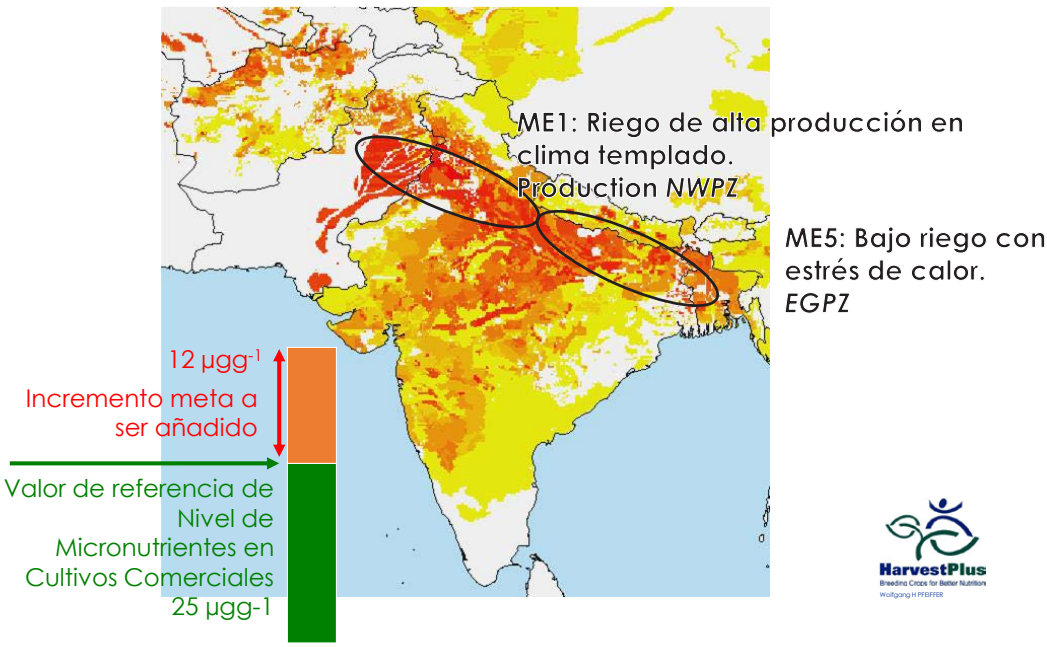
El segundo criterio fue estudiar la evidencia de problemas de deficiencia de zinc y de hierro en la población (Fig. 6). Nuevamente, los países India y Pakistán, están en una región donde hay un problema serio. Y este problema tiende a aparecer principalmente en niños y en mujeres.

Figura 6. **Deficiencia de micronutrientes a nivel mundial**



El tercer criterio fue recopilar las regiones donde el consumo de trigo sea una parte importante de la dieta de la población (Fig. 7). En un estudio que se llevó a cabo, se pudo ver que, en la parte llamada planicie indo gangética, el consumo de trigo es muy alto en las dietas. En base a esos tres criterios se decidió que el programa iba a concentrar sus actividades en India y Pakistán donde se encontró alto problema de deficiencia de zinc en la población y el trigo es un muy importante componente de la dieta.

Figura 7. **Áreas de enfoque para trigo rico en Zinc**



Ahora, el reto para los mejoradores fue incrementar la cantidad de Zn en las variedades adaptadas en esta región. La decisión de cuanto aumentar fue tomada en conjunto con nutricionistas. Ellos en base a sus cálculos, mencionaron la necesidad de incrementar la concentración de zinc del grano en 2 ppm. En un estudio hecho por otro investigador de CIMMYT, quien instaló experimentos en diferentes partes de esta región, se pudo observar que, en promedio, los trigos que no eran biofortificados y donde no se aplicaba zinc, la concentración normal era de más o menos 25 ppm. De acuerdo a los nutricionistas, para poder mostrar un espectro medible en la salud de las personas, se necesitaba incrementar la concentración de zinc en el grano 12 ppm. Los granos de trigo de esta región para que tengan algún beneficio en la población, necesitarían tener 37 ppm. En otras palabras, hay que agregar 12 ppm a lo que tienen normalmente de alguna forma, sea genéticamente o agronómicamente.

EL ESFUERZO DE MEJORAMIENTO

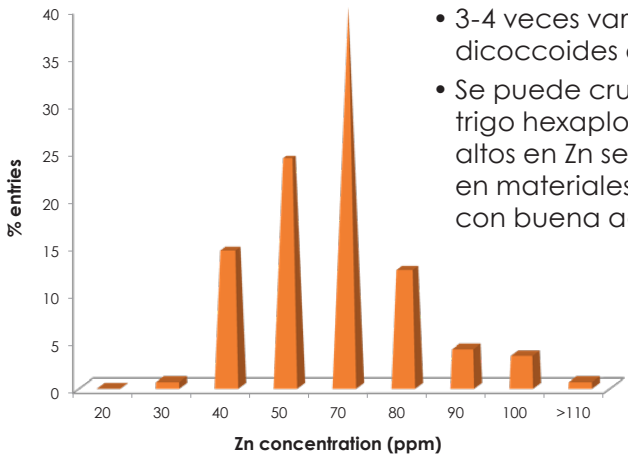
El Dr. Ravi Singh expuso sobre la importancia de incorporar resistencia a las enfermedades en las variedades de trigo. El aspecto muy importante es que, para que estas variedades biofortificadas sean adoptadas por los agricultores, las mismas necesitan tener el mismo nivel de rendimiento que las otras variedades. Y necesitan tener los mismos niveles de resistencia a enfermedades que las otras variedades. En pocas palabras, necesitan ser como las mejores variedades disponibles, más una concentración de zinc, más altas.

En este sentido, el CIMMYT está incorporando dentro de su programa de mejoramiento genético, el mayor rendimiento potencial, la resistencia a las tres royas usando el programa de Shuttle Breeding, donde se llevan a cabo dos ciclos por año. Tomando en consideración que ahora se hace el Shuttle Breeding con Kenia, donde pueden seleccionar por el Ug99, raza de la roya del tallo, y siguen man-

teniendo esa ventaja de reducir el tiempo de mejoramiento a la mitad del tiempo, con las características que necesitan tener las variedades que se van a liberar para India y Pakistán.

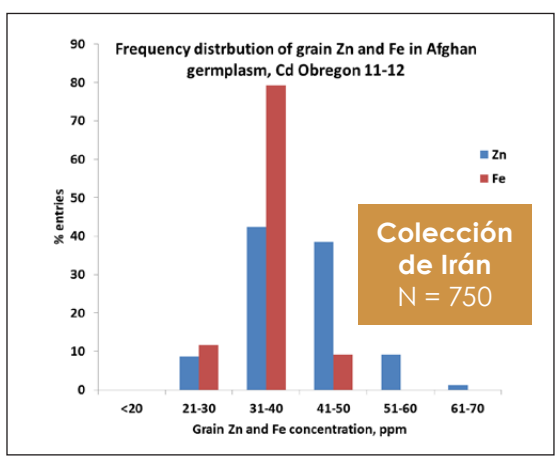
Para poder incorporar genéticamente niveles altos de hierro y de zinc fue necesario encontrar progenitores con altos niveles de hierro y de zinc, incluyendo los parientes silvestres de trigo como *Triticum dicoccoides,* y *Triticum monococcum* y *Triticum dicoccum* y variedades criollas, especialmente una colección de Irán, otra de Afganistán (Fig. 8 y 9). Como se puede ver en la Fig.8, los parientes lejanos silvestres del trigo fueron los más importantes en la variabilidad y contenido de zinc, lo cual es casi la peor noticia para un mejorador. El programa de mejoramiento tiene materiales elites seleccionados y cuando tiene que transferir un carácter de un pasto que se ve muy silvestre, es cuesta arriba. Hay que eliminar todos los genes negativos e incorporar la resistencia a enfermedades, el rendimiento potencial, la altura de planta etc. Es realmente un reconocimiento para los mejoradores, porque empezar con ese tipo de material genético a desarrollar el rendimiento igual que las otras variedades y además la resistencia a enfermedades, es realmente una labor muy difícil.

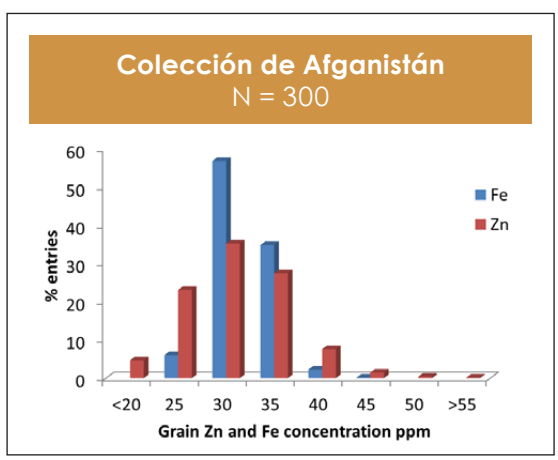
Figura 8. ***Triticum dicoccoides:* fuente potencial para alto Zn y Fe**



- 3-4 veces variación en contenido de Zn in T. dicoccoides originario de Israel (>300 accessions)
- Se puede cruzar con trigo hexaploide – alelos altos en Zn se introducen en materiales genéticos con buena adaptación

Figura 9. **Diversidad genética en material criollo**





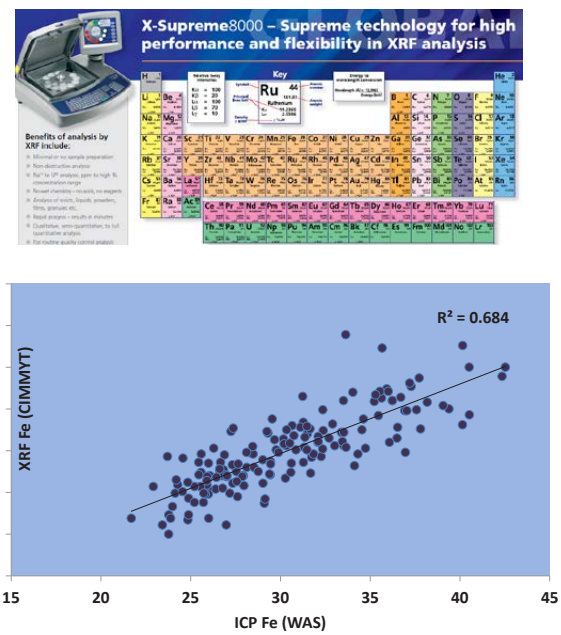
Otra parte muy importante para el mejoramiento genético de estas variedades fue mencionado el Dr. Javier Peña, métodos de bajo costo y que sean muy rápidos para permitir evaluar miles de líneas. El programa de trigo actual tiene que evaluar 10.000 líneas en ciudad Obregón, en lugar de 1000 líneas que se seleccionaba en su fase inicial. Afortunadamente, hubo gran evolución de las metodologías en los últimos 5 años. En su inicio, una prueba colorimétrica, muy lenta permitió análisis de imágenes, seguido con el infrarrojo cercano que da una relación más o menos decente, pero con mucha variabili-

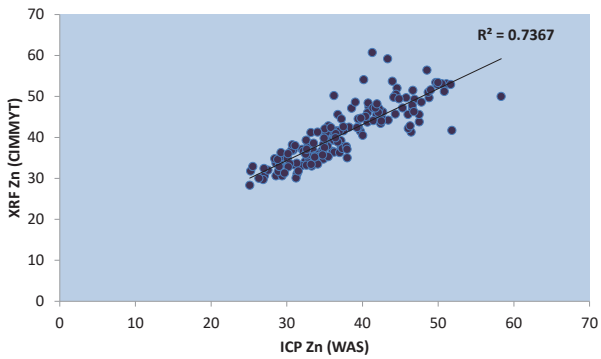
dad (Fig.10). La nueva tecnología de rayos X y fluorescencia, realmente fue la que cambió todo, porque permitió evaluar miles de líneas por su concentración de zinc, en forma rápida y barata.

Figura 10. **Desarrollo de métodos de análisis de alta eficiencia**

En la Fig. 11 se muestra unas correlaciones; el estándar es ISP, el método de plasma que es el más preciso, pero cuesta 15 dólares por cada muestra. Y el de rayos X, reduce mucho el costo y tiene buena correlación con el método estándar. Actualmente se está analizando 10000 muestras por año. Es una técnica rápida de bajo costo y con gran ventaja de que no destruye la muestra, la misma se puede conservar.

Figura 11. **Correlación de valores entre el método estándar ISP y los rayos X**





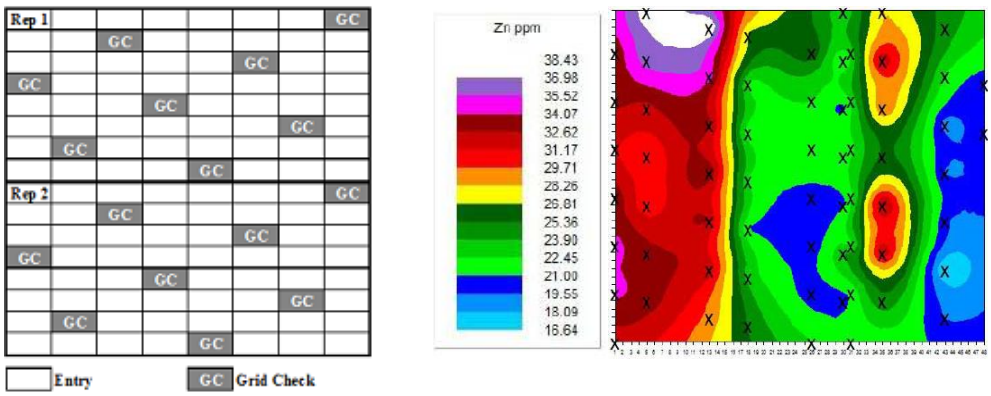
N >200 samples

Sets	No muestras	Correlación b/n ICP & XRF (r2)
Set 1	570	0.9
Set 2	800	0.8
Set 3	1204	0.7
Set 4	180	0.7
Set 5	140	0.6
Total	2894	

Otro reto importante aprendido cometiendo errores fue la gran variabilidad que puede haber en los suelos con concentración de zinc (Fig. 12). Al inicio se observó variedades con niveles de zinc bastante más altos que los padres, pero resulto que en realidad se debía a la variabilidad de la concentración de zinc en el suelo y no a las características genéticas de la planta. La variabilidad genética y la variabilidad del suelo fueron más grandes que la variabilidad entre las líneas. En otras palabras, la variabilidad

Figura 12. **Retos en el mejoramiento de trigo para aumentar los valores de Zinc**

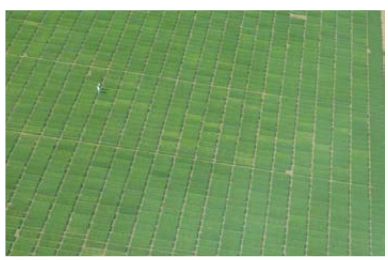
- Hetereogeneidad de Zn en suelos
- Aplicación común de 100 kg/ha de $ZnSO_4$
- Muestreo de grano en cada testigo en el patrón de cuadrícula (Waxwing)
- Diseño de experimento espacial y patrón de cuadrícula



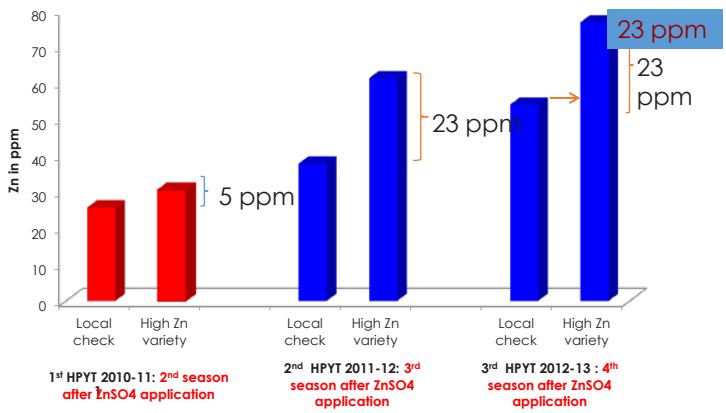
del suelo enmascara la variabilidad genética y es prácticamente imposible identificar las líneas altas genéticamente contra las altas en un terreno con elevada concentración de zinc. Para resolver este aspecto se aplicó dosis altas de zinc en el suelo para uniformizar el terreno y tener menor variabilidad.

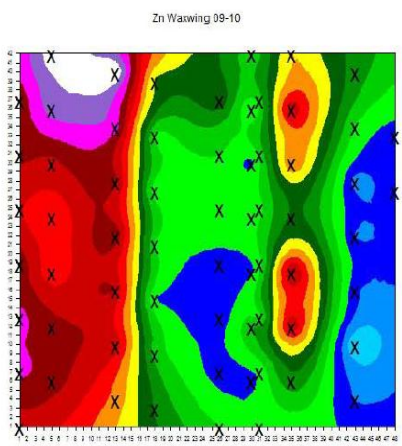
Es importante mencionar que la aplicación del sulfato de zinc tardó 3 años en estar disponible y mostrar diferencias en los genotipos evaluados, (Fig. 13). Pero durante ese tiempo se pudo aprender cómo usar la fertilización para incrementar los niveles de zinc en el grano. En realidad, no es una estrategia o la otra, porque se ha visto que las variedades biofortificadas necesitan tener unos valores mínimos de zinc en el suelo para que se exprese la diferencia genética entre variedades. Como fue mencionado anteriormente que las zonas de India y Pakistán, tienen una deficiencia importante de zinc; es posible que esas variedades biofortificadas no expresen su ventaja, a menos que tengan una fertilización adicional con zinc; entonces son estrategias complementarias.

Figura 13. **Selección de alto rendimiento y Zn en grano en Cd. Obregón, México**



- **Fenotipeado de precision para rendimiento potencial y Zn**
  - Uniformidad, buen manejo agronomico
  - CV <5% para rendimiento y Zn
  - Homogeneizacion del suelo con aplicaciones de ZnSO4





El programa que dirige el Dr. Ravi Singh ya desarrolló una nueva variedad Shakthi, que tiene 14 ppm zinc que las variedades normales. O sea que, con el objetivo de 12 ppm, esta variedad ya tiene 14 ppm; es precoz, de rendimiento competitivo con las otras variedades y resistente a la roya del tallo. Además, hay otras líneas avanzadas que ya están distribuidas entre 1000 agricultores innovadores en la India.

La variedad Shakthi fue llevada a las planicies indo gangéticas de la India y está siendo utilizada en una colaboración público privada. En la Fig. 14, se presenta un sistema de selección de variedades, PVS, donde el agricultor participa del proceso de selección de las mejores líneas. Eso empezó en 2012, con unas líneas biofortificadas y en el 2013 se las distribuyó en mil ensayos, utilizando pequeñas cantidades de semillas, llamados minikits. Para el 2014, ya se había alcanzado 6000 agricultores en los estados de Uttar Pradesh, Bihar, y otras provincias de la India. Para el 2015, se estimaban que ya habían llegado a 50.000 agricultores en esa región de India (Fig. 15).

Figura 14. **Liberación de variedades biofortificadas: Convenio Publico-Privado en India**

'Sai Zn-Shakthi' variedad de trigo: Muy temprana, rendimiento competitivo, resistencia a roya con + 14 ppm adicionales de Zn – Demostración en Uttar Pradesh, India
Sai Zn Shakthi + 5 lineas diseminadas a >1000 agricultores progresistas en India

Figura 15. **Distribución de la variedad Shakhti rica en Zinc en las la Planicies Indo Gangéticas a través de la participación privada privada (PPP)**

- **2012:** PVS día de campo en UP, India
- **2013:** 1000 ensayos mini-kit
- **2014:** >6000 agricultores adoptaron trigo Zn (UP, Bihar, Chhattisgarh and Uttrakhand)
- **2015:** >50,000 agricultores = 250.000 familias se verán beneficiadas

Colaboradores en la producción de Semilla BHU, Sai Seeds, Nirmal seeds, Astha Beej etc.

Otra variedad o línea, NR421, que fue desarrollada para Pakistán, también es precoz y con alto rendimiento, resistente a la Ug99 y que estaba planeada para liberarse en el 2015. Esta variedad tiene 40% más zinc y dentro de su ascendencia tiene la variedad Inqalab 91, que fue muy importante en Pakistán.

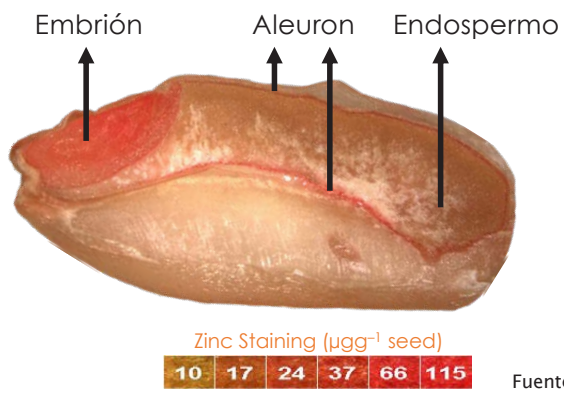
Figura 16. **Trigo Biofortificado con Zn en Pakistan**

Precoz, alto rendimiento, resistente a Ug99 para ser liberada en el 2015
40% mas Zn + background de la mega-variedad Pakistani **'Inqalab 91'**

PROCESAMIENTO DE LOS TRIGOS BIOFORTIFICADOS

El procesamiento de los granos biofortificados tiene su efecto sobre los aspectos nutricionales. Los micronutrientes, en general, se encuentran en la capa de aleurona, que son las capas externas del grano y del embrión (Fig. 17). Utilizando una tecnología con pigmentación, se puede ver que la mayor concentración de zinc (partes más rojas) se encuentra en la aleurona y el embrión.

Figura 17. **Localización y coloracion de Zinc en el grano de trigo**



Fuente: **Ozturk et al., 2006**

En la India se utiliza un tipo de pan plano llamado chapatti, que es de trigo casi integral. Muy pequeña proporción de grano se elimina después de la molienda y tiene 95% de retención de harina.

En un estudio, hecho conjuntamente con Javier Peña, para ver el efecto de la extracción, se pudo comprobar una retención de 53 a 60% de los micronutrientes (hierro y zinc) con 80% de extracción de harina (Figs. 18 y 19). Se puede apreciar la pérdida de una gran proporción de los micronutrientes que se encuentran en las capas externas del grano. En la harina blanca, se elimina esas capas externas y con el 70% de extracción, solo se queda 38-45% de los micronutrientes presentes.

Hay que mencionar que en esas mismas capas externas de aleuronas se encuentra un compuesto, *fitato,* que se cohesiona con el hierro y el zinc y reduce mucho su biodisponibilidad. Lo importante no es cuanto zinc se consume, sino cuanto zinc es biodisponible para la persona y el *fitato* afecta la

biodisponibilidad del hierro y del zinc. Los datos recabados muestran que, a diferentes niveles de extracciones, si se elimina hierro y zinc, pero hay más eliminación del fitato que el hierro y el zinc.

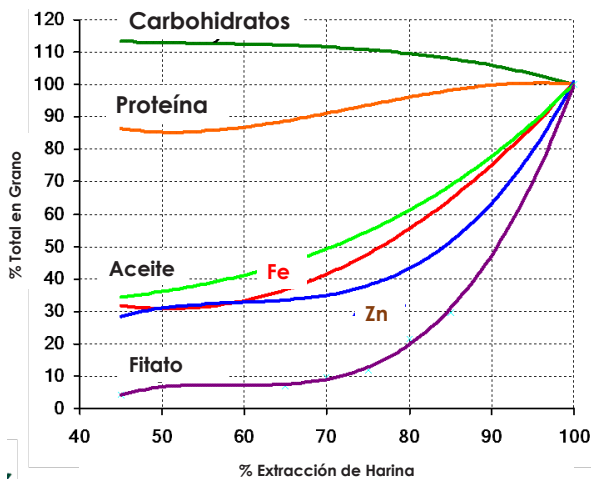
Figura 18. **Efecto de la molienda en cenizas y concentración de micronutrientes en la harina**

- No hay reducción de Fe y Zn al producir atta (pan hindú de harina integral).
- El tamaño y llenado de grano influencian las pérdidas de micronutrientes en el molido; a mayor llenado y tamaño, mayores pérdidas al ser molidos. (Separación más limpia).
- En el **80%** -extracción de harina, **53-60%** del Fe y Zn es preservado en el grano.
- En el **70%** -extracción de harina , **38-45%** del Fe y Zn es preservado en el grano.

Concentración de cenizas y micronutrientes (% total en grano. Promedio de 4 cultivares)

Material	Ceniza		Fe		Zn	
	Yr1	Yr2	Yr1	Yr2	Yr1	Yr2
Grano	100a	100a	100a	100a	100b	100a
Harina Integral	-	-	104.3a	97.9a	105.1a	96.6a
80% extr'n. type	53.7b	52.3b	57.6b	54.7b	60.2c	56.3b
75% extr'n. type	45.2c	43.8c	46.6c	47.5c	49.7d	46.1c
70% extr'n. type	38.2d	38.5d	40.9d	38.9d	44.6e	41.3d

Figura 19. **Efecto de distintos niveles de extracción sobre la composición de la harina**



Fuente: **Y. Pomeranz, 1978; Wheat: Chemistry and Technology, AACC.**

En otro estudio hecho por el Dr. Jorge Rosado, de la Universidad Autónoma de Querétaro, México, se utilizó trigo biofortificado para producir tortillas para alimentar un grupo de mujeres. Los resultados presentados en el cuadro de la Fig. 20, muestran que a un 95% de extracción de harina (casi trigo integral), el trigo biofortificado tiene 13.6 ppm de Zinc contra 7.9 del no biofortificado. A un 80% de extracción, la cantidad de zinc presente en ambos trigos se reduce más o menos a la mitad. Anteriormente se había mencionado que con 80% de extracción, el porcentaje del Zinc se reducía de un 56 a un 60%. En este estudio, a 80% de extracción el fitato se redujo casi cuatro veces. No hubo diferencia en la cantidad de zinc en la sangre de estas personas entre el trigo biofortificado de harina integral contra el trigo biofortificado con 80% de extracción. A pesar de que con este trigo se tiene la mitad de los micronutrientes, de haber eliminado tanto fitato, hizo que esa concentración, la mitad, fuera tan efectiva como la otra, que era el doble para incrementar los niveles de zinc en la

Figura 20. **Insumos diarios de Zn y Fitato en comparación con calculado y predicha absorción de Zn en mujeres que consumieron 95 o 80% de extraído del control y trigo biofortificado con Zn**

Extraction	Wheat	Zn intake	Phytate intake	FAZ	Absorbed Zn	Predicted[2] absorbed Zn
		mg/d	*mg/d*		*mg/d*	*mg/d*
95%	Control	7.9 ± 0.2	2200 ± 160	0.20 ± 0.05	1.6 ± 0.4	1.6
	Biofortified	13.6 ± 0.4*	2400 ± 120*	0.15 ± 0.05	2.1 ± 0.7*	2.3
80%	Control	3.9 ± 0.1	650 ± 30	0.38 ± 0.14	1.5 ± 0.5	1.5
	Biofortified	6.6 ± 0.1*	770 ± 80*	0.31 ± 0.07	2.0 ± 0.5*	2.1

[1] Values are mean ± SD, n = 14 (95%) or 13 (80%). *Different from corresponding control, $P < 0.05$.
[2] Predicted from trivariate model of absorbed Zn as a function of dietary Zn and phytate (5).

sangre de las personas. El mensaje importante es que no importa que se utilice la harina blanca o que este eliminando el 50% de zinc, porque, se está eliminando 4 veces la concentración del factor antinutricional que hace a ese zinc más disponible para las personas.

MANEJO AGRONÓMICO

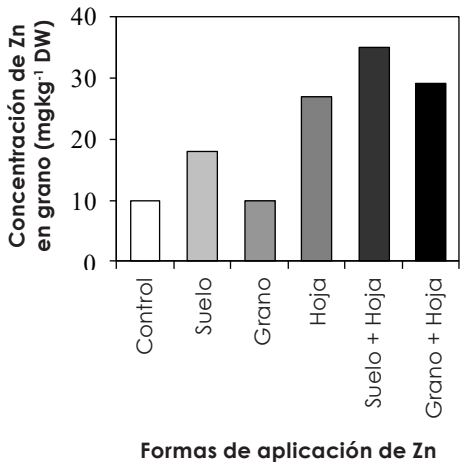
Desde el punto de vista agronómico, las etapas tempranas, los síntomas de deficiencia de zinc en trigo y la hoja sana sin problema son presentadas en la Fig. 21. En estado avanzado, se ve claramente como una mancha necrótica en las hojas.

Figura 21. **Síntomas de la deficiencia de zinc en comparación con una hoja sana**

Australia tiene la fama de tener los suelos más antiguos del mundo con todo tipo de deficiencias de micronutrientes, pero en cuestión de zinc, Turquía es peor que Australia. En un estudio hecho en Turquía, en los suelos más deficientes en zinc, el Dr. Cakmak quiso resolver como corregir los problemas de deficiencias de zinc. Se compararon un trigo testigo, con aplicar el zinc al suelo, o aplicarlo en la semilla en el momento de la siembra o aplicación foliar, o una combinación de al suelo y foliar, o combinación del tratamiento de la semilla y foliar. Los resultados mostraron que las aplicaciones foliares son las más efectivas para aumentar la concentración de zinc en el grano Fig. 22.

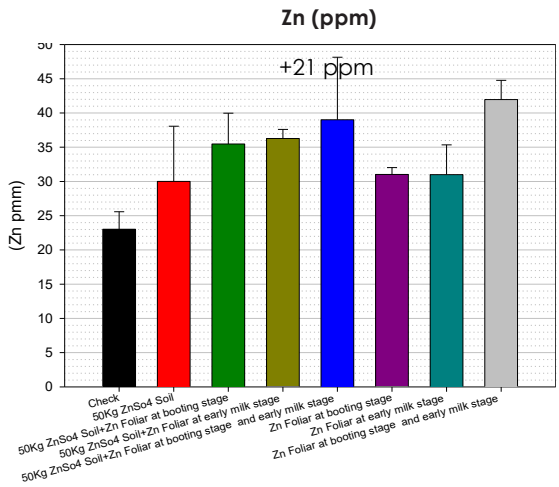
Otro estudio hecho en la Cd. Obregón, corrobora los resultados del estudio de Turquía en que las aplicaciones foliares son más efectivas. Si se hace dos aplicaciones foliares, hay una mejor respuesta que una sola aplicación foliar, Fig. 23. La última columna representa dos aplicaciones, en el embuche y segundo en grano lechoso.

Figura 22. **Aplicación de Zn en trigo en Anatolia Central incrementa hasta 3 veces su concentración en grano**



Fuente: **Yilmaz et al., 1997; J. Plant Nutr.21:2257-2264**

Figura 23. **Aplicaciones de Zn al suelo y foliar en diferentes etapas de desarrollo en trigo para incrementar la concentracion de Zn en el grano**



Otra cosa interesante es que este trabajo se hizo para ver la eficiencia de aplicaciones foliares entre el trigo, el arroz y el maíz. Los resultados muestran que, de esos tres cultivos, el trigo es el que responde mejor (Fig. 24). El incremento en el trigo fue de 79% con dos aplicaciones foliares, mientras que en el arroz solamente un 22% y en el maíz solo un 8%. La conclusión fue que hay que aprovechar esa ventaja que tiene el trigo de ser el que responde mejor a las aplicaciones foliares. Otra vez el Dr. Ismael Cakmak, de la Universidad de Sabanci, Estambul, Turquía, coordinó este grupo a nivel internacional, para evaluar las aplicaciones de zinc foliares y analizar su consistencia.

Figura 24. **Efecto de aplicaciones foliares y en suelo de Zinc en las concentraciones de Zinc en grano del maíz, trigo y arroz**

(Primera fase - Harvest Zinc)

Tratamientos	Trigo	Arroz integral (con cáscara)	Maíz
Sin aplicación de Zn	**19.3**	**15.6**	**15.2**
Aplicación en suelo Zn	19.4	15.9	16.3
Aplicación Foliar Zn (2x)	34.6	19.0	16.4
Suelo+Foliar Zn	35.4	19.8	16.4
Incremento relativo de Zn en grano por 2x Foliar Zn Spray (%)	**79**	**22**	**8**

Los resultados logrados en CIMMYT señalan que prácticamente se duplicó la concentración de zinc en el grano. Los datos promedio de 10 países y 32 localidades, con dos aplicaciones foliares, están presentados en la Fig. 25. Se puede observar que los tratamientos foliares en promedio duplican la concentración de zinc en el grano, que cubre el requerimiento determinado por nutricionistas de subirlo en 12 ppm.

Recién se han terminado cuatro años de experimentos donde fueron combinando el sulfato de zinc con herbicidas, fungicidas e insecticidas; donde el 90% del costo de una aplicación foliar es el paso de la maquinaria y el costo del sulfato de zinc es lo que se usa, más o menos el 7% del costo total.

Figura 25. **Concentración de Zinc en grano en diferentes países con y sin fertilización con el micronutriente**

Country/Location	-Zn	+Zn
	mg kg^{-1}	
India		
•Varanasi	29	47
•PAU-I	25	81
•PAU-II	28	77
•PAU-III	26	61
•PAU-IV	49	65
•IARI	33	45
Kazakhstan		
•Loc-I	19	54
•Loc-II	28	73
Pakistan		
•Loc-I	27	48
•Loc-II	28	44
•Loc-III	30	40
•Loc-IV	29	60

Country/Location	-Zn	+Zn
	mg kg^{-1}	
Mexico		
•Year-I	21	45
•Year-II	36	60
Turkey		
•Konya	12	29
•Adana	32	57
•Samsun	23	49
•Eskisehir	22	43
China		
•Loc-I	28	54
•Loc-II	19	26
Australia		
•Loc-I	18	39
Germany		
•Average	20	32
Iran		
•Average	17	28
Brazil		
•Average	30	52

Average of all countries -Zn: 26 +Zn:50

Aprovechar esos pasos de maquinaria de aplicaciones foliares de agroquímicos para poner el sulfato de zinc y ahorrar un 90% del costo de aplicación resulto ser muy positivo. De 16 localidades enseñadas, solo hubo una localidad donde no se incrementó el zinc, sino que se redujo la concentración de zinc en el grano. En todas las otras 15 localidades no hubo efecto o hubo un efecto positivo.

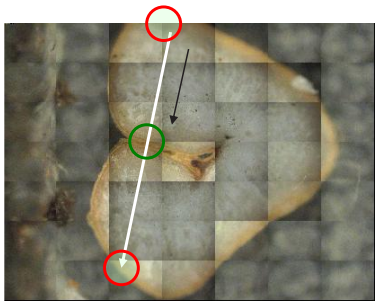
LOCALIZACIÓN DEL ZINC EN EL GRANO DESPÚES DE UNA APLICACIÓN FOLIAR

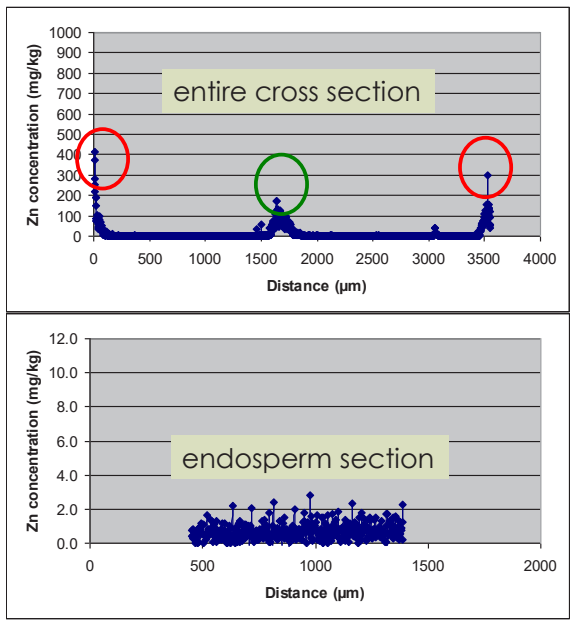
Se ha mencionado que la mayor concentración de zinc se encuentra en la capa de aleurona y en el embrión. Sin embargo, lo más deseable, es que el zinc se acumule en el endosperma y no tanto en

Figura 26. **Ablación con láser acoplada inductivamente espectrometría de masas de plasma (LA-ICP-MS) aplicada en semilla**

White arrow: Zn in entire cross section

Black arrow: Zn in endosperm section





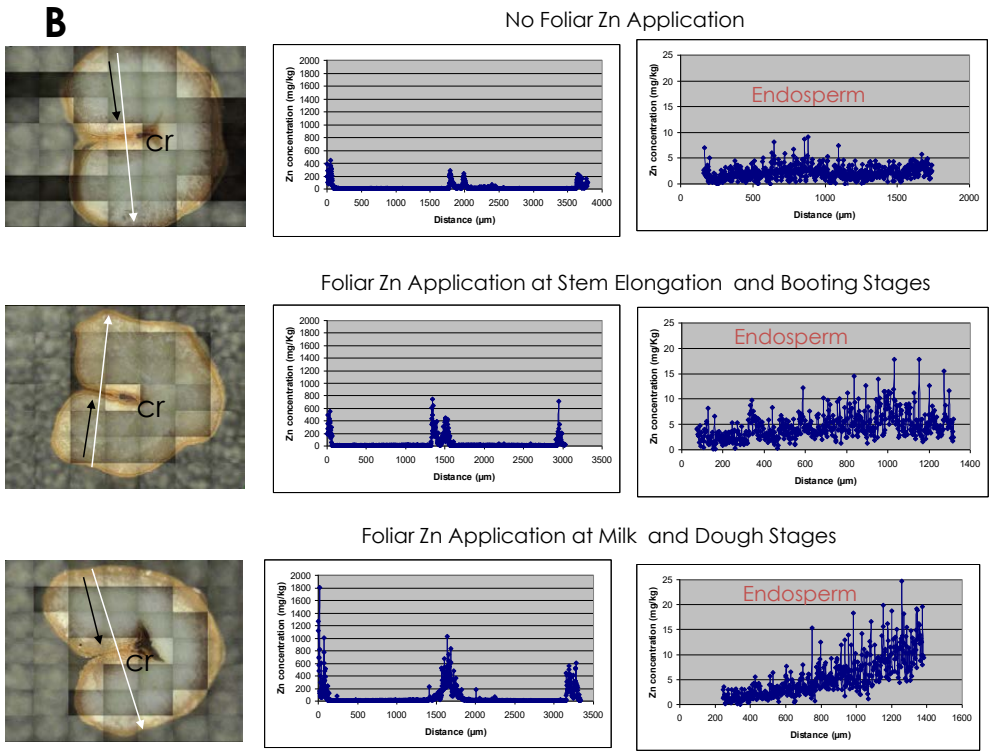
Fuente: **Cakmak et al., 2010, J. Agric. Food. Chem.**

las capas externas ya que las capas externas son las que pierden en producir harina blanca, perdiendo un 50-60% del zinc.

En un corte transversal de un grano de trigo, se puede ver que además de la aleurona, hay una alta concentración de zinc en el pliegue del endospermo (Fig. 26). Se puede ver que la concentración de zinc en las capas de aleuronas tiene los valores más altos (primer círculo rojo), en el endospermo son bajos (circulo verde), en el pliegue también hay una concentración mayor (segundo círculo rojo). En un acercamiento de lo que es en el endospermo la concentración es bastante constante y bajo.

En la Fig. 27 se muestra el efecto de las aplicaciones foliares. La primera gráfica es el testigo que no tuvo la aplicación foliar. Se puede ver como en el grano anterior, que solamente en la aleurona y el pliegue hay niveles más altos de zinc en el grano y en el endospermo es bastante constante.

Figura 27. **El efecto de las aplicaciones foliares de Zinc en distintos estadios fenológicos de trigo**



Si se hace una aplicación foliar al inicio de encañazón y la segunda en el embuche, hay un incremento en la concentración de zinc en el endospermo. Lo que es muy deseable porque ayuda a producir harina blanca sin perder tanto de zinc en el grano. Lo mejor es si se hace la aplicación en la etapa de lechoso-pastoso que es aún mayor la concentración de zinc en el endospermo.

Preguntas y plenaria

- Pregunta: ***Algunos dicen que en Paraguay no tenemos datos sobre las deficiencias del zinc en el suelo. ¿Hay algún otro factor que tú recomendarías?, que nos ayude como guía para ver si existe esa deficiencia, y si es así que análisis de suelo o prueba recomendarías hacerla.***

- **Dr. Iván Ortiz:** Los análisis de suelo no son tan poderosos para identificar deficiencias y los análisis foliares son más precisos. Entonces yo recomendaría tomar muestras de hojas. Sin embargo, algo que pudiera ser interesante es conseguir semillas de *Triticale.* El *Triticale* es increíblemente eficiente en el uso de zinc. El trigo normal con deficiencia

de zinc es muy bajo de altura, trigo con aplicación es mejor y alto, y el *Triticale* sin aplicación es igual de alto. Entonces una planta indicadora de si tiene problemas de deficiencia de zinc podría ser el *Triticale.* Si notan alguna diferencia en el desarrollo del *Triticale* en comparación al trigo, entonces es muy probable que tenga deficiencia de zinc. Lo cual habría que confirmar con muestras de tejido vegetal.

- **Dr. Mohan Kohli:** Sobre su sugerencia de usar la planta de *Triticale* como indicador, hay diferencias entre *Triticales* completos o sustituidos.

- **Dr. Javier Peña:** No conozco que haya datos en eso. Ravi me dice que un indicador también podría ser la concentración de zinc en el grano. Generalmente cuando hay baja concentración en el suelo, la concentración en el grano también es baja. Si tiene como 9 o 15 ppm de zinc en el grano, podría llegar a ser un indicador de deficiencia de zinc. Entonces, se podría chequear el zinc en el grano, el zinc en las hojas y sembrar *Triticale* en el campo.

- **Dr. Ivan Ortiz:** Yo creo que eso del *Triticale*, es por ser hibrido entre el trigo y el centeno. El centeno es el cereal mejor adaptado para suelos marginales. Yo creo que de ahí llegaron los genes al *Triticale*.

- **Dr. Javier Peña:** Yo preguntaría si hay algún estudio que demuestre si hay deficiencias en hierro o en zinc en la población, o en alguna parte de la población en el Paraguay.

- **Dr. Mohan Kohli:** No conozco.

- **Dr. Iván Ortiz:** Si vemos el mapa que presenté en la segunda transparencia, a Paraguay lo ponen como un país con problemas de deficiencia, no la más severa, pero esta como en segundo lugar de cinco lugares.

- Dr. Mohan Kohli: ***Esa pregunta puede ser para Ravi o Iván: ¿Han observado alguna ventaja de la variación de zinc en los trigos y su resistencia a enfermedades foliares o enfermedades?.***

- **Dr. Ravi Singh:** El trabajo de mejoramiento es muy nuevo. Apenas están saliendo líneas nuevas y para hacer eso uno necesita varias líneas con alto contenido para determinar. Hasta ahora hemos visto si son susceptible a roya, susceptibles a *septoria* también, y a *fusarium* es lo mismo, entonces puedo decir observación no. Con respecto a los otros comentarios, un método que nosotros usamos; no sabíamos si hacer selección en ese suelo donde se incrementó el contenido de zinc para homogeneizar. Si va a funcionar o no cuando lleva ese material. Son de Asia, India y Pakistán, de varias localidades, pero nuestra sorpresa fue encontrar líneas que tenían alto contenido, también demostraron eso, en varias localidades en India y Pakistan. Entonces la barrera esa que tuvimos en mente, si mejorar si hay bajo contenido, de todos modos, sí hay incremento. Los mejores siempre van por arriba. Y la otra cosa que iba a decir es que cuando el trigo es biofortificado, esos niveles ya tienen las líneas que contienen más.

- Pregunta: ***En su experimento y cuando lo aplican al zinc en esa variedad de manera foliar, qué resultados tienes en el nivel de zinc, ¿subió mucho más, o no tuvo efecto?***

- **Dr. Iván Ortiz:** Sí, ya se hizo un experimento, pero todavía no se analizaron los datos. No podría decirte. La información está ahí. Solo falta analizarla.

  Con respecto a la primera pregunta, también hay otra posibilidad para saber si tienen deficiencia de zinc o no. Ya sea una aplicación al suelo o una aplicación foliar, en una franja. Puede ser una pasada de tractor, o si es a mano con una mochila. Y si va a ser foliar, hay que aplicarla en etapa de 4-5 hojas. Si va al suelo, hay que incorporarlo porque el zinc, es muy parecido al fósforo. Es poco movible, entonces hay que ponerlo donde están las raíces. Como hay mucha siembra directa aquí, no lo pueden echar al voleo, pero sí sería importante ponerlo en bandas, pues a unos diez centímetros de profundidad si es posible, o sino en una aplicación foliar en etapa de 4-5 hojas.

Expositores del primer día del Seminario.

Ganadores del Concurso de Redacción Paraguay Alimenta al Mundo organizado por el INBIO.

Manejo Racional de la *Fusariosis* de la Espiga y DON en Trigo

Rational Management of Fusarium Head Blight and DON Content in Wheat

Silvia Pereyra[1]

M. Díaz de Ackermann[1], **A. Cal**[1], **M. Castro**[1], **G. Garmendia**[2], **S. Germán**[1], **M. Quincke**[1], **P. Silva**[1], **D. Vazquez**[1], **S. Vero**[2], **M. Umpierrez**[2]

[1] INIA Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, La Estanzuela, Ruta 50 km 11, Colonia, CP 70000, Uruguay.

[2] Facultad de Química, Universidad de la República, Gral Flores 2124, Montevideo, CP11800, Uruguay.

spereyra@inia.org.uy

RESUMEN

La fusariosis de la espiga (FE) es una de las enfermedades más devastadoras de trigo en el mundo. En Uruguay representa una de las principales limitantes para la producción de este cultivo, con epidemias registradas cada cuatro años en las últimas dos décadas. A nivel mundial no existe una única medida capaz de ser totalmente efectiva para su control.

En los últimos 15 años, los productores han tenido pérdidas económicas importantes por la FE, así como la industria tratando de cumplir con el decreto 533/001 sobre el contenido de deoxinivalenol (DON) en harina y subproductos de trigo, y los exportadores tratando de atender a las restricciones crecientes en los niveles de DON en grano impuestos por algunos países compradores. A su vez, en estos últimos años se han logrado importantes avances en el conocimiento de la biología y epidemiología de la FE en nuestros sistemas de producción y en las herramientas que disponemos para minimizar su riesgo. Se presentará información relacionada a dichos aspectos. Con el fin de optimizar las medidas de control para FE, se estudió el efecto de la resistencia del cultivar y el uso de fungicida y su interacción en la FE, granos con *Fusarium* y contenido de DON a post-cosecha, rendimiento y calidad física del grano. Se caracterizaron cultivares y líneas avanzadas en colecciones específicas y ensayos durante 2011-2014 bajo niveles intermedios a altos de FE. Pocos cultivares en producción tuvieron niveles aceptables de resistencia a FE y representaron 7, 10

y 15 y 21% del área de trigo en 2011, 2012, 2013 y 2014, respectivamente. Los fungicidas con mayor eficiencia en el control de la FE fueron metconazol, solo o en combinación con epoxiconazol y prothioconazol en combinación con tebuconazol. Estos fungicidas redujeron significativamente el índice de FE (IFE), porcentaje de granos con Fusarium a cosecha (PGF) y el contenido de DON e incrementaron el rendimiento de grano y peso hectolítrico. A pesar de que varias mezclas de triazoles + estrobilurinas y triazoles + carboxamidas + estrobilurinas redujeron IFE y PGF, el nivel de DON fue alto. La eficacia de los fungicidas en reducir la FE y DON e incrementar el rendimiento de grano fue mayor en los cultivares INIA-Génesis 2375 e INIA-Génesis 6.87, moderadamente resistentes a FE, comparados con el cultivar susceptible INIA Don Alberto. Los resultados de este trabajo sugieren que es posible manejar a la FE y el contenido de DON en niveles aceptables mediante la combinación de resistencia genética del cultivar, aplicación de los triazoles recomendados en inicio de floración con picos TwinJet60°, con la asistencia de sistemas de predicción como DONcast.

ABSTRACT

The Fusarium Head Blight (FHB) is one of the most devastating diseases of wheat in the world. It represents one of the major limiting factors for the crop production in Uruguay, with epidemics registered every four years over the last two decades. At a global level there is no single strategy effective for its total control. Over the last 15 years, producers have suffered significant economic losses due to FHB, and the industry is trying to comply with Decree 533/001, which puts a limit on the deoxynivalenol (DON) content in flour and wheat by-products; while exporters are trying to meet the growing restrictions on the levels of DON in the grain imposed by some importing countries. However, in the recent years, important advances have been made in understanding the biology and epidemiology of FHB in the production systems and in the tools available to minimize its risk. Information related to these aspects of the disease will be presented. In order to optimize the control measures for FHB, the effect of the cultivar resistance, the use of fungicides and their interaction with FHB, grains with Fusarium and post-harvest DON content, grain yield and industrial quality of the crop were studied. During 2011-2014, cultivars and advanced lines were characterized in specific collections and trials were conducted under intermediate to high levels of FHB. Few commercial cultivars had acceptable levels of FHB resistance which represented 7, 10 and 15 and 21% of the wheat area in 2011, 2012, 2013 and 2014, respectively. The fungicides with greater efficiency in the control of FHB were metconazole, alone or in combination with epoxiconazole and prothioconazole in combination with tebuconazole. These fungicides significantly reduced the FHB index (IFE), the percentage of grains with Fusarium at harvest (PGF) and the DON content while increasing grain yield and test weight. On the other hand, several mixtures of triazoles + strobilurins and triazoles + carboxamide + strobilurins reduced the IFE and PGF, but the level of DON was high. The efficacy of fungicides in reducing FHB and DON and increasing grain yield was higher in cultivars INIA-Genesis 2375 and INIA-Genesis 6.87, both moderately resistant to FHB, compared to the susceptible cultivar INIA Don Alberto. The results of this work suggest that it is possible to manage the FHB and the DON content at acceptable levels by combining the genetic resistance of the cultivar, application of the recommended triazoles at the beginning of flowering with TwinJet60 ° nozzles and with the assistance of DONcast as a predictor.

INTRODUCCIÓN

Es un placer para mi venir a compartir con ustedes la experiencia que tenemos en Uruguay con la fusariosis de espiga (FE) y con el objetivo primordial que tenemos en cada campaña, que es un gran desafío, de tener un grano sano, pero por sobre todo inocuo, sin toxinas, tanto para la población de Uruguay como para los mercados a los cuales exportamos trigo.

El objetivo es presentar los conocimientos avanzados, así como ennumerar todas las medidas posibles que desde la investigación hemos ido aportando para que los productores tengan un paquete de manejo para esta enfermedad. Y nos vamos a enfocar también en algo muy específico, que son los sistemas de predicción, que es una herramienta más para este paquete de manejo.

La FE es una enfermedad que representa un gran desafío para el manejo de los cultivos en cada zafra. La enfermedad es severa en algunos países del Cono Sur, pero sobre todo en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay.

Esta enfermedad afecta el rendimiento de grano y las mermas en el mismo pueden llegar hasta 31% en Uruguay. También no solo afecta la calidad física del grano. Por ejemplo, disminuye el peso hectolítrico y tamaño de grano, sino también variables de calidad industrial por las enzimas que el hongo produce y que pueden destruir gránulos de almidón, paredes celulares y también afectar las proteínas del endospermo. Pero algo que es muy relevante en cuanto a esta enfermedad, es la producción de micotoxinas o toxinas, sobre todo por las especies que son prevalentes en la región; las más importante son: deoxinivalenol (DON), nivalenol (NIV) y zearalenona (ZEA).

En Uruguay tenemos una regulación que está vigente desde el año 2001, que fue un año en el que tuvimos una gran epidemia de esta enfermedad. Entonces se estableció por decreto un límite máximo de 1 ppm de deoxinivalenol (DON) en harina de trigo, subproductos y alimentos elaborados en base de trigo. En años epidémicos, el cumplimiento de esta normativa es específicamente fiscalizado en los molinos.

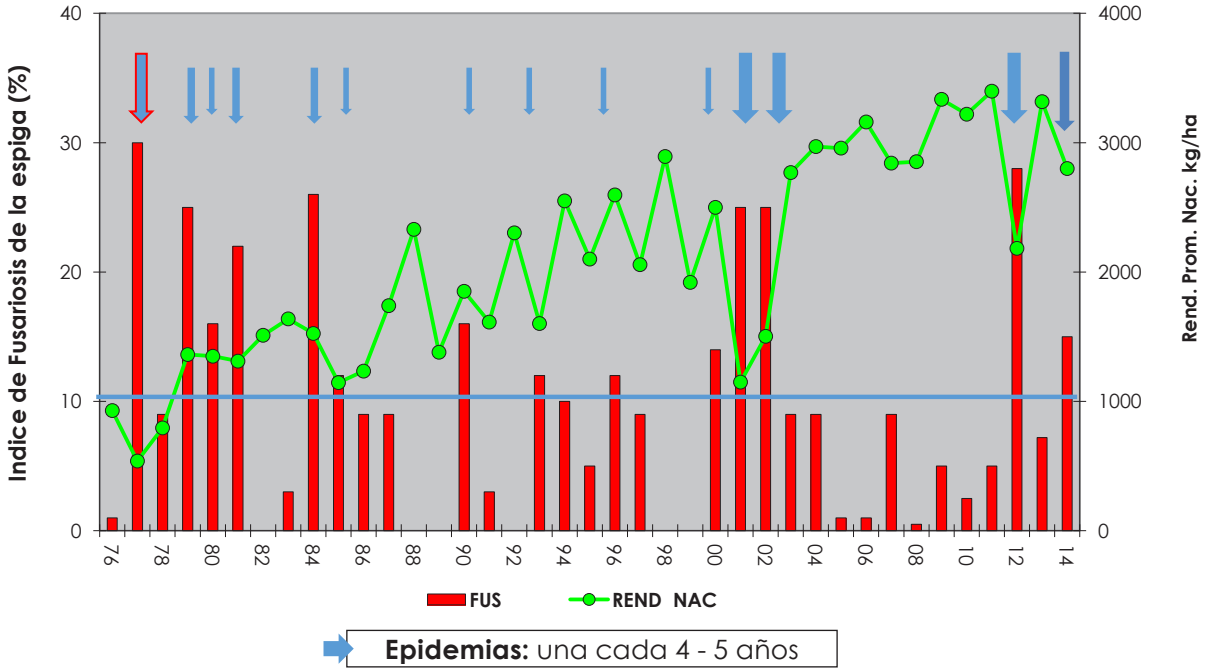
También hay una Resolución por parte del Ministerio de Agricultura, Pesca y Ganadería que establece un límite máximo de 10 ppm en las materias primas que están destinadas a la alimentación animal. Hay niveles máximos establecidos según la especie animal y la categoría, que van de 1 ppm en cerdos, 2 ppm en vacas lecheras y 5 ppm en ganado de carne. Debido a que una parte del volumen que se produce se exporta, es necesario atender los requisitos de los países importadores de trigo. Este aspecto es relevante para la exportación a Brasil, que está cada vez más limitando los niveles; siendo cada vez más bajas las tolerancias, y aún por debajo de 1 ppm, que es lo que tenemos en efecto en Uruguay.

LA ENFERMEDAD Y LOS FACTORES DE PREDISPOSICIÓN

La FE es una enfermedad que ocurre en forma epidémica, en un promedio de cada 4 o 5 años, en las condiciones de Uruguay (Fig. 1). Se puede observar la frecuencia de las epidemias desde el año 1977, que fue la gran epidemia documentada, como ocurren sistemáticamente. Allí se presenta el índice de FE promedio determinado en los cultivares en evaluación en todos los ensayos de diferentes localidades y épocas de siembra para cada año junto a los rendimientos de grano nacionales promedio. En los años epidémicos de FE, los rendimientos bajan significativamente.

Hay una serie de factores que afectan la ocurrencia de FE y por tanto, contribuyen a la presencia de DON en el grano cosechado. Entre los factores, el primero, segundo y tercero siempre es el clima, porque las condiciones ambientales son las fuerzas motoras para que esta enfermedad ocurra (Fig. 2). Esto ocurre porque en nuestros sistemas de producción el inóculo está siempre, los cultivares de trigo que se siembran poseen mayor o menos grado de susceptibilidad a FE y el factor principal para que cierre el triángulo de la enfermedad y lo tengamos en forma epidémica es el clima. Cómo combinar el resto de los factores presentes en el diagrama (cultivar, fungicida, etc.) determinarán el contenido de las micotoxinas en el grano cosechado.

Figura 1. **Fusariosis de la espiga promedio registrada en los cultivares en evaluación en distintas localidades y rendimientos nacionales promedio de trigo (1976-2014)**



Clima

Las condiciones óptimas predisponentes para FE son la temperatura en el promedio de 24-28˚C, y por lo menos dos días de humedad permanente en la espiga. Estas condiciones favorecen la infección y el desarrollo de la enfermedad, y sobre todo la presencia de días nublados, que es cuando hay baja radiación UV.

Estas condiciones climáticas han ocurrido de manera diferente en las últimas zafras (Fig. 3). Si vemos lo que fue el 2012 y 2013; eso representó dos zafras contrastantes donde la enfermedad fue un problema, pero el desarrollo de la epidemia fue totalmente diferente.

Figura 2. **Contribución de distintos factores al contenido de DON en el grano**

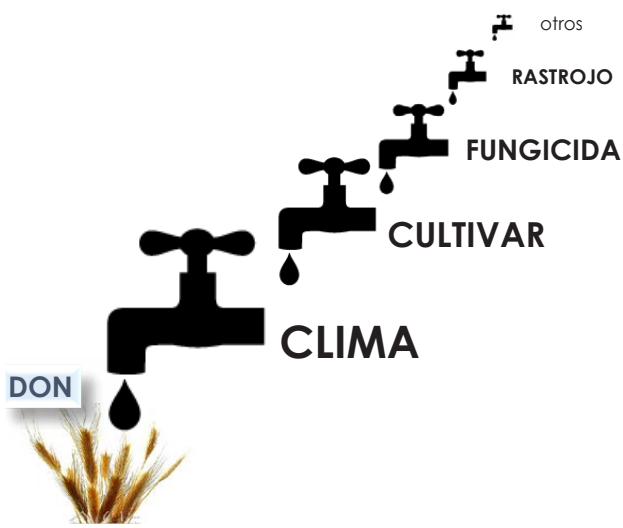
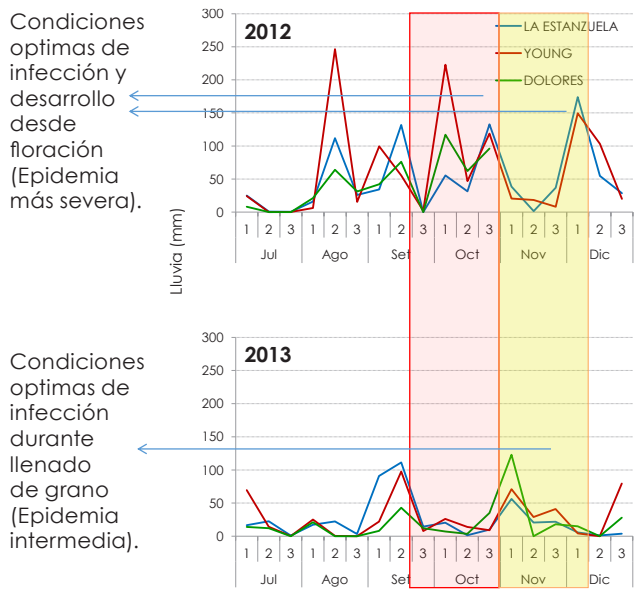
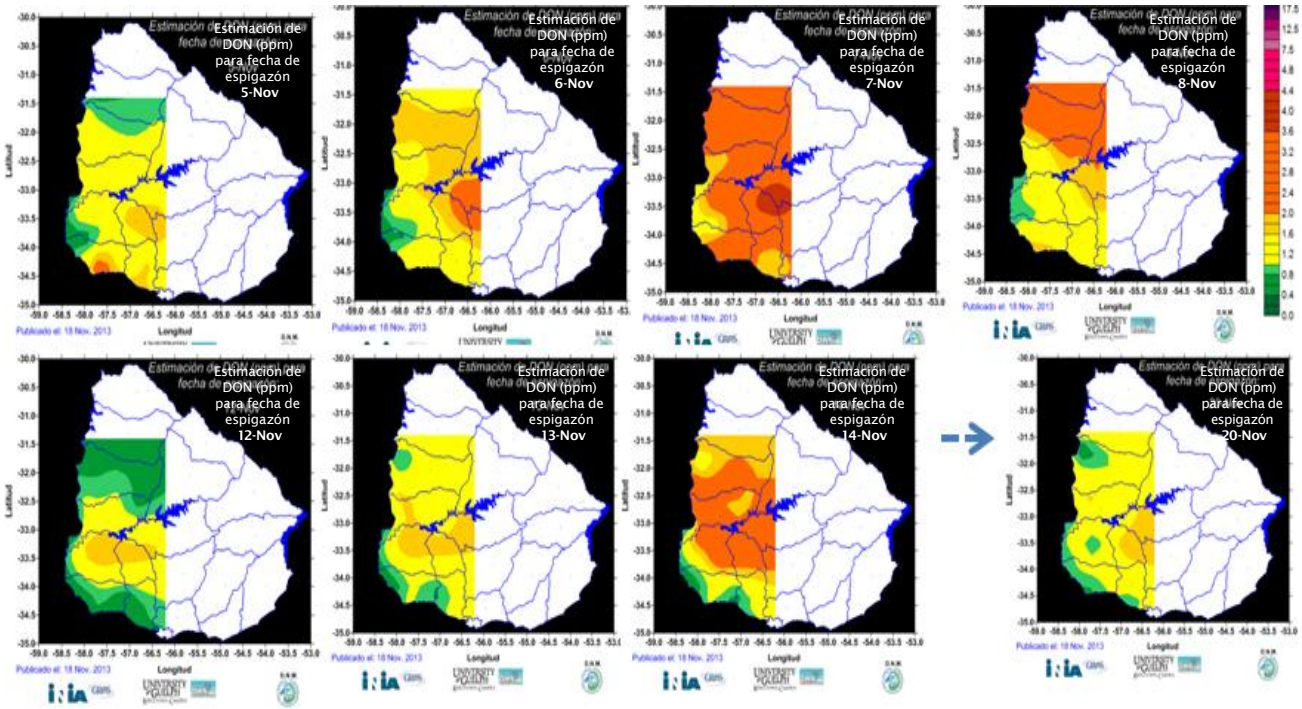


Figura 3. **Condiciones climáticas favorables para la infección de la Fusariosis durante 2012 y 2013**



El períodos más relevante para que ocurra infección es floración (antesis). En las condiciones de Uruguay y para los ciclos de los cultivares que se siembran, esto ocurre a partir de mitad de setiembre y durante todo el mes de octubre. Sin embargo, también durante el llenado de grano, en especial en las primeras etapas del mismo, podemos tener infecciones tardías si ocurren condiciones favorables para ello (Fig 3). En las tres localidades que van desde el sur a más al norte, se observan las lluvias en el año 2012, condiciones extremadamente favorables para infecciones muy tempranas y luego durante el desarrollo del grano. En el caso del 2013, no hubo condiciones para la infección durante la floración, pero si en etapas del llenado de grano ocurrieron lluvias abundantes, que propiciaron una infección tardía. En la Fig. 4 se presentan los mapas de riesgo según el sistema de pronóstico DON-CAST para algunos días de noviembre de 2013. Se observa que especialmente en las dos primeras décadas de ese mes, las condiciones ocurridas indicaron niveles de DON en grano superiores a los deseados (2 ppm) en casi toda el área del trigo. En estas infecciones tardías, la toxina se encuentra localizada principalmente en las capas más externas del grano desarrollado.

Figura 4. **Condiciones predisponentes a infecciones tardías (durante llenado de grano) en 2013 en gran parte de la región del cultivo**

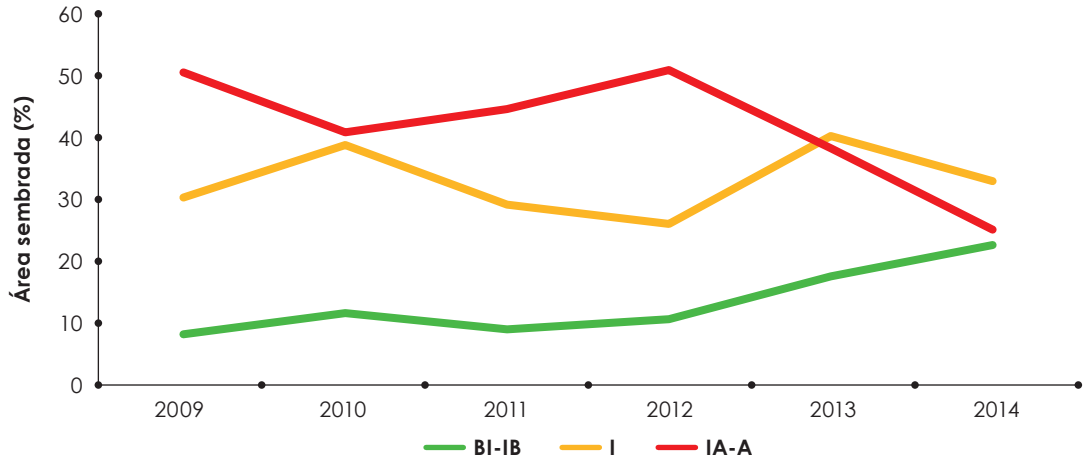


Cultivar

Una herramienta que si podemos manejar es el cultivar porque el clima es un factor que decididamente no está en nuestras manos manejar.

En el país realizamos una caracterización extensa en cuanto al comportamiento frente a todas las enfermedades de los cultivares que están a nivel de producción y de materiales a ser liberados que cumplen tres años de evaluación oficial. En la Fig. 5 se presenta el área del porcentaje de trigo según la susceptibilidad de los cultivares a la FE . En esta gráfica específica se presenta la evolución del área de los cultivares según su comportamiento a FE en grupos (resistentes, intermedios y susceptibles) en el período 2009-2014. En 2009 ocurrió una 2009 una epidemia moderada y una muy severa en el 2012. En consecuencia, siempre ocurrió una baja en las áreas de los cultivares susceptibles que se siembran en años posteriores. Como resultado en el énfasis que hemos hecho en el mejoramiento por resistencia genética para esta enfermedad tanto a nivel nacional como regional, tenemos ya casi un 20 % del área con materiales moderadamente resistentes. Actualmente tenemos al menos cinco cultivares que poseen un comportamiento aceptable para esta enfermedad, y que son los que componen ese 20 % del año (Cuadro 1).

Figura 5. **Área (%) de trigo según la susceptibilidad de los cultivares a FE (2009-2014)**



Cuadro 1. **Comportamiento de cultivares de trigo frente a FE**

CULTIVAR*	FUS
GENESIS INIA 6.87	BI
BAGUETTE 19	IB
FUSTE	IB
GENESIS INIA 2375	IB
KLEIN NUTRIA	IB
GENESIS INIA 2366	IB-I
ALGARROBO	I
BAGUETTE 801 PREMIUM	I
BAGUETTE PREMIUM 11	I
INIA MADRUGADOR	I
INIA CARPINTERO	I
GENESIS INIA 6.81	I
KLEIN TAURO	I
KLEIN GLADIADOR	I
KLEIN YARARA	I

CULTIVAR*	FUS
LAPACHO	I-IA
AGP FAST	IA
BAGUETTE 501	IA
BAGUETTE 601	IA
SY 200	IA
KLEIN RAYO	IA
BIOINTA 1006	AI
BIOINTA 3006	AI
SY 110	AI
SY 300	AI
GENESIS 2359	AI
INIA DON ALBERTO	A
NOGAL	A

Fuente: **Modificado de Castro et al. (2015)**
www.inia.uy/documentos

SUSCEPTIBILIDAD B: BAJA; I: INTERM.; A: ALTA
* Más de 3 años en evaluación

La caracterización de los cultivares se hace en viveros específicos a campo durante tres años, y le damos las condiciones favorables para que se exprese la FE. Por otra parte, no se promueve niveles extremadamente altos de infección porque no hay inmunidad para FE, aunque sí hay materiales que se comportan con un mejor nivel de resistencia (Fig. 6). Además, se hace la caracterización en ensayos en distintas localidades y en varias épocas de siembra, colectando la información de la enfermedad a nivel de campo, a la cosecha y de la toxina DON.

Adicionalmente, los cultivares en producción, líneas avanzadas del programa de mejoramiento de INIA y las fuentes de resistencia utilizadas en cruzamientos se caracterizan los tipos de resistencia. Se pone especial énfasis en el tipo II, asociada a la resistencia a la dispersión (colonización) del hongo en la espiga. Ésta caracterización se realiza bajo condiciones de invernáculo y fitotrones (Fig. 6).

Figura 6. **Evaluación de la FE bajo condiciones de campo y en invernadero**

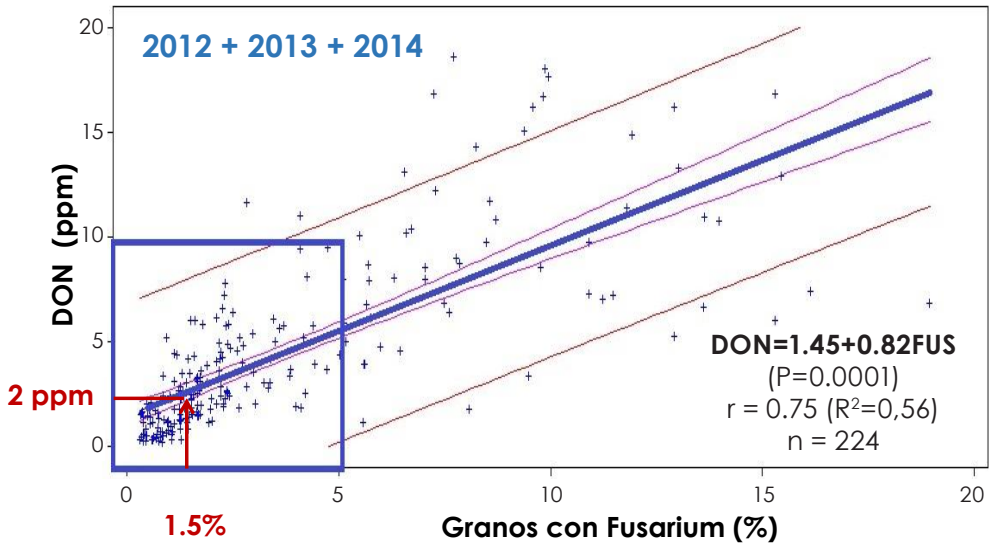
Es fundamental contar con la información de campo (incidencia y severidad de FE), invernáculo (caracterización del tipo de resistencia II) y laboratorio (porcentaje de granos con Fusarium, contenido de toxina DON). En el caso de cultivares susceptibles a nivel de campo, se observan altos niveles de grano con Fusarium luego de la cosecha y contenido de DON y en especial en años en los años epidémicos. En el Cuadro 2 están agrupados los cultivares en cuanto a la susceptibilidad a la FE para tres zafras con distintos tipos de epidemia: epidemia muy severa (2012), epidemia tardía (2013) y epidemia intermedia (2014). Se puede observar que los cultivares con mayor resistencia tienen menor porcentaje de Fusarium en granos, y también sensiblemente menor nivel de DON en comparación con los cultivares que son más susceptibles a FE. Los niveles del DON en cultivares resistentes, sobre todo en el 2013 y 2014, son valores manejables por la industria, no así de los cultivares más susceptibles.

Cuadro 2. **Granos con *Fusarium* y contenido de DON según el comportamiento frente a FE de cultivares en las últimas zafras**

SUSCEPTIBILIDAD DE CULTIVARES A FE	2012 n=85		2013 n= 109		2014 n= 75	
	FUS grano (%)	DON (ppm)	FUS grano (%)	DON (ppm)	FUS grano (%)	DON (ppm)
A,AI,IIA,IA	8.61	9.3	1.58	2.5	2.39	4.2
I	5.90	5.8	1.27	2.2	2.03	3.4
BI,IB	3.16	3.0	0.82	0.9	1.31	2.0
Relevamiento Nacional (MNT)	4.79	6.2	1.51	2.3	1.90	2.3

En cuanto a la relación con toxinas, también hay un paralelismo entre el bajo nivel del porcentaje de granos con Fusarium y los que tienen menor contenido de DON. En la Fig. 7 se presenta la información del contenido de DON y porcentaje de granos con Fusarium luego de la cosecha del relevamiento nacional de las campañas de esos tres años (2012, 2013 y 2014). Estos datos se corresponden con los obtenidos experimentalmente según los distintos grupos de categorización para FE.

Figura 7. **Relación Fusarium en grano – contenido de DON**



CONCLUSIÓN: Puede ser alta, pero es muy variable

Al compendiar la información obtenida de valores de porcentajes de granos con Fusarium y contenido de DON a partir de todos los experimentos llevados a cabo en los años 2012, 2013, 2014 (tener presente la diferencia en las epidemias ocurridas, antes citadas) , la relación entre ambas variables fue alta y significativa *(P<0.0001)* (Fig. 7). Si lo observamos por año, la correlación es más alta y significativa. Sin embargo, aun cuando sea alta es muy variable, y por lo tanto no necesariamente es seguro utilizar la medición del porcentaje de granos con Fusarium, (muchas veces más fácil de determinar a simple vista al recibo en planta de acopio) para predecir el contenido de DON, especialmente en años con infecciones tardías (ej. 2013, Cuadro 2). En Uruguay, en general, se estima que 1.5 % de granos con Fusarium a postcosecha puede llegar a determinar 2 ppm de DON, nivel aceptable para poder ser industrializado y obtener harina con contenido de DON menor o igual a 1 ppm.

Fungicidas

A través de la investigación realizada en los últimos 30 años se ha determinado que el momento único óptimo de aplicación de los fungicidas es al inicio de floración. Dependiendo del potencial esperado de un cultivo y los costos del fungicida a utilizar, algunos productores llegan a realizar dos aplicaciones. Ello puede resultar en mayor número de espigas cubiertas en el momento más susceptible, ya es muy difícil lograr uniformidad en la fenología del cultivo a nivel de chacra. Aún cuando la doble aplicación en inicio y mitad de floración (3 a 4 días de diferencia) es el tratamiento más eficiente, no lo es económicamente. A través de la investigación hecha en los últimos años, ensayando distintos picos y volúmenes de aplicación, lo que se ha identificado es que a nivel comercial es mejor la utilización de picos TWINJET®60. Además, no debe usar menos de 100 litros del agua por hectárea, porque es necesario un mojado óptimo de la espiga para la mayor eficiencia.

La evaluación de fungicidas se hace en distintos momentos. Aunque el momento óptimo de aplicación es al inicio de floración, hacemos dobles aplicaciones para evaluar en con mayor precisión la eficiencia de los fungicidas para el control de FE. Se recomienda exclusivamente del uso de triazoles, mezclas de triazoles o eventualmente triazoles más carbendazim, pero nunca estrobirulinas. En el Cuadro 3 se puede observar que los fungicidas más utilizados son metconazole con epoxiconazole (SWING PLUS®). A nivel de producción comercial el fungicida más utilizado es el tebuconazole (al 2015), pero no siempre es el que tiene la mayor eficiencia de control; tanto desde el punto de vista de granos con Fusarium como del contenido de DON. Siempre la aplicación doble de estos productos óptimos (prothioconazole+tebuconazol, denominadoPROSARO®; y SWING PLUS®) son los que tienen mayores eficiencias de control.

Cuadro 3. **Evaluación de fungicidas aplicados en distintos momentos (cv. INIA Don Alberto – 2014)**

Tratam.	Dosis (l/ha)	Momento de aplicación	Índice de FE (%)	Granos c/FUS (%)	DON (ppm)	Rend (kg/ha)	PH (kg/L)	EC-Granos c/Fus (%)	EC DON (%)	Increm Rend (%)
Testigo S/F	-	-	**41 a**	**5.1 a**	**7.8**	**4604**	**70.3 c**			
Metc+epoxic	1.5	Z61	11 bc	3.4 bc	5.1	5782	73.6 ab	33	35	20
Tebuconazol	0.75	Z61	15 b	3.9 ab	6.2	4816	72.1 bc	24	21	4
Protioc+tebuc	-	Z61	11 bc	3.2 bcd	5.2	5787	72.9 abc	37	33	20
Metc+epoxic	1.5	Z61+Z65	2 c	2.2 cd	2.4	5939	74.7 ab	57	69	22
Tebuconazol	0.75	Z61+Z65	8 bc	3.1 bc	5.3	5118	73.4 ab	39	32	10
Protioc+tebuc	-	Z61+Z65	4 c	1.8 d	2.3	5984	75.6 a	65	71	23
P>F			*0.0001*	*0.0001*	*ns*	*ns*	*0.0001*			

1Valores seguidos por letras iguales no difieren significativamente según Tukey al P=0.05;
Índice de FE = incidencia (%) x severidad (%) en estado de grano lechoso-pasta

Las mezclas con estrobirulinas no se recomiendan desde el estado de floración en adelante porque que puede llevar a niveles altos de DON aun cuando pueda haber un control de lo que es la FE, (Cuadro 4). Este efecto no sólo está bien documentado a nivel mundial, sino también por trabajos realizados localmente con la utilización de distintas mezclas conteniendo diferentes estrobilurinas).

Cuadro 4. **Efecto de estrobilurinas en contenido de DON (2013)**

Tratamiento	Dosis (l/ha)	Momento de aplicación	Índice de FE (%)	Granos c/FUS (%)	DON (ppm)
TESTIGO S/F	-	-	**36 a**	**6.6 a**	**5.6**
Metconazol (CARAMBA®)	1	Z61	16 bcd	4.6 abcd	2.4
Metconazol/epoxic (SWING PLUS®)	1.5	Z61	8 def	3.0 cdef	2.6
Estrob/triazol/procloraz	1.25	Z61	15 bcd	4.9 abc	4.3
Estrob/triazol/carboxamida	0.5	Z61	21 b	5.4 ab	5.1
Metconazol (CARAMBA®)	1	Z61+Z65	5 ef	1.5 ef	1.2
Metconazol/epoxic (SWING PLUS®)	1.5	Z61+Z65	1 f	1.2 f	0.8
Estrob/triazol/procloraz	1.25	Z61+Z65	5 ef	2.4 def	1.6
Estrob/triazol/carboxamida	0.5	Z61+Z65	9 def	3.6 bcde	2.8
P>F			*0.0001*	*0.0001*	*0.0001*

1Valores seguidos por letras iguales no difieren significativamente según Tukey al P=0.05 VCC: 2.01

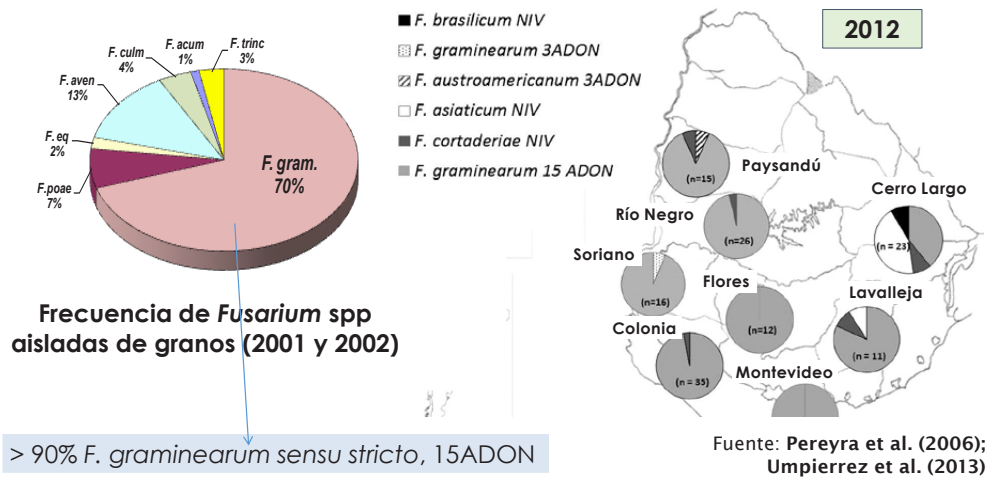
Al establecer los planes de manejo de las enfermedades es importante contar con información relacionada a la diversidad de la población del hongo que se maneja, y esto es válido también para la población de Fusarium.

Desde el 2001 se realizan relevamientos periódicos de la población de Fusarium causando FE en trigo en años epidémicos. No solo se identifican y cuantifican las especies distintas presentes sino además se ca-

racterizan por su potencial de producción de toxinas (quimiotipos) y sensibilidad a fungicidas más comúnmente utilizados para el control de FE. La especie biológica más frecuente es *F. graminearum sensu lato* (sentido amplio) aunque hay además otras presentes como *F. avenaceum, F. poae. Fusarium graminearum sensu lato es en realidad* un complejo de distintas especies filogenéticas (Fig. 8). Las especies dentro del complejo de Fusarium graminearum (FGSC) producen tricotecenos del tipo B y se pueden agrupar en tres quimiotipos distintos según el perfil de tricotecenos que producen: quimiotipo NIV, aquellos que producen nivalenol y derivados acetilados, quimiotipo 3ADON, aquellos que producen deoxinivalenol y 3-acetil-deoxinivalenol y quimiotipo 15ADON, aquellos que producen deoxinivalenol y 15-acetil-deoxinivalenol.

Cuando se estudió el complejo de especies que hay dentro del grupo *F. graminearum* (FGSC) en los relevamientos de las epidemias 2001 y 2002, se observa que más del 90 % corresponde a la especie *F. graminearum sensu stricto,* con el quimiotipo 15 ADON, que era la predominante. En los relevamientos del 2009, y por sobre todo lo que presentó en el 2012, pudimos evidenciar que la proporción de esta especie/quimiotipo aun cuando predominó, era menor y que sí aparecían otras que tienen las potencialidad de producir 3 ADON y NIV (Fig. 8). Lo que más nos preocupa es la aparición del nivalenol en las nuevas áreas de cultivo cerca del Brasil; lo cual es lógico porque la población del hongo es más diversa en Brasil y tiene esas características.

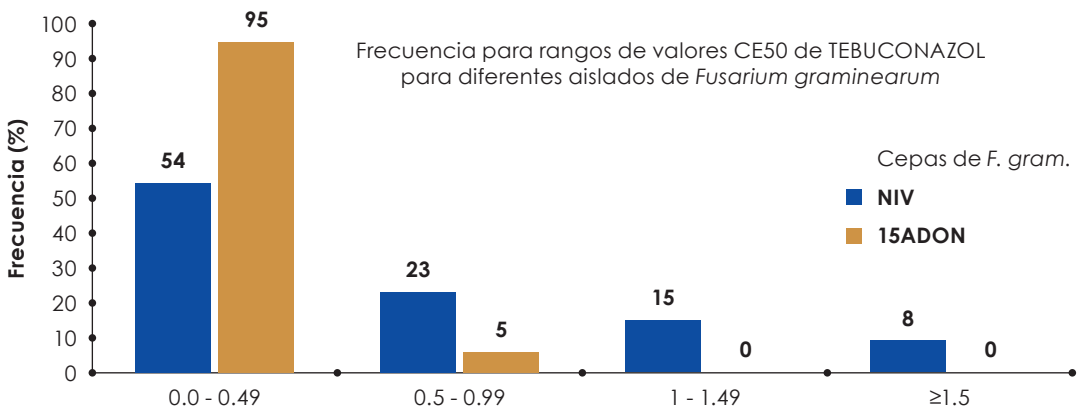
Figura 8. **Cambios en la población de Fusarium y sus consecuencias en el manejo**



Fuente: **Pereyra et al. (2006); Umpierrez et al. (2013)**

Al estudiar el complejo de especies en cuanto a su comportamiento frente a los fungicidas, se observó que algunas presentaban menor sensibilidad al tebuconazole, en especial, las cepas que eran productoras de nivalenol. Esto alerta en cuanto al uso masivo de este ingrediente activo para el control de la FE, (Fig. 9).

Figura 9. **Menor sensibilidad de algunos aislados al tebuconazol (2012)**



CE50: concentración efectiva que afecta al 50 % de la población del hongo

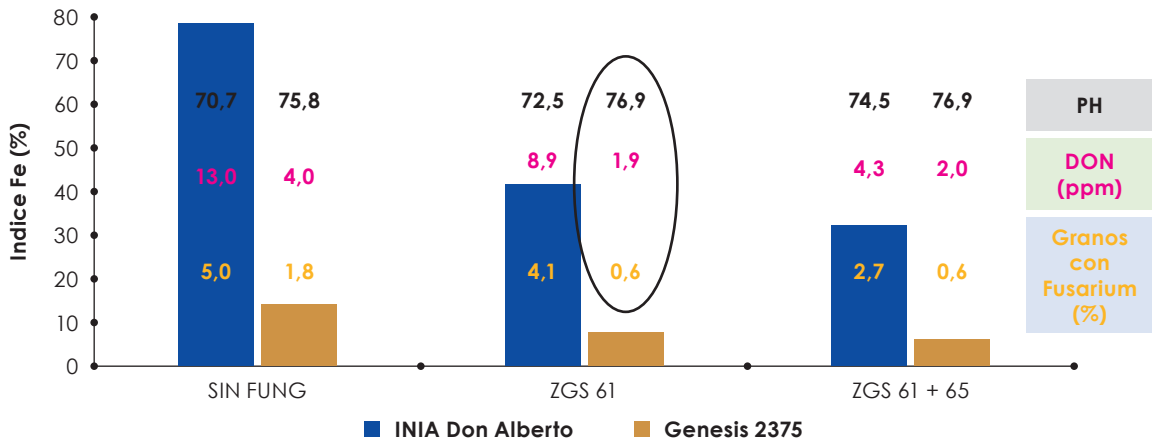
Fuente: **Umpierrez et al. (2013)**

Cultivar x fungicida

Se ha dicho que la FE es una enfermedad donde el manejo integrado es básico. En los últimos cuatro años, hemos investigado en ver si es posible obtener grano con niveles de DON posibles de ser industrializados y obtener harina y subproductos cumpliendo con los requerimientos de inocuidad mediante el uso aditivo de las distintas medidas disponibles. En este sentido, se estudió la interacción de la resistencia/susceptibilidad del cultivar con la estrategia de aplicación de fungicida y también incorporando el sistema de predicción de DON.

En la Fig. 10 se presenta lo que es la información del año 2014, Se puede apreciar en mayor o menor medida en cuanto al beneficio que se logra cuando se utiliza un cultivar resistente y una aplicación del fungicida recomendado en el momento óptimo (antesis o floración). Las barras de la gráfica señalan el índice de FE (severidad*incidencia) en el campo, determinado en el estado de grano lechoso para tres tratamientos de fungicidas: sin fungicida, aplicación en inicio defloración, y en doble aplicación a inicio y fin de floración para dos cultivares, uno susceptible y un cultivar con resistencia moderada. Se presenta además el porcentaje de granos con *Fusarium* a cosecha para cada uno de los tratamientos, así como el contenido de toxina DON y el peso hectolitrito, porque muchas veces van muy de la mano en el tema de comercialización.

Figura 10. **Interacción entre medidas de manejo: Resistencia del Cultivar x Manejo de Fungicida**

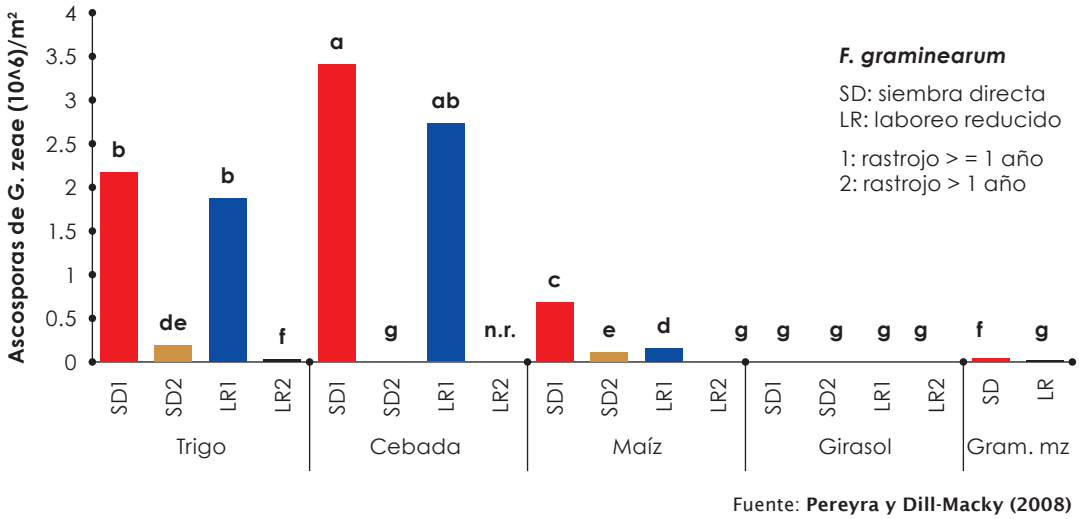


Hay dos aspectos en los años epidémicos en que los que reciben granos se fijan especialmente: el peso hectolítrico y el contenido de DON, o porcentaje de fusarium, para el descarte de los lotes. Solo la combinación de tener un cultivar resistente con una sola aplicación de fungicida a inicio de floración, con uno de los fungicidas que tiene mayor eficiencia de control (combina metconazol y epoxiconazol) aplicados con picos (aspersores) TwinJet®60, logra los menores niveles de granos con *Fusarium* y además son aceptables para la comercialización por peso hectolítrico y contenido de DON, capaces de ser manejados por la industria.

En la serie de factores que contribuyen al DON, el rastrojo es una medida que poco podemos manejar. En nuestros sistemas de producción, con presencia abundante de gramíneas, el inóculo está siempre presente. Aún si se utiliza la rotación en la finca, las chacras cercanas puede tener rastrojos de trigo, cebada, maíz u otras gramineas que podrían contribuir inóculo primario para la enfermedad. Sin embargo, en estudios que fueron realizados entre el año 2000 y 2005, se ha podido caracterizar la contribución de distintos rastrojos al inóculo primario, (Fig. 11). Los datos de la gráfica muestran la producción de ascosporas de *Gibberella zeae,* que es el estado perfecto de *F. graminearum* en trigo, y principal inoculo primario a partir de distintos tipos de rastrojos (trigo, cebada, maíz, girasol, malezas gramíneas) y de diferentes edades bajo siembra directa y laboreo vertical. En los sistemas de producción de Uruguay, los mayores contribuyentes de inóculo son el trigo y la cebada que comparten a la enfermedad en mismo momento de año, en significativamente menor grado el rastrojo de maíz (probablemente porque este cultivo se produce generalmente para silo, siendo muy poca el área que se produce para grano, y porque se siembra en el verano muchas veces en condiciones secas y donde el Fusarium no prospera. Un aspec-

to a resaltar es que el rastrojo infectado solo tiene efecto en años con condiciones menos favorables a la FE. Si tenemos condiciones favorables, el rastrojo no tiene efecto.

Figura 11. **Contribución de diferentes rastrojos al inoculo primario de FE**



Fuente: **Pereyra y Dill-Macky (2008)**

Rastrojo infectado sólo tiene efecto en años con condiciones menos favorables a FE

SISTEMAS DE PREDICCIÓN DE TOXINAS

Desde el año 2004, Uruguay tiene disponible al público el sistema de predicción para el DON en grano que se llama DONcast en la página web del INIA (www.inia.uy). Es un modelo canadiense que fue ajustado en conjunto con la Universidad de Guelph, para las condiciones de Uruguay. No es el mismo que es utilizado en Canadá, sino que ajustado para condiciones locales. En la actualidad se está validando y ajustando otro modelo GIBSIM, en conjunto con técnicos de la EMBRAPA (Brasil) que va a complementar el DONcast para complementar los puntos débiles que tiene este sistema de predicción (ej. el predictor utilizado por el GIBSIM es más adecuado para la región).

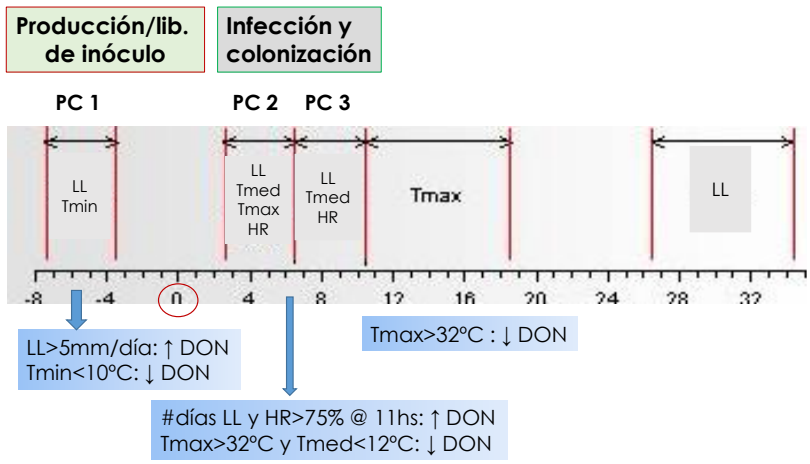
Los dos objetivos básicos que tienen ambos sistemas de predicción es principalmente optimizar las oportunidades de manejo de la FE en el cultivo. Se trata de ver las condiciones predisponentes para hacer las aplicaciones en inicios de floración, y sobre todo la segregación de lotes con alta probabilidad de concentración de DON; siendo esta una herramienta muy útil para quienes manejan granos para acopio, comercialización y además para los industriales. El DONcast ha tenido una gran utilidad en el segundo punto; es muy consultado pero sobre todo para la logística de segregación, pero no tanto para lo que es el manejo con fungicidas. Esto se debe principalmente a que el predictor que utiliza es el Accuweather, que no es muy buen predictor para las condiciones en el Cono Sur. Por eso se está tratando de ajustar el modelo a predicciones de CPTEC, que se ajustan más a las condiciones de Uruguay, y nos va a asistir sobre todo para optimizar las oportunidades de manejo.

El sistema de predicción utilizado actualmente (DONcast) predice la cantidad del DON en el grano de trigo a cosecha. Se utilizan datos climáticos, primero predichos y luego cada tres días se van actualizando con datos reales durante un periodo de 18 días alrededor de la fecha de espigazón. Cabe recalcar que no es de floración sino de espigazón, sobre la base que se tenga un margen de 3 a 5 días para implementar la aplicación de fungicida de ser necesaria. Desde el día de la espigazón como la base, se tienen distintos periodos críticos (PC) (Fig. 12); las condiciones que favorecen a la producción y liberación de inóculo (PC1: 7 dias previo a espigazón) y condiciones que tienen relación con la infección y colonización (PC2 y PC3: se toman 10 días posteriores a espigazón). En función de eso se consideran datos de lluvias, de temperaturas mínimas. Cuando las primaveras son muy secas, se frena la producción de DON. También

tiene en cuenta humedades relativas, y esta fue uno de los grandes ajustes que se hizo al modelo canadiense y las temperaturas máximas, que puedan ser un punto importante en Paraguay.

Los datos climáticos diarios son convertidos a datos binarios. Estos se suman dentro de cada variable climática y periodo crítico y se crean ecuaciones que predicen la concentración de DON. La salida del modelo son mapas diarios de niveles de riesgo de DON a cosecha según fecha de espigazón. Generalmente, se recomienda tener en cuenta los mapas de un grupo de días y no solo focalizándose en un día, porque sabemos que la floración en cada chacra es un periodo continuo en Uruguay. Es importante tener un espectro de varios días porque una misma chacra puede florecer por un periodo de 7 a 10 días.

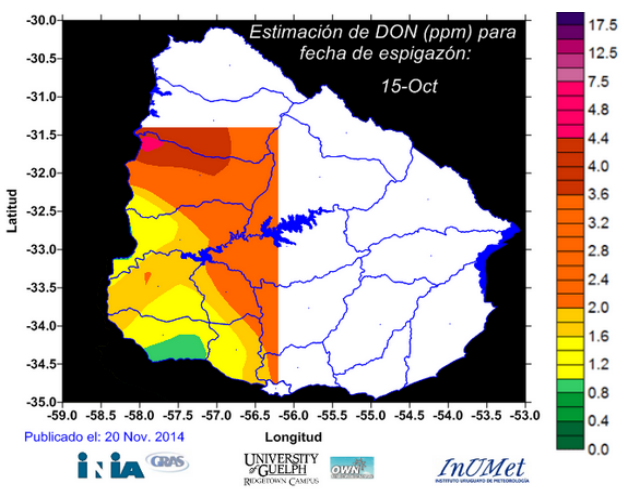
Figura 12. **Períodos críticos de lluvia diaria (LL), humedad relativa (HR) a las 11 hs, temperatura mínima diaria (Tmin), temperatura máxima (Tmax) y temperatura media (Tmed) en el modelo DONcast**



Ingresando la fecha de espigazón probable, el modelo toma las fechas de espigazón para que poder contar con el tiempo necesario para realizar las aplicaciones a inicios de floración (margen de 3 a 5 días previos a la floración) (Fig 13).

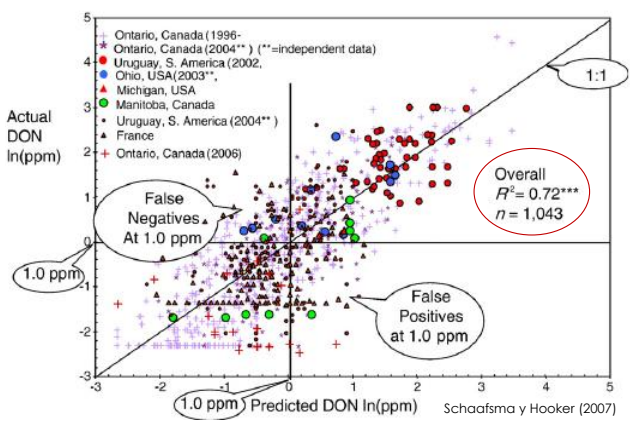
Este modelo tiene una exactitud aceptable (Fig. 14). Cuando estudiamos el número de predicciones correctas *versus* las incorrectas, mayores a una parte por millón, la exactitud es de 80 a 85%. El modelo ha sido validado en varios lugares, no solo en Canadá, sino que también en Uruguay en distintos años, en Estados Unidos y en Europa.

Figura 13. **Pronóstico DON en trigo**



Fuente: **www.inia.uy**

Figura 14. **DON observados vs. predichos. Desarrollo y validación del modelo, 1996-2006**



de predicciones **CORRECTAS** vs. **INCORRECTAS** >1 ppm DON
EXACTITUD = 80-85%

OTRAS HERRAMIENTAS DISPONIBLES

El modelo de Brasil que se está validando, tiene no solo la ventaja de utilizar un predictor mejor, ya que el modelo de DONcast solo tiene en cuenta condiciones climáticas, no tiene en cuenta las variables relacionadas al cultivo ni al hongo.

En el caso del modelo GIBSIM, tiene sub-modelos, en donde se integra la fenología del cultivo entorno a la floración, y en otro sub-modelo se hace referencia a la liberación de inóculo, y obviamente el submodelo relacionado a las variables climáticas. Finalmente, se deben incorporar las medidas de manejo a cosecha y postcosecha que pueden asistir en lograr un grano más inocuo. A cosecha, es posible ajustar el viento y las zarandas de la cosechadora. Esto es útil en los años donde las epidemias son severas (ej. 2012), porque tiramos por la cola de la cosechadora todos los granos que son más chuzos, que contribuyen al contenido de DON, pero no en el rendimiento. En los años donde las infecciones son tardías (ej. 2013), no es una medida útil. Hacer un manejo diferenciado en la cosecha es recomendable en lo que son las zonas de mayor infección y segregarlas por separado, sobre todo para potenciar los lotes que tienen menor contenido de DON para que pueda ser comercializado.

Una de las medidas que a veces se implementan en los puntos de recibo es el porcentaje de granos por Fusarium, en forma visual. En los últimos dos años, lo que se está usando son análisis rápidos de DON con tirillas, que es un método ELISA, donde rápidamente se puede tener un dato de DON al estar recibiendo el grano. Varias empresas han utilizado las tirillas, con conformidad, en las últimas zafras. El almacenaje segregado es fundamental en los años con problemas de DON, en especial para identificar los mejores lotes que pueden ser comercializados y ver cómo se pueden manejar los que presentan niveles de infección intermedia.

En resumen, en la última década han existido avances en el área sembrada con cultivares moderadamente resistentes. Hay que tener en cuenta que la aplicación de fungicidas en cultivares susceptibles y condiciones muy predisponentes, no siempre nos asegura eficiencias de control aceptable. No se puede jugar todas las cartas al fungicida porque las eficiencias de control no son las mismas que cuando estamos controlando enfermedades foliares. Por lo tanto, tener una base de resistencia es fundamental para poder manejar la FE con el fungicida.

Las prácticas de manejo tienen que ser utilizadas de forma integrada. En el caso de las royas, podemos tener cultivares con resistencia en los que puede no ser necesaria la aplicación de fungicidas, aún en condiciones favorables. Sin embargo, en el caso de la FE, cuando las condiciones son altamente predisponentes, es muy importante utilizar todo el conjunto de las medidas. Desde el lado de la investigación, seguimos teniendo desafíos porque en la medida que vamos armando los paquetes de manejo, siempre se plantean nuevas preguntas en los distintos aspectos, tanto en el manejo como en la población del hongo, así como en la parte de resistencia genética. Ahora que estamos en proceso de ver qué genes están presentes en los materiales liberados, caracterizando la resistencia puede completar el panorama. Obviamente desde la producción esta es una enfermedad que siempre plantea desafíos.

AGRADECIMIENTO

Nuestro equipo de trabajo es numeroso, multidisciplinario y multi-institucional. Un agradecimiento especial es para la Ing. Martha Díaz quien se retiró ya hace cuatro años de INIA, pero que desde 1977 ha sentado las bases para que muchos de nuestros trabajos se realizaran y dieran frutos. A los colegas y colaboradores de INIA en fitopatología, en mejoramiento genético, calidad de granos y evaluación de los cultivares y unidad GRAS, así como a los colegas del grupo de microbiología de la Facultad de Química (Universidad dela República), que es con quienes colaboramos desde 2001 en todos los trabajos que tienen que ver con diversidad de la población de Fusarium.

Preguntas y plenaria

- Pregunta: ***Más allá del factor varietal ¿en un porcentaje fijo de granos infectado, qué otros factores varían el DON?***

- **Silvia Pereyra:** Más allá del cultivar, son varios los factores, el manejo que se hizo del fungicida incide en el DON que pueda llegar a tener el grano. La combinación de ambos, porque las respuestas no siempre son las mismas, es una combinación de factores. Yo hoy también explicaba cómo cada epidemia puede determinar que un mismo cultivar puede tener distintos niveles de DON, según el momento de la infección. Si bien hay uno que es el más susceptible, que es la floración, también puede haber infección tardía y por lo tanto la respuesta puede ser diferente. Obviamente que el cultivar es fundamental, porque pueden tener distintos niveles de resistencia y distintos tipos de resistencia que hacen al contenido del hongo.

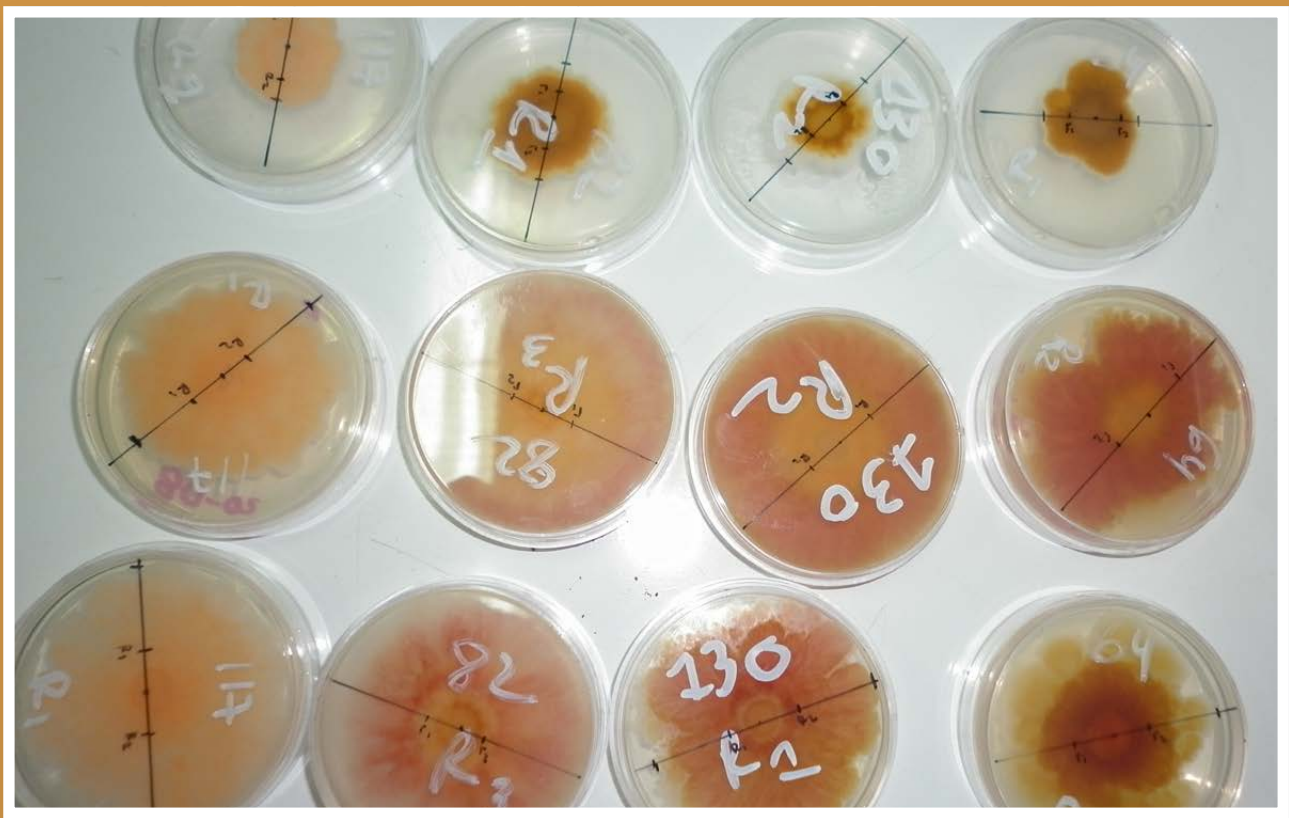
- Pregunta: ***En el cuadro de susceptibilidad a Fusarium, aparecen como muy susceptibles materiales de alto potencial. ¿Cómo convencer al productor de sembrar cultivares de menor potencial aun cuando tengan mejor comportamiento a fusarium?***

- **Silvia Pereyra:** Muchos de los cultivares que estaban verdes, o sea categorizados como más resistentes, tienen alto potencial. Su rendimiento es comparable en muchos ensayos comparativos con variedades que están con los máximos potenciales de rendimiento. El problema que tenemos con muchos materiales introducidos y no mejorados en Uruguay es que son susceptibles no solo a fusariosis de espiga. Muchos de los que aparecen rojos también son muy susceptibles a manchas, pero sobre todo a royas, incluido roya del tallo. Entonces, son cultivares que muchas veces tienen que llevar en promedio dos y hasta tres aplicaciones, y como están hoy los precios tan ajustados en cuanto a los márgenes de retorno, son ejemplos claros que no pagan la aplicación, aun con los rendimientos que puedan llegar a lograrse.

- Pregunta: ***¿Por qué las estrobirulinas promueven una mayor toxina? ¿Es porque no controlan o porque tiene un efecto per se sobre la toxina?***

- **Silvia Pereyra:** Las estrobilurinas en mezcla con los triazoles en general tienen eficiencias de control aceptables para la FE. El problema es que el efecto que tienen no es sobre la toxina per se, sino en el hongo; probablemente produciendo un mayor estrés. No está totalmente dilucidado cuál es el mecanismo exactamente, pero probablemente pueden llegar a producir un estrés en el hongo para estimular la producción de toxinas, en este caso de DON.

Crecimiento diferencial de las cepas de *Fusarium graminearum*.



Análisis del DON en laboratorio.

El Presente y el Futuro de la Investigación de *Fusariosis* de la Espiga

Fusarium *Head Blight Research: Present and Future*

Andrea Arrúa
CEMIT/FACEN/UNA
aaarrua@gmail.com

RESUMEN

La Fusariosis de la Espiga (FHB) es una enfermedad altamente destructiva para la que no se disponen de resistencia genética adecuada y cuyo control químico es complejo. La enfermedad es causada por hongos del Complejo *Fusarium graminearum* que infecta a las plantas en el momento de la floración (antesis). La FHB no solo afecta el rendimiento del cultivo, sino también produce metabolitos tóxicos (micotoxinas), siendo la principal el Deoxinivalenol (DON), que incrementa la virulencia y reduce la calidad del grano. El consumo de DON en alimentos con concentraciones superiores a las permitidas puede traer perjuicios a la salud humana y animal por los efectos inmuno-tóxicos. Varios países han establecido legislaciones que limitan el contenido de DON en grano y productos terminados para consumo humano y animal. Se han identificado buenas fuentes de resistencia, pero aún no ha sido posible transferirlas a germoplasma de alto rendimiento y calidad. Numerosos QTLs identificados se han asociado a las resistencias tipo I y II. Sin embargo, los niveles de resistencia proveídos por estos QTLs son insuficientes y sus mecanismos poco claros. Fusarium tiene crecimiento biotrófico durante un lapso de aproximadamente 48 horas posteriores a la germinación de las esporas, posterior a ese tiempo, pasa a actuar como patógeno necrótrofo y produce DON. Esto indica que la supresión de producción de DON en fase temprana es esencial para limitar el desarrollo de la FHB. El estudio de la respuesta a Fusarium en el trigo es de indudable relevancia para el desarrollo del cultivo. Durante la penetración del hongo y el crecimiento dentro de la planta las proteasas producidas por Fusarium y las micotoxinas se establecen una cooperación estratégica y juegan roles complementarios en la supresión de la respuesta de defensa y la colonización intracelular de las espiguillas. Estudios previos han demostrado que plantas con el alelo *Fhb1* poseen la habilidad de conjugar DON con glucosa, formando DON-3-O glucosido, D3G, con menor toxicidad, lo que lo convierte en un potencial mecanismo de resistencia.

Se ha mencionado que *Fhb1* probablemente codifica para glucosiltransferasa UGT o genes que regulan la actividad de la UGT. Se sugiere que el DON juega un papel fundamental en la virulencia del patógeno y la información acerca de genes que codifican para la UGT podría indicar caminos para producir plantas que no acumulen DON y sean resistentes a la FHB. También se menciona la respuesta de defensa del Jasmonato y el Etileno a la misma proteína G-receptora de quinasas tempranamente inducida por Fhb1. Otros compuestos, como los transportadores ABC, las MDR (*multidrug resistant protein*), las MRP (*multidrug resistance associated proteins*), las PDR (*pleiotropic drug resistent protein*) incrementan su expresión durante el ataque de *F.graminearum* y poseen rol en la exportación del DON desde el citoplasma. Estudios anteriores han demostrado que existen diferencias importantes en los mecanismos de defensa de las plantas al ataque de *F. graminearum* entre cultivares. Más recientemente plantas de trigo transformadas que expresan UGP, exhiben mayor resistencia tipo II a la FHB. En condiciones de campo, la gravedad de FHB ha sido variable, sin embargo, eventos transgénicos han mostrado fenotipos con niveles significativamente menos susceptibles a FHB en comparación con los controles no transformados.

ABSTRACT

Fusarium Head Blight (FHB) is a highly destructive disease of wheat, with little genetic resistance and with complex chemical control. The disease is caused the Fusarium graminearum complex, which infects plants at the flowering or anthesis stage. The FHB not only affects crop yield, but also produces toxic metabolites (mycotoxins), such as Deoxynivalenol (DON), which increases virulence and reduces grain quality. The consumption of DON in foods, in higher than permitted concentrations, can cause harm to human and animal health due to the immuno-toxic effects. Several countries have established legislations that limit the DON content in grain and final products for human and animal consumption. Although good sources of resistance have been identified, they have not been transferred into high yield and quality germplasm. Numerous identified QTLs have been associated with type I and II resistances. However, the levels of resistance provided by these QTLs are insufficient and their mechanisms unclear. Fusarium fungus has a biotrophic growth during the first 48 hours after germination of the spores, however, afterwards it acts as a necrotrophic pathogen and produces DON. This indicates that the suppression of DON production in the early phase is essential to limit the development of FHB. The study of the response to Fusarium in wheat is of high relevance for the development of the crop. During the penetration phase of the fungal growth within the plant, the proteases produced by Fusarium and the mycotoxins establish a strategic cooperation and play complementary roles in the suppression of the defense response and the intracellular colonization of the spikelets. Previous studies have shown that plants with the Fhb1 allele have the ability to combine DON with glucose, forming DON-3-O glucoside, D3G, with less toxicity; which makes it a potential resistance mechanism. It has also been mentioned that Fhb1 probably codes for UDP-glucose:glycoprotein glucosyltransferase or genes that regulate the activity of Ugt. It is suggested that DON plays a fundamental role in the virulence of the pathogen and information about genes that code for the Ugt could indicate ways to produce plants that do not accumulate DON and are resistant to FHB. The defense response of Jasmonate and Ethylene to the same G-receptor protein of kinases, early induced by Fhb1, is also mentioned. Other compounds, such as ABC (ATP-binding cassette) transporter proteins, MDR (multidrug resistant protein), MRP (multidrug resistance associated proteins), PDR (pleiotropic drug resistant protein) increase their expression during the F. graminearum attack and play a role in the export of DON from the cytoplasm. Previous studies have also shown that there are important differences in the defense mechanisms of plants against the attack of F. graminearum among cultivars. Recently transformed wheat plants, that express Ugt, exhibit greater type II resistance to FHB. Under field conditions, the severity of FHB has been variable, however, transgenic events have shown phenotypes with levels significantly less susceptible to FHB compared to non-transformed controls.

INTRODUCCIÓN

La Fusariosis de la Espiga del Trigo es una enfermedad que ataca principalmente a cereales de grano pequeño y que se encuentra ampliamente difundida en las regiones trigueras alrededor del mundo. El principal organismo responsable del desarrollo de esta enfermedad es *Fusarium graminearum*, un hongo polífago y cosmopolita de distribución universal.

La Fusariosis de la Espiga afecta el rendimiento del cultivo, pero su principal consecuencia es la contaminación de los granos con micotoxinas, principalmente del grupo de los tricotecenos, producidas por el hongo. Las micotoxinas producen intoxicaciones agudas o crónicas y los síndromes producidos por las mismas reciben el nombre de micotoxicosis.

FUENTES DEL INOCULO Y LAS CONDICIONES AMBIENTALES PROPICIAS

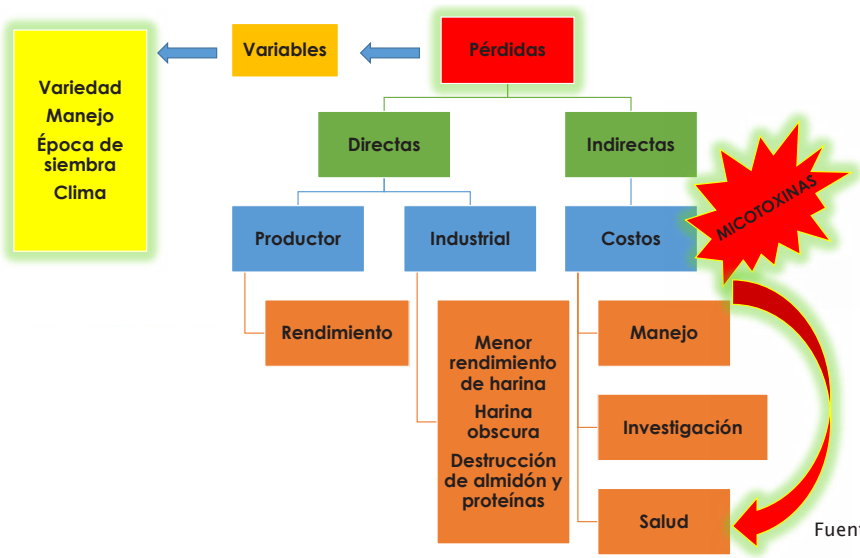
Los principales reservorios naturales del hongo son las semillas, restos de cultivo y malezas circundantes. Es muy posible que el aumento de la incidencia de la Fusariosis de la Espiga esté relacionado con el mantenimiento de los rastrojos sobre la superficie de suelo en el sistema de siembra directa. Sin embargo, solo la presencia del inoculo no es suficiente para infección sino debe ser acompañada por las condiciones climáticas ideales.

Las condiciones propicias para el desarrollo de la enfermedad son temperaturas amenas, de 18 a 28°C y lluvia constante; condiciones que se dan en invierno en nuestro país. En su mayoría, la infección ocurre durante el periodo de la antesis, a través de las anteras. Los síntomas asociados a la enfermedad son: blanqueamiento de las espigas y espiguillas desde el punto de infección, coloración rosa de las espigas, espiguillas y granos debido al crecimiento del micelio del hongo, aborto de flores, granos chuzos, chupados y de bajo peso principalmente.

LAS PÉRDIDAS CAUSADAS Y MICOTOXINAS

Las pérdidas causadas por la enfermedad son variables y pueden ser directas o indirectas. Se considera que las pérdidas directas para el productor son la disminución del rendimiento por hectárea del cultivo y aumento del costo de producción; para la industria, un menor rendimiento en harina, harina de color obscuro y destrucción de las proteínas y almidones (Fig. 1).

Figura 1. **Perdidas causadas por Fusariosis de la Espiga en trigo**



Fuente: **Cabañes et al 2007; Soriano et al 2007**

En cuanto a las pérdidas indirectas, se mencionan los aumentos en los costos de manejo del cultivo, investigación para generar nuevas variedades tolerantes a la enfermedad y costos en salud humana y animal derivados del consumo de alimentos contaminados por las micotoxinas producidas por el patógeno, principalmente el Deoxinvalenol (DON).

Existe una relación directa entre la Fusariosis de la Espiga del trigo y la contaminación con DON en los granos infectados. Otro punto que se puede mencionar es que las cepas aisladas del hemisferio norte, producen DON a partir de 3-AcDON y del Sur a partir de 15-AcDON (más tóxico), en los granos siempre hay precursores. Por otra parte, el Deoxinvalenol, también conocido como vomitoxina, es producida por varias especies del género Fusarium entre las que se citan: *F. graminearum, F. gerlachii, F. louisianense, F. asiaticum, F. ussurianum, F. nepalense, F. mesoamericanum, F. austroamericanum, F. vorosii, F. acaciae mearsii, F. boothii, F. cortaderiae, F. brasilicum y F. meridionale F. culmorum, F. avenaceum, F. poae* entre otros.

Los principales alimentos susceptibles de contaminación son: centeno, trigo, maíz y otros cereales derivados. Entre los animales, los cerdos son más susceptibles a los efectos de esta micotoxina. En cuanto a los síntomas producidos por la enfermedad se pueden citar diarreas, pérdida de peso, necrosis de la epidermis, hemorragias, respiración problemática etc.

Otro punto importante es que al parecer estos metabolitos (micotoxinas) actuarían disminuyendo la síntesis proteica de la planta (proteínas relacionadas a la respuesta de defensa) y podrían retrasar o suprimir la respuesta al ataque fúngico, haciéndola más susceptible al ataque de Fusarium.

MEDIDAS DE CONTROL

Considerando la importancia de la enfermedad, se han identificado diferentes medidas para el control de la enfermedad. Las medidas más importantes incluyen el control genético, aunque a nivel comercial, son pocas las variedades consideradas altamente resistentes a *Fusarium graminearum.* El control cultural consistente en una adecuada rotación de cultivos para reducir la presión de inoculo en el campo, sea por rastrojos susceptibles a la enfermedad o malezas aledañas. A nivel de campo, el control químico mediante el uso de diferentes productos fitosanitarios es el más usado, pero poco efectivo en un año con condiciones favorables para la epidemia. El control biológico, mediante el uso de biocontroladores y el manejo post cosecha de los granos son otras medidas que requieren más estudios para controlar la enfermedad.

Se ha mencionado que a nivel comercial no existen variedades resistentes para la Fusariosis de la Espiga, aunque se han identificado buenas fuentes de resistencia conocidas en China, Japón, EEUU, México, Argentina y Brasil etc.

La resistencia genética a *Fusarium graminearum* se da a diferentes niveles y se ha clasificado en:

Resistencia tipo I, resistencia a la penetración del hongo

Resistencia tipo II, resistencia al avance de la enfermedad dentro de la espiga

Resistencia tipo III, tolerancia a altas concentraciones de DON

Resistencia tipo IV, resistencia a la infección del grano o tolerancia

Resistencia tipo V, capacidad de los tejidos de degradar DON

En cuanto al control biológico, es altamente recomendado puesto que no se han reportado patógenos resistentes a los bioproductos. Diferentes organismos y productos son utilizados para este fin, entre los que se pueden citar: hongos, bacterias y extractos de diferentes plantas. Un problema que puede presentarse para el uso de estos métodos de control es que el biocontrolador debe establecerse en el ambiente y que para esto, necesita condiciones ambientales amenas para su crecimiento y desarrollo. Otro punto importante es la relación costo beneficio para el uso de estos productos.

El manejo post cosecha consiste en la separación de los granos contaminados de un lote. Esta limpieza puede ser un factor de pago diferenciado en ciertos casos.

ESTUDIOS EN PARAGUAY

En cuanto a los antecedentes del desarrollo de la Fusariosis de la Espiga del trigo en Paraguay, se puede mencionar las epidemias de los años 1972 y 1975, cuando el 70% de las pérdidas de producción fueron relacionadas con la enfermedad en los campos de trigo. Debido a estas pérdidas, se promocionó el uso de fungicidas para el control de esta enfermedad. Quintana, en 1998, concluyó que DON es la micotoxina de mayor relevancia en el cultivo del trigo en Paraguay. Ellos encontraron DON (0.247 a 10.13 ppm) en 100% de las muestras analizadas. En sus estudios realizados en 2004, Quintana y Morel identificaron *F. avenaceum, F. equiseti y F. culmorum*, en semillas de trigo, siendo *Fusarium graminearum* la especie predominante con 90% de frecuencia.

Con el fin de refrescar la información sobre las especies de *Fusarium* presentes en el país, el proyecto "ESPECIES DE FUSARIUM Y MICOTOXINAS ASOCIADAS AL CULTIVO DEL TRIGO EN ZONAS PRODUCTORAS DE LA REGIÓN ORIENTAL DEL PARAGUAY" fue desarrollado entre los años 2012 a 2015. El proyecto contó con el financiamiento del Instituto de Biotecnología Agrícola (INBIO) y la Universidad Nacional de Asunción, siendo su ejecutor el Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas, CEMIT-DGICT-UNA.

En el marco de este proyecto se realizaron muestreos de los cultivos de trigo en Campos Experimentales del IPTA en Itapúa, San Pedro y Canindeyú (Fig.2). Diferentes aspectos de la enfermedad como la resistencia, acumulación de DON e interacciones hospedero patógeno fueron abordados en el proyecto que facilito la realizaron 5 tesis en la Maestría en Ciencias en Biotecnología en CEMIT-DGICT-UNA

Figura 2. **Toma de muestras en campo**

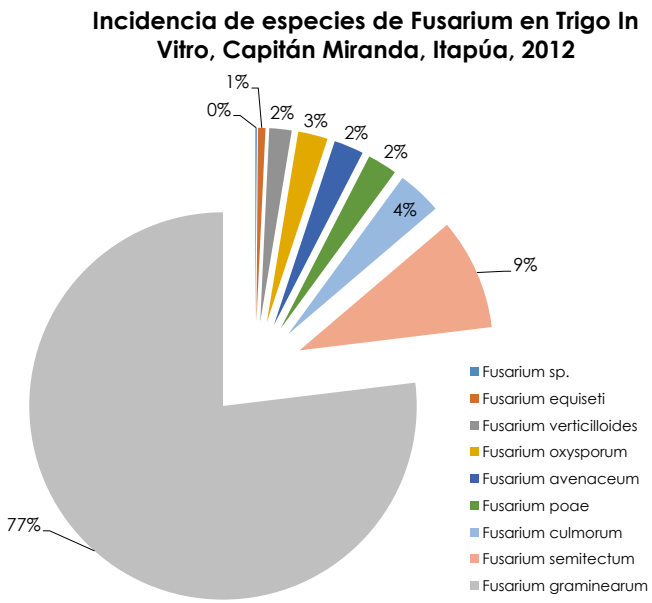
Septiembre de 2012
Julio de 2013
Julio 2014
Julio 2015

Todos los hongos presentes en las semillas de trigo estudiadas fueron identificados a nivel de género por medio de la observación al microscopio y el uso de claves taxonómicas, para determinar la incidencia de cada género. Posteriormente se purificaron todas las colonias de *Fusarium sp.* presentes y se realizaron cultivos monospóricos por medio de diluciones seriadas.

Se obtuvieron aproximadamente 600 aislados de *Fusarium* que fueron identificados a nivel de especies mediante el uso de claves taxonómicas y medios de cultivo diferenciales. Como resultado, la especie *Fusarium graminearum* con 77% de incidencia fue identificada microbiológicamente como la más importante del complejo (Fig. 3).

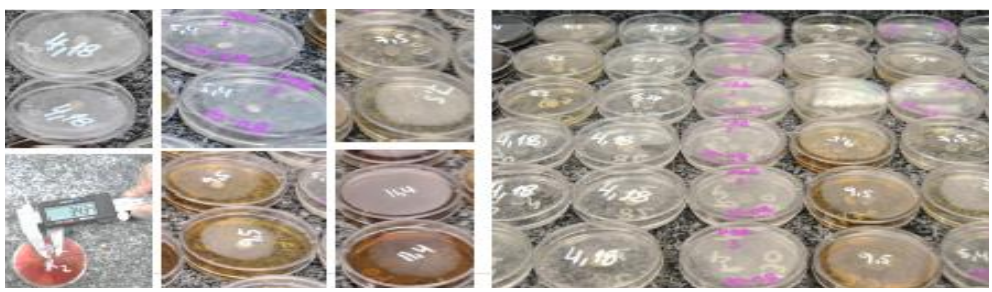
Figura 3. **Incidencia de distintas especies de Fusarium en muestras de trigo en Paraguay**

		Fg	Fg2	Fs	Fa	Fc	Fe	Fn	Fo	Fp	Fv
1											
2											
3	14FHB 1	6.7	6.7	3.4	0	0	3.4	0	0	0	0
4	14FHB 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	14FHB 3	26.7	3.4	3.4	0	0	0	0	0	0	0
6	14FBH 4	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
7	14FHB 5	0	10	0	0	0	0	0	6.7	0	0
8	14FHB 6	20	0	3.4	0	0	0	0	0	0	0
9	14FHB 7	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0
10	14FHB 8	23.4	22.5	3.4	3.4	0	0	0	0	0	0
11	14FHB 9	10	10	0	3.4	0	0	0	0	0	3.4
12	14FHB 10	13.4	7.5	6.7	3.4	0	0	0	0	0	0
13	14FHB 11	6.7	0	0	0	3.4	0	0	0	0	0
14	14FHB 12	6.7	15	3.4	0	0	0	0	0	0	0
15	14FBH 13	0	12.5	3.4	0	0	0	0	0	0	0
16	14FHB 14	6.7	0	3.4	0	0	0	0	0	0	0
17	14FHB 15	16.7	0	3.4	6.7	0	0	0	0	0	0
18	14FHB 16	13.4	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0
19	14FHB 17	6.7	6.7	0	0	0	0	0	0	0	0
20	14FHB 18	20	12.5	3.4	0	6.7	0	0	0	0	0
21	14FHB 19	16.7	7.5	0	0	0	0	0	3.4	0	0
22	14FHB 20	0	7.5	3.4	0	6.7	0	0	30	0	0
23	14FHB 21	26.7	2.5	0	0	3.4	0	0	0	0	0
24	14FHB 22	0	0	0	0	0	0	0	0	3.4	0
25	14FHB 23	0	0	0	0	0	0	0	0	3.4	0
26	14FHB 24	50	10	10	6.7	3.4	0	0	0	0	0
27	21HRWYT 4	2	ns	0	0	0	0	0	0	0	0
28	21HRWYT 9	8	ns	2	0	0	0	0	0	0	0
29	21HRWYT 13	4	ns	0	0	0	0	0	0	0	0
30	21HRWYT 20	0	ns	0	0	2	0	0	0	2	0
31	21HRWYT 26	4	ns	2	0	0	0	0	0	2	0
32	21HRWYT 30	0	ns	0	0	0	0	0	0	0	0

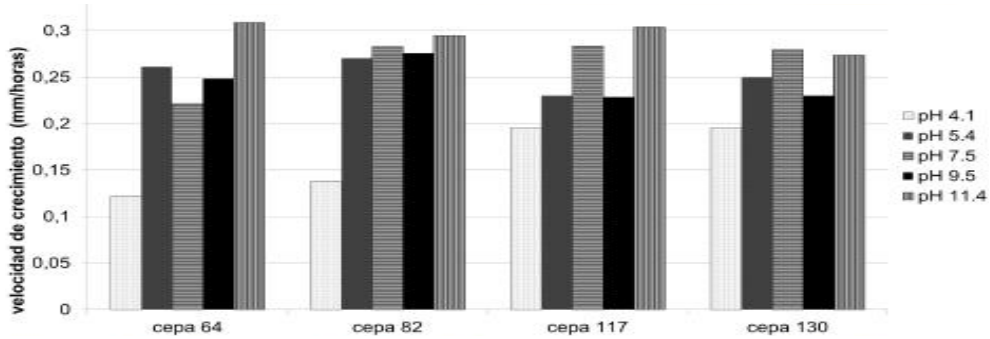


Mediante el análisis in vitro de la incidencia de *Fusarium graminearum*, fueron seleccionadas 25 líneas avanzadas del Programa de Trigo que se clasificaron en: Altamente susceptibles (MIS 65, MIS 150, MIS 217, BC 8 Y CODETEC 118), Susceptibles (MIS 192, CANINDÉ 1, CANINDÉ 12, CODETEC 150, ITAPUA 75), Moderadamente tolerantes (14 FHB 10, 14 FHB 16, BRS 208, ITAPUA 40), Tolerantes (14 FHB 11, MIS 26, BC 62, BC 64, MIS 260), Resistentes (MIS 248 -FRONTANA-, MIS 87, BC63, BC 64 Y 14 FHB 23 – SUMAI 3). Así mismo se seleccionaron 5 cepas de *Fusarium graminearum*, tendiendo en cuenta su crecimiento y esporulación; se estudiaron también su crecimiento a diferentes temperaturas, valores de pH y actividad del agua (Fig. 4). La especie fue confirmada por reacción en cadena de la polimerasa con primers específicos.

Figura 4. **Crecimiento en diferentes condiciones de: Temperatura – 5 a 40 °C, actividad del agua - 0,82, pH – 3,5 a 13**



Velocidad de crecimiento de las cepas en relación a la variación de pH del medio de cultivo (PDA).

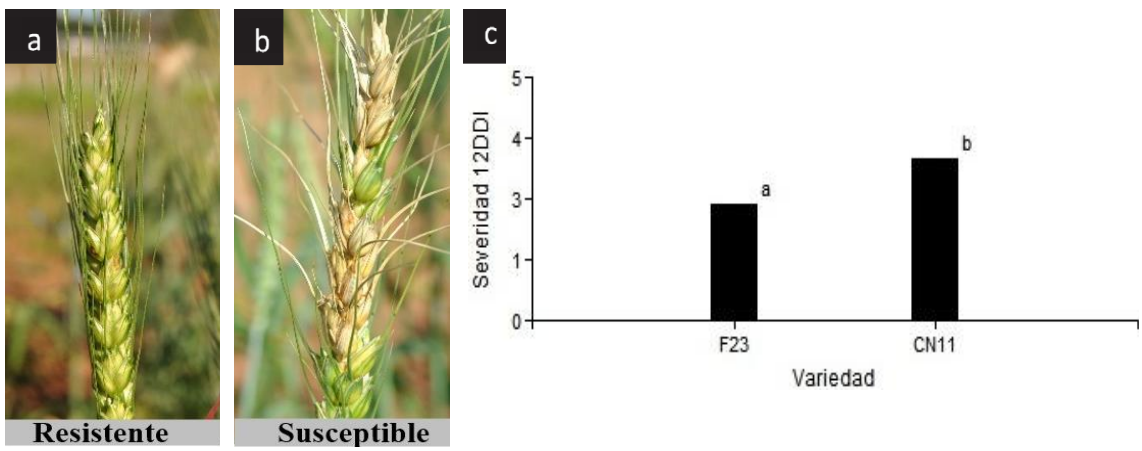


Para el estudio de selección de germoplasma de trigo a la Fusariosis de la espiga y acumulación de DON, se realizaron ensayos a campo donde se instalaron parcelas con variedades resistentes, tolerantes, moderadamente tolerantes, susceptibles y altamente susceptibles que fueron infectadas con un pool de 4 cepas mediante los métodos de inyección, algodón y de aspersión con una concentración de 1.10^6 conidias por ml (Fig. 5).

Figura 5. **Inoculación artificial de la Fusariosis en campo y el nivel de infección lograda**

Los parámetros estudiados fueron la incidencia y la severidad a 12 y 20 días posteriores a la infección y acumulación de DON en la cosecha. Se determinó la reacción de las líneas las que fueron reclasificadas de acuerdo con el porcentaje de la infección en líneas resistentes, moderadamente resistentes, moderadamente susceptibles y susceptibles. Al comparar los resultados según el genotipo se pueden observar diferencias significativas entre los materiales. Donde el genotipo resistente Sumai#3 (Fig. 6a) presento valores inferiores de infección con respecto al genotipo susceptible Canindé 11 (Fig. 6b). En la Fig. 6c se puede observar el gráfico mostrando las diferencias estadísticas entre las mismas.

Figura 6. **Selección de aislados de *Fusarium graminearum***



Síntomas de FE en Sumai#3 (F23) genotipo resistente y en Caninde 11 (CN11) genotipo susceptible. Comparación entre genotipos F23 y CN11 según Escala de Severidad. LSD Fisher Alfa=0,05 Medias con una letra común no son significado (San Lorenzo, 2015).

De acuerdo con los resultados logrados, las variedades y líneas como Frontana, Sumai 3, IPR 144 y Astreb*2/Catbird fueron clasificados resistentes para el tipo I de resistencia (Fig. 7). Los resultados de la infección con inyección para el tipo II de la resistencia fueron algo erráticos posiblemente por el secado prematuro de las espigas (Fig. 8).

Figura 7. **Resistencia Tipo I. Método de infección forzada Aspersión**

Categorización de materiales según método de infección por aspersión (Resistencia Tipo I a la FE) (San Lorenzo, 2015).

Reacciones intermedias				
Reacción	**R**	**MR**	**MS**	**S**
Escala %Severidad	**1 (0-5)**	**2 (6-25)**	**3 (26-50)**	**4 (+50)**
	FRONTANA	ITAPÚA 75	ITAPÚA 40	WUH2…
	IPR-144	PAURAQUE		CANINDÉ 1
	SUMAI#3			CENTINELA
	ASTREB…			

R: Resistente
MR: Moderadamente Resistente
MS: Moderadamente Susceptibles
S: Susceptibles

Figura 8. **Resistencia Tipo II. Método de infección forzada Inyección**

Categorización de materiales según método de infección por inyección (Resistencia Tipo II a la FE). San Lorenzo, 2015.

Reacción	**R**	**MR**	**MS**	**S**
Escala %Severidad	**1 (6-10)**	**2 (11-20)**	**3 (21-30)**	**4 (31-50)**
	FRONTANA	IPR-144		PAURAQUE
	ITAPÚA 40	CENTINELA		ASTREB…
	ITAPÚA 75	SUMAI #3		
		WUH2…		
		CANINDÉ 1		

R: Resistente
MR: Moderadamente Resistente
MS: Moderadamente Susceptibles
S: Susceptibles

Paralelamente a este trabajo, se realizó otro ensayo donde se estudió la respuesta de defensa en el patosistema complejo *Fusarium graminearum* – trigo. Las plantas fueron inoculadas con una solución de $1x10^6$ conidias de un pool de cepas previamente caracterizadas y se estudió la respuesta de defensa de las plantas a las 0, 24, 48 ,72 y 168 horas posteriores a la infección (Fig. 9).

Los resultados del estudio de respuesta de defensa al Patosistema FG-TE realizado en invernadero se pueden observar en la Fig. 10. Cada unidad experimental está constituida por una espiga, considerándose 3 espigas por tratamiento, para un total de 15 espigas por material genético estudiado considerando los cinco intervalos de estudio de 0, 24, 48, 72 y 168 hs. En el mencionado ensayo se estudiaron dos cultivares resistentes (Sumai 3 y Frontana) y dos cultivares susceptibles (Mis 104 y Canindé 11). Las espigas fueron inoculadas, por aspersión, en etapa de floración con un pool de cepas previamente identificadas por PCR como *Fusarium graminearum,* a una concentración de 1 x 10^6 conidias/ml. Posterior a la inoculación, el RNA fue extraído de las plantas y se estudió el nivel de expresión de PR1 (proteína de respuesta 1), TaJa (jasmonato) y PAL (fenil analina amonio liasa, como indicador del ácido salicílico), de manera semi cuantitativa.

El comportamiento de los materiales estudiados con relación a PR1 y PAL esta presentado en la Fig. 10. Para PR1, los niveles de expresión fueron superiores en los materiales resistentes al compararlos

Figura 9. **Estudio de la respuesta de defensa en el patosistema complejo *Fusarium graminearum* – trigo**

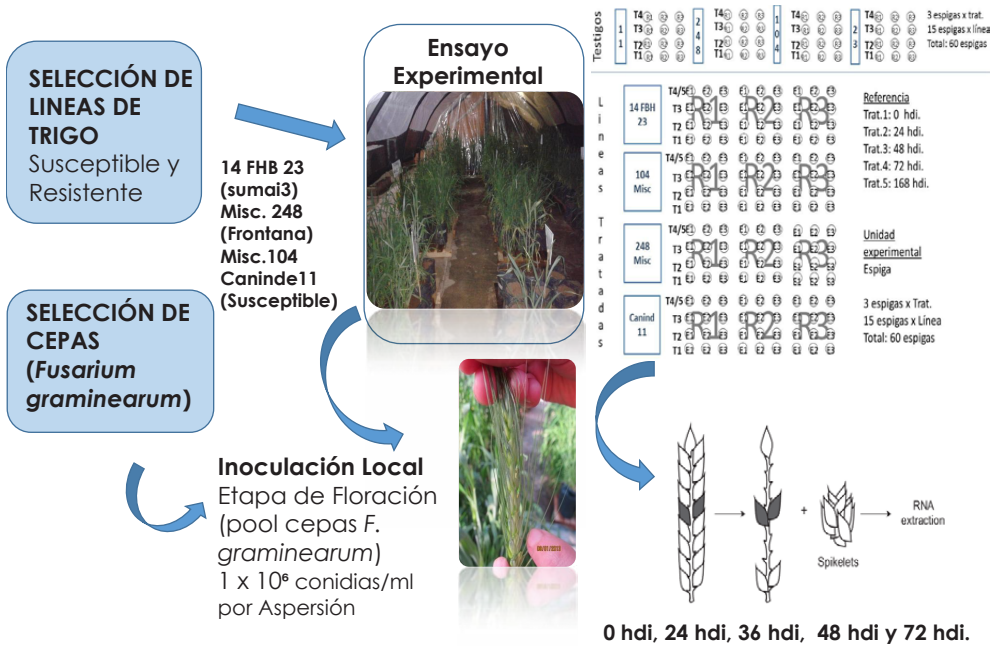
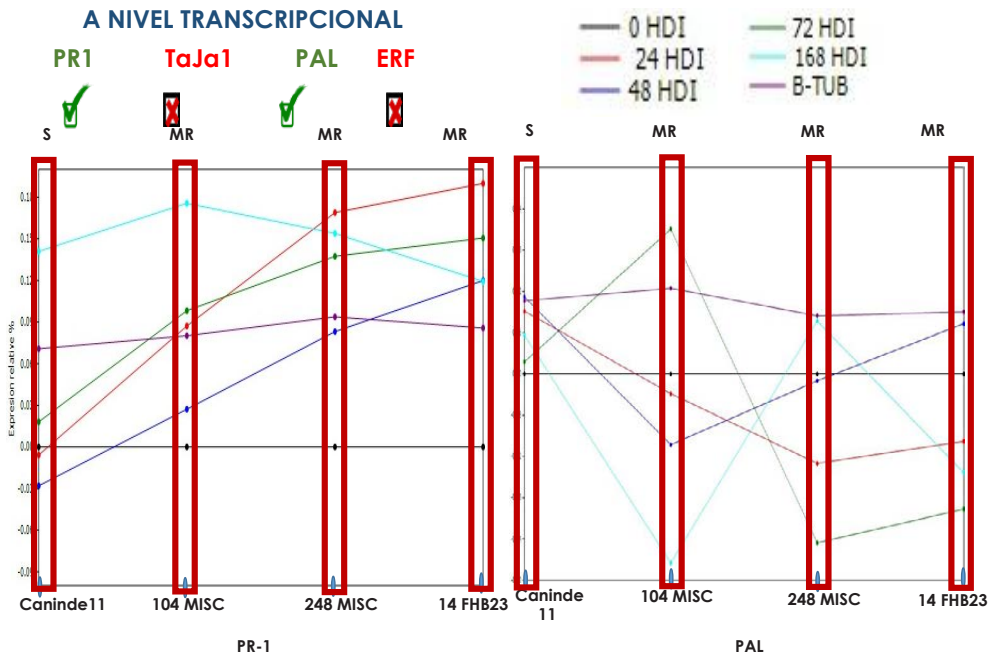


Figura 10. **Niveles de expresión de respuesta a PR1 y PAL en cuatro variedades de trigo**



Plots_Perfil de expresión génica (semi-cuantif.) y severidad FET en líneas.

con los susceptibles. Los niveles de PR1 se incrementaron en todos los materiales estudiados a partir de las 24 HDI hasta las 72 HDI. En los materiales resistentes, se produjo un decrecimiento de los niveles de expresión en el PR1 a las 168 HDI, mientras que en los materiales susceptibles se produjo un aumento de este compuesto.

En cuanto a la PAL, el comportamiento fue variable en todos los materiales estudiados a partir de las 24 HDI. En los materiales susceptibles, los niveles de expresión de PAL fueron superiores a los que se presentaron en materiales resistentes a las 24 HDI. A las 48 HDI, Canindé 11 y Sumai3 presentaron

niveles de expresión mayor de este compuesto. A las 72 HDI nuevamente los materiales susceptibles mostraron un mayor nivel de expresión de PAL. Frontana, material resistente fue el que exhibió un menor nivel de expresión en esta enzima. A las 168 HDI ocurrió lo contrario, Frontana fue el material en que se observó un mayor nivel de expresión de PAL. Estos resultados son preliminares y se deben seguir estudiando otros compuestos relacionados a la respuesta de defensa

Hasta le fecha el proyecto utilizó las claves microbiológicas y secuenciamientos de las regiones Factor de Elongación Alfa y Beta Tubulina para identificar, las especies de Fusarium asociadas a la Fusariosis de la Espiga del Trigo en Paraguay, reportándose hasta la fecha por lo menos 2 nuevas especies. También, por medio de estudios moleculares, se ha determinado el potencial de producción de toxinas de las especies aisladas por medio de la caracterización de las vías de síntesis de tricotecenos.

Además, se ha logrado estandarizar diferentes técnicas, no solo para la identificación y diagnóstico de Fusarium presente en trigo y derivados, sino también de tricotecenos presentes en granos de este cereal y sus derivados.

Estas actividades han ayudado a capacitar el personal de laboratorio para la identificación de hongos y toxinas y equiparlo con tecnología de punta para la investigación con Fusarium. También hay aportes científicos por medio de la publicación de trabajos y ponencias en congresos y publicación en revistas científicas. Se ha escrito proyectos de investigación que han sido aprobados para su financiamiento por el programa Prociencia de CONACYT. Investigadores miembros del equipo del proyecto han sido categorizados por el PRONII, Programa de Incentivo a Investigadores, de CONACYT, Paraguay.

LA INVESTIGACIÓN FUTURA EN LA FUSARIOSIS DEL TRIGO

Una serie de nuevas áreas de investigación se abren en referencia al estudio de esta enfermedad, entre ellos se pueden citar:

1. Estudio de la respuesta de defensa y efecto del ácido salicílico en cepas de *Fusarium graminearum.*
2. Nuevas legislaciones que contemplen no solo el DON sino también los derivados acetilados y pago diferenciado de productos.
3. Estudios de QTLs relacionados a la resistencia a *Fusarium graminearum.*
4. Estudios de ´plantas con capacidad de detoxificar DON.
5. Plantas transgénicas que no acumulen DON.
6. Uso de cepas atoxigénicas.
7. Modelos predictivos de la enfermedad.
8. Nuevos productos fitosanitarios.

Las posibilidades son amplias y este patógeno debe ser estudiado enfocando todos los aspectos relacionados y su interacción con la planta para crear una base sólida de resistencia en el futuro.

Pyricularia del Trigo. Avances en la Investigación en Paraguay

Advances in Wheat Blast Research in Paraguay

Alice Chávez

Cinthia Cazal, Man Mohan Kohli

Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas, CAPECO

alicerocio@hotmail.es

RESUMEN

El brusone causado por *Magnaporthe oryza*e (Catt.), (sinónimo *Pyricularia oryzae* Cavara 1892) (Couch and Kohn 2002)., es una enfermedad de suma importancia económica, que ocasiona una reducción significativa del rendimiento y calidad del grano. En los años 2014 y 2015 afectó aproximadamente 100.000 hectáreas, las pérdidas estimadas son de entre el 25-30% en general, llegando hasta el 90% en campos de siembra temprana (CAPECO, 2015). Las condiciones ambientales que favorecen una epidemia a nivel de campo son temperatura alta y periodos prolongados de lluvia. Siembras tempranas de la primera quincena de abril, tienen mayor posibilidad de ataque. Sin embargo, en años muy húmedos con prevalencia del fenómeno El Niño, los ataques de Pyricularia pueden ocurrir independientemente de la fecha de siembra (Kohli et al., 2011). *Pyricularia* presenta una amplia gama de hospederos entre los cuales se destacan el arroz y el trigo, así como otras gramíneas cultivadas, nativas y malezas. Hasta hoy en día, no existe unanimidad en la bibliografía que reconozca la patogenicidad cruzada de especies de *Pyricularia*, se conoce poco acerca de la importancia del inóculo procedente de otros hospederos en condiciones naturales, en Paraguay, se constató la presencia del hongo en: *Bromus catharticus*, *Brachiaria* sp.,*Chloris gayana*, *Cyperus diffusus*, *Digitaria horizontalis*, *Lolium multiflorum*, *Avena strigosa, Digitaria insularis, Eleusine indica, Cenchrus echinatus, Rynchelyntrum roseum* y *Stenothaphrum* secundatum (Chávez y Kohli, 2015). Actualmente se cuenta con una colección de 112 aislados del hongo, con los cuales se llevan a cabo estudios de variabilidad genética utilizando marcadores moleculares (Microsatellites). Todos los parámetros de diversidad evaluados según la clasificación de los aislados por localidades presentaron mayor variabilidad entre los aislados provenientes de

Canindeyú e Itapúa. En cuanto al hospedero del cual fue aislado, se evidencian dos grupos bien distanciados. Uno de ellos pertenece a los asilados de *D. horizontalis* y el otro grupo está dado por aislados de Trigo. En cuanto a la búsqueda de fuentes de resistencia, la mayoría de los ensayos realizados se han hecho en el estado de plántula (Arruda et al. 2005), mostrando un amplio rango de materiales resistentes, sin embargo, esto no se ve reflejado en el campo, pues materiales resistentes en dichos ensayos se muestran susceptibles. Las inoculaciones realizadas a campo con los materiales del Ensayo Regional del Programa Nacional de Trigo, mostraron poca resistencia, algunas variedades como Canindé 1 y CD 116 han mostrado moderada resistencia a la enfermedad; teniendo en cuenta esto, la búsqueda de fuentes de resistencia se ha expandido sobre materiales de trigo sintético, los cuales serán inoculados en condiciones de invernadero el próximo año.

ABSTRACT

The Wheat Blast disease caused by Pyricularia oryzae *Cavara, 1892, (Couch and Kohn 2002), (Synonym* Magnaporthe oryzae *Catt.) is economically important and causes a significant reduction in grain yield and quality. Over 2014 and 2015 it affected an area of approximately 100,000 hectares in Paraguay. The estimated losses are reported to be between 25-30%, in general, reaching up to 90% in early sown fields (CAPECO, 2015). The environmental conditions that favor an epidemic under field conditions are high temperature and prolonged periods of rain, while early seeding, in the first fortnight of April, is more prone to the disease. However, in very wet years, with the prevalence of El Niño phenomenon, wheat blast attacks can occur regardless of the planting date (Kohli et al., 2011). The pathogen* Pyricularia *has a wide range of hosts, including rice and wheat, as well as other cultivated, native and weedy grasses. Till now, there is no unanimity in the literature which identifies the cross-pathogenicity of* Pyricularia *species, and little is known about the importance of inoculum from other hosts species under natural conditions. In Paraguay, the presence of the fungus was found in:* Bromus catharticus, Brachiaria sp., Chloris gayana, Cyperus diffusus, Digitaria horizontalis, Lolium multiflorum, Avena strigosa, Digitaria insularis, Eleusine indica, Cenchrus echinatus, Rynchelyntrum roseum *and* Stenothaphrum secundatum *(Chávez and Kohli, 2015). Currently, we have a collection of 112 fungal isolates, which are being studied for their genetic variability using molecular markers (Microsatellites). The parameters of diversity evaluated to the classify the isolates by geographic regions presented greater variability between the isolates coming from Canindeyú and Itapúa. As for the original host species, two well-separated groups are evident. One of them belongs to the* D. horizontalis *isolates while the other group is formed by wheat isolates. In the search for sources of resistance, most of the tests have been carried out in the seedling stage (Arruda et al., 2005), showing a wide range of resistant materials. However, this is not reflected in the field, as those materials identified as resistant in these tests are field susceptible. Field inoculations carried out on the germplasm in the Regional Trial of the National Wheat Program showed little genetic resistance. Some varieties such as Canindé 1 and CD 116 have shown moderate level of resistance to the disease. Taking this into account, the search for sources of resistance has been expanded to synthetic wheats, which will be inoculated under greenhouse conditions next year.*

ANTECEDENTES

La Pyricularia o brusone del trigo es una enfermedad que se ha convertido en una amenaza para la producción de trigo en las regiones tropicales y subtropicales de Sudamérica (Kohli et al. 2011). La enfermedad es causada por *Magnaporthe oryza*e (Catt.), (sinónimo *Pyricularia oryzae* Cavara 1892) (Couch and Kohn 2002) y recientemente asignada a patotipo *Triticum* (MoT) por Cruz y Valent (2017). Esta enfermedad fue identificada por primera vez en los campos de trigo alrededor de Londrina en el estado de Paraná en Brasil en 1985 (Igarashi 1986). Su primera infección en Paraguay fue reportada en 1987, sin embargo, la primera epidemia a nivel nacional se registró en el 2002 (Viedma y Morel 2002). Las siguientes epidemias ocurrieron en los años 2005, 2008, 2010, 2014 y 2015; causando las pérdidas de producción entre el 40 y 90%, principalmente en campos sembrados tempranamente (primera quincena de abril) (Viedma 2010). Aunque las condiciones favorables para una epidemia son temperaturas de 25 a 28°C y humedad del 70-100%; en años con prevalencia del fenómeno El Niño, las epidemias pueden ocurrir independientemente de la fecha de siembra (Kohli et al. 2011).

El síntoma característico son espigas con la porción superior blanca y seca, arriba del punto de la infección, mientras que la parte inferior permanece verde. Esto se debe a que el hongo ataca el raquis, obstaculizando el paso de nutrientes e inhibiendo el llenado normal de los granos en la porción superior (Figura 1).

Figura 1. **Síntoma característico del ataque de brusone en trigo**

Las actividades de investigación sobre el Brusone fueron iniciadas en 2013 con el apoyo del proyecto de "Fortalecimiento de investigación y Difusión del Cultivo de Trigo en Paraguay" y complementadas con fondos del USDA. Los principales objetivos de investigación nacional son:

1. Colectar y guardar una variabilidad de aislados del hongo a nivel nacional.
2. Identificar los hospederos alternativos del hongo en Paraguay.
3. Caracterizar la variabilidad patogénica del hongo.
4. Caracterizar los aislados del hongo a nivel molecular.
5. Identificar materiales con resistencia a la enfermedad.

FORMACIÓN DE LA COLECCIÓN DE AISLADOS DE *MAGNAPORTHE*

Se realizó una recolección de muestras, tanto de trigo como de malezas en los departamentos de San Pedro, Canindeyú, Alto Paraná, e Itapúa, en los cuales se concentran los campos de producción de trigo. Muestras adicionales fueron recolectadas de algunas malezas en los departamentos mencionados anteriormente y de Central y Cordillera. Actualmente la colección cuenta con 112 aislados, en su mayoría de trigo, con los que se iniciaron los estudios de variabilidad patogénica y caracterización molecular.

IDENTIFICACIÓN DE HOSPEDEROS ALTERNATIVOS

Fueron recolectadas muestras de 22 especies de malezas, observándose la presencia de Pyricularia en 5 especies del departamento de Canindeyú, 8 especies del departamento de Itapúa, 2 especies en Cordillera y una en Central. En total, fueron 12 los hospederos identificados con infección de la enfermedad: *Avena strigosa*, *Brachiaria* sp., *Bromus catharticus*, *Cenchrus echinatus*, *Chloris gayana*, *Cyperus diffusus*, *Digitaria horizonthalis*, *Digitaria insularis*, *Eleusine indica*, *Lolium multiflorum*, *Rynchelyntrum roseum* y *Stenothaphrum secundatum* (Figura 2).

Figura 2. **Síntomas de *Pyricularia* sp. en los 12 hospederos identificados**

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL HONGO

Los primeros trabajos consistieron en el estudio del crecimiento y esporulación de los aislados. Se realizaron pruebas de medios de cultivo, en principio con aislados de trigo, con el fin de seleccionar uno que favorezca tanto el crecimiento como la esporulación. Se probaron diversos medios entre ellos: PDA, Agar-Harina de maíz, Agar-Harina de trigo, Agar-Arroz, Agar-Harina de avena, Agar-semi-

llas de trigo, V8 etc. Finalmente, se seleccionaron cuatro para una prueba final, cuyos resultados se presentan en el cuadro 1.

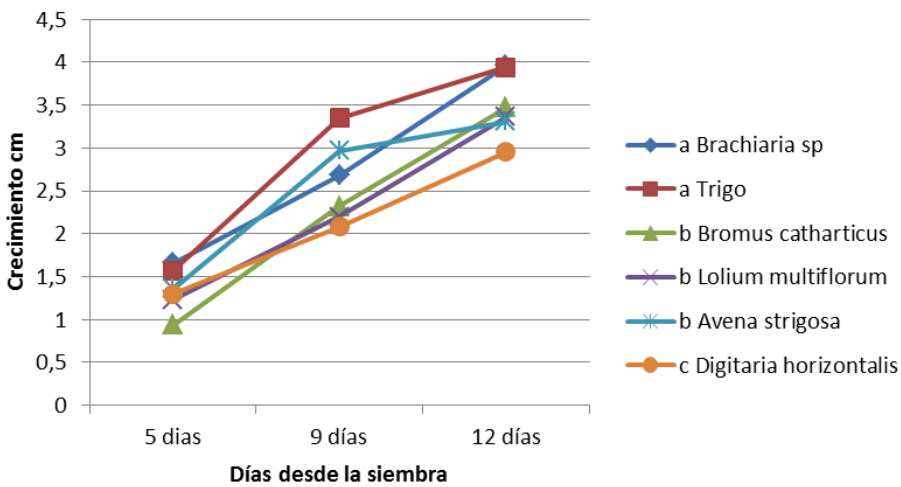
Cuadro 1. **Promedio de concentración de conidios/ml de *M. oryzae* en diferentes medios de cultivo**

Medio de cultivo	Concentración de conidios/ml
Agar-Harina de avena	$4{,}1.10^6$ a
Agar-Espigas de Trigo	$3{,}2.10^6$ ab
V8 casero	$2{,}1.10^6$ ab
Agar-Semillas de Trigo	$2{,}7.10^5$ b

Test de Tukey 5%. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

El medio seleccionado fue el de Agar-Harina de avena, el cual fue utilizado para medir el crecimiento y esporulación de los aislados provenientes de las malezas y compararlos con los aislados de trigo. Los resultados en cuanto al crecimiento se presentan en el Figura 3.

Figura 3. **Crecimiento de aislados de trigo y malezas en medio de cultivo Agar-Harina de avena**

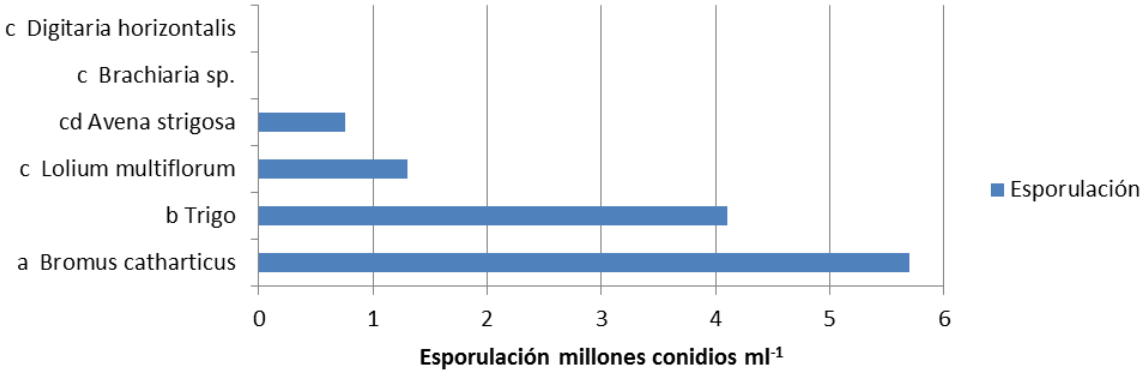


Test de Tukey 5%, Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05) CV = 4,84

Los aislados de trigo y *Brachiaria* sp. presentaron mayor crecimiento en comparación a los demás. Los aislados de *Lolium multiflorum*, *Bromus catharticus* y *Avena strigosa*, no presentaron diferencias significativas; y el aislado de *Digitaria horizonthalis* fue el que presento menor crecimiento.

En cuanto a la esporulación, los resultados se presentan en la Figura 4. Se observó que los aislados de Bromus *catharticus* y trigo, produjeron mayor cantidad de conidios, y los aislados de *Brachiaria* sp. y *Digitaria horizonthalis* no esporularon. Estos resultados muestran de la variabilidad existente en la población del hongo a nivel de campo y la posibilidad de que distintos tipos se adapten sobre el cultivo de trigo.

Figura 4. **Esporulación de aislados de trigo y malezas en medio de cultivo Agar-Harina de avena**



Test de Tukey 5%. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05) CV = 15,7

Los resultados sobre la caracterización morfológica muestran diferencias significativas en cuanto al crecimiento y la esporulación de distintas cepas del hongo. Se considera importante estudiar otros medios de cultivo y condiciones para los aislados que no esporularon en el medio utilizado y también establecer si existe relación entre el crecimiento, la esporulación y la patogenicidad.

DOSIS PARA INOCULACIÓN ARTIFICIAL CONTROLADA

Considerando que no existe una dosis estandarizada del inoculo para la evaluación de resistencia en materiales de trigo, se realizó el trabajo previo para seleccionar una dosis de inóculo adecuada para las inoculaciones. Las concentraciones que varían entre $2{,}5.10^4$ conidios ml^{-1} a 1.10^6 conidios ml^{-1} han sido mencionados en la literatura. El objetivo de la prueba fue seleccionar una dosis de inóculo de *Magnaporthe oryzae*, que permita distinguir entre materiales resistentes y susceptibles. Las dosis y materiales empleados para la prueba, así como las medias de infección obtenidas se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. **Medias de infección de los materiales Milan (resistente) y Canindé 11 (susceptible) con tres dosis de inóculo empleadas**

Concentración conidios ml^{-1}	Milan	Canindé 11
$2{,}5.10^4$	1 a*	3,3 b
$7{,}5.10^4$	1 a	3,3 b
1.10^5	1 a	3,6 b

*Test de Tukey. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Como no se observaron diferencias estadísticas entre las dosis empleadas para ambos materiales, se optó por utilizar la dosis más baja de $2{,}5.10^4$ conidios/ml^{-1}.

INOCULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE REACCIONES

Las inoculaciones artificiales controladas fueron realizadas tanto a nivel foliar como en espigas. Para la caracterización de las reacciones a nivel foliar se adaptó la escala propuesta por Valent et al. (1991), la cual clasifica los síntomas atribuyéndoles notas que van del cero al cinco (Figura 5).

Figura 5. **Escala de evaluación foliar de infección, adaptada de Valent et al. (1991)**

Se realizaron pruebas de patogenicidad a nivel foliar con los aislados de *Avena strigosa*, *Digitaria horizonthalis* y *Bromus catharticus*, en cinco variedades de trigo. El tipo de lesión observado en cada variedad se presenta en el cuadro 3.

Cuadro 3. **Tipos de lesiones observadas en variedades de trigo, al ser inoculados con los aislados de las malezas. Escala de Valent et al. (1991) adaptada al trigo.**

Aislado	Milan	Canindé 1	CD 150	BR 18	Canindé 11
Digitaria horizontalis	5	5	5	4	5
Avena strigosa	1	0	5	1	5
Bromus catharthicus	-	4	-	3	3

Se observó que los tres aislados provenientes de distintos huéspedes fueron capaces de infectar las hojas de trigo. Cuatro de las variedades diferenciales mostraron reacción tipo 5 con el aislado de *D. horizonthalis* y dos variedades para el aislado de *Avena strigosa.* El aislado de *Bromus catharticus*, causó lesiones de tipo 3 y 4 en las variedades BR 18, Canindé 11 y Caniandé 1, respectivamente.

EVALUACIÓN DE LAS FUENTES DE RESISTENCIA

Con el objetivo de identificar nuevas fuentes de resistencia, 92 líneas avanzadas y variedades nacionales y 20 líneas del USDA fueron evaluadas en pruebas de invernadero y de campo. De todas las líneas avanzadas y variedades nacionales evaluadas, 61 fueron susceptibles, 18 moderadamente susceptibles, 9 moderadamente resistentes y 4 resistentes. Mientras que de los materiales del USDA, 7 fueron susceptibles, 5 moderadamente susceptibles, 4 moderadamente resistentes y 4 resistentes (Cuadro 4).

Cuadro 4. **Número de variedades y líneas avanzadas evaluadas y su reacción al ataque de Pyricularia.**

	Susceptible	Moderadamente susceptible	Moderadamente resistente	Resistente
Variedades y líneas avanzadas	61	18	9	4
Variedades del USDA	7	5	4	4

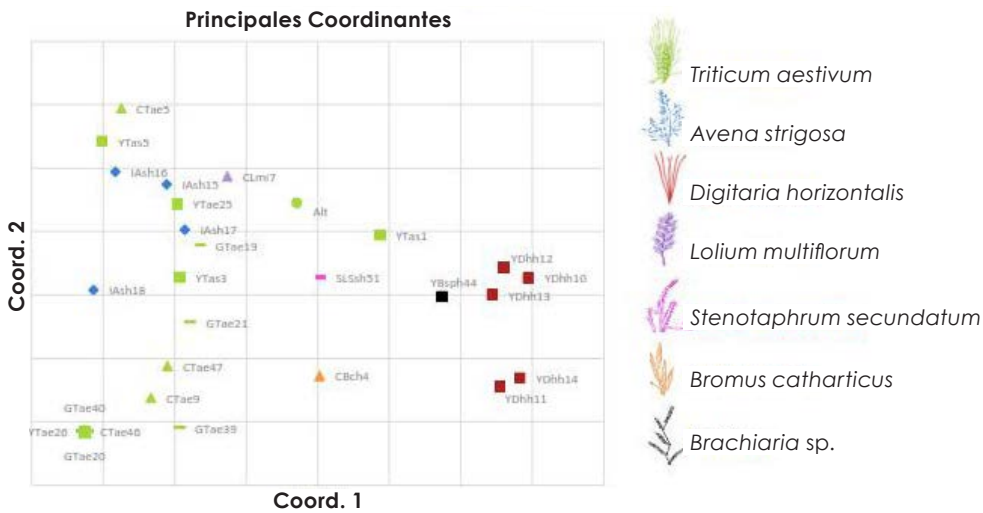
Los cuatro materiales identificados como resistentes en el grupo nacional fueron Canindé 1, Sausal CIAT, CD 116 y Milan. De estos materiales, Milan es una línea del CIMMYT mencionada como fuente de resistencia, de la cual derivan las otras tres variedades mencionadas, por lo cual la fuente de resistencia es la misma en los cuatro materiales.

CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE *MAGNAPORTHE*

Se realizó la caracterización molecular de 28 aislados seleccionados, utilizando 12 marcadores: MgM_21, MgM_01 (Brondani 2000); MGc_248, MGc_049, MGc_091, MGc_047, MGc_077, MGc_057(Pereira 2014) y PG 42, PG 20, PG 20 PG 05 (Cruz 2009).

Los resultados mostraron que la variabilidad entre los aislados no se explica por la distribución geográfica, sin embargo, existe una mayor variabilidad entre los aislados de Canindeyú e Itapúa. También que los aislados de *Lolium multiflorum* y *Avena strigosa* son más cercanos a los aislados de trigo, mientras que los aislados de *Digitaria horizonthalis* y *Brachiaria* sp. forman un grupo distinto (Figura 6).

Figura 6. **Relación genética entre aislados de *Magnaporthe oryzae* de diversos orígenes**



EVALUACIÓN DE CONTROL QUÍMICO DEL BRUSONE

Considerando la amplia susceptibilidad de las variedades comerciales en el campo, el control químico de la enfermedad es considerado como una alternativa viable. En el ensayo de aplicación de distintos fungicidas comerciales en dos momentos de aplicación sobre la variedad Itapúa 80, la Ing. Agr. Ruth Scholz, IPTA, pudo observar diferencias significativas de control de la enfermedad.

Los resultados muestran que el fungicida Mazem (Bezovindiflupyr + Azoxystrobin) fue el mejor para controlar el brusone en los dos estadios de desarrollo de cultivo (espigazón y floración), Figuras 7 y 8. Otros fungicidas como Duett Plus, Priori Gold (solo en floración) y Orquesta fueron moderadamente eficaces para controlar la enfermedad, especialmente en aplicaciones tempranas a los 15 días de cada estadio evaluado. Sin embargo, a nivel de rendimiento no se observaron diferencias significativas entre los productos aplicados, pero si entre los productos y el testigo sin aplicación, observándose una pérdida de 500 a 600 kg/ha en el testigo. Es muy posible que esta falta de diferencia para el rendimiento se deba a un bajo nivel de infección natural que se observó en las parcelas del ensayo, el cual no fue suficiente para causar daños severos como en los años epidémicos.

Figura 7. **Incidencia de *M. oryzae* sobre la variedad Itapúa 80, en dos momentos de aplicación.**

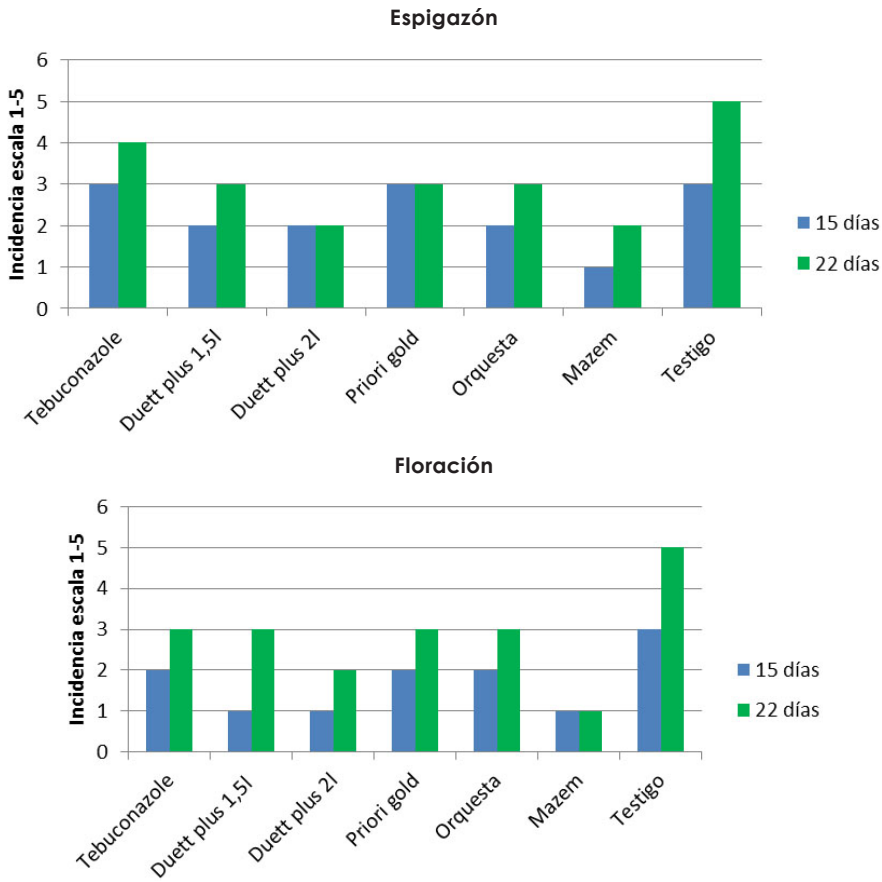
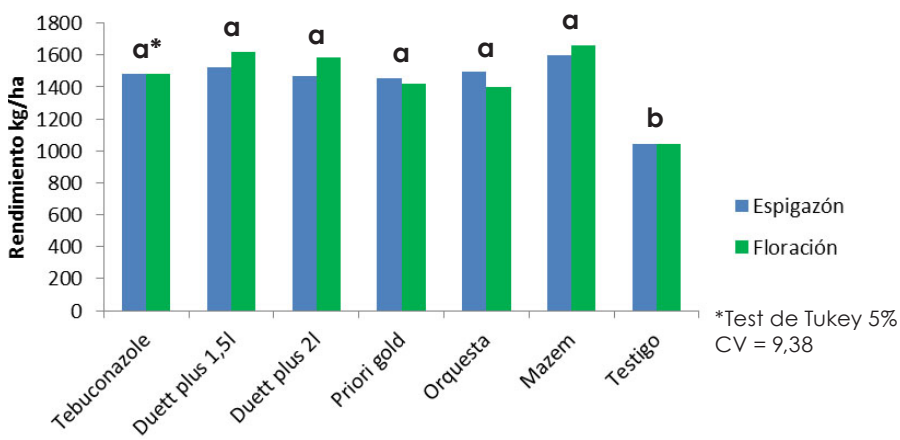


Figura 8. **Efecto de la aplicación de fungicidas sobre el rendimiento de la variedad Itapúa 80**



Inoculación artificial de Pyricularia en el campo, Caacupé.

En todo caso, la mejor estrategia de control en el campo comercial es la integración de distintas prácticas que incluyen uso de variedades con mejor grado de resistencia, evitar las siembras tempranas y el control químico con fungicidas eficaces en estadio de la floración.

CONCLUSIÓN Y DESAFÍOS FUTUROS

Con el apoyo de las inoculaciones artificiales a nivel de campo, se espera evaluar una mayor cantidad de germoplasma para identificar distintos niveles de resistencia en los materiales genéticos que pueden ser utilizados (combinados) en el programa de mejoramiento. La identificación de marcadores moleculares y su relación con la resistencia es un aspecto crítico para poder usar esta herramienta en selección de mejores materiales futuros. Por el momento, el programa sigue buscando la variabilidad genética del hongo y del trigo de manera activa.

Agradecimientos

A todos los que apoyaron el proyecto *Pyricularia* desde el 2013

Bibliografía

_ Arruda, MA; Bueno, CRN; Zamprogno, KC; Lavorenti, NA; Urashima, AS. 2005. Reação do trigo a *Magnaporthe oryzae* nos diferentes estádios de desenvolvimento. Fitopatologia Brasilera 30(2). 121-126.

_ Brondani, C; Pereira, R; Brondani, V. 2000. Development of microsatellite markers for the genetic analysis of *Magnaporthe grisea*. 762: 753-762.

_ Chávez, AR; Kohli, MM. 2015. Hospederos alternativos de Magnaporthe grisea del trigo em Paraguay. Investigación Agraria. 17(1): 54-59-

_ Cruz, MF a.; Maciel, JLN; Prestes, AM; Bombonatto, E a. S; Pereira, JF; Consoli, L. 2009. Caracterização genética e fenotípica de isolados de *Pyricularia grisea* do trigo. Tropical Plant Pathology 34(6): 393-401.

_ Cruz,CD; Valent, B. 2017. Wheat blast desease: danger on the move. Tropical plant pathology. DOI: 10.1007/s40858-017-0159-z

_ Igarashi S, Utimada C.M, Igarashi LC, Kazuma AE, Lopes RC. 1986. *Pyricularia* sp. em trigo. I. Occurencia de Pyricularia sp. no estado do Paraná. *Fitopatologia Brasileira,*11:351-352.

_ Kohli, M.M., Y.R. Mehta, E. Guzman, L. de Viedma and L. Cubilla. 2011. *Pyricularia* Blast-A threat to Wheat Cultivation. Czech. J. Genet. Plant Breed., 47: S130-S134. 2011(Speacial Issue).

_ Pereira, JF; Consoli, L; De Souza Bombonatto, EA; Bonato, ALV; Maciel, JLN. 2014. Development of genomic SSR markers and molecular characterization of *Magnaporthe oryzae* isolates from wheat in Brazil. Biochemical Genetics 52(1-2): 52-70.

_ Viedma LQ, Morel W. 2002. Añublo o Piricularia del Trigo. Díptico. MAG/DIA/CRIA. Programa de Investigación de Trigo, CRIA, Capitán Miranda, Itapúa.

_ Viedma, LQ. 2010. Manejo integrado de mancha amarilla y la Piricularia en el cultivo de trigo en Paraguay. In: Kohli, M; Cubilla, LE; Cabrera, G. Tercer seminario nacional de trigo "Del grano al Pan". Asunción, PY. CAPECO, INBIO. 168 p.

_ Valent, B; Farral, L; Chumley, F. 1991. *Magnaporthe oryzae* genes for pathogenicity and virulence identified through a series of backcrosses. Genetics 127. P 87-101

Junto con la resistencia genética, la Fusariosis en trigo requiere de nuevas moléculas más eficaces en el futuro.

Avances en Identificación de Nuevos Agroquímicos Aplicados al Cultivo de Trigo

Advances in Identification of New Agricultural Chemicals for Wheat Crop

Augusto Piazza

Profesor de Sanidad y Calidad Vegetal, y Toxicología Alimentaria Registros Agropecuarios S.R.L., Adolfo Alsina 1441, Of. 206, (1088) C.A.B.A.

piazza@registrosagropecuarios.com

RESUMEN

Los avances científicos actualmente implican menos tiempo de desarrollo; la evolución no solo se basa en el descubrimiento de nuevas moléculas, sino también en el conocimiento más profundo de la fisiología vegetal, la inclusión de genes, además de nuevas tecnologías para productos conocidos, nuevas formulaciones, y trasladar logros de otras áreas a la producción agrícola. En este sentido hoy encontramos agroquímicos como productos biorracionales, bioproductos, elicitores. Los cambios de radicales en las moléculas, isomería, por mencionar los más comunes, han quedado un poco relegados al no poder ofrecer variables relevantes. Investigaciones para la utilización de productos naturales, que en muchos casos solo pueden destinarse una labor artesanal antes que una producción masiva. Adicionalmente se producen cambios en las formulaciones microemulsiones, aplicaciones especiales y nanotecnología. En particular la necesidad de incrementar los conocimientos en el manejo de resistencias, manejo integrado de adversidades (plagas, malezas y enfermedades), capacitaciones con mayor participación en el tema de las aplicaciones. Sin dejar de lado, la información globalizada provista por la facilidad de acceso a distintas fuentes en internet, permitiendo el conocimiento básico por un lado y la desinformación por otro que obliga a una constante superación no solo en la producción, sino también en el respeto por las personas y el ambiente.

ABSTRACT

The world population growth and consequently the need for more food are factors that pressure the research and development to search for new options. Current scientific advances involve less development time. Evolution is not only based on the discovery of new molecules, but also on the deeper knowledge of plant physiology, the inclusion of genes, besides new technologies for known products, new formulations, and transfer achievements from other areas to agricultural production. In this sense, we find modern agrochemicals products as biorational, bioproducts, and elicitors. The radical changes in the molecules and isomers, to mention the most common ones, have been relegated because they cannot offer relevant variables. There is research for the use of natural products, which in many cases can only be applied on small farms rather than a mass production. Additionally, there are changes in the micro-emulsion formulations, special applications techniques and nanotechnology. There is a need to increase knowledge in the management of resistances, integrated management pests, weeds and diseases and training in the subject of applications. The globalized information provided by the ease of access to different sources on the internet, allows basic knowledge on one hand and misinformation on the other which requires constant improvement not only in production, but also in respect to the people and the environment.

El crecimiento poblacional mundial, y por ende las necesidades de alimentos presionan la investigación y desarrollo en la búsqueda de nuevas opciones.

El control de las adversidades (malezas, enfermedades e insectos) ha llevado a una excesiva dependencia de productos sintéticos y naturales; algunos producen efectos secundarios indeseables, aparecen adversidades resistentes, rápidos rebrotes de adversidades por destrucción de enemigos naturales, los costos suben dramáticamente, se presentan en algunos casos degradación ambiental y problemas en la salud humana.

Agregando, además, que los avances científicos actualmente implican menos tiempo de desarrollo, la evolución no solo se basa en el descubrimiento de nuevas moléculas, sino también en el conocimiento más profundo de la fisiología vegetal, la inclusión de genes, además de nuevas tecnologías para productos conocidos, nuevas formulaciones, y trasladar logros de otras áreas a la producción agrícola.

En este sentido hoy encontramos agroquímicos como productos biorracionales (como lo simuladores de muda), bioproductos (como las feromonas, o los bioinsecticidas), elicitores (sustancias que estimulan la nutrición de las plantas e indirectamente aumentan sus defensas).

Los cambios de radicales en las moléculas, isomería, por mencionar los más comunes, han quedado un poco relegados al no poder ofrecer variables relevantes. Investigaciones para la utilización de productos naturales (mayor degradación), que en muchos casos solo pueden destinarse una labor artesanal antes que una producción masiva, en algunos casos debido a los altos costos de recolección, multiplicación y conservación.

Nuevos eventos biotecnológicos, incorporando nuevos genes más que resistentes a los productos químicos tradicionales, incorporando genes contra los daños por la sequía, o que produzcan mayor eficiencia en la utilización de los nutrientes.

Adicionalmente se producen cambios en las formulaciones (productos menos volátiles) microemulsiones (que favorecen la mezcla en el tanque y su aplicación), aplicaciones especiales (como la utilización de cargas eléctricas en las moléculas a fin de garantizar el impacto, o sustancias afines con los tejidos vegetales) y nanotecnología, como utilización de muy pequeñas partículas casi imperceptibles al ojo humano.

En particular en este último caso, al igual que los medicamentos, se ingresa a usos que deben ser estudiados con mayor profundidad, donde el comportamiento de partículas tan pequeñas puede variar y distribuirse en lugares no objetivos.

La tecnología nos brinda más herramientas, más amigables con el ambiente, pero es necesario incrementar los conocimientos en el manejo de resistencias, manejo integrado de adversidades (plagas, malezas y enfermedades), capacitaciones con mayor participación en el tema de las aplicaciones.

Descansar exclusivamente en la utilización de sustancias químicas nos ha llevado a cometer errores irrecuperables, los conocimientos existen, pero en pro del ahorro de tiempo y dinero, lleva en muchos casos a transformar situaciones comunes en graves problemas, como las mezclas, la resistencia, pero contamos con otras tácticas de control donde el control aplicado (el uso de todas las herramientas conocidas) permite un manejo racional del ecosistema.

Evidenciándose con la aparición de nuevas prácticas para control de adversidades, optimizando el ingreso neto y el bienestar social, combinando las tácticas, realizando muestreos, utilizando las herramientas químicas como último recurso, con un entendimiento ecológico profundo. Incorporando computadoras y modelos de simulación, aumentando el grado de predicción y planeamiento, como si fuera una industria moderna.

Sin dejar de lado, la información globalizada provista por la facilidad de acceso a distintas fuentes en internet, permitiendo el conocimiento básico por un lado y la desinformación por otro, que obliga a una constante superación del agricultor como de sus asesores, no solo en la producción, sino también en el respeto por las personas y el ambiente.

Imagen del auditorio del Sexto Seminario Nacional de Trigo.

Las técnicas de aplicación pueden ser importantes para un control eficiente de las enfermedades.

Técnica de Aplicación para Control de Enfermedades Fungosas en Trigo

Application Techniques to Control Fungal Diseases of Wheat

Enrique Lampert
Gerente, Granja Lampert
enrique.lampert@hotmail.com

RESUMEN

En el caso específico del control de enfermedades, el propósito de la aplicación de un defensivo es evitar que las mismas causen un daño económico. Para lograr este cometido deben ser tenidos en cuentas varios aspectos: 1) utilizar un producto que tenga efecto sobre las enfermedades presentes o potenciales, 2) momento de aplicación y 3) técnica de aplicación. La técnica de aplicación es adecuada cuando la dosis correcta del defensivo alcanza el objetivo a ser controlado, con una buena cobertura del mismo y con mínimo impacto sobre las personas y el ambiente. En el caso de enfermedades foliares como royas y manchas, el objetivo de las aplicaciones son las hojas, donde hay que conseguir 40 – 50 gotas/cm^2. Estas enfermedades normalmente se inician en las hojas inferiores, por lo que es importante que las gotas lleguen a este nivel sin caer al suelo, ello implica el uso de gotas de tamaño medias - finas, es decir un VMD (diámetro volumétrico medio) de 200 -250 µ. Las gotas finas tienen una mayor penetración, que las gotas gruesas, en la parte interna del cultivo. En enfermedades de la espiga, la cobertura mejora cuando las gotas tienen una trayectoria oblicua con relación al suelo, lo que se consigue con gotas de un VMD de 200 – 250 µ y viento de 3 – 10 km/h. Gotas gruesas, por su mayor inercia tienen una trayectoria vertical por lo que pocas son interceptadas por las espigas. Mientras que las gotas finas, por su menor inercia, tienen una menor velocidad de caída de manera a que están más expuestas a ser derivadas por el viento por lo que su recorrido sigue la deseada trayectoria oblicua. Una complicación adicional para el control de las enfermedades de la espiga especialmente Fusariosis de la Espiga, es el momento de aplicación, ya que la penetración del patógeno a la espiga se produce fundamentalmente vía anteras, tanto las libres, como las que quedan presas entre las glumas (y por lo tanto permanecen por

más tiempo como puerta de entrada de la enfermedad). Para que funcione, el fungicida debe depositarse sobre las anteras en forma preventiva, es decir antes de que el patógeno llegue a la misma.

La antesis dura 2 a 3 semanas, con una mayor concentración de anteras expuestas a los 7 días de iniciada la emergencia de espigas.

La incidencia de la enfermedad está muy ligada a las condiciones climáticas durante la antesis, se requieren 48 horas de espiga mojada con temperaturas de 26-30 ˚C para máxima infección.

Lo arriba expuesto señala que el momento de aplicación debe ser con la mayor cantidad de anteras expuestas y antes de que las condiciones climáticas sean favorables a la enfermedad. Es posible que se requiera más de una aplicación en caso de clima lluvioso y cálido durante toda la floración. En caso de brusone (*Pyricularia oryzae*), la aplicación también debe ser preventiva y el objetivo de las gotas de la aspersión debería ser el raquis de la espiga y la parte superior del tallo. Para alcanzar el raquis las gotas tienen que pasar entre las glumas, por lo que también en este caso, las gotas medias – finas y la trayectoria oblicua son la mejor opción.

ABSTRACT

The purpose of fungicidal application in disease control is to prevent it from causing economic damage. To achieve this task, several aspects must be taken into account: 1) use an effective product for present or potential diseases, 2) time of application and 3) application technique. The technique of application is considered adequate when the correct dose of the fungicide reaches the objective (plant part) to be controlled, gives a good coverage and with minimum impact on people and the environment. In the case of foliar diseases, such as rusts and leaf spots, leaves are the target of the applications, which need to get 40 - 50 drops / cm2. These diseases usually start infection in the lower leaves, so it is important that the drops reach this level without falling to the ground. This implies the use of medium-sized droplets, i.e. a VMD (average volumetric diameter) of 200 -250 µ. The fine drops have a greater penetration in the internal part of the crop than the thick drops. However, in the spike diseases, the coverage improves when the drops have an oblique trajectory in relation to the soil, which is achieved with drops of a VMD of 200 - 250 µ and the wind velocity of 3 - 10 km / h. Due to their greater inertia, thick drops have a vertical trajectory, so few are intercepted by the spikes. The fine droplets, due to their lower inertia, have a lower falling speed, so that they are more prone to being driven by the wind, so their path follows the desired oblique trajectory. There are additional complications in the control of spike diseases, especially Fusarium Head Blight, in terms of the moment of application, because: a) the penetration of the pathogen occurs mainly via the anthers, both free and those caught between the glumes (and therefore available for longer period), b) the fungicide must be deposited on the anthers in a preventive manner for it to work, i.e. before the pathogen reaches it, c) The anthesis lasts two to three weeks with a higher concentration of anthers exposed around 7 days after spike emergence, and d) the incidence of the disease is highly linked with the climatic conditions during the anthesis; for maximum infection, spikes require 48 hours of wet period with temperatures between 26-30 ˚ C. For an effective control, the time of application should be when the highest number of anthers are exposed and before the climatic conditions become favorable for the disease. In case of rainy and warm weather throughout the flowering period, more than one application may be required. In case of brusone (Pyricularia oryzae), the application should also be preventive and the objective of the spray drops should be the rachis of the spike and the upper part of the stem. To reach the rachis, the drops have to pass through the glumes; so in this case too, the medium to fine drops and the oblique path are the best option.

INTRODUCCIÓN

El control químico forma una parte de la estrategia de control integrado de las enfermedades, insectos y malezas. El objetivo de la aplicación de un defensivo es controlar un problema antes que alcance el umbral de daño económico. Las parámetros que definen una aplicación exitosa son: conseguir que la dosis correcta del defensivo alcance el objetivo a ser controlado, con una cobertura adecuada y en el momento oportuno, con el menor costo posible, y lógicamente considerando la mitigación de posibles efectos no deseados sobre personas y ambiente.

PROPIEDADES DE LOS DEFENSIVOS

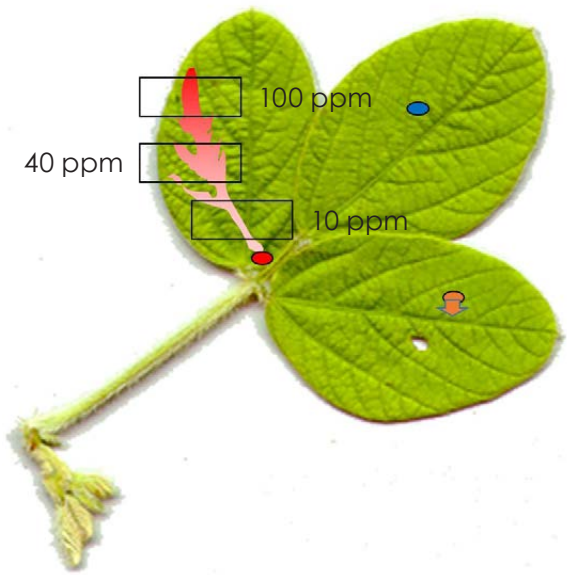
Analizando los factores relativos al producto, hay una importante diferencia entre los mismos.

Si se trata de un producto sistémico o de contacto (Fig. 1). Un producto de contacto no tiene movilidad una vez depositado sobre el objetivo por lo que requiere mayor cobertura que un producto sistémico, el cual es absorbido por la planta y translocado en su interior, con lo que puede alcanzar partes no impactadas en forma directa por la aplicación y de esa manera compensar una menor cobertura. El grado de sistemia varía entre productos.

Figura 1. **Características de los defensivos agrícolas**

Relativo a la planta:
_ Deposito Superficial.
_ Translaminar
_ Sistémico

Relativo a la plaga:
_ Contacto,
_ Ingestión,
_ Inhalación.
_ Preventivo,
_ Curativo.

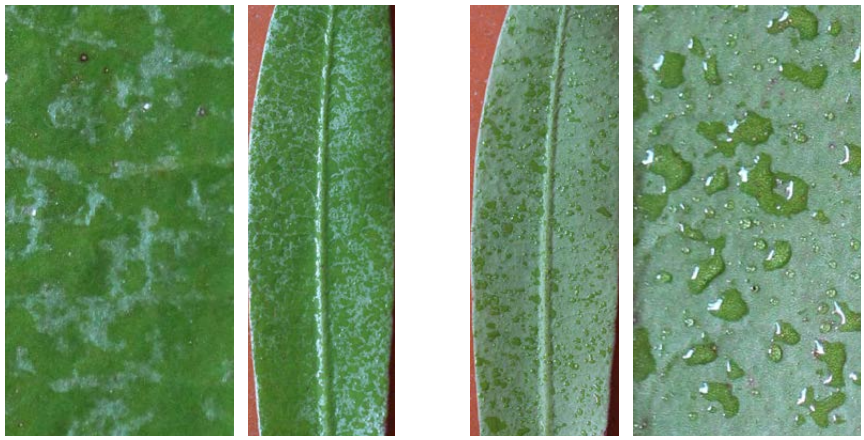


También el momento de aplicación es definido en parte por el tipo de acción del producto, si es preventivo o curativo. Aunque en fungicidas siempre es mejor aplicar al inicio de la enfermedad o en cuando las condiciones ambientales sean muy favorables para su aparición.

La presión de vapor indica la volatilidad del producto. Los productos se evaporan según su propia presión de vapor. Por ejemplo, una aplicación a base a aceite no es afectada por la humedad relativa. La humedad relativa solo influencia a la parte acuosa de las aplicaciones. Ejemplos de presiones de vapor Agua: 2,3 P, Carbendazim: $0{,}9.10^{-4}$, Ciproconazole: $2{,}6.10^{-5}$, Tebuconazole: $1{,}3.10^{-6}$, Metconazole: $2{,}1.10^{-8}$ y Azoxystrobin: $1{,}1.10^{-10}$. Puede notarse, por ejemplo, que el Carbendazim, para un mismo tamaño de gota y condiciones ambientales, se evapora 25 mil veces menos que el agua.

La tensión superficial es importante en casos de epidermis muy pubescentes o con abundante cera en la cutícula y hojas en posición cercana a la vertical (Fig. 2). Menor tensión superficial aumenta la superficie de contacto entre el objetivo y el producto aplicado mejorando su adherencia.

Figura 2. **Relación entre la tensión superficial de la hoja y la superficie cubierta por el defensivo**



LOS PARÁMETROS CLAVES DE UNA APLICACIÓN SON LA COBERTURA, DOSIS Y MOMENTO DE APLICACIÓN

Cobertura

La cobertura indica el número de gotas/unidad de superficie del objetivo. Cada clase de producto tiene una cobertura mínima para conseguir una buena eficacia de la aplicación. Por ejemplo, fungicidas de contacto requieren 70 gotas/cm^2, mientras que los sistémicos requieren una cobertura algo menor (30-50 gotas/cm^2), debido a su capacidad de translocación en la planta. Un insecticida requiere menor densidad de gotas (20-30 gotas/cm^2) que un fungicida debido a que la movilidad propia del insecto hace que, si el producto no impacta directamente al insecto, el mismo, al moverse entra en contacto con el insecticida. Herbicidas pre-emergentes requieren de la misma densidad (20-30 gotas/cm^2) y los pos-emergentes un poco más (30-40 gotas/cm^2) por requerir una mejor cobertura.

Los factores que influencian la cobertura son: tamaño de gota, volumen de aplicación, evaporación, deriva, índice de área foliar y posición del objetivo. Todos estos elementos son interdependientes.

Tamaño de gota

El tamaño de gota, en técnica de aplicación, es el diámetro de gota que divide el volumen aplicado en dos partes iguales y se llama diámetro volumétrico medio (Fig. 3). La clasificación de las gotas se hace según diámetro mostrado en la Fig. 4. El diámetro volumétrico medio (VMD) de distintos tipos de gotas es: gotas muy finas (<100 µ), gotas finas (101-200 µ), gotas medias (201-300 µ), gotas grandes (301-425 µ) y gotas muy grandes (>425 µ).

Figura 3. **Relación entre tamaño de la gota y el volumen aplicado**

Diámetro Volumétrico Medio: Es el diámetro de gota que divide al volumen asperjado en dos partes iguales, (el volumen contenido en las gotas menores al VMD es igual al volumen contenido en las gotas con diámetro mayor al VMD).

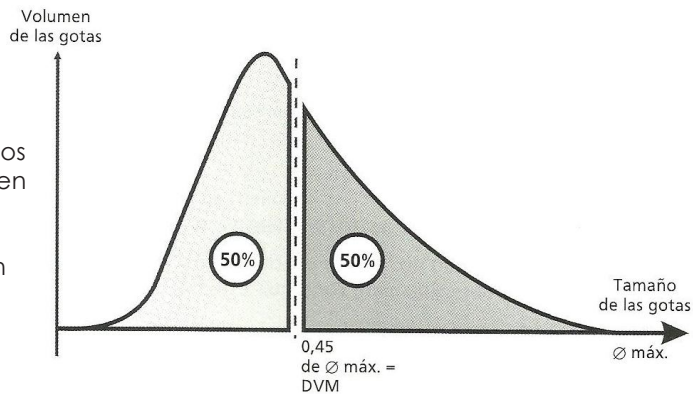
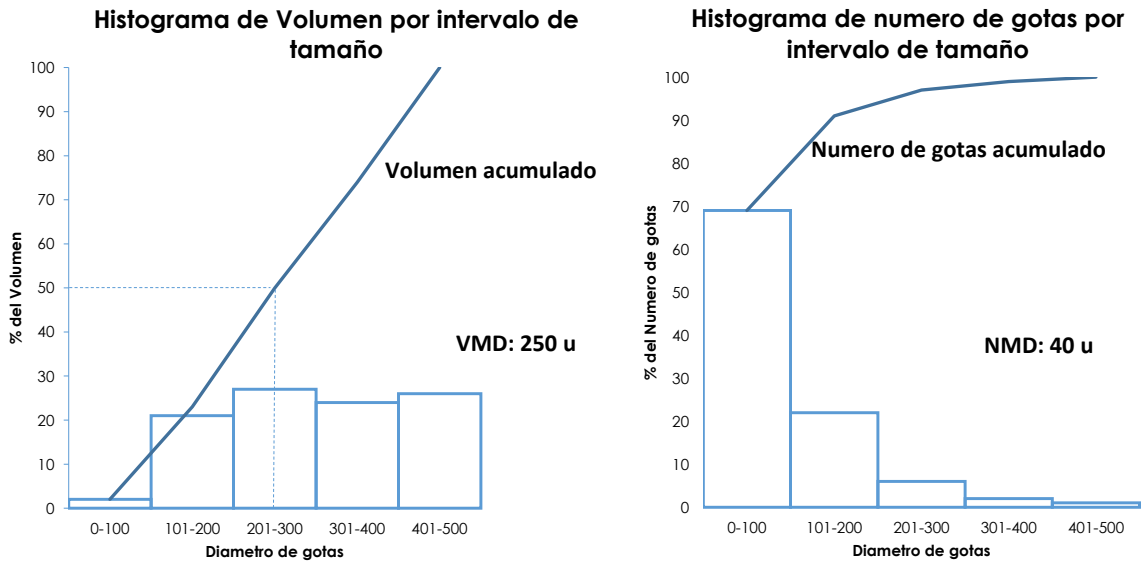


Figura 4. **Histogramas de volumen de agua y número de gotas por intervalo de tamaño de gotas**



El objetivo de la aplicación y el tipo de producto define cual es el tamaño de gota requerido (Fig. 5). Por ejemplo, los herbicidas pre emergentes tienen como objetivo el suelo y además la deriva debería ser mínima (para no afectar otros cultivos colindantes), por lo que el tamaño de gota debe ser mayor que el usado con un fungicida. Para control de vectores, como mosquitos, el tamaño de gota debe ser muy fina porque se requiere que el producto permanezca más tiempo en el aire, donde los vectores están volando.

Figura 5. **Tipo de aplicación y tamaño de gota según defensivo usado**

Tipo de Producto	Tipo de aplicación	Tamaño de gota
Herbicidas	AV - BV	400 – 600 µ
Herbicidas	CDA	200 – 300 µ
Insecticidas	AV - BV	200 – 400 µ
Insecticidas	UBV	50 – 100 µ
Fungicidas	AV - BV	200 – 400 µ
Control Vectores	UBV	30 – 50 µ

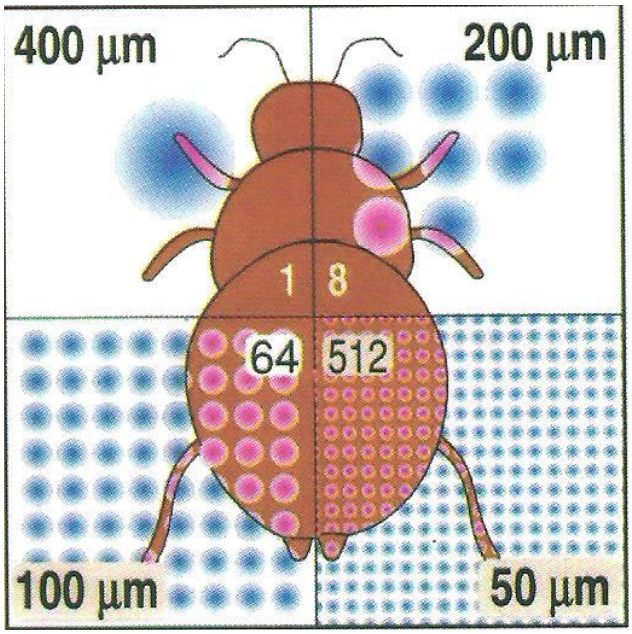
La relación entre el tamaño de gota y la cobertura está en función a la relación de sus respectivos diámetros elevado al cubo; es decir que con el volumen contenido en una gota de 400 µ se pueden obtener 8 gotas de 200 µ, 64 de 100 µ y 512 de 50 µ etc. (Fig. 6). Las gotas pequeñas son las más activas biológicamente, por su mayor superficie de contacto con el objetivo.

La relación entre el tamaño de gota y el volumen de aplicación es directa: por ejemplo, si uno disminuye el diámetro de la gota a la mitad, se puede bajar el volumen aplicado a una octava parte, manteniendo la cobertura (Fig. 7). Lo inverso también es cierto, si uno quiere duplicar el tamaño de gota, tiene que aumentar ocho veces el volumen.

Penetración dentro del cultivo

Además de la eficacia biológica, otra propiedad importante de las gotas pequeñas es la penetración dentro del cultivo (Fig. 8). Muchas de las gotas pequeñas, por su menor momento de inercia, no im-

Figura 6. **Relación entre tamaño de la gota y superficie cubierta**



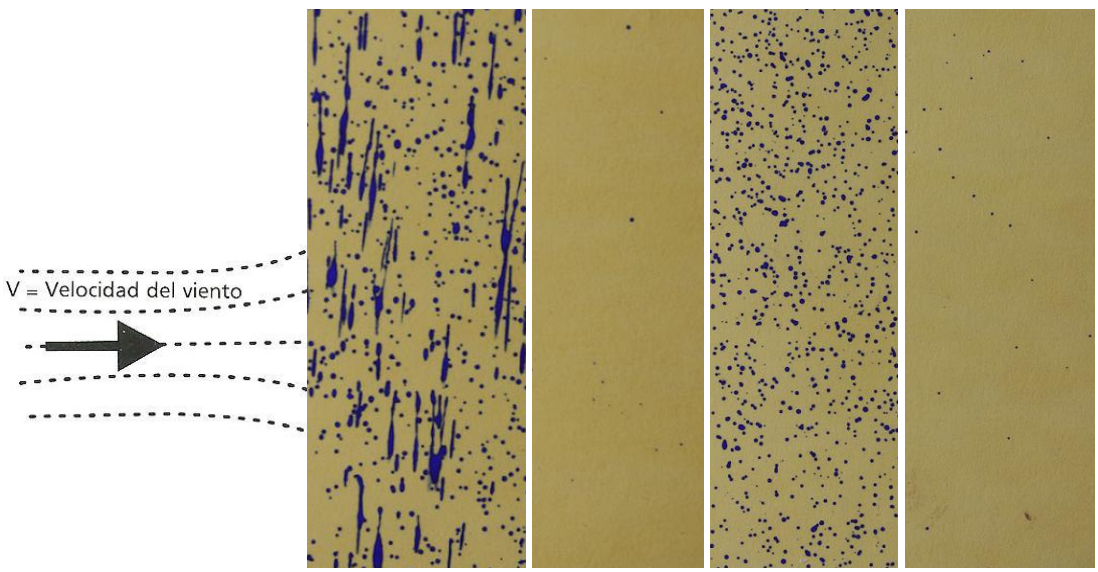
Fuente: **Hardy 1997**

Figura 7. **Relación entre tamaño de la gota y número de gotas/cm²**

Diametro µ	gotas/cm²
500	0,15
450	0,21
400	0,30
350	0,45
300	0,71
250	1,22
200	2,39
150	5,66
100	19,09
50	152,73
20	2386,41

Numero teórico de gotas que se obtienen al aplicar 1 l/ha

Figura 8. **Relación entre tamaño de la gota y su penetración el follaje del cultivo**

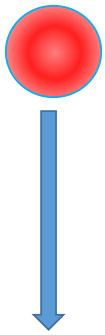


pactan directamente sobre el exterior del cultivo, sino que penetran en el interior del dosel alcanzado objetivos que se desarrollan en las hojas internas, como son la mayor parte de las enfermedades y plagas ocultas difíciles de controlar.

Las gotas más pequeñas son las de mayor actividad biológica y penetración, pero son las que tienen mayor riesgo de deriva y evaporación. Cada tamaño de gota tiene una velocidad terminal que es constante (Fig. 9). La velocidad terminal es mayor cuanto mayor es la masa de la gota. La masa es el producto del volumen x su densidad. Es decir, para una misma sustancia la velocidad de caída aumenta con el tamaño de la gota.

En la Fig. 10 se aprecia la velocidad terminal de las gotas en función a su diámetro y el tiempo que demora en recorrer la distancia entre la barra de aplicación y el cultivo.

Figura 9. **Relación entre tamaño de la gota y su velocidad terminal**



Sustancia	Densidad en kg/m³	Densidad en g/c.c.
Agua	1000	1
Aceite	920	0,92
Gasolina	680	0,68
Plomo	11300	11,3
Acero	7800	7,8
Mercurio	13600	13,6
Madera	900	0,9
Aire	1,3	0,0013
Butano	2,6	0,026
Dióxido de carbono	1,8	0,018

$$V_s = \frac{2}{9}\frac{r^2 g(\rho_p - \rho_f)}{\eta}$$

donde:

V_s es la velocidad de caída de las partículas (velocidad límite)
g es la aceleración de la gravedad,
ρ_p es la densidad de las partículas y
ρ_f es la densidad del fluido.
η es la viscosidad del fluido.
r es el radio equivalente de la partícula.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\frac{2}{9}\frac{r_1^2 g(\varrho_1 - \varrho_a)}{\eta}}{\frac{2}{9}\frac{r_2^2 g(\varrho_2 - \varrho_a)}{\eta}} = \frac{r_1^2(\varrho_1 - \varrho_a)}{r_2^2(\varrho_2 - \varrho_a)} = \frac{\varrho_1 - \varrho_a}{\varrho_2 - \varrho_a} = \mathbf{1{,}087}$$

Figura 10. **Relación entre tamaño de la gota y el tiempo de caída sobre el objetivo**

Diametro µ	V Terminal (cm/seg)	Altura barra (cm)	Tiempo caida (seg)
500	220	70	0,32
450	195	70	0,36
400	169	70	0,41
350	146	70	0,48
300	121	70	0,58
250	95	70	0,74
200	72	70	0,97
150	48	70	1,46
100	26	70	2,69
50	7	70	10,00

El efecto del tamaño de gota sobre la velocidad de evaporación de las mismas y el tiempo que tarda en alcanzar el cultivo, bajo condiciones de 30 ˚C y 50% de humedad relativa, está presentado en la Fig. 11.

Se puede apreciar que una gota de 200 µ se evapora en 56 segundos, y que la misma, por su velocidad terminal, tarda menos de 1 segundo en recorrer los 70 cm de la barra al cultivo, indicando que la gota alcanzara su objetivo.

También podemos ver que una gota de 100 µ se evapora en 14 segundos, y que la misma, por su velocidad terminal, tarda menos de menos de 3 segundos en recorrer los 70 cm de la barra al cultivo, lo que asegura que la gota alcanzará su objetivo.

Figura 11. **Relación entre tamaño de la gota y la evaporación**

Diametro µ	T:30*C. - HR: 50%	V Terminal (cm/seg)	Altura (cm)	Tiempo caida (seg)
500	350,0	220	70	0,32
450	283,5	195	70	0,36
400	224,0	169	70	0,41
350	171,5	146	70	0,48
300	126,0	121	70	0,58
250	87,5	95	70	0,74
200	56,0	72	70	0,97
150	31,5	48	70	1,46
100	14,0	26	70	2,69
50	3,5	7	70	10,00

Tiempo de evaporación, en segundos, de la gota en función al diámetro.

Por último, se puede ver que una gota de 50 µ se evapora en 3,5 segundos, y que la misma, por su velocidad terminal, tarda 10 segundos en recorrer los 70 cm de la barra al cultivo, lo que no asegura que la gota alcance el objetivo cuando se usa agua como vehículo.

Deriva

Las gotas después de salir de las boquillas están sujetas a dos fuerzas: una con dirección vertical al suelo, que depende de su masa x la atracción de la gravedad y la otra en dirección horizontal que depende de la velocidad del viento. La trayectoria que sigue la gota es la resultante de ambas fuerzas. Cuanto mayor es el viento y menor el tamaño de la gota la resultante será una mayor deriva.

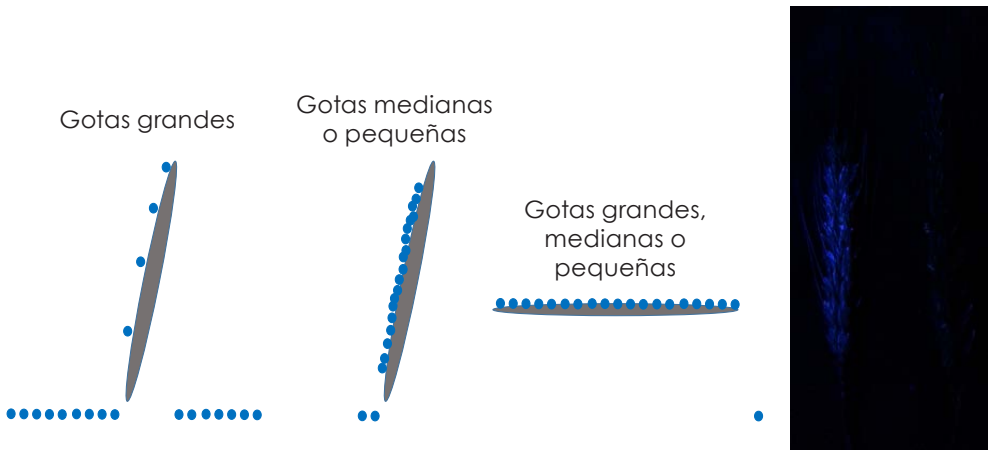
La influencia del tamaño de gota y la velocidad del viento sobre la deriva esta presentada en la Fig. 12. Por ejemplo, una gota de 200 µ con un viento de 10 km/h, tiene una deriva de 2,7 m mientras cae 70 cm, es decir que sigue una trayectoria oblicua. Por otra parte, una gota grande de 500 µ, con

Figura 12. **Relación entre tamaño de la gota y la deriva**

Diametro µ	Deriva (m) viento de 5 km/h	Deriva (m) viento de 10 km/h	Deriva (m) viento de 15 km/h	Deriva (m) viento de 20 km/h
500	0,44	0,88	1,33	1,77
450	0,50	1,00	1,50	1,99
400	0,58	1,15	1,73	2,30
350	0,67	1,33	2,00	2,66
300	0,80	1,61	2,41	3,21
250	1,02	2,05	3,07	4,09
200	1,35	2,70	4,05	5,40
150	2,03	4,05	6,08	8,10
100	3,74	7,48	11,22	14,96
50	13,89	27,78	41,67	55,56

Altura de la barra: 70 cm

Figura 13. **Relación entre tamaño de la gota y la posición del objetivo**



un viento de 5 km/h, tiene una deriva de 44 cm mientras cae la misma distancia de 70 cm, es decir que su trayectoria es casi vertical.

La posición del objetivo

La posición del objetivo, vertical (espiga o hoja) u horizontal (hojas), influye sobre la deposición de los diferentes tamaños de gota. Las aplicaciones cuyas gotas siguen una trayectoria vertical (gotas grandes con poco viento) se depositan mayormente en superficies horizontales con mínima cobertura en superficies verticales, como espigas (Fig. 13).

Las gotas que siguen una trayectoria oblicua (gotas medianas a pequeñas con viento moderado), tienden a depositarse tanto en superficies verticales como horizontales, mejorando la protección especialmente de espigas y tallos. La ultima lamina de la Fig. 13 muestra una espiga de trigo aplicada con gotas 200 µ en la que se incluyó un producto fosforescente. Con este tamaño de la gota y viento moderado, se puede apreciar una buena cobertura de la espiga.

El tamaño de la gota y sus propiedades están resumidas en la Fig. 14. Se puede apreciar que las gotas finas tienen mayor actividad biológica, penetración y depósito en superficies verticales, por lo que son más adecuadas para la protección de espigas y tallos. Pero por su menor velocidad terminal, están más expuestas a la deriva y evaporación. Por lo tanto, a medida que se disminuye el tamaño de la gota necesariamente hay que aumentar la técnica de aplicación.

Figura 14. **Propiedades de distintos tamaños de gota**

Parámetro	Gotas Finas	Gotas Gruesas
Penetración	Elevada	Baja
Cobertura	Elevada	Baja
Deposito en superficie vertical	Elevada	Baja
Deposito en superficie horizontal	Elevada - Media	Elevada
Velocidad Terminal	Baja	Elevada
Riesgo de Evaporación	Elevado	Bajo
Riesgo de Deriva	Elevado	Bajo

Momento de aplicación

El momento de aplicación es uno de los parámetros que define el éxito de una aplicación. No basta alcanzar el objetivo con el producto adecuado y la cobertura requerida, si la aplicación es realizada después que el daño ya fue ocasionado. Esto es especialmente valido en cuanto al control de enfermedades de espigas como Fusariosis de la Espiga y Pyricularia o Brusone.

La infección de las espigas por Fusariosis de la Espiga ocurre a través de las anteras, sean estas sueltas o presas (Fig. 15). Es debido a que para la elongación de la hifa de infección el hongo necesita de los aminoácidos betaina y colina que están presentes en las anteras en las concentraciones requerida para que ocurra el proceso infectivo. Para que el fungicida sea eficiente para evitar la infección de la Fusariosis de la Espiga, el mismo debe alcanzar las anteras antes de que ocurra la penetración del hongo (Fig. 16).

Figura 15. **Condiciones para la infección de Fusariosis de la Espiga de trigo y su control**

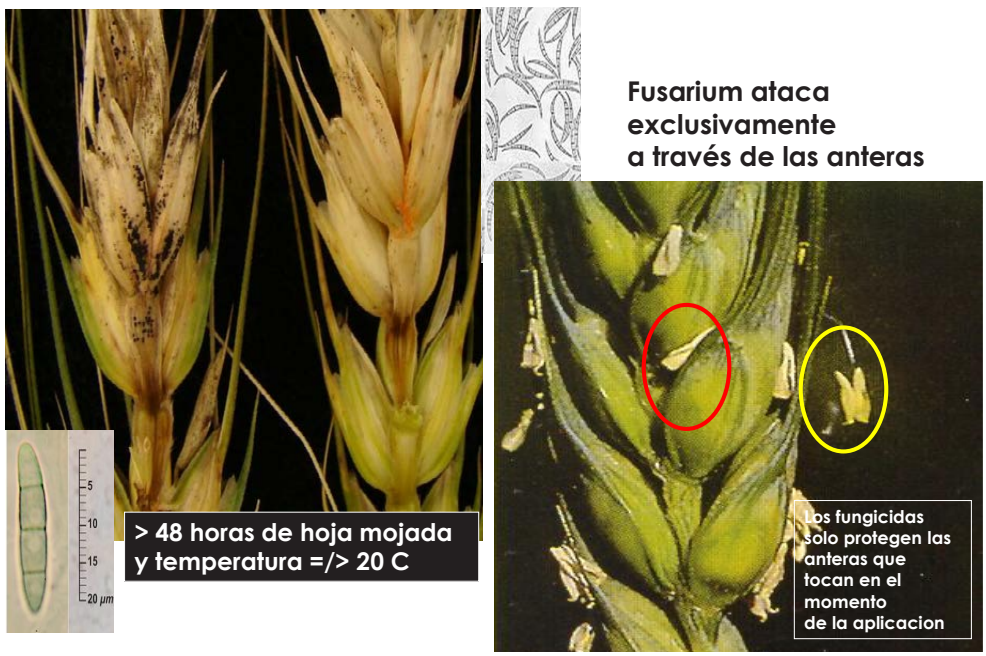


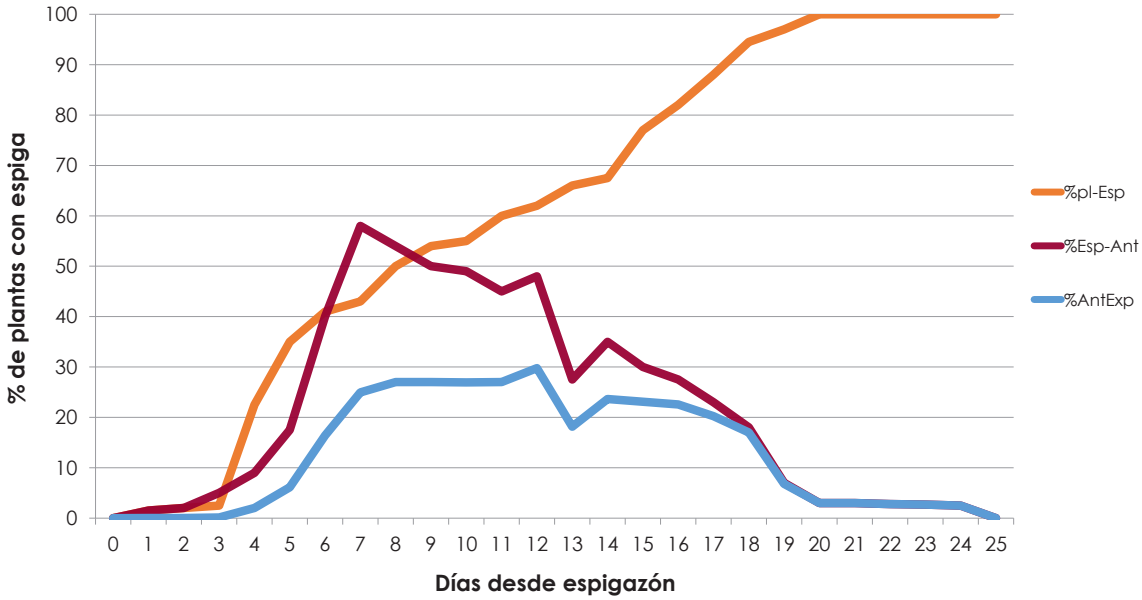
Figura 16. **Momento de aplicación para el control de la Fusariosis de la Espiga**

Tratamientos	Infección
1. Antes de la floración[1]	-
2. Floración (anteras sueltas + presas)[2]	+
3. Después de la floración (anteras presas)[1]	+
4. Gotícula en el raquis[2]	-
5. Gotícula en anteras presas[2]	+

[1] Pulverización del inoculo.
[2] Deposición de gotícula con inoculo.
- sin infección.
+ infección en 100% de espigas inoculadas.

Para determinar el periodo de riesgo, hay que caracterizar la floración de la variedad de trigo a proteger. El periodo de espigazón puede durar aproximadamente 15-20 días, pero a los 7 días ya el 50% de las plantas presentan espigas (Fig. 17). También hay que considerar que es a los 7 días cuando el cultivo tiene el mayor porcentaje de espigas con antesis. Considerando el porcentaje de plantas con

Figura 17. **Variación en el largo del periodo de espigazón y floración**

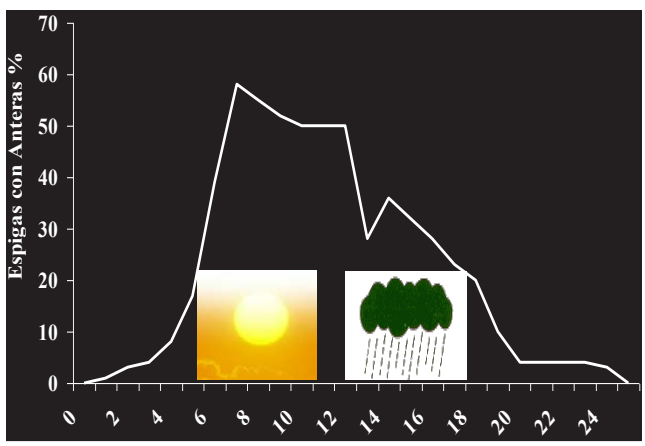


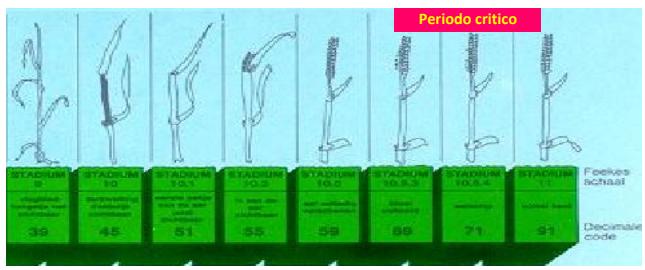
anteras expuestas, el periodo de mayor riesgo para la infección por Fusariosis va desde los 6-7 a los 15-20 días de iniciada la espigazón.

El clima tiene una gran influencia sobre el proceso de infección de la Fusariosis de la Espiga. Las curvas de Mills muestran los porcentajes de espigas infectadas bajo diferentes combinaciones de temperatura y horas de mojado de la espiga (Fig. 18). Según estas curvas las condiciones de riesgo de infección a 20 ˚C son cuando hay un mojado mayor a 60 horas o con 25/30 ˚C de temperatura, el mojado mayor a 48 horas.

Figura 18. **Relación entre la temperatura, periodo de mojado e infección de Fusariosis de la Espiga**

Tenperatura (*C)	Horas de mojado	Espigas infectadas (%)
15	18	0
	24	0
	36	0
	48	1.6
	60	0
	72	0
20	18	1.3
	24	2.9
	36	4.2
	48	5.2
	60	30
	72	80.6
25	18	2.4
	24	5.5
	36	18.5
	48	77.1
	60	83
	72	95.6
30	18	0
	24	0
	36	2.6
	48	27.1
	60	61.2
	72	86.4





En este caso hay que considerar las condiciones climáticas durante el periodo crítico donde el cultivo está expuesto a infecciones por Fusariosis. Si las condiciones climáticas no alcanzan las horas de mojado a las correspondientes temperaturas, el riesgo es bajo. Pero si hay pronósticos que indican que el clima será favorable a la infección por Fusariosis durante el periodo crítico, es recomendable hacer una o dos aplicaciones preventivas a partir de los 7 días de iniciada la espigazón.

Pyricularia de trigo o Brusone es otro patógeno que ataca las espigas (Fig. 19). Cuando la infección ocurre durante la emergencia de la espiga la penetración es a través del nudo ciliar. En este caso la espiga completa suele ser afectada quedando de color blanco y prácticamente sin granos. Sin embargo, cuando la infección ocurre después de la emergencia de la espiga, la penetración es a través del raquis. En estos casos la espiga queda parcialmente sin granos, dependiendo del lugar donde ocurrió la penetración del patógeno.

Figura 19. **Punto de infección y el grado daño causado en la espiga de trigo por Brusone o Piricularia**

Las aplicaciones para controlar Pyricularia deberían ser preventivas, cuando las condiciones ambientales son favorables para la infección. Lo ideal es conseguir un depósito del fungicida en el nudo ciliar y sobre el raquis de las espigas antes que ocurra la infección. Si el clima es favorable a Pyricularia desde el inicio de la espigazón, habría que aplicar con 10% de espigas emergidas y 7-10 días después.

El mejor efecto del fungicida ocurre cuando una alta concentración del mismo es depositada en el lugar donde las esporas del hongo germinan sobre el hospedero. Para que esto ocurra las gotas de la aplicación deben aproximarse al tamaño de las esporas. Tanto Fusarium como Pyricularia tienen propágulos (ascosporas y conidios) de 20 µ, por lo tanto, las gotas pequeñas serían las que siguen una trayectoria semejante y se depositan cerca de donde lo hacen las esporas de dichos patógenos.

Mejoramiento de la Calidad de Trigo bajo Condiciones de Estrés Térmico: Métodos Simples para la Potencial Selección en Etapas Avanzadas Tempranas

Improvement of Wheat Quality under Thermal Stress: Simple Methods for Potential Selection in Early Generations

Roberto J. Peña

Consultor, Programa Global de Trigo,
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT,
Apdo. Postal 6-641 06600 México, D.F., MÉXICO
chatopena50@gmail.com

RESUMEN

El mercado internacional del trigo es cada vez más competitivo principalmente por la creciente demanda por consistencia en la calidad industrial. Los mejoradores ahora deben poner más énfasis en seleccionar trigos que, además de tener alto potencial de rendimiento y resistencia a enfermedades, posean calidad y estabilidad de la calidad aun ante condiciones ambientales adversas o erráticas. Las altas temperaturas en condiciones semi-tropicales y tropicales representa un gran reto en mejoramiento ya que las altas temperaturas pueden modificar la funcionalidad de las proteínas del gluten, las cuales definen la calidad de panificación. Aun cuando no se conocen bien los factores genéticos y de interacción genotipo-ambiente que regulan la tolerancia al estrés térmico, es necesario seleccionar por calidad bajo estas condiciones. Una estrategia eficiente consiste en caracterizar progenitores con respecto su composición de gluteninas para utilizar en cruzamientos aquellos que posean las gluteninas deseables. Más adelante, en etapas avanzadas tempranas, y exponiendo a las líneas a estrés de calor, será necesario seleccionar aquellos genotipos que muestren mejor tolerancia o estabilidad en calidad ante el estrés térmico.

Los métodos convencionales usados para evaluar la calidad del trigo requieren muestra grande de grano y toman tiempo en la evaluación, por lo cual no son aplicables en selección temprana de trigos que posean la calidad deseable. Afortunadamente, existen pruebas relativamente rápidas y que requieren una pequeña muestra de grano, tales como la sedimentación con SDS (SEDSDS), la capacidad de retención en ácido láctico (CRAL) y el índice de hinchazón de la glutenina (IHG), las cuales presentan potencial como herramientas de selección de calidad de gluten ante condiciones de estrés de calor. La relación de estos 3 métodos rápidos varía de intermedia a alta cuando se les compara con propiedades de

amasado, fuerza de gluten y volumen de pan. El uso de una o más de estas pruebas para selección por calidad en etapa temprana ante el estrés térmico podría representar una estrategia adecuada para desarrollar variedades con calidad estable. La influencia del estrés ambiental (hídrico y térmico) sobre el valor de estas pruebas rápidas como parámetros de selección será discutida.

ABSTRACT

The international wheat market is increasingly competitive, mainly due to the growing demand for consistency in industrial quality. Breeders should now place more emphasis on selecting wheats that, in addition to having high yield potential and disease resistance, possess quality and quality stability even in adverse or erratic environmental conditions. High temperatures in semi-tropical and tropical environments represent a great challenge since they can modify the functionality of gluten proteins, which define the bread quality. Even though the genetic and genotype x environment interaction factors that regulate tolerance to thermal stress are not well understood, it is necessary to select for quality under these conditions. An efficient strategy is to characterize parents with respect to their composition of glutenins and use in crosses the parents that possess the desirable glutenins. Later, in early advanced stages, and by exposing the lines to heat stress, it will be necessary to select those genotypes that show better tolerance or stability in terms of thermal stress. The conventional methods used to evaluate the wheat quality require a large sample of grain and are time consuming, thereby not applicable in the selection of wheats that have the desirable quality. Fortunately, there are relatively rapid tests that require a small sample of grain, such as sedimentation with SDS (SEDSDS), the capacity for retention in lactic acid (CRAL) and the swelling index of glutenin (IHG), which show potential as gluten quality selection tools under heat stress conditions. The relationship of these three fast methods varies from intermediate to high when compared with kneading properties, gluten strength and bread volume. The use of one or more of these tests for quality selection at an early stage under thermal stress could represent an adequate strategy to develop varieties with stable quality. The influence of environmental stress (hydric and thermal) on the value of these rapid tests, as selection parameters, will be discussed.

El consumidor es cada vez más exigente en el tipo y calidad de pan que prefiere.

INTRODUCCIÓN

Gracias por la invitación y sobre todo por darme la oportunidad de estar aquí una vez más compartiendo experiencias con amigos y haciendo nuevos amigos.

En este tema se tratará de discutir sobre las herramientas útiles para mejorar la calidad en regiones calurosas, ya que es uno de los principales problemas del trigo en Paraguay.

El manejo de trigo en cuanto a la calidad requiere del conocimiento de su control genético y el efecto ambiental. Posteriormente discutiremos lo que hace el CIMMYT para mejorar la calidad, métodos para caracterizar etc. El Dr. Ravi Singh ya mencionó algo sobre métodos rápidos, llamados "high throughput", del tipo fenotipado porque hace falta tener un mejor conocimiento del control genético y un mejor uso de la selección genómica. Primero hay que entender los eventos que ocurren desde el punto de vista fenotípico.

Es importante recalcar de que estamos en una continua necesidad de aumentar la producción de alimentos. Hasta ahora la producción y la demanda están empatadas y las reservas en el mundo tienden a bajar. Si de repente por cuestiones ambientales o por cuestiones bióticas, hay una baja en algunos de los principales países productores de trigo del mundo, las reservas de grano van para abajo. Por otra parte, la población urbana en todo el mundo está incrementándose a una velocidad tal, que pone mucha presión por la demanda de productos. No hay duda de que para el año 2050 necesitaremos 70% más de alimentos o cifras aún mucho mayores.

FACTORES QUE INFLUENCIAN LA CALIDAD DE TRIGO

La calidad, así como lo es el rendimiento, está afectada por muchos factores, tanto genéticos como factores bióticos, abióticos y el de manejo del cultivo. La eficiencia en el uso de nitrógeno, en la aplicación de un fungicida o un agroquímico y el manejo del cultivo después de que ha sido cosechado, todos afectan a la calidad final (Fig. 1).

Figura 1. **Factores que influencian la calidad de trigo**

Control genético de los caracteres de calidad

Con respecto al mejoramiento genético, vale decir que la investigación para conocer el control de los caracteres de calidad tiene muchos años y hay mucha ciencia detrás de eso. Eso ha permitido manipular genes y alelos para hacer "trajes a la medida" desde el punto de vista de la calidad; grano blando o grano duro, gluten fuerte, gluten muy extensible (Fig.2). Todo eso se puede diseñar dentro del mejoramiento porque se conoce el control genético de las proteínas, de los polisacáridos y de muchos de los factores que afectan la calidad.

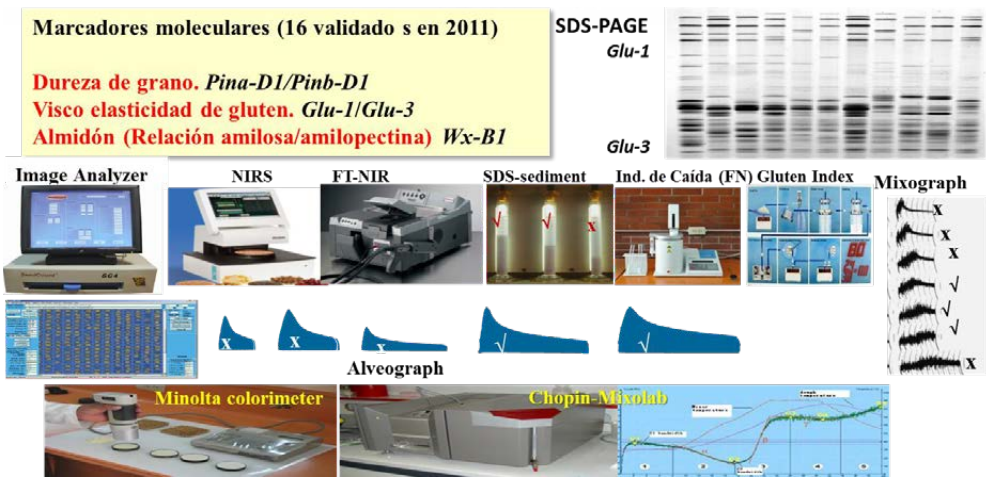
Figura 2. **Control Genético de los Caracteres de Calidad**

Se sabe como manipular y seleccionar, a través del fito mejoramiento, los principales genes que controlan la calidad de procesamiento de trigo

Características de Calidad	Genes Principales:	
Dureza de grano (puroindolinas)	*Pina-D1, Pinb-D1*	(5DS)
Gluteninas	*Glu-1, Glu-3*	(Cromos. 1A,1B,1D)
Gliadinas	*Gli-1, Gli-2, Gli-3*	(Cromos. 1 & 6)
Contenido de Proteína	*Pro-1, Pro-2*	(5D)
Secalinas (centeno) (1B/1R)	*Sec-1, Sec-2*	(1RS, 2RS)
Enzimas (grano brotado)	*Amy-1, Amy-2*	(Cromos. 6 & 7)
Textura del almidón	*Wx-1*	(7AS, 4AL, 7DS)
Poli fenol oxidasa	*Ppo-A1, Ppo-D1*	(2A, 2D)
Pigmento amarillo	*Psy-A1 , Psy-B1*	(7AL, 7BL)

En el control genético, se conoce las cadenas moleculares diversas. Se ha validado 16 cadenas en el CIMMYT y la electroforesis es de uso común, Fig. 3. La técnica que usa el CIMMYT, es estándar a nivel mundial para identificar gluteninas de alto y bajo peso molecular. También hay una serie de metodologías que permiten conocer aspectos de texturas, de carbohidratos, viscosidad, elasticidad, etc. El mandato del programa de mejoramiento de CIMMYT es crear un germoplasma que pueda repartirse en el mundo para usos diversos. Para eso, el laboratorio tiene que sincronizar, armonizar y poder responder a las necesidades de los fitomejoradores en tiempo y forma.

Figura 3. **Métodos convencionales para determinar la calidad de trigo y sus harinas/ sémolas**



IMPACTO DEL CALOR EN LA CALIDAD

De acuerdo con el grupo holandés, encabezado por el equipo del Dr. Spiertz (Huub Spiertz, Rob Hamer, Hengyong Xu and Xinyou Yin), el estrés del calor es aquel que causa un cambio fisiológico, el cual reduce la capacidad de la planta en su desarrollo y reduce el rendimiento del grano. Hay cambios que son reversibles (aclimatación), y otros que son irreversibles (intolerancia).

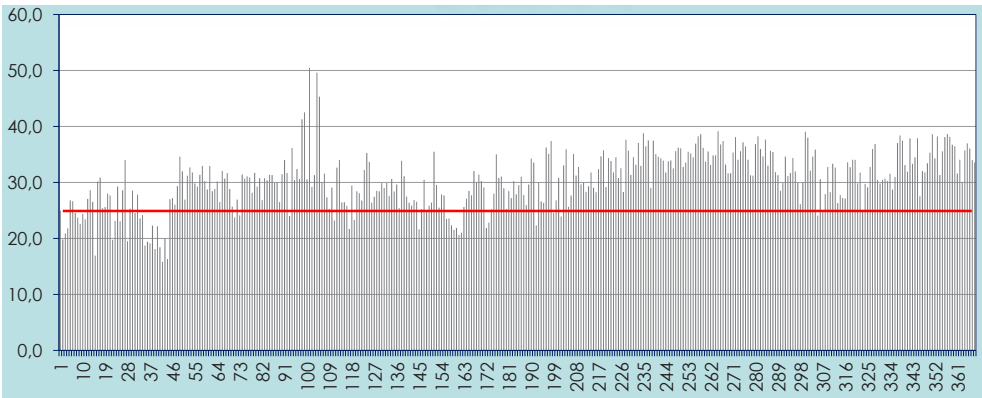
Se sabe que la alta temperatura afecta, principalmente, la capacidad fotosintética de la planta para que esta puede recuperarse o no. También se sabe que la regulación de las estomas para volver a regular la temperatura es uno de los factores más importantes. Bajo estrés de calor se acelera la velocidad o la tasa de llenado de grano, y la vez se acorta el periodo de llenado de grano y hay una reducción de peso del mismo. La reducción de peso de grano es uno de los factores que ha permitido hacer selecciones con respecto al rendimiento y la calidad en un programa de mejoramiento.

El grupo francés encabezado por Gerard Branlard explica que el estrés de calor reduce la acumulación de almidón porque disminuye la capacidad fotosintética, pero también existe un estrés oxidativo, a nivel del retículo endoplasmático, a nivel celular y esto hace que el tamaño del polímero de glutenina sea más grande. Esto fue documentado por trabajos en proteómica por varios investigadores (ver bibliografía). Además, el shock de calor crea las proteínas de defensa, que una vez terminada su función de defensa, se convierten en péptidos semejantes a las gliadinas.

La presencia de estas pseudo-gliadinas y los cambios en los polímeros desbalancea la composición natural del gluten del trigo, para bien y para mal.

En la Fig. 4, se muestra la comparación en peso de mil granos en un vivero internacional con 368 líneas evaluadas bajo estrés y sin estrés térmico. Bajo estrés térmico algunas pierden 20%, mientras que otras pierden más del 40%. Esta variabilidad se debe principalmente al control genético del cultivo a adaptarse a este estrés ambiental

Figura 4. **Diferencias (%) en peso de mil granos entre cultivo con y sin estrés térmico. N=368 C29SAWSN Y09-10**



En el CIMMYT se han hecho algunos estudios que nos permiten entender las necesidades del fitomejorador. El laboratorio de calidad del CIMMYT es un programa de mejoramiento, no un laboratorio del control de calidad y debe de entender en que consiste el proceso de el mejoramiento y cuales son las necesidades del programa.

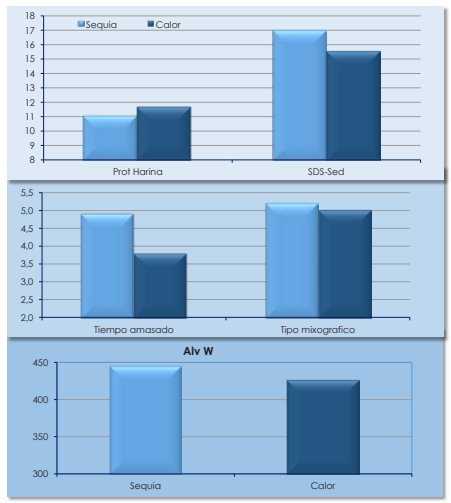
Por ejemplo, se ha hecho una comparación de 147 líneas del CIMMYT, de una población, bajo condiciones de sequía y el calor (Fig. 5). En este caso es muy claro, que tanto la sequía como el calor,

Figura 5. **Valores de distintos parámetros de calidad bajo condiciones de sequía y el calor**

El contenido de proteína en grano es similar bajo estrés hídrico y térmico (mayor al obtenido con bajo condiciones optimas).

Sin embargo, los parámetros de calidad son mejores bajo estrés hídrico que bajo el térmico en una población de Líneas Elite

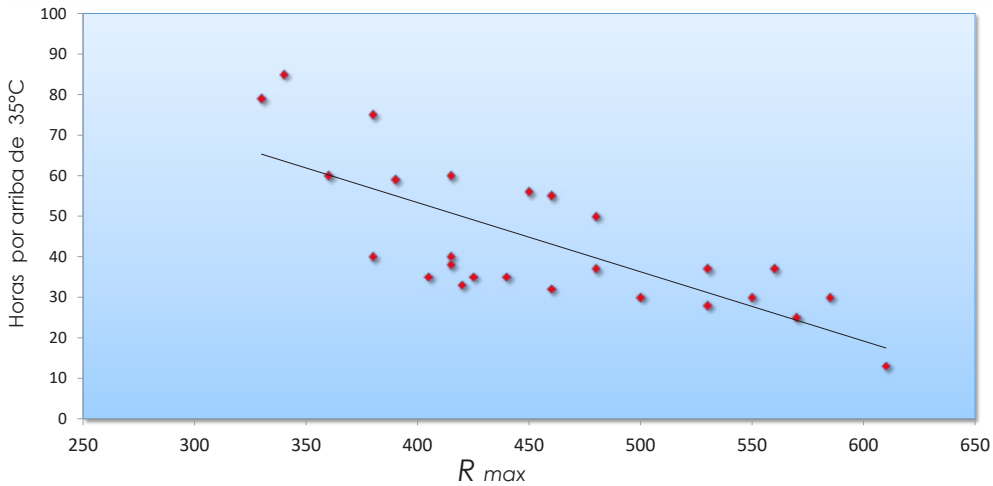
(Elite Selección EYTBWIR) Sel. Y. 08-09 n=147



incrementan la proteína. Excepto en el caso de proteína, todos otros valores que tienen que ver con la calidad del gluten, el calor tiene un efecto negativo con respecto a lo que es la sequía. En todos los casos, la sedimentación, el tiempo de desarrollo de masa (tiempo mixográfico) y la fuerza del gluten (Alv W), se reducen bajo estrés de calor.

En Australia, cuando revisaron el comportamiento del trigo a golpes de calor por un periodo de 29 años, encontraron que mientras más tiempo se exponga un cultivo a altas temperaturas, menor es la fuerza de gluten (Fig. 6). Rmax es la resistencia máxima que tienen las masas cuando se someten a una fuerza en el extensor. De tal manera que a mayor tiempo de exposición a los golpes de calor, mayor es la perdida de resistencia y fuerza de masa, lo cual es un daño por calor.

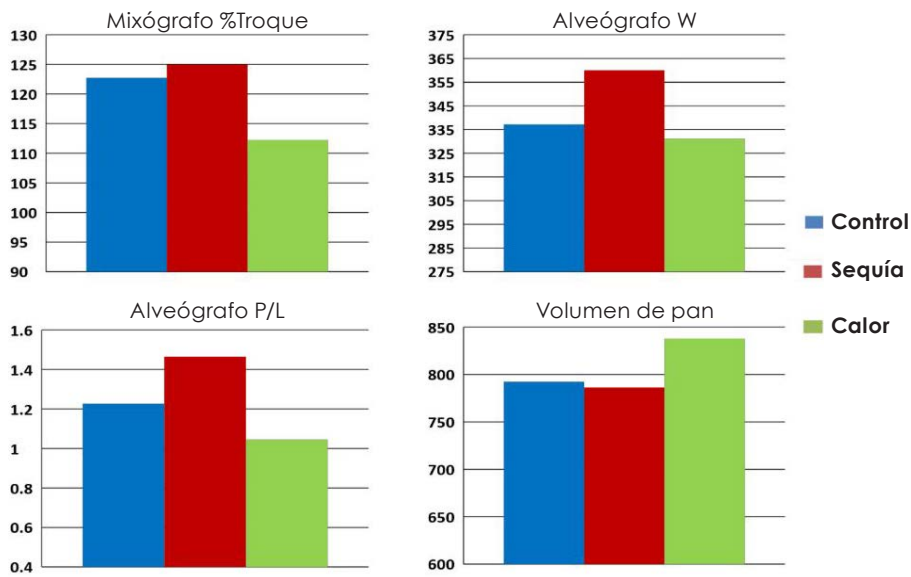
Figura 6. **Variación en la resistencia de la masa (Rmax) en trigo expuesto a estrés de calor (trigos Prime Hard) de 1960 a 1989 (Australia)**



La Fig. 7 se presentan resultados de un trabajo hecho en Cd Obregón, México con sequía y calor y sin estrés ambiental. Los resultados muestran que el calor tiene un efecto negativo en la fuerza del gluten, pero positivo en la extensibilidad por el aumento en las pseudo-gliadinas. Los valores más bajos de la relación P/L indican que hay mayor extensibilidad y eso permite mayor volumen de pan. Algunos genotipos tienen ese comportamiento.

Figura 7. **Impacto del calor y la sequía sobre la fuerza y extensibilidad de gluten y en volumen de pan**

El calor tiene un efecto negativo en fuerza la gluten... pero positivo en extensibilidad y en volúmen de pan

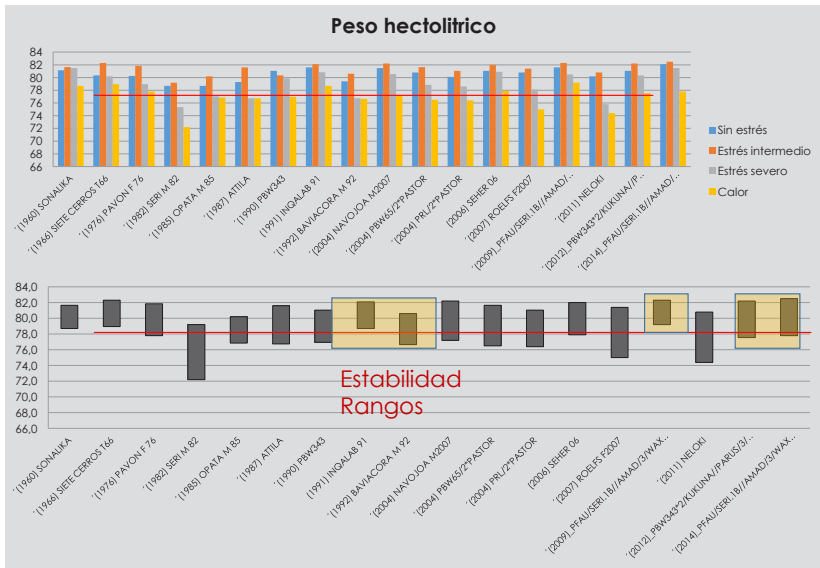


En otro estudio, un grupo de 60 líneas y variedades fueron evaluadas bajo el estrés de calor por un periodo de tres años (Figs. 8-11). Los resultados confirman que el calor reduce el peso hectolítrico, pero lo importante es mostrar que hay diferencia en la respuesta al calor que permite al fitomejorador la posibilidad de seleccionar por estabilidad a estas características, Fig. 8. En la industria, se tiene consistencia en la calidad de trigo que recibe. Entonces es posible seleccionar, tanto por menor reducción de peso hectolítrico como por mayor estabilidad en este respecto.

Figura 8. **Impacto del calor y la sequía sobre el peso específico y su estabilidad**

Estrés por calor y por sequía reducen el peso hectolitrico

Algunas líneas o variedades son mas estables que otras.
Hay líneas nuevas con estabilidad aceptable



Con respecto a la proteína en grano, en general se incrementa, pero igual hay un comportamiento diverso dependiendo del genotipo, y el fitomejorador puede seleccionar uno con menor cambio de proteínas o también mejor estabilidad, Fig. 9. En cuanto a fuerza de gluten, se vuelve a confirmar que el calor afecta la fuerza de manera variable (Figura 10), pero aumenta la extensibilidad (Figura 11); a menor valor de P/L, hay mejor extensibilidad y tiene la oportunidad también de seleccionar por mejor estabilidad. Esto es uno de los factores mucho más importantes y más difícil para mejorar.

Figura 9. **Impacto del calor y la sequía sobre la proteína en grano y su estabilidad**

Estrés por calor y por Sequia incrementan la proteína en grano

Hay líneas nuevas con estabilidad aceptable

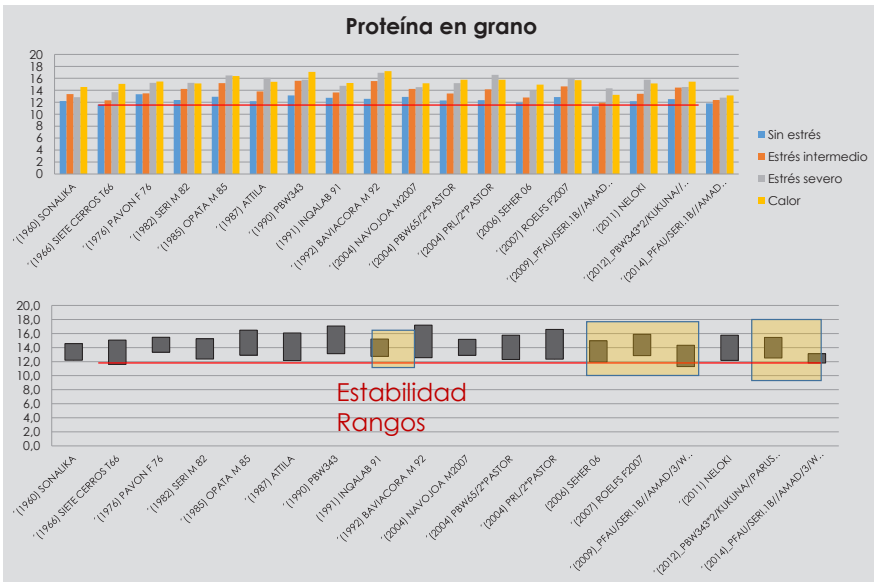


Figura 10. **Impacto del calor y la sequía sobre la fuerza de gluten y su estabilidad**

Estrés por sequia incrementan la fuerza de gluten el estrés térmico tiene un efecto variable

Hay líneas nuevas con estabilidad aceptable

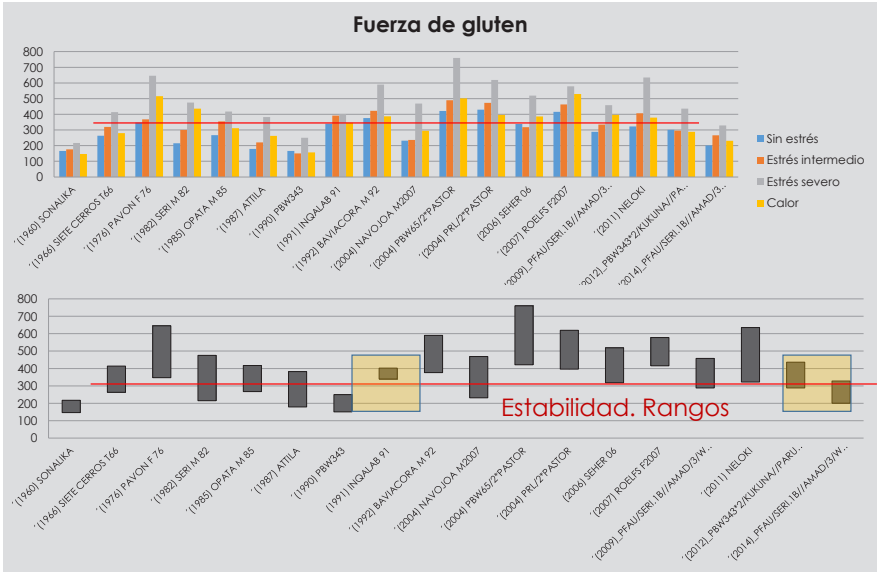
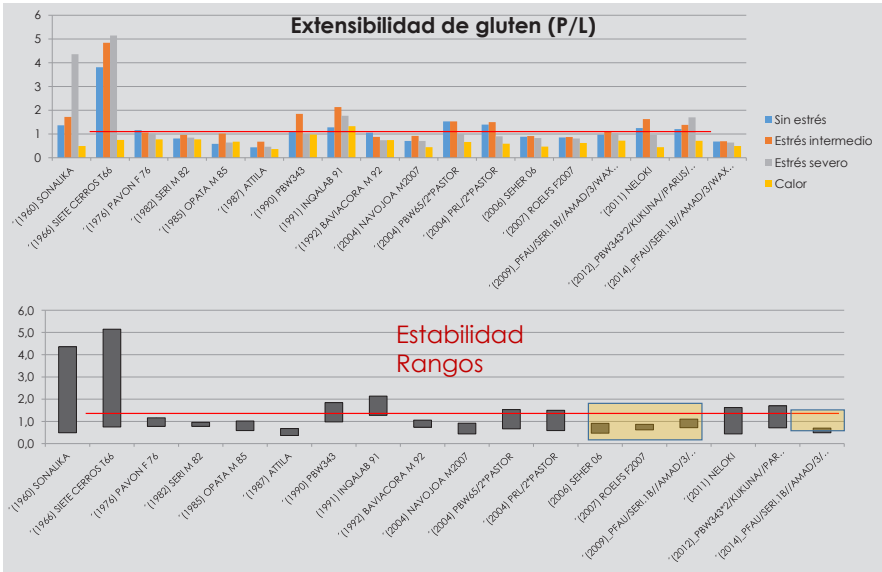


Figura 11. **Impacto del calor y la sequía sobre la estabilidad de gluten (P/L) y su estabilidad**

Estrés por calor incrementan la extensibilidad de gluten (P/L bajo)

Hay líneas nuevas con estabilidad aceptable



El estrés térmico terminal, tanto como el estrés hídrico, tienen un efecto parecido. Los dos reducen el llenado de granos y el peso hectolítrico, lo cual resulta en un menor rendimiento de harina y sémola, y hay un mayor contenido de proteína en grano y podría mejorarse la calidad de panificación. Pero cuando hay un estrés intermedio que tiene que ver con la actividad fotosintética y un cambio en los tipos de proteína, hay una alteración en la composición de la proteína natural del gluten y consecuentemente una reducción en la fuerza y un incremento en la extensibilidad de trigo. El fitomejorador necesita que al laboratorio de calidad se le diga: "Ayúdame a seleccionar".

De acuerdo con el grupo de Holanda mencionado anteriormente, para seleccionar por calidad y también por rendimiento, el objetivo de selección debe fijarse en el almacenamiento adecuado, tanto de almidón como de proteína, y fijarse en los eventos de fotosíntesis y senescencia (Fig. 12). Hay que seleccionar para mayor número de grano y peso de grano, para obtener un mejor rendimiento. La velocidad de la duración del llenado del grano, la estabilidad del tamaño de la partícula macro polímero de glutenina y la estabilidad en la acumulación del almidón, todos afectan al alma-

Figura 12. **Mejoramiento del rendimiento y la calidad bajo condiciones de estrés**

Fuente: **Huub Spiertz, Rob Hamer, Hengyong Xu and Xinyou Yin, IWQC, Beijing, May 2004**

cenamiento adecuado de almidón y proteínas. Una alta tasa fotosintética, recuperación sobre los shocks térmicos, control de las estomas, para poder regular la temperatura de la planta y retrasar la senescencia, ayudan no solo a mejorar el rendimiento sino también la calidad. Esto puede ser por ciclos vegetativos, siembras tempranas.

MÉTODOS CONVENCIONALES PARA CARACTERIZAR E IDENTIFICAR GENOTIPOS CON CALIDAD

Existen una serie de metodologías que se pueden optimizar para caracterizar los genotipos de calidad. Estas son usadas para identificar progenitores que tengan una combinación de genes y parámetros de procesamiento deseables, para que después el fitomejorador tenga la oportunidad de seleccionar por calidad en las etapas que más le conviene. El Dr. Ravi Singh ya mencionó un aumento en el número de ensayos bajo diferentes condiciones ambientales, que son simuladas en Ciudad Obregón. Y el laboratorio debe tener la capacidad, y métodos, que sean cada vez más eficientes que los actuales. Por ejemplo, determinar un alveograma, determinar la característica de fuerza de la masa, viscosidad de la masa toma mucho tiempo.

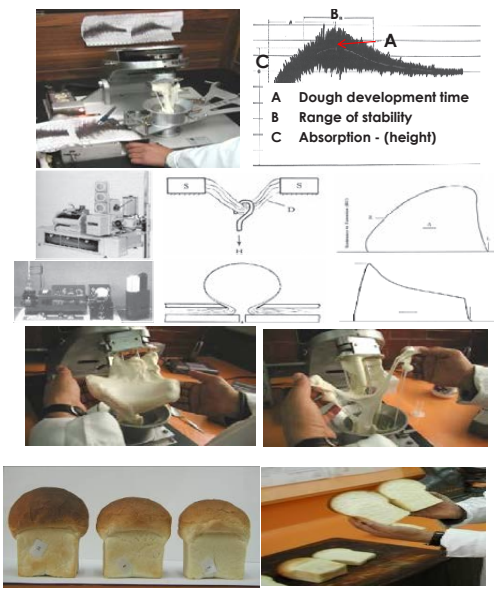
Figura 13. **Principales atributos de la calidad de panificación**

Principales atributos :

Características de amasado:
- Tiempo de desarrollo
- Estabilidad prolongada
- Tolerancia al sobre amasado

Características de masa:
- Vigor de fermentación
- Visco elasticidad
- Propiedades de manejo de masa

Características del pan
- Volumen y simetría
- Textura de miga, tamaño de alveolo
- Vida de anaquel (frescura)



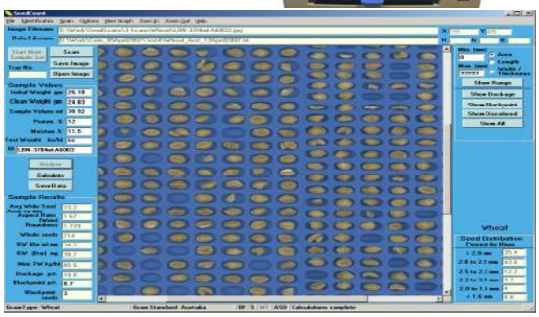
En estos casos, es necesario poder tener predictores, sobre todo del gluten, que están relacionados con características de amasado y de la masa, comportamiento de la fermentación y sus propiedades durante la fabricación del pan y finalmente la calidad del producto terminado (Fig. 13).

La determinación de la diferencia en peso de mil granos puede ayudar a seleccionar por estrés, para rendimiento de grano y para calidad molinera pero también hay las nuevas metodologías.

Existe un equipo de imágenes como el Seed Count System, en el cual se puede medir 20 parámetros del grano en 1,5 minutos (Fig. 14). Una sola persona en un día puede evaluar 20 parámetros en 150 muestras. Con apoyo de paquetes estadísticos es posible analizar su relación con la calidad, tanto molinera como otras características importantes. Es un aparato muy útil que ha hecho un cambio muy importante para selección, no solo en trigo pan sino también en el trigo duro o candeal.

Figura 14. **Uso del equipo de imágenes para medir características de grano**

Seed Count System

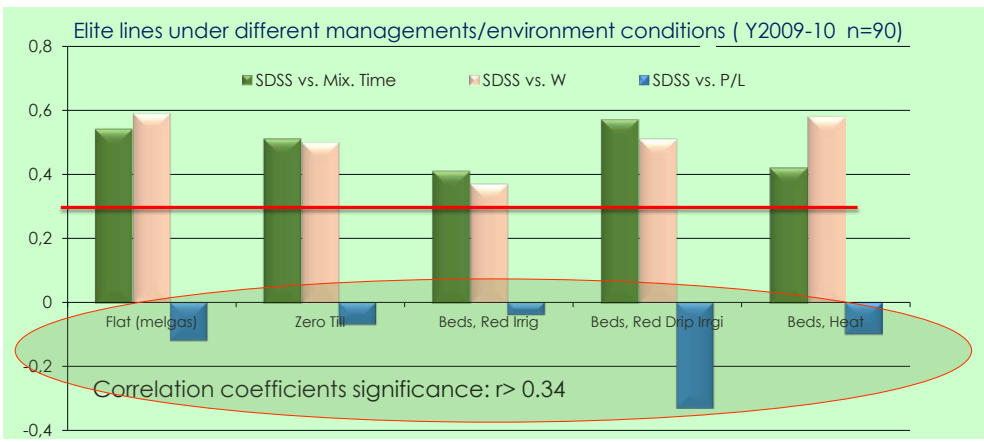


Parámetro	R^2: Método Oficial vs. Analizador de Imágenes
Peso Hectolítrico Kg/hl	0.9701
Nº de granos	0.9803
Peso de Mil Granos	0.9688
Punta Negra	0.7655
Panza Blanca	0.7567

Tiempo por muestra: 1.5 minutos. Se obtienen más de 20 parámetros: Peso Hectolitrico, Peso de Mil Granos, Longitud-Anchura-Grosor medio del grano, etc. 150/día)

La prueba de sedimentación con dodecil sulfato de sodio, SDS, ha sido muy útil y usado a través del tiempo. Sedimentación SDS fue la base del mejoramiento genético del trigo cristalino ya que no hay que hacer electroforesis ni seleccionar para ciertos alelos de proteínas del gluten. La sedimentación, por sí sola ha sostenido el mejoramiento genético del trigo cristalino, de trigos desarrollados en Chile. Sin embargo, se ha encontrado que las relaciones de la sedimentación con parámetros de calidad de tal manera que uno pueda usar solo la sedimentación, como prueba rápida selectiva, no es buena bajo condiciones de calor. Como se puede observar en la Figura 15, la relación con la extensibilidad es muy mala especialmente bajo condiciones de calor.

Figura 15. **La relación entre sedimentación-SDS y parámetros de fuerza de gluten**



NUEVAS METODOLOGÍAS MEJORADAS

La evaluación de las características fisicoquímicas de la glutenina polimérica insoluble, muy importante sobre todo en condiciones de calor, ha permitido desarrollar ciertos métodos (Figura 16). La sedimentación SDS permite expandir la proteína de toda la polimérica insoluble, dando un mayor volumen y mayor fuerza de gluten. En un día, se puede manejar hasta 1000 muestras, dependiendo de la demanda del fitomejorador.

Figura 16. **Uso de nuevos métodos para medición las propiedades de proteína**

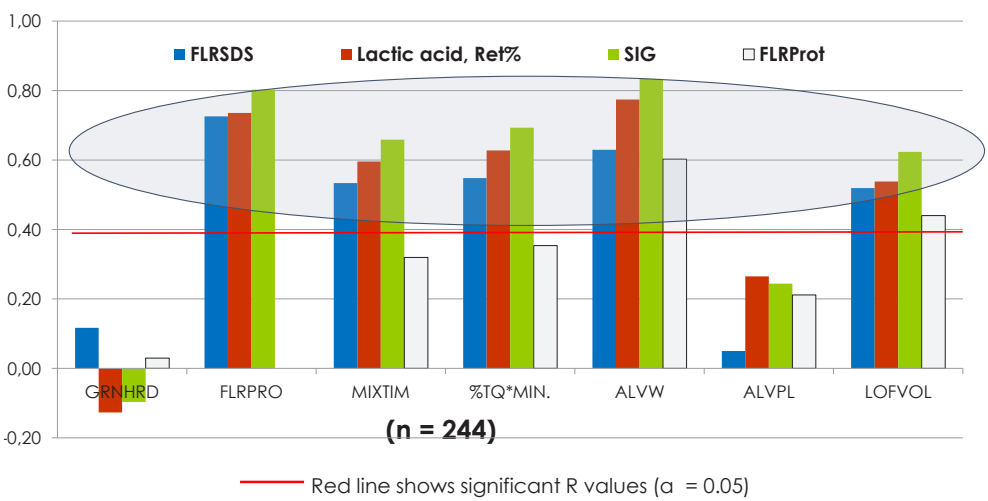
La glutenina polimérica insoluble, principal proteína responsable de la calidad panadera, se expande en ciertas soluciones, tomando una forma coloidal

Esta propiedad permite diseñar métodos como:
- A, la sedimentación (SDS-S)
- B, la capacidad de retención de acido láctico (LARC)
- C, el índice de expansion de la glutenina (SIG)

Utilizando equipo simple se pueden evaluar varias muestras/día. Sin embargo, la prueba de SIG requiere mucha habilidad para decantar el liquido sin perder gel de proteína

Una nueva prueba, es la retención de solvente, en este caso, de ácido láctico. Un equipo Termomixer, permite hacer una agitación tipo vortex donde se controla la velocidad y temperatura (Fig. 16). Este equipo otorga un gran impulso en lo que se puede hacer en el laboratorio, porque hay consistencia en los resultados. El CIMMYT ha adquirido tres equipos con proyectos del CONACYT, para desarrollar estos métodos. En este caso, se mide la retención del ácido láctico en la muestra evaluada y la capacidad de expansión de la glutenina insoluble (SIG), también en ácido láctico. En este caso lo que se obtiene es una diferencia, entre la glutenina polimérica insoluble presente en una muestra de harina. Esta prueba puede ser un tanto complicada porque se necesita tener cierto grado de especialización y acostumbrarse a hacerla. La comparación de esas tres pruebas rápidas es presentada en la Fig. 17.

Figura 17. **Relación entre pruebas rápidas y parámetros de calidad**



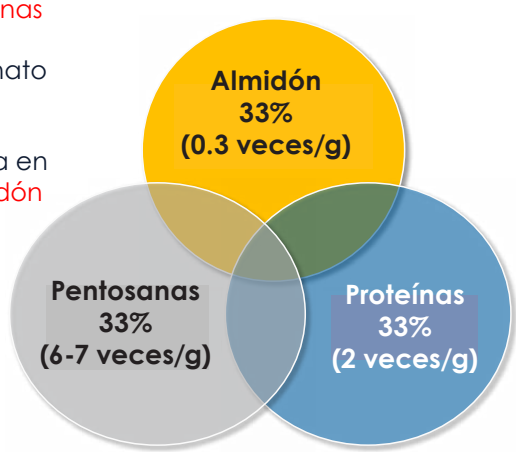
La prueba sobre la capacidad del índice de expansión de la glutenina, SIG, arroja unos valores impresionantes cuando se está prediciendo la tasa de gluten en general. Aun cuando no es muy buena, cualquier de las tres pruebas permite ver la extensibilidad mucho mejor que la sedimentación, la retención en ácido láctico, y la SIG permite poder hacer buenas predicciones (Figura 17).

Se conoce que los componentes del grano como, almidón, arabino xilanas o pentosanas y las proteínas, contribuyen de igual manera a la absorción de agua, aunque muchos de los métodos oficiales solo toman en cuenta la proteína (Fig. 18). En el caso del CIMMYT, y considerando que esto sucede, se hace determinación de solvente en agua, agua alcalina, sacarosa y ácido láctico para tomar en cuenta pentosanas, daño de almidón, proteínas etc.

Figura 18. **Uso de nuevos métodos para medición de las proteínas, el almidón dañado y las pentosanas**

- Las proteínas, el almidón dañado y las pentosanas (arabino xilanas) están relacionados con la retención de solventes: ácido láctico, bicarbonato de sodio y sacarosa, respectivamente
- Durante el amasado, el agua libre es absorbida en proporciones similares por las proteínas, el almidón dañado y las pentosanas

Optimizando la absorción de agua se logra:
- Optimas condiciones de visco elasticidad del gluten y la viscosidad de la masa.
- Mejor calidad de panificación
- Mayor tiempo de retención de frescura (pan plano o leudado)



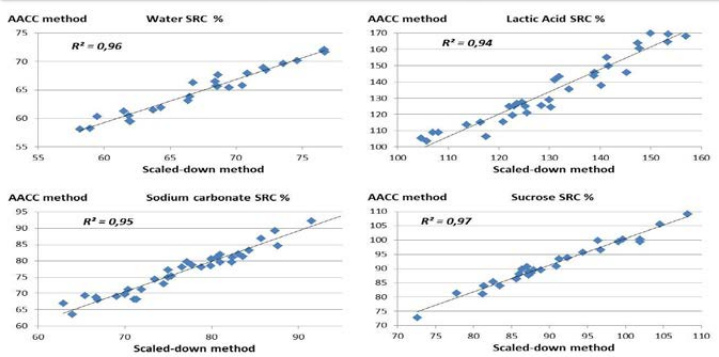
Con esto se logró formar el método oficial, que reduce el costo en 50% y aumenta en 200% la capacidad para correr las muestras. El Termomixer y otros materiales simples permiten tener una relación muy buena (R^2 >0.94) para todos los solventes, logran bajar el costo y aumentan la velocidad de prueba (Fig.19).

Figura 19. **Reducción en tiempo y costos para determinar la Capacidad de retención de solvente (CRS o SRC)**

SRC solventes: Agua, Carbonato, Agua Alcalina, Sacarosa & Ac Láctico

Retención de solvente (4). Utilizando equipo simple se pueden evaluar varias muestras /día.

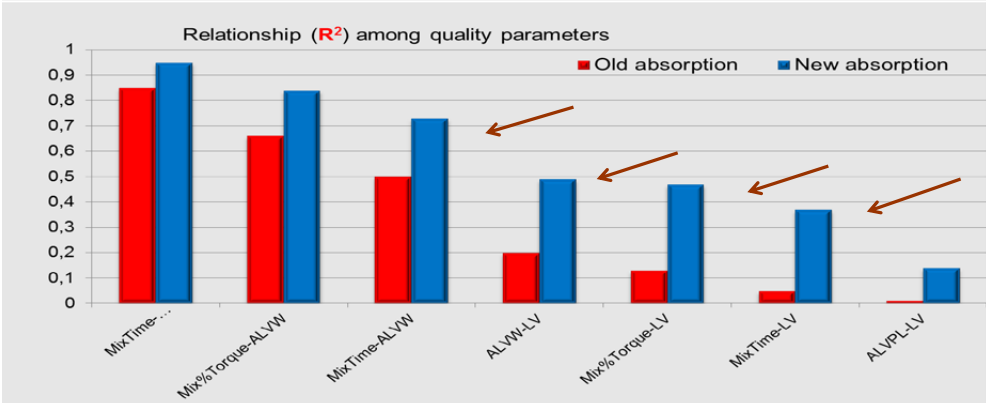
Descripción	Métodos AACC (56-10 & 56-11)	Capacidad de Retención. Métodos a micro escala
Costo	100%	50%
# muestras analizadas	100%	200%



Los resultados indican que esta metodología que permite evaluar una la absorción con todos los factores, permite tener a la vez, una mejor relación entre los diferentes parámetros de calidad que se usan en la evaluación (Fig. 20).

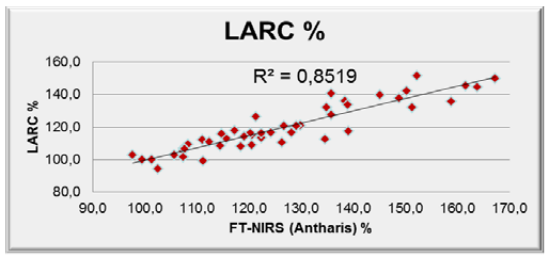
Figura 20. **Influencia del criterio de absorción de agua en la relación entre parámetros reológicos y calidad de panificación**

Absorción convencional: Método oficial AACC
Nueva absorción: Contribución de proteina+almidon+Pentosanas (Y2010-11, n= 48)



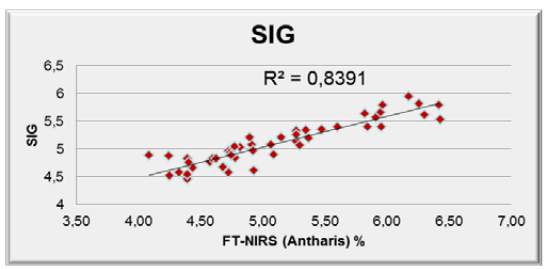
Actualmente en el desarrollo de calibraciones en espectroscopia molecular (espectroscopia en el cercano infrarrojo, NIRS por sus siglas en ingles), hay reflectancia y absorbancia que logra obtener valores de R^2 muy altos en el grano entero. Se puede predecir los parámetros que de otra manera necesitan hacer varias pruebas químicas (Fig. 21). En este caso hay la capacidad de responderle al fitomejorador con gran cantidad de muestras, sean 1000 o 2000 muestras.

Figura 21. **Relación entre NIRS y las pruebas de Retención de Ácido Láctico (LARC) y por Índice de Expansión de Glutenina (SIG)**



Resultados preliminares (50-70 líneas contrastantes) indican que las calibraciones NIRS son efectivas para seleccionar por retención de acido láctico (LARC) y por índice de expansión de glutenina (SIG).

Se requiere validación con nuevas poblaciones



En la Fig. 22 se muestra que, en ambientes de calor moderado, es posible, utilizar la capacidad de retención de solvente e integrando en un algoritmo, en una ecuación con las características físicas del grano como el peso hectolítrico, peso de 1000 granos, contenido de proteínas y dureza del grano etc. Es posible tener un nivel de predicción aun en condiciones del calor severo, pero con el índice de hinchazón de la glutenina.

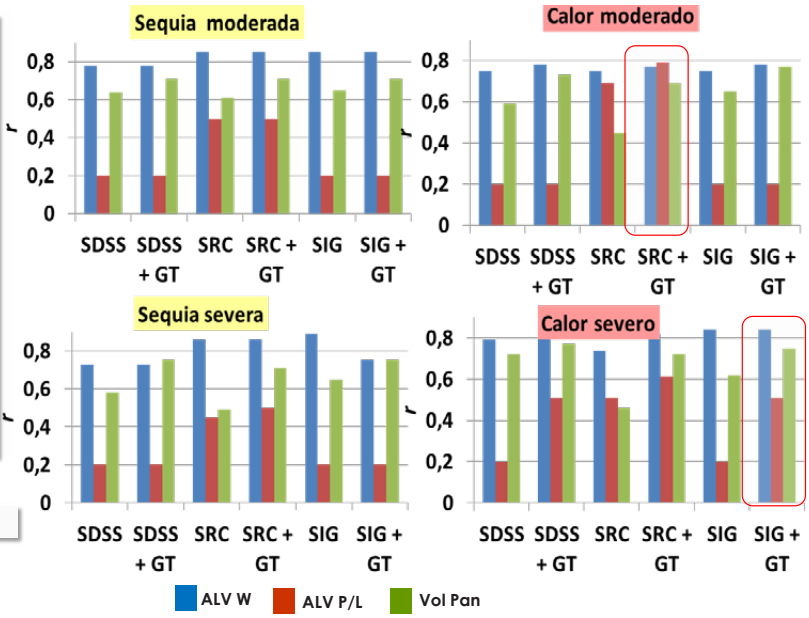
Figura 22. **Nivel de predicción de calidad por distintas pruebas rápidas bajo condiciones de estrés**

54 CIMMYT líneas elite de trigo, cultivadas en los ciclos 2012-13 y 2013-14 en Ciudad, Obregón, Sonora, México. 2 reps bajo 6 diferentes condiciones ambientales

El considerar la prueba rápida mas valores de características de grano (GT) se mejora el valor predictivo de la prueba rápida bajo condiciones de **Estrés Térmico Severo.**

(TW, TKW, GPC and GHRD = GT).

Guzman y col. IWC 2015 Australia



LA SELECCIÓN GENÓMICA

Lo que viene más adelante, es la selección genómica, con resultados muy prometedores. En este caso, algunas características de parámetros de calidad fueron utilizados para hacer un genotipado y buscar hacer una predicción (Fig. 23).

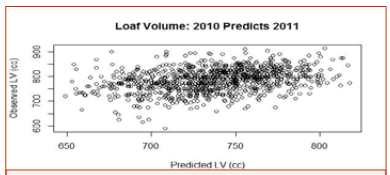
Figura 23. **Uso de Selección Genómica para características de calidad**

En un trabajo con la Universidad Estatal de Kansas, el Dr. Ravi Singh ha probado las poblaciones de mejoramiento año a año, evaluando cada vez más muestras y robusteciendo la relación (Fig. 24). Se observa que es posible tener una buena predicción de volumen de pan, que es algo bajo control poligénico. Esto permite al fitomejorador seleccionar desde las primeras etapas y avanzar para mejorar la relación en líneas avanzadas. La selección genómica también ha dado buenos resultados para otras características como peso hectolítrico, tiempo de amasado, etc., (Fig.25).

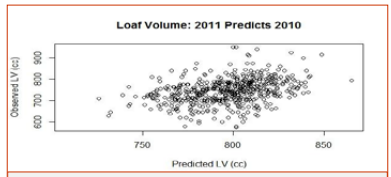
Lo importante es que, para avanzar en selección por calidad en situaciones de calor, es posible tener experimentos y repetir esto bajo esas condiciones; hacer la selección genómica bajo estrés de sequía o estrés de calor.

Figura 24. **Aplicación de la Selección Genómica en CIMMYT para mejoramiento de la calidad de Panificación**

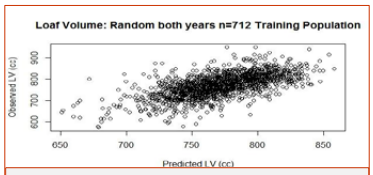
Battenfield, S. D.[1], J. A. Poland[1,2], R. P. Singh[3], R. J. Peña[3], R. A. Miller[1], & A. K. Fritz[1] (2013)
[1]Kansas State University, [2]USDA-ARS, Manhattan, KS. [3]CIMMYT,Mexico



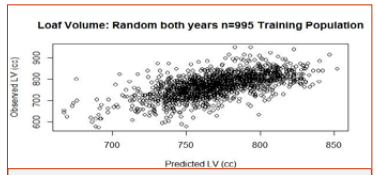
Correlation of loaf volume with 2010 predicting 2011 r=.333***



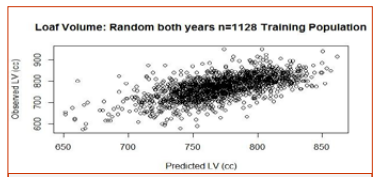
Correlation of loaf volume with 2011 predicting 2010 r= 358***



Correlation of loaf volume with both years training population n=712 r = 625***



Correlation of loaf volume with both years training population n=995 r= .634***



Correlation of loaf volume with both years training population n=1138 r=.638***

Figura 25. **Precisión de las predicciones de selección genómica para parámetros de calidad**

	Población aleatoria de ambos años (n referencia=1138)	2011 (n referencia=995)	2010 (n referencia=712)
	Precisión de la validación – r		
Peso hectolitrico	0.725	0.312	0.192
Dureza de grano	0.513	0.005	0.056
Proteína en grano	0.630	0.400	0.335
Proteína en harina	0.604	0.394	0.284
Sedimentación (SDS) en harina refinada	0.666	0.433	0.461
Tiempo de amasado (Mixógrafo)	0.718	0.535	0.499
Fuerza de gluten (Alveógrafo, W)	0.697	0.512	0.475
Extensibilidad (Alveógrafo P/L)	0.476	0.323	0.278
Volumen de pan	0.638	0.358	0.333

Fuente: **Battenfield et al., 2013**

En resumen, el trabajo de un laboratorio de calidad es tratar de ayudar en el proceso de mejoramiento, a que sea posible combinar todos los caracteres: buen potencial de rendimiento, resistencia a enfermedades y la calidad deseable y lo más estable posible, de tal manera, que el productor pueda tener una actividad que le produzca una ganancia.

Referencias

_ Guzman et al. IWC 2015. Australia
_ Hurkman et al., 2003 Plant Sci. 164:873-881
_ Hurkman et al., 2009 J Cereal Sci 49:12-23
_ Huub Spiertz, Rob Hamer, Hengyong Xu and Xinyou Yin IWQC, Beijing, May 2004
_ Majoul et al., Proteomics 2003, 3:175-183
_ Majoul et al., J Cereal Sci 2003.57:486-495
_ Majoul et al., Proteomics 2004,4:505-513

Preguntas y plenaria

- Pregunta: ***Usted menciono que la sedimentación SDS es una de las mejores pruebas para medir la calidad. En que generación deberíamos iniciar esta prueba para tener resultados y si hay variación de año a año.***
- **Javier Peña:** La prueba de sedimentación resultó no ser tan buena para seleccionar por fuerza de gluten bajo condiciones de calor. Podría ser siempre y cuando haya una comparación de un control donde no haya estrés de calor que sirva de referencia. Bajo esas condiciones sí puede haber una diferencia. Ahora, la prueba de sedimentación es tan sencilla que es posible en un programa de mejoramiento empezar a hacer una selección en etapa avanzada. Nunca en etapa segregantes, solo en etapa avanzada donde ya están fijos la mayoría de los caracteres agronómicos y de resistencia a enfermedades, entre otras cosas. Entonces ya se puede empezar a seleccionar. Y solo sedimentación sería útil, siempre y cuando se haga comparativamente en condiciones con estrés de calor y sin estrés de calor.
- Pregunta: ***¿Porque los trigos llamados duros en Argentina y México no mantienen su dureza en esta región, así con otros atributos? ¿Cómo se puede mejorar o elegir los mejores trigos?***
- **Javier Peña:** En cuanto a que preserve o no preserve la dureza no estoy de acuerdo. Porque el control es genético. Sí hay dos loci que controlan la textura del grano. El grano es blando, verdaderamente blando cuando se encuentran los alelos silvestres, pero si hay alguna mutación o algún cambio, y hay como siete diferentes alelos el grano se vuelve de semiduro a muy duro. Hay variaciones, y es posible que cambie probablemente de muy duro a semiduro dependiendo de las condiciones climáticas. Pero el grano semiduro o duro nunca va a cambiar debido a una condición del cultivo. El blando es blando y seguirá siendo blando.
- **Mohan Kohli:** Creo que la pregunta se refiere a las razones por las cuales el grano duro argentino o mexicano no mantienen su dureza. ¿Hay efecto de calor sobre el carácter?
- **Javier Peña:** Su dureza no puede cambiar. La agronomía o las condiciones del suelo pueden que causen que haya variantes dentro de lo duro. Que haya variantes más duro o menos duro, pero nunca un duro se va a convertir en blando porque cambie de un lugar a otro, porque el control genético es muy determinante en este sentido. En cuanto a la estabilidad, es una serie de factores que pueden ser agronómicos, puede ser fertilización. Hay variabilidad, aunque no hay variabilidad ni para rendimientos en algunos genotipos. Es cuestión de interacción genotipo-ambiente.
- **Ravi Singh:** Cuando el rendimiento sube la calidad baja un poco, y en ese caso se tiene que manejar de la mejor manera. Yo no sé exactamente como está manejando la aplicación de nitrógeno dentro de Sudamérica, pero los productores de Cd. Obregón están produciendo trigo cristalino. Sí saben que tienen que aplicar en buen tiempo, si no la calidad baja. Entonces, una cosa es tener genéticamente los alelos que necesita para tener buena calidad, y eso si han logrado utilizando información de genes que conocemos, pero después también viene el factor de manejo y no podemos escapar a eso. Si hay buenos alelos y no lo manejamos bien, no vamos a tener calidad.
- Pregunta: ***¿Qué pasa con pos cosecha cuando el grano está expuesto a la fuerza de calor de más de 40 grados centígrados?***
- **Javier Peña:** Sí, definitivamente hay un efecto a esa temperatura. Empieza a ver una degradación, sobre todo enzimática. Y empieza a haber un cambio en las estructuras físicas que van a afectar principalmente a la molinería, y en algunos casos también, la calidad del gluten. Sí puede haber efectos, si el tiempo es muy prolongado puede haber ciertos tipos de cambios.

Limitantes del Manejo que Impactan el Rendimiento del Trigo Nacional

Crop Management Limitations that Impact National Yield of Wheat

Ken Moriya
Dirección de Extensión Agraria, DEAG
kenmoriyar@hotmail.com

RESUMEN

El trigo no debe considerarse solo como un cultivo fuente de alimentos, sino parte del engranaje de un complejo sistema de rotación de la producción en la finca. Conocer y considerar las limitaciones sentidas por el productor en el proceso de la producción favorecerá que los conocimientos resultantes de la investigación sean parte de los procesos productivos, cada vez con mayores necesidades de incorporar manejos basadas en principios y fundamentos de una agricultura sustentable. La producción de trigo debe adecuarse al cambio climático. Así mismo contribuir ambientalmente para la implementación de los corredores biológicos, mejorar la calidad del agua, entre otros aspectos, aparte de contribuir económica y socialmente al país al proveer de la materia prima para la elaboración de alimentos de primera necesidad como los panificados. Otro aspecto es que el trigo es un buen conservador de suelo por su aporte de carbono al suelo a través de sus rastrojos y raíces. El trigo, conjuntamente con el maíz, contribuyen a mantener mayores valores de CIC por la materia orgánica que aporta al suelo en las áreas en el que estos cultivos forman parte de una rotación de cultivos. La soja zafriña sobre soja de época, sustituye al trigo reduciéndose el aporte de carbono al sistema. Experiencias de productores muestran que trigo como parte de la rotación actúa como abono verde reductor de malezas, beneficio a veces imperceptible en los menores costos y mayores rendimientos del siguiente cultivo. La práctica de remoción de suelo con rastras y pie de pato para siembra de trigo y la aplicación incorrecta de la cal agrícola, siguen siendo prácticas a superar. La comunicación entre productores y técnicos es fundamental, por lo que es necesario establecer nuevos mecanismos de interactuar para lograr una producción más sustentable del trigo en una rotación de cultivos.

ABSTRACT

Wheat should not be considered only as a food source crop, but a part of a complex and integral system of production, including rotations on the farm. Knowledge and consideration of the limitations felt by the farmer in the production process will help generate research results which can be incorporated in the productive processes. At present, there is an urgent need to incorporate crop management practices based on the principles and foundations of a sustainable agriculture. Wheat production must adapt to climate change. Besides contributing economically and socially in producing staple ingredient for baked products in the country, it should also help environmentally in the implementation of biological corridors, improved water quality, among others. Another aspect is that wheat is good for soil conservation due to its contribution of carbon to the soil through the stubble and roots. Wheat, together with corn, contributes to maintain higher CIC values in the organic matter of the soil in the areas, where these crops are part of a crop rotation system. The second crop of soybean (zafriña) seeded on summer soybean crop, substitutes the wheat crop and thereby reduces the contribution of carbon to the system. Farmer experience shows that wheat, as part of the rotation, acts as a green manure crop in reducing the weed population, a benefit sometimes imperceptible in the lower costs and higher yields of the following crop. The practice of soil removal with harrows and duck foot plough for wheat seeding and the incorrect application of agricultural lime, are still practices to be overcome. The communication between farmers and technicians is fundamental; so it is necessary to establish new mechanisms to interact in order to achieve a more sustainable wheat production within a system of crop rotation.

INTRODUCCIÓN

Estamos en el Año Internacional del Suelo, y la mayor preocupación es la futura producción de alimentos, y el pan es parte del tema, porque proviene del trigo. Los técnicos que trabajan en el área de suelos sienten la misma preocupación: qué es lo que se va a consumir en el futuro, ya que la demanda de alimentos a nivel global es muy alta.

Es muy importante analizar el tema de la producción de alimentos y suelos juntos, dado que queda poco tiempo con relación a la velocidad de degradación de los suelos en la actualidad. La disponibilidad de suelos cultivables, mundialmente y a nivel de cada país, es limitada. Pero además de eso, la velocidad actual de su degradación es muy alta, independientemente de que ocurra o no el cambio climático (Fig.1). El patrón principal de nuestro sistema agrícola y el enfoque de la productividad de un suelo sigue siendo la materia orgánica, y esa es una preocupación.

Figura 1. **Estimaciones de pérdida de suelo**

El tema actual sobre limitantes del manejo que impactan el rendimiento del trigo hay que discutirlo de manera técnica. No es que no se puede investigar, pero para entender los limitantes hay que estar en un punto intermedio, estar en contacto con los productores, ya sea a través de cooperativas u organizaciones de productores y compartir su experiencia más directa sobre el tema del rendimiento.

Quizás, hay que mirar al trigo, no sólo como un cultivo específico, sino más bien como un engranaje dentro de un sistema de producción más complejo y apoyar su producción de manera sustentable. Por eso, la percepción que se debe compartir es la gran necesidad de considerar al trigo como parte de un sistema de producción.

¿POR QUÉ ES NECESARIO MIRAR EL ANTES Y EL DESPUÉS DEL TRIGO?

En el ambiente de la producción actual, la percepción es que hay mucha presión; presión desde el punto de vista de lograr una producción sostenible. En vez de una visión simple de un cultivo de trigo como un integrante de un sistema de cultivos de renta y de alta productividad, es necesario considerar una visión de sustentabilidad, donde se incluya al tema económico, el tema social, y el tema medioambiental (Fig. 2). Actualmente el concepto del "Cambio Climático" se incorpora a la visión de sostenibilidad, y como también se incorpora la importancia del "Carbono". La mayor reserva de Carbono está en el suelo y la pregunta es: ¿cómo mantenerlo? o ¿Cómo incrementarlo?

Figura 2. **Características de un sistema sustentable de producción**

Figura 3. **Producción con cuidado ambiental**

La sustentabilidad también incorpora la parte social porque uno no debería mirar al trigo solamente como un cultivo aislado. La clave es observar, el trigo y otros cultivos del mismo sistema, en conjunto para no cargar con el peso de las presiones socio ambientales sobre uno u otro cultivo, por ejemplo (soja). El trigo o maíz se cultivan en el mismo campo donde se cultiva soja.

Además de lo social, el cultivo de trigo también contribuye en lo ambiental formando parte, por ejemplo, de los corredores biológicos, manteniendo la corriente de agua y la reserva forestal; en síntesis, el trigo forma parte de un sistema o paisaje muy diverso (Fig.3).

Y con más razón aun, el trigo contribuye en la economía nacional. Aunque prevalece la temática comercial entre los productores que tienen la percepción sobre su baja rentabilidad en los últimos tiempos, la presión del tema económico del conjunto es alta.

En Paraguay, el cultivo de trigo siempre formó parte del sistema de manejo conservacionista de suelos. Desde los primeros trabajos de la siembra directa iniciado por el Ing. Rolf Derpsch, a partir

de 1993, el trigo siempre estaba incluido y lo sigue estando parte del sistema de producción. Esa complementariedad del trigo con relación a la soja y a los demás cultivos, nos lleva a una de las conclusiones más importantes: de que el trigo es un gran conservador del suelo desde el punto de vista de ser un importante aportante de carbono al quedar el rastrojo en la superficie (Fig. 4).

Figura 4. **Siembra directa de la soja sobre el rastrojo de trigo**

LA SITUACIÓN ACTUAL

¿Qué ocurre en los campos que no usan un sistema de rotación de cultivos? El análisis reciente de una finca mostrado en la Fig. 5, es lo que ocurre en algunos lugares y señala la importancia del trigo conjuntamente con otros componentes que contribuyen y conducen a la sostenibilidad. Se puede ver que, en ocho análisis de suelos de algunas fincas de San Pedro, los niveles actuales de la Materia Orgánica (MO) son entre 0.66 – 0.94, en lugar de 2.8 a 3.1% iniciales, lo que representa una caída significativa.

Figura 5. **Análisis de suelo de algunas fincas en Departamento de San Pedro**

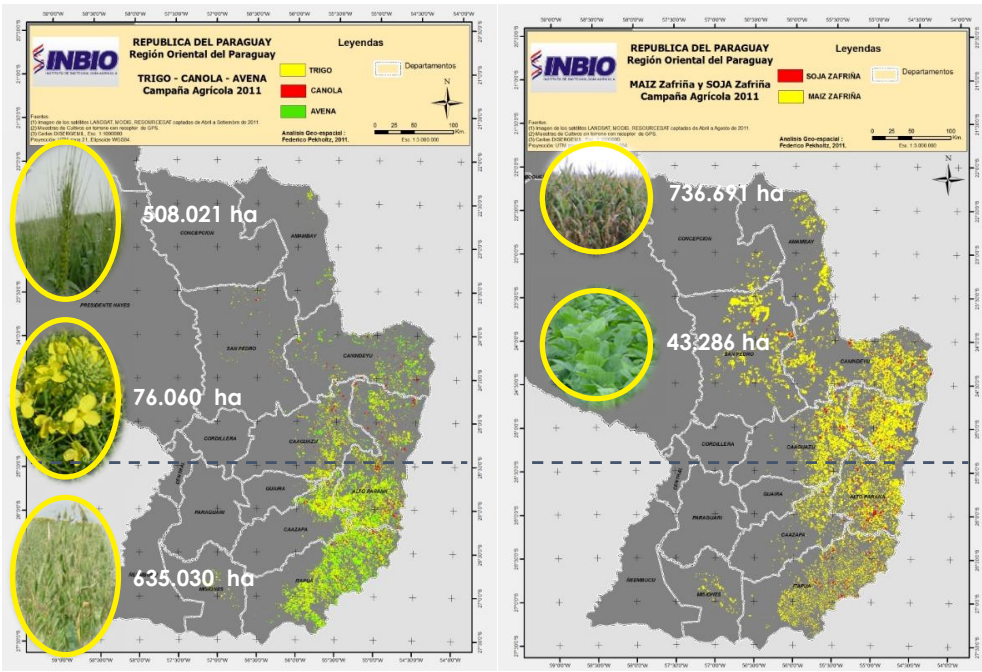
	Lab. Nº	Muestra	pH (H2O)	pH (CaCl)	M.O. (%)	Ca (Cmol/Ls)	Mg (Cmol/Ls)	K (Cmol/Ls)	P (mg/Ls)	Suma de Bases	S (mg/Ls)	Arcilla (%)	H + Al	CIC (Cmol/Ls)	V (%)
1	5.922		5,29	4,33	0,80	0,80	0,31	0,20	17,54	1,3	9,11	7,50	3,02	4,34	30,31
2	5.923		5,29	4,55	0,94	1,12	0,31	0,18	14,57	1,6	4,70	7,50	2,85	4,45	36,03
3	5.924		5,25	4,46	0,66	0,69	0,23	0,18	16,33	1,1	7,49	7,50	3,70	4,79	22,90
4	5.925		5,62	4,67	0,81	0,83	0,25	0,30	12,81	1,4	10,14	7,50	3,98	5,35	25,62
5	5.926		5,61	4,37	0,78	1,10	0,25	0,28	12,19	1,6	10,99	7,50	3,31	4,93	32,93
6	5.927		5,39	4,40	0,73	0,95	0,28	0,21	10,77	1,4	8,97	12,50	3,16	4,61	31,43
7	5.928		5,44	4,58	0,83	0,99	0,26	0,22	9,77	1,5	11,93	7,50	4,01	5,49	26,93
8	5.929		5,36	4,31	0,74	0,69	0,22	0,24	14,77	1,2	6,94	7,50	2,20	3,35	34,42
			43,25	35,67	6,29	7,16	2,11	1,82	108,7	11,09	70,28	65,00	26,22	37,31	240,58
			5,41	4,46	0,79	0,90	0,26	0,23	13,59	1,39	8,78	8,13	3,28	4,66	30,07

Es en este tipo de situaciones es donde se presentan problemas con el cultivo del cereal. La respuesta del técnico o de los productores es que como el trigo no cierra los números, por eso se sigue produciendo solo soja. Pero si se observa los datos en detalle, se ve los bajos niveles de minerales. Aunque el fósforo, es un poco alto para un suelo arenoso el potasio está con bajos niveles, la suma de bases tiene un valor máximo de 1.6 y la capacidad de intercambio en el rango de 4. Es la representación de un sistema de producción que no permite que la saturación de bases llegue al 40%.

Este es el escenario en algunos puntos del país, no generalizado, pero existe y se está incrementando. Aunque hay procesos conocidos y prácticas comprobadas que se pueden rescatar en el manejo del suelo, el gran problema es cómo uno puede usar el material existente en la producción.

Los mapas de la campaña agrícola 2011, preparados por el INBIO, están presentados en la Fig.6. El primer mapa muestra área bajo los cultivos de trigo, canola y avena y el segundo mapa los cultivos de la zafriña (maíz y soja). ¿Para qué sirve la información? Primero para conocer sobre el mantenimiento del sistema rotativo de la soja, que se hace con trigo en el sur y con maíz en el norte. Y el análisis de los datos nos permite trabajar en el tema de recomendaciones para sistemas de tasas variables. Lo que se observa es la importancia del trigo para el mantenimiento del carbono en el sur. El cereal, combinado con ciertos abonos verdes, y evaluado a través de los datos de carbono, (materia orgánica), presentan los resultados que tenemos a mano.

Figura 6. **Superficie de los cultivos sembrados durante el ciclo de invierno en el departamento**



Tres años más tarde en el 2014, la superficie bajo abonos verdes, incluyendo la avena, había bajado a alrededor de 300,000 ha, casi la mitad del 2011. La superficie del maíz zafriña bajó, de casi un millón de ha en 2013, a 650 mil ha en el 2014. Lo que se observó es el aumento del segundo cultivo de soja, o llamado "soja zafriña", de 43 mil ha en 2011, a 274 mil ha en 2013, y a 470 mil ha en 2014 y que está dejando de lado la provisión de carbono. Es grave porque afecta negativamente la provisión del carbono al suelo en esa región. En otras palabras, no es la soja de época, sino la soja zafriña la que está limitando la sostenibilidad de la producción de carbono en esa zona. En el norte sí hay mayor provisión de carbono vía los residuos del maíz.

Otro escenario visible en los últimos tiempos, con cambio climático o no, es el cambio en la intensidad de las lluvias. Con baja densidad de rastrojos sobre el suelo, se empieza a observar efectos de erosión (Fig.7). En otras palabras, se está subutilizando o no aprovechando el agua de lluvia que es muy necesaria y en un sistema visual perfecto de siembra directa se comienza a

Figura 7. **Calidad de la siembra directa comprometida por insuficiente rastrojo del sistema**

Figura 8. **Erosión del suelo en un sistema de producción soja-soja**

observar erosión, sobre todo en los campos donde hubo remoción de suelo. Están apareciendo los nuevos conceptos que ahora provienen de la Argentina, donde además de la siembra directa, también hay siembra semi-directa, nombre que le pusieron a lo que es la interrupción del sistema de siembra directa.

TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Con la erosión, se está perdiendo sedimentos, ya sea coloide orgánico como también coloide inorgánico, en otras palabras, se pierde capacidad de intercambio catiónico (CIC). Con la perdida de esos coloides, se pierde el potencial productivo de los suelos.

En la presente campaña, una revisión sobre el estado del sistema de siembra directa en los departamentos, como Alto Paraná e Itapúa, donde hay la sustitución del trigo por la soja zafriña, aparece la erosión (en cultivos establecidos soja sobre soja), Fig. 8. El campo en la foto muestra cuán importante es el trigo en un proceso de manejo integrado de suelos.

DISMINUCIÓN DEL ÁREA RADICULAR

Al hacer un diagnóstico de lo que está ocurriendo, se observa poca o reducida área radicular del trigo a partir de cierta profundidad. Es difícil sacar una raíz del trigo en un suelo compactado, pero están sus indicadores que es el cultivo siguiente. Entonces una de las consecuencias de ese proceso de la sustitución se observa en la compactación. Con la compactación del suelo se dificulta la infiltración del agua, se reduce el aprovechamiento del agua disponible, disminuye el oxígeno, aumenta el dióxido de carbono, se acidifica el suelo, menos nutrientes se hacen disponibles.

Como respuesta, en la presente campaña para la siembra del trigo varios productores entran con equipos de remoción del suelo, dado que desde el punto de vista del productor “sale mejor el trigo”. Es por la oxidación del carbono y liberación de nitrógeno con la remoción, que ayuda al mejor crecimiento; es como sembrar después de haber tenido un monte por 20 o 25 años, permite tener un trigo más desarrollado.

Pero se está comprometiendo la sostenibilidad de este sistema. Es importante entender que hay varios factores que influyen en la productividad del trigo y hay que incursionar no solamente en la parte química sino también en la física del suelo con relación a la producción (Fig. 9). Por ejemplo, aún falta cuantificar el impacto del mejoramiento físico del suelo sobre el contenido térmico de ese suelo y su relación con el menor rendimiento.

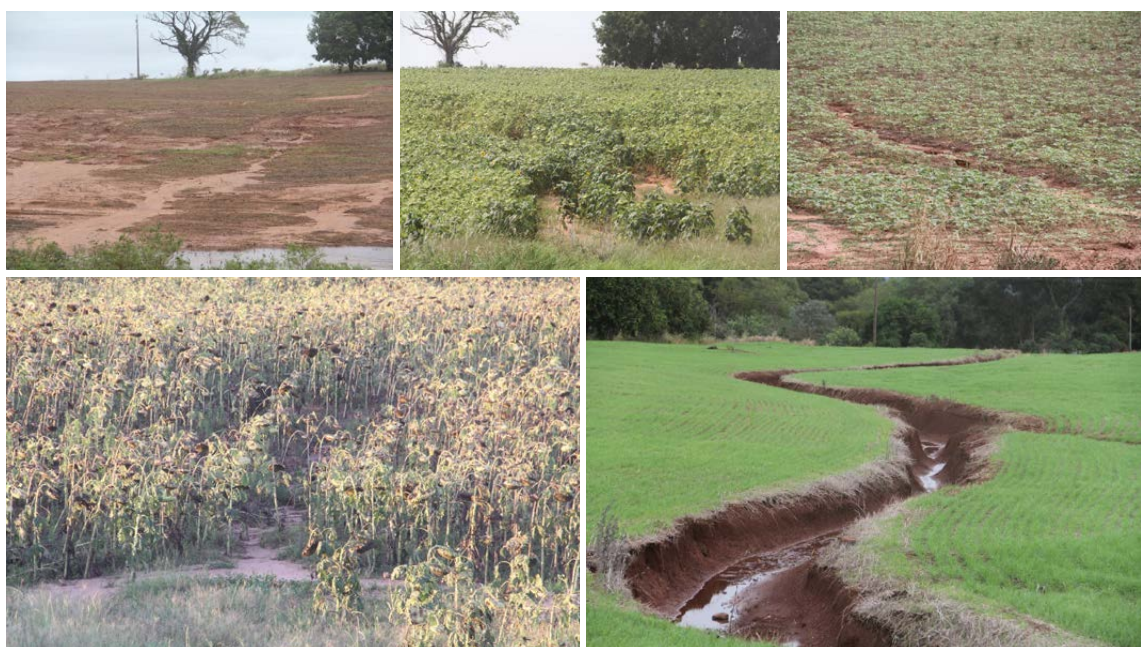
Figura 9. **Factores que influyen en el potencial productivo**

Factores climáticos	Factores de suelo	Factores de la planta
Precipitación	Material de origen	Especie, cultivar
Temperatura	Textura	Factores genéticos
Humedad	Estructura	Calidad de semillas
Luz	Profundidad	Nutrición
Altitud	Declividad	Eficiencia de absorción de nutrientes
Viento	Temperatura, MO, microorganismos	Disponibilidad de agua, Evapotranspiración
	pH, CIC, Bases	Plagas, enfermedades
	Sistemas de siembra	Malezas

SÍNTOMAS DE LA INEFICIENCIA DEL SISTEMA

El seguimiento sistemático de los cultivos en un sistema de remoción del suelo, esta mostrado en la Fig. 10. No se incluye la última zafra ya que no fue cosechada. Es un sistema interrumpido, aunque con rotación, pero es un sistema deficiente en el manejo, que resulta en erosión y cárcavas. El cultivo de trigo está incluido y podría ser parte de la solución, porque en caso contrario podrían aparecer más síntomas de la deficiencia que un sistema de producción donde el trigo no forma parte. En este sentido, el cereal es un colaborador del sistema.

Figura 10. **Síntomas de la ineficiencia del sistema**



ROTACIÓN EN ESPACIO Y TIEMPO

El concepto de espacio-tiempo de la rotación se dice que se debe esperar 30 minutos, entre la cosecha y nueva siembra. Pero no es de soja sobre soja, sino con trigo.

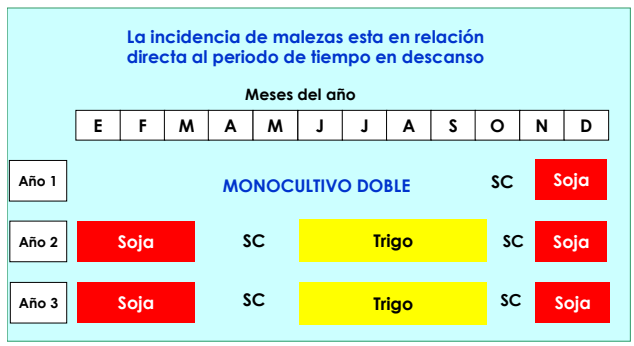
Desde hace varios años se insiste sobre "iniciar un proceso de rotación". En las reuniones con agricultores, sobre todo a través de la Federación de Cooperativas, las impresiones de productores sobre los abonos verdes son: "*abonos verdes no se venden*", "*no cierran los números*", "*no hay mercado seguro para semilla, no es seguro*", "*más barato y menos problemático, mejor controlar malezas, vamos a usar herbicidas*", "*mejor rastronear*". Sin embargo, los datos generados por las investigaciones demuestran que es necesaria la rotación y los productores que hoy están con un nivel de rindes, social y económico alto, son que desde hace tiempo adoptaron un sistema de rotación.

El esquema de soja-descanso-soja-descanso-soja, practicado anteriormente, ya no existe o no se observa, porque lo que antes se dejaba en descanso, ahora es soja sobre soja (Fig.11). Después se observa un sistema de producción donde el cultivo de soja es seguido por un periodo de suelo sin cobertura y siembra de trigo, practicado por una parte de los productores (Fig.12).

Figura 11. **Esquema de siembra de soja en monocultivo simple**

1 Cultivo comercial en 1 año (monocultivo)

Figura 12. **Esquema de siembra de soja trigo en monocultivo doble**



SC – Períodos sin cultivoa

2 Cultivo comercial en 1 año (monocultivo doble)

Las investigaciones hechas en CETAPAR entre 1993 y el año 2000 (ocho años de estudio), dieron resultados que revalidan los conocimientos básicos de las rotaciones para ser aplicados o para ajustes necesarios a la coyuntura actual, porque hay nuevos cultivos y escenarios que no había en aquel entonces. Estos resultados muestran, por ejemplo, que con los tres cultivos comerciales implantados en dos años consecutivos, entran otros rubros como el lupino y otros abonos verdes, mostrando mejores resultados (Fig. 13). En este escenario, la siembra trigo sobre crotalaria, o sobre girasol, dieron buenos resultados técnicos y también tuvieron respuesta económica (Fig.14).

Figura 13. **Esquema 1 en Rotación de Cultivos**

3 Cultivos comerciales en 2 años (2 abonos verdes)

Figura 14. **Siembra de trigo sobre Crotalaria y Girasol**

ROTACIONES AYUDAN A CONTROLAR MALEZAS Y AUMENTAN RENDIMIENTO

Así también, la incorporación del girasol como abono verde, por ejemplo, donde se producen 5 cultivos comerciales en tres años y tres de abonos verdes (Fig.15). Se insiste con esto porque es difícil encontrar esta visión de lo que es la rotación, no solamente temporal sino también espacial. La importancia de este esquema radica en que crea un sistema de cobertura permanente y otorga mucha materia seca en comparación con los cultivos seguidos trigo-soja-maíz zafriña-girasol-soja (Fig. 16).

Figura 15. **Esquema 2 en Rotación de Cultivos**

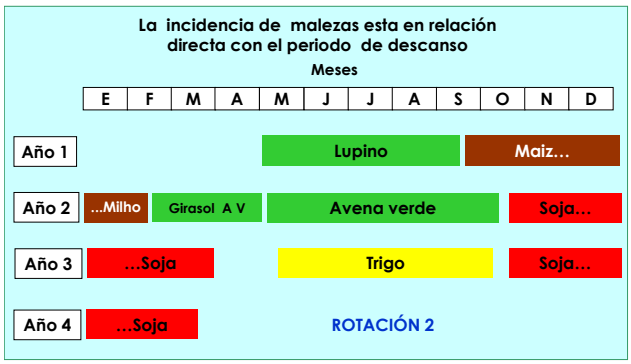
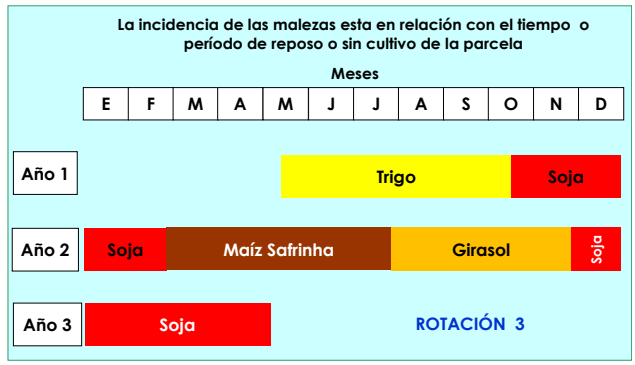
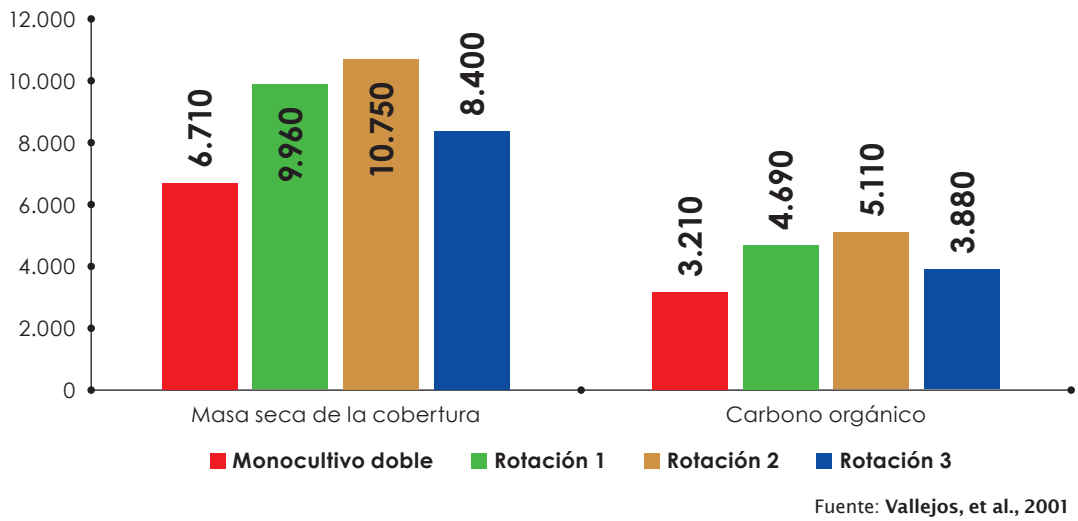


Figura 16. **Esquema 3 en Rotación de Cultivos**



La gran importancia de la materia seca y del carbono orgánico, aportado por un cambio de sistema del monocultivo soja-trigo, en comparación con aquel donde entran dos o tres abonos verdes esta presentado en la Fig. 17. La cantidad de carbono orgánico otorgado puede conducir a un sistema sostenible de producción, que a mediano y largo plazo tiene retorno y se refleja en los rendimientos de trigo.

Figura 17. **Cantidad de masa seca de cobertura y carbono orgánico aportado por el monocultivo doble y diferentes rotaciones**

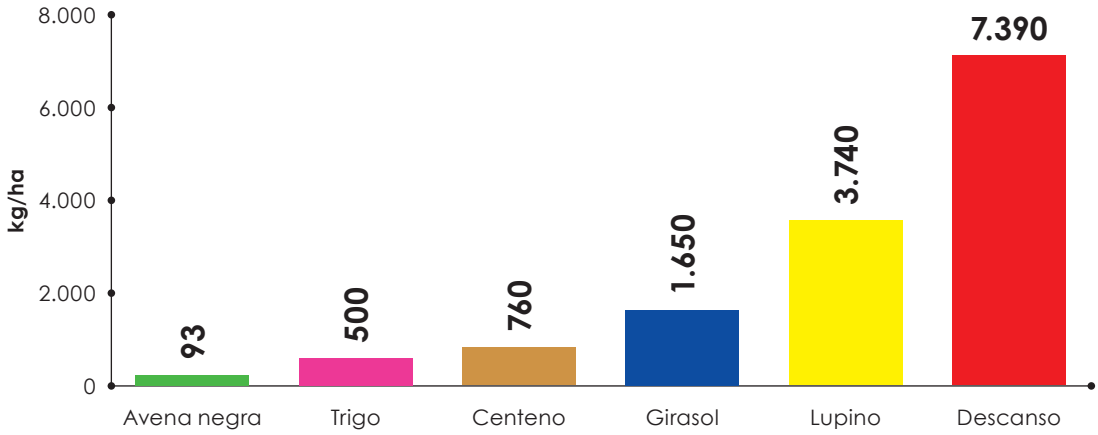


Fuente: **Vallejos, et al., 2001**

Además, los procesos donde entran los abonos verdes en el sistema, son grandes controladores de malezas (Fig. 18). El cultivo de trigo es uno de los mejores controladores, para que no es solamente un abono verde, sino que también tiene doble función. Un cultivo de trigo post cosecha tiene poca maleza, tiene un gran efecto alelopático y ya es o fue utilizado como abono verde. Lo importante es la producción de la materia verde y analizar si es económico, a los tiempos y precios actuales.

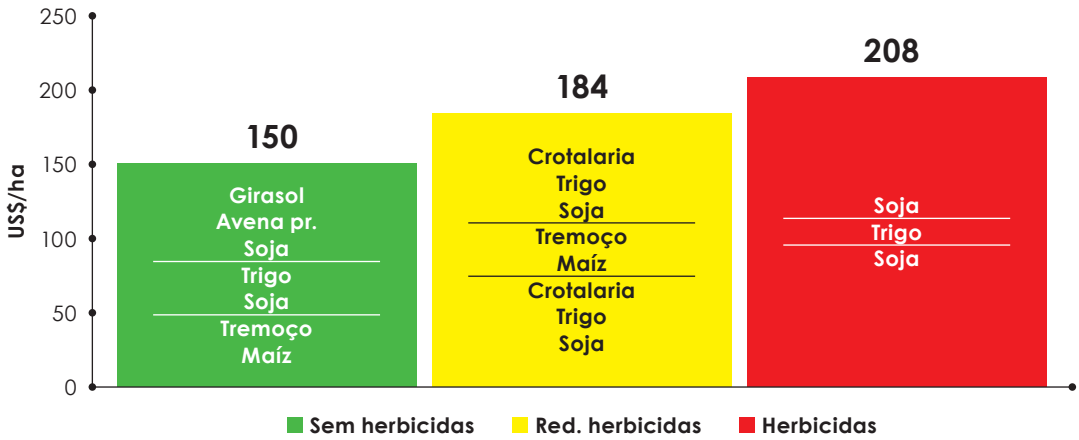
Pero importante es rescatar el concepto, porque económicamente el uso de abonos verdes reduce los costos (Fig. 19)

Figura 18. **Infestación de malezas en el cultivo de soja sembradas sobre diferentes especies de abonos verdes, trigo y en descanso 96 días después de la siembra**



Fuente: **Kliewer et al., 1999**

Figura 19. **Costos en el control de invasores con herbicidas en monocultivo y rotación de cultivos con abono verde en tres años 1995/1997**



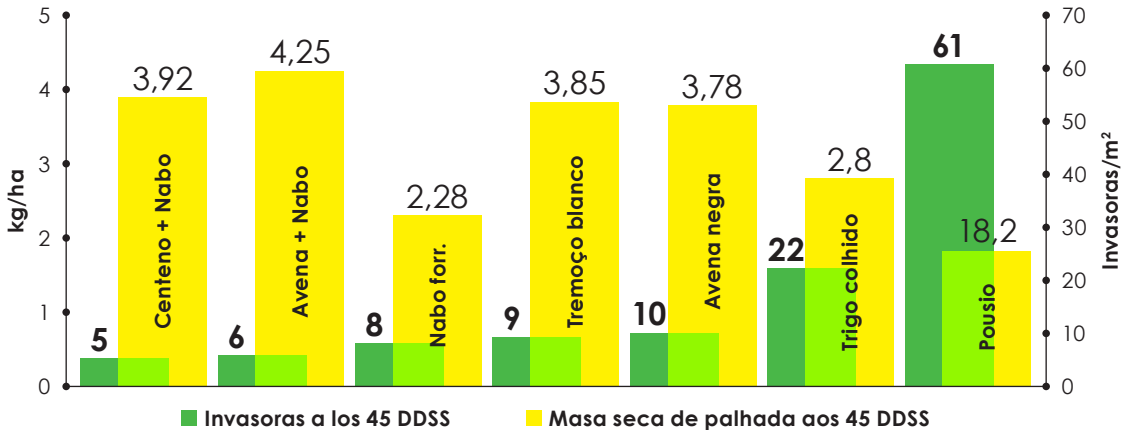
Fuente: **Kliewer et al., 1999**

Otro trabajo hecho en CETAPAR en el año 2000 muestra los efectos de la cobertura muerta de abonos verdes de invierno, asociaciones, trigo y barbecho de invierno sobre la incidencia de las malezas en el cultivo de soja a los 45 DDSS en Siembra Directa (Fig. 20). Los datos muestran no solo el efecto controlador sobre la cantidad de malezas en comparación con un área en descanso, sino también el aumento del rendimiento del cultivo.

Cada productor tiene su propio sistema de producción y debe aplicar a su sistema los principios básicos de la rotación ajustados a su finca. Un productor, cuyo rendimiento de trigo este año fue de 3900 kg/ha (sobre 3500 kg/ha, el promedio de una década) tiene el sistema de rotación mostrado en la Fig. 21. Lo único que le falta allí es la cabeza de la vaquita que incorporó, el sistema de engorde, para absorber los precios bajos de granos, tiene todo un sistema de transformación.

¿Qué ocurre en aquellas fincas donde hubo un sistema de rotación por 10–15 años? Los datos brutos presentados en la Fig. 22 muestran la materia orgánica entre 3 a casi 5 por ciento en campos de productores mecanizados (50 a 200 ha) en el suelo franco arenoso e inclusive en suelos arcillosos.

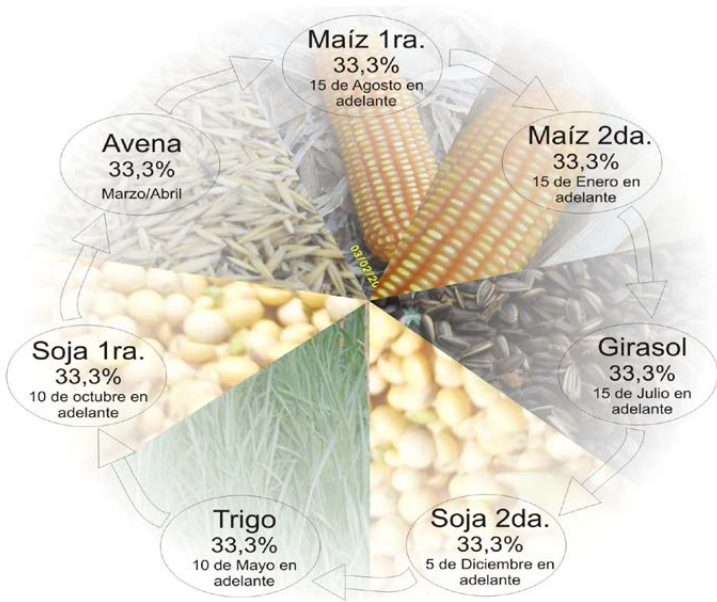
Figura 20. **Efecto de cobertura muerta de abonos verdes de invierno, asociaciones, trigo y barbecho de invierno sobre la incidencia de plantas invasoras en el cultivo de soja a los 45 DDSS en siembra directa**



DDSS = Días Depois da Semeadura da Soja
Semeadura da soja = 16/12/99. Dessecacao = 16/12/99 com 2,0 lit/ha de Roundup 30 g/ha de Classic + Assist. Obs: Pusio recebeu o dobro da dose.

Fuente: **Cetapar 2000.**

Figura 21. **Esquema exitoso de Rotación de Cultivos adoptado por un productor**



Fuente: **Dickel, V.**

El componente principal de esta mejora se basa en el sistema de rotación. Y los valores del CIC son casi triples de lo que fue mostrado antes en la Fig. 5, sin rotaciones. Este caso es de los suelos de 25 a 30% de arcilla, pero hay otras localidades con materia orgánica en torno a los tres por ciento.

Hoy se ha avanzado mucho en el tema de la mezcla de semillas de abonos verdes ¿Será necesario ajustar la mezcla? Sí para el trigo, porque para maíz ya se está haciendo y están dando buenos resultados. Lo más evidente es que se han mejorado las características de estos suelos al incorporarse maíz, el nabo forrajero, el lupino con la avena (Fig. 23). Sistemas de rotación que incluye ganado aun no es muy común.

A pesar de estos resultados con excelente contribución del maíz a la mejora del sistema, ha sido difícil sustituir la soja zafriña-por maíz o mezcla de abonos.

Figura 22. **Análisis de suelo en los campos con Rotación de Cultivos, Sommerfeld, Caaguazú**

	Lab. N°	Muestra	pH (H2O)	pH (CaCl)	M.O. (%)	Ca (Cmol/Ls)	Mg (Cmol/Ls)	Suma de Bases	K (Cmol/Ls)	P (mg/Ls)	S (mg/Ls)	Arcilla (%)	CIC (Cmol/Ls)	V (%)
1	5.934		6,05	5,67	3,40	7,54	1,92	10,18	0,72	56,20	10,14	37,50	12,56	81,03
2	5.935		6,00	5,59	3,56	6,70	1,56	9,02	0,77	61,14	8,24	32,50	11,39	79,23
3	5.936		5,74	5,49	3,33	6,49	1,45	8,63	0,68	65,78	7,94	37,50	11,18	77,21
4	5.937		5,85	5,42	3,08	6,77	1,40	8,86	0,68	51,23	6,14	37,50	11,37	77,92
5	5.938		5,84	5,57	4,10	7,05	1,69	9,44	0,70	51,78	10,96	37,50	11,84	79,72
6	5.939		6,02	5,69	3,85	7,37	1,70	9,63	0,57	52,32	10,63	32,50	12,24	78,71
7	5.940		6,00	5,32	3,81	6,36	1,52	8,77	0,88	74,72	9,51	32,50	11,51	76,17
8	5.941		5,78	5,27	3,17	6,38	1,69	8,70	0,62	66,15	8,32	22,50	12,74	68,29
9	5.942		6,04	5,55	3,50	6,68	1,69	8,99	0,62	56,47	10,96	32,50	11,77	76,34
10	5.943		6,22	5,41	3,33	6,54	1,63	8,84	0,67	66,42	8,75	32,50	11,03	80,10
11	5.944		6,33	5,51	3,21	6,52	1,49	8,71	0,71	43,51	9,95	32,50	11,76	74,09
12	5.945		6,50	5,45	2,89	6,45	1,37	8,58	0,76	72,66	8,43	32,50	11,17	76,85
13	5.950		6,04	4,78	3,05	4,40	1,17	6,08	0,52	30,28	11,52	22,50	9,46	64,29
14	5.951		6,24	4,96	3,22	5,38	1,37	7,31	0,56	36,10	13,26	22,50	9,86	74,17
15	5.952		5,96	4,73	3,35	4,86	1,34	6,65	0,44	46,28	12,15	22,50	10,23	64,94
16	5.953		5,87	4,51	3,08	4,01	1,09	5,58	0,48	62,64	11,67	27,50	9,71	57,44
17	5.954		6,20	5,03	4,95	5,13	1,72	7,22	0,37	57,22	11,88	25,50	9,87	73,20
18	5.955		6,18	5,14	3,31	5,48	1,98	7,89	0,43	49,10	11,38	25,00	11,12	70,93
19	5.956		6,40	5,34	4,34	6,45	1,87	8,70	0,38	46,43	7,30	30,00	11,19	77,73
20	5.957		6,22	4,91	2,98	5,80	1,39	7,65	0,45	18,94	1,43	35,00	10,42	73,46

ENMIENDAS

¿En qué momento apoyar con enmiendas? La experiencia técnica y de campo señala que el encalado se debe realizar sobre el rastrojo del cultivo de maíz, porque el rastrojo que deja la soja más la aplicación de calcáreo en la superficie hace que los suelos queden desnudos y aparezcan procesos erosivos. Desde el punto de vista práctico, rastrojo de maíz de época normal es-para realizar el encalado.

Pero en ese proceso de encalado, no se usa los protocolos básicos para conocer los tipos de cal. Por eso se aplica cal dolomítica, cal magnesiana, cal calcítica y yeso sin ningún criterio técnico, más que varias veces la dosis comercial. Es lo que se observa a nivel de campo. Todos los procesos y las recomendaciones de cuándo usar yeso o de cuándo usar cal agrícola es una información necesaria y urgente a nivel de campo. La aplicación simultánea de yeso y cal se puede hacer mediante la mezcla física de ambos materiales directamente en la finca. Normalmente, la proporción de la mezcla es de 70 a 75% de carbonato de calcio o cal dolomita, y de 25 a 30% de yeso. Esto permite la aplicación de las dos enmiendas en una sola operación. No es conveniente utilizar dosis excesivas de yeso en suelos ácidos bajos en K_2O y Mg, debido a que se puede incrementar la lixiviación de bases y disminuir la fertilidad de los suelos.

Lo qué tiene diferente el productor que obtiene 3.900 kg/ha de trigo es que la parcela tiene mucho carbono. Carbono producido por el maíz y 3 a 4% de materia orgánica. Es un agricultor que permite la permanencia de su cobertura por mayor tiempo. También aplica la recomendación técnica,

y en estos últimos tiempos, sobre todo, no hay otra cosa más valiosa que no sea la información y la capacitación. La información la tienen todos, pero lo fundamental, es insistir con la capacitación especialmente en la gente joven que no conoce aún todos los requerimientos de la Siembra Directa.

Es muy necesario, porque el trigo va a permanecer en la grande y en la pequeña propiedad. Es un buen abono verde en la pequeña propiedad. ¿Será que podemos aprovechar e investigar el efecto alelopático en el control de malezas en la pequeña propiedad? porque ahí es donde tenemos limitaciones. Necesitamos juntar agua. Se ha hecho muchas adecuaciones de maquinaria para la agricultura familiar, pero se necesita más investigación sobre los rubros, rotaciones y sus combinaciones en la economía familiar.

Los desafíos actuales en la agricultura pasan por la mecanización, pero en la pequeña propiedad ¿también debe entrar el trigo como cultivo o no? No se está estudiando la fertilidad física de los suelos o la eficiencia del uso de fertilizantes. Todo el sistema nacional debería estar encaminado en la búsqueda de mayor carbono. En resumen, la contribución del trigo en los sistemas de producción y sus efectos alelopáticos, son los nuevos desafíos que hay que responder y divulgar. Porque el trigo y el arroz, si no están con manejo adecuado no pueden prosperar.

Figura 23. **Impacto de las mezclas de abono verdes sobre la calidad física y biológica del suelo**

Preguntas y plenaria

- Pregunta: ***En su opinión, ¿cómo podemos trabajar en el futuro para cambiar la actitud del productor?***
- **Ken Moriya:** Quizás hace falta algo fundamental, la participación activa del productor, donde los trabajos, sobre todo de validación, se realicen de forma conjunta de tal manera que haya ese cambio de actitud. El agricultor no es terco de por sí. Cuando se le explica bien, entiende y comprende el proceso, forma parte. Quizás es el abordaje de cómo llegar hasta él con los conocimientos y las informaciones. Sinceramente, si hacemos una parcela demostrativa y un día de campo, creo que es insuficiente por los resultados. Necesitamos mayor esfuerzo de comunicación.
- Pregunta: ***¿Han observado efecto negativo de la compactación superficial en un sistema de Siembra Directa? ¿Se puede evitar este efecto negativo de la Siembra Directa sobre los suelos?***
- **Ken Moriya:** El Sistema nuestro de siembra directa donde solo participan la soja y el trigo, y que tiene un periodo largo sin cobertura, se genera un proceso de compactación superficial, inclusive de la parte superior de los primeros 10 cm y eso ocasiona la dificultad de infiltración

de agua por la desagregación superficial. Sin embargo, en propiedades donde han seguido un sistema de rotación, donde incorporan abonos verdes, donde no hay tiempo libre sin desarrollo de algún cultivo, no ha habido. Y si es que ha habido, ha sido un pequeño adensamiento, pero la velocidad de infiltración de agua permanece e inclusive ha aumentado. La calidad de la Siembra Directa determina la compactación. Si se hace tal cual como corresponde, no aparece adensamiento, pero eso si es un proceso. Muchas veces el adensamiento causa las máquinas y si tenemos falta de cobertura, generalmente es eso lo que ocasiona.

- Pregunta: ***Se hace mucho énfasis en la rotación, pero no tenemos semillas de abonos verdes ¿Qué recomienda para el productor?***
- **Ken Moriya:** Lo veo más inconveniente en la agricultura familiar. En la parte mecanizada, el que quiere lo hace, eso yo lo llevo en cuenta con los productores mecanizados que lo están haciendo. Hay un sistema de producción de semillas de abonos verdes, tienen los medios y los servicios, si es que tiene el grado de convencimiento. Ahora, sí es más limitante en la pequeña agricultura por la dificultad de la producción de semilla de granos finos, sobre todo por el sistema de recolección, pero no en el sistema mecanizado.
- Pregunta: ***¿Usted cree que son necesarios los reglamentos sobre el uso y manejo de suelos, ya sean propias o arrendadas? ¿Cómo se hace en otros países?***
- **Ken Moriya:** Hay aspectos, situaciones a nivel de campo en que los reglamentos, o las leyes, podrían ser instrumentos que ayuden a evitar la degradación de suelos. Porque en el campo estamos de todo. Hay casos, sobre todo cuando son parcelas alquiladas, que las observaciones de ciertas normas que conduzcan a la agricultura sustentable no lo llevan adelante. Entonces, en esos casos los instrumentos legales podrían contribuir. En otros países, acá tenemos la compañera de Uruguay, tienen un sistema, pero ya más avanzado, que sería el equivalente a lo que aquí se llama el "impacto ambiental", pero allá desde otro punto de vista lo están llevando y para un sistema de producción. Quizás, aquí lo que es necesario, es un sistema legal que incentive la adopción de prácticas conservacionistas . Porque el productor lo hace más entendiéndolo que obligándolo, cuando él ve las ventajas comparativas y tenemos el resultado. Cuando se vio el cambio de un sistema de manejo de suelo, de la rastra al sistema de siembra directa y llegar con 95-96 % del área sembrada total de un sistema, no fue bajo reglamentos, fue bajo conocimiento, bajo información. Cualquier instrumento legal que contribuya a la difusión, pero desde el punto de vista normativo y proactivo, es bienvenido.

Mal manejo de suelo y falta de cobertura es un limitante serio para altos rendimientos.

Foto: Magin Meza.

Pérdida del Nitrógeno y Eficiencia en la Aplicación de Nutrientes

Loss of Nitrogen and the Efficiency in Nutrient Application

Iván Ortiz-Monasterio

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT,
Apdo. Postal 6-641 06600 México, D.F., MÉXICO
i.ortiz-monasterio@cgiar.org

RESUMEN

Es un reto para la agricultura mundial mejorar la eficiencia del uso del nitrógeno, ya que de 115 millones de toneladas de fertilizante nitrogenado usados anualmente, casi el 77% se utiliza en los países en vías de desarrollo. A nivel mundial, los cereales (trigo, maíz y arroz), consumen un poco más de la mitad de todo el nitrógeno aplicado, lo que indica la importancia del problema. Con el propósito de reducir las pérdidas del nitrógeno y aumentar la eficiencia de su uso, es necesario entender siete procesos del ciclo del nitrógeno que son: *Fijación, Mineralización, Nitrificación, Desnitrificación*, *Lixiviación, Volatilización e Inmovilización*. Parte de estos procesos (*Mineralización* y *Nitrificación*) que convierten la materia orgánica en amonio o a nitrato, disponibles para las plantas, dependen del tipo de suelo y la humedad. Por otra parte, el pH y la temperatura del suelo tienen influencias importantes sobre *Desnitrificación*, *Lixiviación* y *Volatilización,* tres principales procesos de su pérdida. Las estrategias para evitar estas pérdidas dependen de momento y dosis de aplicación y fuente de nitrógeno. La principal estrategia para minimizarlas, es tratar de mantener el nitrógeno en forma de amonio por el mayor tiempo posible, lo que se puede lograr con la Urea recubierta con un polímero o el uso del amoniaco anhidro o de inhibidores de la nitrificación, o de la ureasa. Actualmente existen muchas herramientas de diagnósticos para identificar las dosis optimas, sean en base al rendimiento, o al análisis de suelo o cultivo. Entre estos se puede mencionar el equipo llamado *GreenSeeker,* desarrollado por el CIMMYT y la Universidad de Oklahoma, que se puede adaptar para pequeños agricultores. Esta tecnología basada en sensores, mide un índice vegetativo llamado índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI), cuyos valores van de 0 a 1. Como ejemplo, un trigo bien

fertilizado tiene un valor de NDVI 0.80 y un trigo con deficiencia de N solo da un valor de NDVI 0.30. Así como este sensor, los satélites, como el *Rapid Eye*, o *landsat*, también miden el NDVI y tienen una buena correlación con el sensor terrestre. Doce años de trabajo en México, aseguran que este sensor tiene una alta confiabilidad, la cual permite al agricultor tener mayores ingresos, pero al mismo tiempo evitar aplicaciones excesivas de N que tienen un impacto negativo en el medio ambiente.

ABSTRACT

It is a challenge for global agriculture to improve the efficiency of nitrogen use because of the 115 million tons of nitrogen fertilizer used annually, almost 77% is used in the developing countries. Globally, cereals (wheat, corn and rice) consume a little more than half of all the nitrogen applied, which indicates the importance of the problem. In order to reduce the nitrogen losses and increase its efficiency, it is necessary to understand seven processes of the nitrogen cycle viz. Fixation, Mineralization, Nitrification, Denitrification, Leaching, Volatilization *and* Immobilization. *Part of these processes (Mineralization and Nitrification) convert organic matter into ammonium or nitrate, available to plants, depend on the type of soil and moisture. On the other hand, the pH and temperature of the soil have important influences on Denitrification, Leaching and Volatilization, three main processes of its loss. The strategies to avoid these losses depend on the moment and dose of application as well as the source of nitrogen. The main strategy to minimize them, is to try to keep nitrogen in the form of ammonium for as long as possible, which can be achieved with the Urea coated with a polymer or the use of anhydrous ammonia or nitrification inhibitors, or the urease etc. Currently there are many diagnostic tools to identify optimal doses, whether based on yield performance, or soil or crop analysis. Among these we can mention a tool called* GreenSeeker, *developed jointly by CIMMYT and the University of Oklahoma, which can be adapted for small farmers. This sensor-based technology measures a vegetative index called Normalized Vegetation Differential Index (NDVI), whose values range from 0 to 1. As an example, a well-fertilized wheat has a value of NDVI of 0.80 and a wheat with N deficiency only gives a NDVI value of 0.30. Besides this sensor, satellites, such as the Rapid Eye, or Landsat, also measure the NDVI and have a good correlation with the terrestrial sensor. Twelve years of work in Mexico, ensure that this sensor has a high reliability, which allows the farmer to have higher income, but at the same time avoid excessive applications of N that impacts the environment negatively.*

Mala aplicación de urea.

Foto: Gerardo Berton.

INTRODUCCIÓN

Es un placer estar con ustedes y les agradezco la invitación. Haciendo cuentas, creo que fue a principios de los 90 la primera vez que estuve aquí en un Simposio sobre "Trigos Tropicales" y es bueno estar de regreso después muchos años.

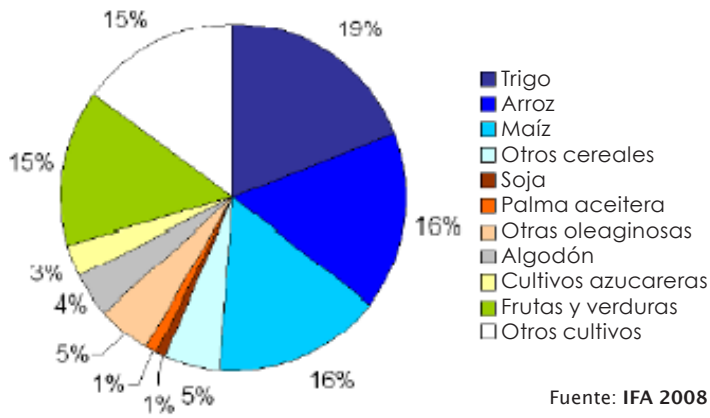
La pregunta para desarrollar este trabajo es cómo se pierde Nitrógeno y qué es lo que se puede hacer para incrementar su eficiencia. Como dato simple, actualmente a nivel mundial se consume 115 millones de toneladas de fertilizante nitrogenado. Lo más interesante es que un 77 % de esa cantidad se utiliza en los países en vías de desarrollo y no en los países desarrollados, lo que hace más importante mejorar el uso del Nitrógeno en nuestros sistemas.

Otra cifra interesante es que, de esos 115 millones de toneladas, la mayor parte del Nitrógeno se aplica en el cultivo del trigo, más o menos un 19 %; y cereales (trigo, maíz y arroz) en su conjunto consumen un poco más de la mitad de todo el Nitrógeno que se aplica a nivel mundial (Fig. 1). Por eso, la importancia de incrementar la eficiencia de aplicación y uso puede tener un impacto importante, no solo a nivel nacional sino a nivel global.

CICLO DE NITRÓGENO

Para entender en donde ocurren las pérdidas de Nitrógeno es necesario ver parte del ciclo del Nitrógeno (Fig. 2). Es un ciclo bastante complicado, pero para simplificar, se puede partirlo en siete diferentes procesos que ocurren.

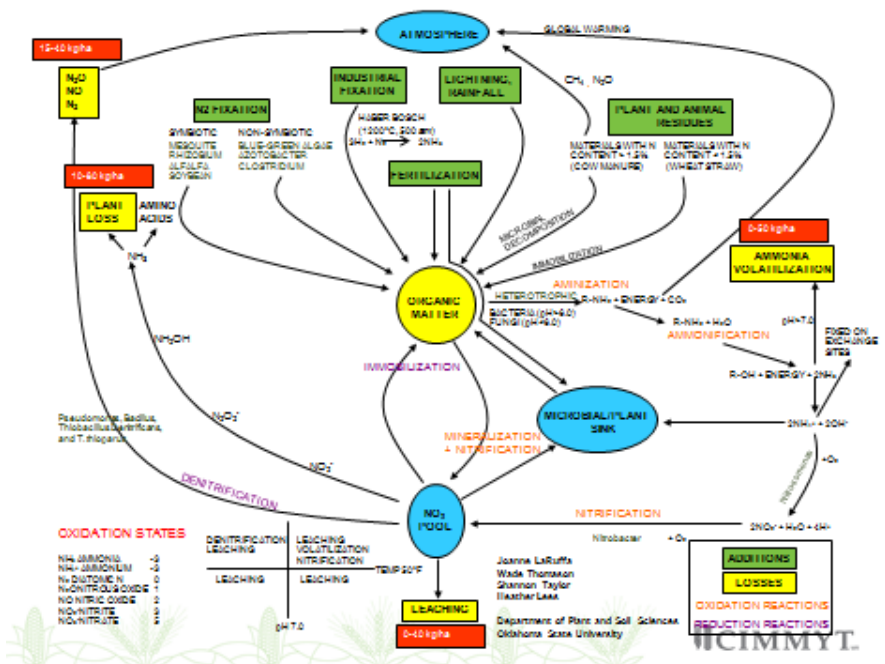
Figura 1. **Uso de los fertilizantes nitrogenados por cultivo a nivel mundial**



Fuente: **IFA 2008**

Figura 2. **Distintos procesos en el ciclo de nitrógeno**

1. Fijación
2. Mineralización
3. Nitrificación
4. Denitrification
5. Lixiviación
6. Volatilización
7. Inmovilización



Hay dos procesos, la 1) *Fijación* y la 7) *Inmovilización* donde el Nitrógeno no está disponible durante un periodo, pero después si está disponible, aunque generalmente cuando no está disponible para la planta, es como si se perdiera. Pero el punto importante es que no se pierde del sistema, sino que está temporalmente indisponible para la planta. Este proceso de fijación ocurre en suelos que tienen un tipo de arcilla, llamada de doble capa, como por ejemplo las arcillas montmorilloníticas. Como eso no ocurre con mucha frecuencia en los suelos de Paraguay, no le damos mucha importancia.

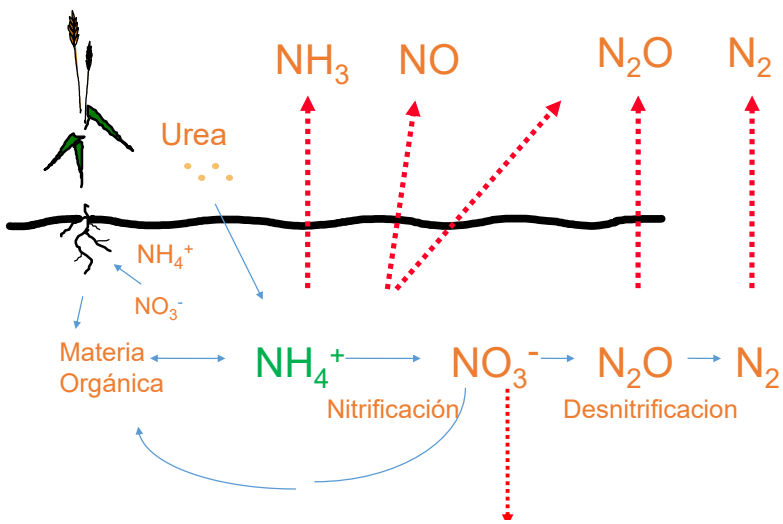
Hay otros dos procesos que son la 2) *Mineralización* y la 3) *Nitrificación*, cuyo rol es cambiar el Nitrógeno orgánico en inorgánico para que esté disponible para las plantas. Los otros tres procesos son: 4) *Desnitrificación*, 5) *Lixiviación* y 6) *Volatilización*, que si son pérdidas totales del sistema y hay que entenderlos mejor uno por uno. Este es un esquema bastante simplificado para tratar de entender esos procesos.

La *mineralización* consiste en la transformación de la Materia Orgánica (MO), que son proteínas y aminoácidos, que se mineralizan para formar el amonio. Las plantas no pueden absorber nitrógeno orgánico, sino que tienen que convertirse a amonio o a nitrato para que lo puedan aprovechar. Ese es un proceso muy importante de *Mineralización* para que el Nitrógeno (N) esté disponible para la planta.

Por otra parte, el amonio es la molécula más estable de N en el suelo ya que tiene la menor posibilidad de pérdida cuando está en la forma de amonio. Por lo tanto, uno de los objetivos es tratar de maximizar el tiempo que esa molécula se encuentra en el suelo como amonio.

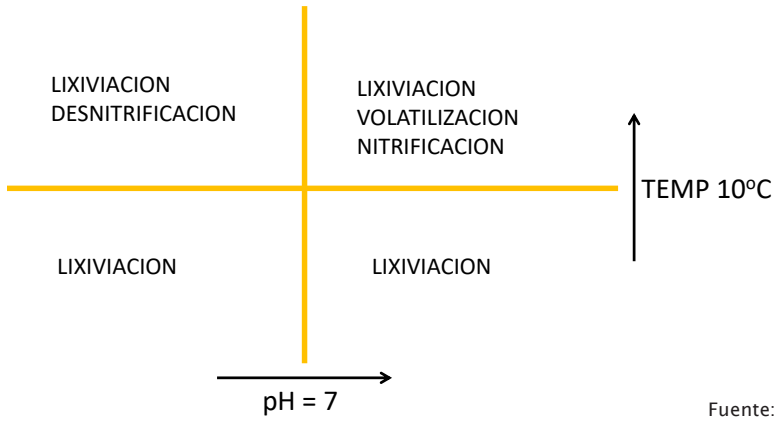
El siguiente. el proceso de *Nitrificación,* es cuando el amonio se convierte a Nitrato (Fig. 3). Es, cuando potencialmente hay mayores problemas de pérdidas, ya que las arcillas tienen carga negativa y el nitrato también; negativo con negativo se repelen. El nitrato es muy soluble en agua. Si hay un suelo arenoso con exceso de humedad se lixivia, se lava. Pero en un suelo pesado, ese nitrato se desnitrifica y se convierte en dos gases: óxido nítrico (NO) y óxido nitroso (N_2O). Esos son procesos de *desnitrificación* y de *lixiviación*. Por último, es la *volatilización*, ocurre cuando el nitrógeno se aplica como amonio, aplicación de la urea sobre la superficie y no incorporada. La urea (NH2), tiene un paso intermedio NH3 que es un gas, y después se convierte en NH4. Si en ese paso intermedio de NH2 a NH4 las condiciones son favorables, hay mucha pérdida por volatilización.

Figura 3. **Perdidas de diferentes formas de nitrógeno al ambiente**



El pH y la temperatura del suelo tienen influencias importantes sobre estos tres principales procesos de pérdida de N (Fig. 4). Se puede ver que un factor común es la lixiviación; independientemente de la temperatura o del pH del suelo. La lixiviación es el que ocurre con mayor frecuencia. A pH más altos, hay más problemas de volatilización, mientras que a pH más bajo el principal problema es la desnitrificación.

Figura 4. **Impacto del pH y la temperatura sobre distintos procesos en el ciclo de nitrógeno**



Fuente: **Raun et al.**

Como se mencionó anteriormente, el nitrógeno en forma de nitrato en suelos arenosos (particularmente bien drenados), y luego una lluvia fuerte, tienen las pérdidas principalmente por lixiviación (Fig. 5). Pero si en lugar de un suelo arenoso es suelo con arcilla, con mal drenaje que cause saturación del suelo, es cuando hay las condiciones anaeróbicas (falta de oxígeno en el suelo). El suelo se satura porque todos los espacios porosos se llenan de agua, por lo tanto, hay falta de oxígeno. Bajo esas condiciones anaeróbicas ocurre el proceso de desnitrificación. Esto depende de la textura del suelo, pero eso solo va a ocurrir cuando hay exceso de humedad. Si la humedad no es excesiva, el N que esté en forma de nitrato estará bien, no hay problema. El problema ocurre cuando hay exceso de humedad: en suelo arenoso, lixiviación; y, en suelos pesados, desnitrificación. Generalmente en los suelos de textura franca, ese problema no sucede, a menos que haya condiciones extremas de humedad, pues también se llega a tener problemas de desnitrificación.

Figura 5. **Textura del Suelo y la Perdida del N bajo exceso de humedad**

Suelos arenosos, particularmente cuando están bien drenados, son muy propensos a perdidas por lixiviación.

Suelos arcillosos y con mal drenaje, son muy propensos a perdidas principalmente por desnitrificación.

Suelos francos de textura media son los menos propensos a perdidas de N por estos dos procesos, sin embargo, las perdidas pueden ser importantes bajo condiciones de mucha humedad.

Por ejemplo, si se usa una forma amoniacal, que es deseable porque es la más estable en el suelo, ya sea como amoniaco anhidro, urea o sulfato de amonio o un estiércol, y ese se aplica un poco antes de que haya un periodo de mucha humedad, la pregunta es: ¿se espera pérdidas altas o bajas? La respuesta es que, a pesar de tener mucha humedad va a haber pérdidas bajas, porque no ha habido suficiente tiempo para que el amonio se convierta en nitrato y por lo tanto no van a existir esas pérdidas por desnitrificación o por lixiviación. Y bajo condiciones anaeróbicas, cuando hay exceso de humedad, no existe ese proceso de nitrificación a nitrato. Sin embargo, en el caso de la urea que es muy soluble en agua aplicada en un suelo muy arenoso, también podría haber pérdidas importantes por lixiviación, si una lluvia pesada ocurre antes de que se empiece a convertir a amonio. Bajo esas condiciones es mejor usar un sulfato de amonio, o un nitrato de amonio que son menos solubles para tener menos pérdida por lixiviación.

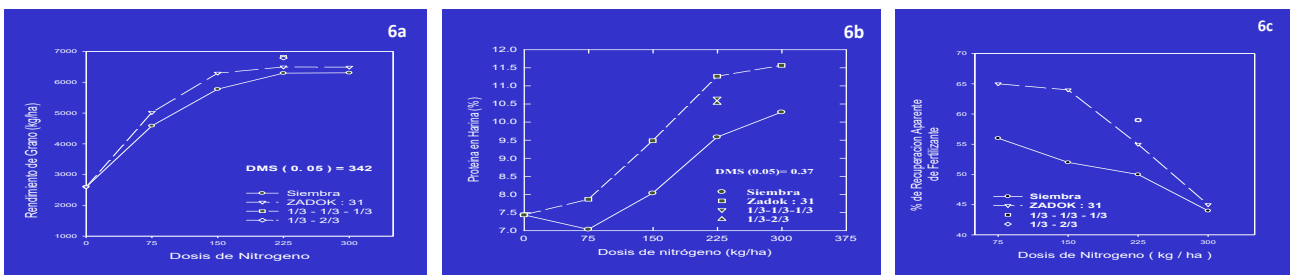
ESTRATEGIAS PARA EVITAR PERDIDA DEL NITRÓGENO

Momento de aplicación

El momento de aplicación es muy importante. Si se aplica la mayor parte del N en pre siembra (y generalmente es el caso), ese N que se aplica como urea, a las pocas semanas se va a convertir a Nitrato, y si tiene altas temperaturas y alta humedad, como mencionaba anteriormente se va a convertir rápidamente a nitrato. Ahora si ocurren lluvias fuertes antes de poder sembrar, una buena parte de ese N se va a perder. Entonces ¿Qué se puede hacer? Tratar que esas aplicaciones sean en el momento de máxima absorción por el cultivo.

Las gráficas presentadas en la Fig. 6 son promedio de 8 experimentos donde diferentes dosis de N, fueron aplicadas en diferentes etapas. Una se aplicó todo en la siembra, la línea de arriba fue todo al inicio de encañazón, y solamente en la dosis de 225 kg/ha hubo dos aplicaciones divididas de un tercio a la siembra, al inicio de encañazón - encañazón y al fin de encañazón - inicio de embuche y en la otra, un tercio a la siembra y dos tercios al inicio del encañazón (Fig. 6a). Se puede observar que esas aplicaciones divididas dieron mejor rendimiento que aplicarlo todo a la siembra o todo al inicio de encañazón. Cuando se evalúa la proteína, los resultados muestran un mejor comportamiento para las aplicaciones al inicio de encañazón, mejor que las aplicaciones en la siembra (Fig. 6b). En cuanto a la recuperación del N aplicado, se puede observar que cuando se incorpora toda la dosis de N a la siembra, la eficiencia va bajando. La aplicación en el encañazón fue mejor que todo a la siembra, estamos recuperando una mayor parte del N aplicado. Sin embargo, las estrategias de las aplicaciones divididas (de un tercio, un tercio, un tercio, o de un tercio-dos tercios) proporcionan aun mayor recuperación. ¿Por qué con esta estrategia de aplicaciones divididas hay mayor rendimiento y mejor proteína? Es porque se está recuperando una mayor proporción de N aplicado. En otras palabras, el nitrógeno se aplica al inicio, cuando necesita una parte, pero también se aplica en las etapas de más rápida absorción de N.

Figura 6. **Efecto de la aplicación del nitrógeno en diferentes momentos sobre el rendimiento de grano (6a), proteína en la harina (6b) y porcentaje de recuperación aparente del fertilizante (6c)**



En un suelo muy deficiente en N, donde el rendimiento de trigo sin fertilización fue de 1,5 toneladas; se aplicó 150 unidades de N a la siembra o a los 35, 45, 55, 65, 75 y 85 días (el de 85 días es el equivalente al espigamiento). Los resultados presentados en la Fig. 7 muestran la eficiencia de la recuperación del cultivo, que se va reduciendo de forma lineal por cada día de retraso en la aplicación después de inicio del encañazón. Es importante señalar que las aplicaciones en espigazón no tienen impacto en el rendimiento, es el equivalente a no haber aplicado el N.

Se hizo el mismo ensayo sobre una rotación con abono verde (*Sesbania* sp.), y se puede observar la misma tendencia, solo que con una pendiente diferente y se confirma que el momento ideal es a inicio de encañazón (Fig. 8). La línea es el rendimiento sin fertilizar, que básicamente coincide con las aplicaciones en espigazón, que no tiene ningún impacto en el rendimiento. Sin embargo, cuando se observa el impacto en proteína, es exactamente lo inverso. Si se aplica el N al inicio de encañazón, va haber menor proteína en comparación con las aplicaciones cerca del espigazón, que logra la máxima proteína (Fig. 9). Y conforme más se acerca al espigazón, mayor es el impacto en la proteína. Los mismos resultados son logrados en el trigo después de un cultivo de la soja.

En resumen, la aplicación del N depende de cuál es el objetivo. Si el objetivo es rendimiento, el momento óptimo es al inicio de encañazón; si el objetivo es proteína el momento óptimo es cerca del espigazón.

Figura 7. **Efecto de retrasar una dosis única de150 kg N/ha en trigo, desde la siembra hasta 85 días después de la emergencia, posterior a un cultivo de Maíz sin fertilizar**

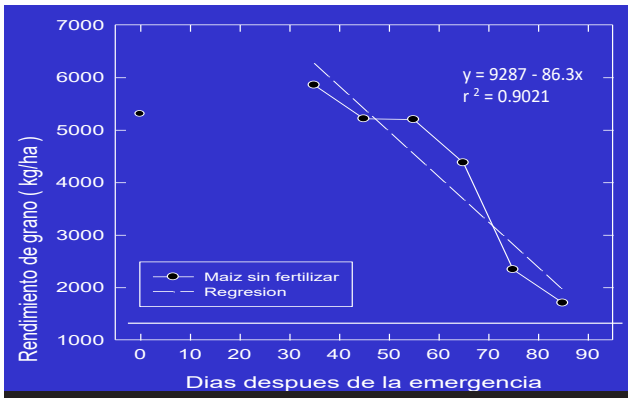
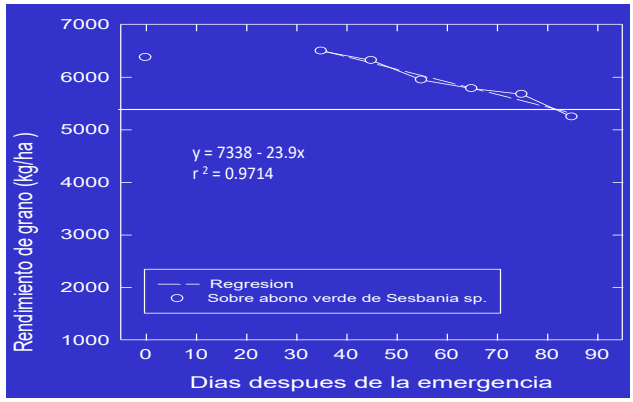


Figura 8. **Efecto de retrasar una dosis única de 150 kg N/ha en trigo desde la siembra hasta los 85 días después de la emergencia, posterior a un abono verde de Sesbania sp.**



Dosis de aplicación

Otra forma de minimizar las pérdidas es aplicando la dosis exacta. Las aplicaciones de dosis por arriba de lo que requiere el cultivo, es cuando hay pérdidas importantes y baja la eficiencia. Más adelante se tratarán las diferentes técnicas de diagnóstico que pueden ser utilizadas para identificar la dosis óptima.

Fuente de Nitrógeno

Se ha mencionado que la principal estrategia para minimizar las pérdidas es tratar de mantener el N en la forma de amonio el mayor periodo posible. Hay un tipo de urea, recubierta con un polímero, que causa que la liberación del N amoniacal sea más lenta y más gradual. El problema

Figura 9. **Efecto de retrasar una dosis única de 150 kg N/ha en trigo desde la siembra hasta los 85 días después de la emergencia, posterior a un cultivo de soja**

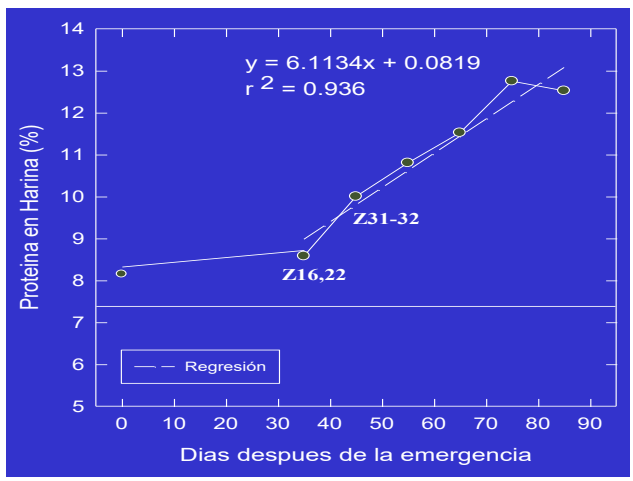


Figura 10. **Fuente de Nitrógeno**

1. El amoniaco (NH3) es la fuente de nitrógeno mas resistente a perdidas bajo condiciones de mucha humedad en el suelo.
2. Urea de lenta liberación (cubierta con un polímero), la urea se libera lentamente. Sin embargo bajo condiciones de precipitaciones fuertes y frecuentes pueden ocurrir perdidas importantes. Este material si no se incorpora también se puede perder por escurrimiento ya que no se infiltra como la urea.
3. Inhibidores de la nitrificación, estos productos retardan la conversión de amonio a nitrato. Nitrapyrin (NH3) y DCD (Dicyandiamide) (Super U, Koch Agronomic Services) en urea.

Urea cubierta con polímero

Urea con inhibidor de la nitrificación

Fuente: **P. Sharf**

es que son fuentes más caras y habría que analizar el balance entre qué tanto reducen las pérdidas y el costo adicional que tiene ese producto.

Otra fuente, no utilizada en Paraguay, es el amoniaco anhidro que se aplica mucho en los Estados Unidos. Esa es la mejor fuente que se puede utilizar cuando hay condiciones de exceso de humedad (Fig. 10). El amoniaco anhidro, además de convertirse primero en amonio, mata los microorganismos que están alrededor de la banda de aplicación y eso reduce la velocidad de conversión del amonio al nitrato. Por lo tanto, permanece en forma amoniacal por un periodo más largo.

Otra estrategia es usar inhibidores de la nitrificación, que actúan sobre los microorganismos que

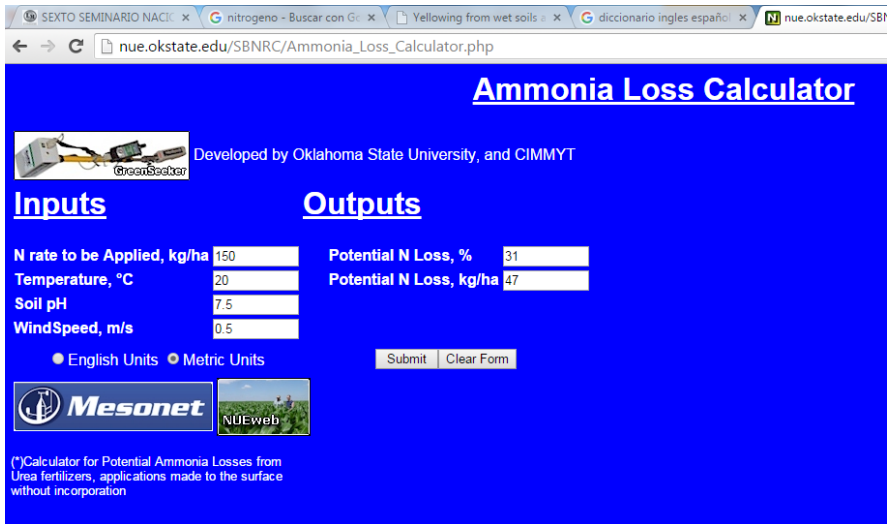
convierten el amonio a nitrato y, por lo tanto, retrasan la velocidad de conversión de amonio a nitrato lo que permanece más tiempo en forma de amonio. En los Estados Unidos, una urea, Super U, tiene además de inhibidor de la nitrificación otro inhibidor de la ureasa, que se discutirá más adelante.

La *Volatilización* de amoniaco es la otra manera de pérdidas causadas, principalmente por la aplicación de urea en forma superficial sin incorporarla. Bajo los sistemas de producción de los Estados Unidos, estas pérdidas pueden llegar hasta un 50% y de un 25 % en promedio del N cuando la urea se aplica superficialmente sin incorporar. Tres factores principales que controlan las pérdidas son: el pH del suelo, la temperatura y la velocidad del viento.

El CIMMYT, conjuntamente con la Universidad del Estado de Oklahoma, desarrolló una hoja de cálculo para estimar la volatilización del N y su pérdida dependiendo de la dosis de N, la temperatura, el pH del suelo y la velocidad del viento (Fig. 11). Es importante enfatizar que a mayor temperatura hay mayor pérdida, a mayor pH hay mayor pérdida y a mayor velocidad del viento también hay mayor pérdida.

Figura 11. **Calculador de la volatilización de Amoniaco en Aplicaciones Superficiales de Urea**

http://nue.okstate.edu/SBNRC/Ammonia_Loss_Calculator.php



La mejor forma de solucionar ese problema es incorporar la urea, pero bajo condiciones de siembra directa, se presenta el problema de cómo se puede incorporar. Para no destruir el Sistema de la Siembra Directa, la mejor opción es tener maquinaria que puede cortar sobre el residuo y colocar el fertilizante en el suelo por abajo del residuo. En los sistemas donde hay riego, se puede buscar una forma de incorporar la urea. Si la urea no se puede incorporar, es mejor utilizar unos productos que llamados inhibidores de la ureasa (como Agrotain u otro producto a base de N-(n-butyl) thiophosphoric triamide, NBPT), que reducen las pérdidas por volatilización, como NH3. En un sistema de siembra directa donde no hay la maquinaria para poder aplicar la urea específicamente en el terreno, cabe hacer evaluaciones con el inhibidor de la ureasa.

Otras fuentes que se pueden utilizar son, el sulfato de amonio, nitrato de amonio y fosfato diamónico; pero también pueden tener pérdidas importantes sobre todo si el pH es superior a 7. En el Nitrato de amonio las pérdidas son la mitad de las otras fuentes, porque la mitad está como nitrato y ese no se volatiliza. Pero, la otra mitad está como amonio, por eso las pérdidas son menores comparadas a las otras fuentes como sulfato de amonio y fosfato diamónico. Y la única solución en este caso es la incorporación o cambiar a otra fuente que no se volatilice.

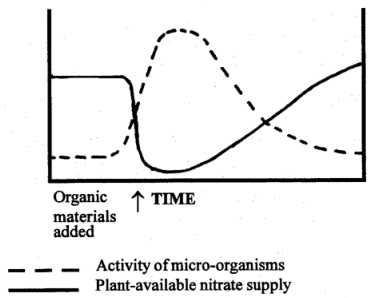
El proceso de *inmovilización*, hace que el N no se pierde del sistema, pero deja de estar disponible para la planta probablemente en un periodo crítico, lo que sí es un problema. ¿Qué es lo que se puede hacer para evitar ese problema de inmovilización? La regla número uno es evitar el contacto

del fertilizante con el residuo. En el mejor escenario es tener un equipo que corte sobre el residuo y coloque el fertilizante en el suelo, un escenario intermedio sería esparcirlo al voleo e incorporarlo, pero ya se destruye la siembra directa. Y el peor escenario sería aplicar una fuente líquida como el UAN, por ejemplo, y aplicarlo sobre el residuo, porque ahí es cuando existe el máximo contacto del fertilizante con el residuo y es cuando se va a tener la más alta tasa de inmovilización.

En la Fig. 12, la línea sólida representa la disponibilidad de N, y otra representa la actividad de los microorganismos. Se puede ver cuando se aplicó el residuo y como baja la disponibilidad del N y después tarda un periodo de tiempo para volver donde estaba originalmente. ¿Qué tan largo es este periodo? Depende de la relación C/N del residuo que hay en el terreno; mientras más alta es la relación C/N más largo es el periodo de inmovilización. Si hay un residuo de alfalfa o de soja, esta rápidamente vuelve a estar disponible, pero sobre un residuo de maíz, que tiene relación C/N de 80/1, la inmovilización será por un periodo de tiempo significativamente más largo.

Figura 12. **Efecto de la relación C/N sobre el proceso de inmovilización**

El N queda temporalmente no disponible para la planta. La duración de la inmovilización esta en función de la humedad, temperatura y relación C:N. Conforme el residuo se va descomponiendo la relación C:N se reduce. Con una relación de aproximadamente 17:1 el nitrógeno vuelve a estar disponible para la planta.



Source	C:N Ratio
Undisturbed top soil	10:1
Alfalfa	13:1
Cattle manure	20:1
Corn stalks	60:1
Wheat straw	80:1
Coal and shale oil	124:1
Oak	200:1

HERRAMIENTAS DE DIAGNÓSTICO

En los Estados Unidos se usa cuatro principales herramientas de diagnóstico para identificar la dosis óptima. De un total de ocho herramientas, estas cuatro son las más utilizadas comúnmente.

En base a rendimiento

Lo que se ha hecho por mucho tiempo es decidir cuánto Nitrógeno se va a utilizar con base en el rendimiento que tiene sentido. En la gráfica de la Fig. 13, se ve la cantidad de N de la planta en madurez en función del rendimiento. A una tonelada de rendimiento, hay 20 kg de N en la planta y a 8 toneladas hay 250 kg de N en la planta. Por lo tanto, a mayor rendimiento, mayor necesidad de N.

Figura 13. **Uso de rendimiento como diagnóstico para aplicaciones de Nitrógeno**

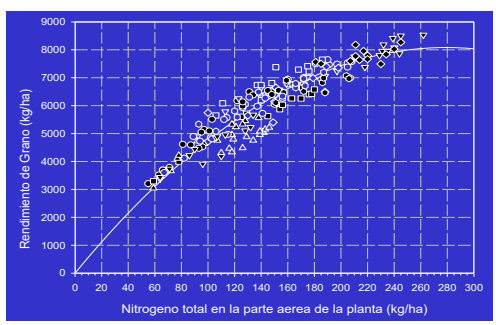
Table 1. Nitrogen rate response data showing weak relationships between corn yield-based N recommendations and economic optimum N rates (EONRs).

Location	Years	Number of Experiments	Yield vs. EONR Relationship* (r^2)
Wisconsin	1959 to 1989	117	0.02
Illinois, Minnesota, Missouri, Pennsylvania, Wisconsin	1982 to 1999	193	0.03
Ontario, Canada	1962 to 1992	300	<0.15
Pennsylvania	1982 to 1994	57	0.08
Wisconsin	1989 to 1999	101	<0.01
Iowa	1987 to 1999		
corn-corn		25	0.21
soybean-corn		25	0.06

* r^2 values are for the relationship between yield goal-based N recommendations and measured EONR. The closer the r^2 value is to1.0, the stronger the relationship. The closer the r^2 value is to 0, the weaker the relationship.

Rendimientos mas altos demandan mas nitrógeno, sin embargo no es un método muy preciso.

$$\text{Dosis} = \frac{\text{Demanda} - \text{Contribución Suelo}}{\text{\% de Eficiencia}}$$



Sin embargo, en estudios comparativos hechos en los Estados Unidos, entre usar esta metodología de decidir cuánto N aplicar en base a rendimiento, por ejemplo, se dice que por cada tonelada de rendimiento de trigo hay que aplicar 25 kg de N y eso es algo que se utiliza en muchos lugares. Sin embargo, cuando se hace un estudio para conocer la dosis óptima económica en esa metodología, las correlaciones son bajísimas 0.2-0.3. No es una buena estrategia para identificar dosis óptima, porque para identificar la dosis óptima hay tres componentes que se necesita conocer: a) cuál es la demanda de la planta que está en función del rendimiento; b) cuál es la contribución del suelo que es el más difícil de medir, porque el conocimiento a entender ese proceso de mineralización y poder estimar cuánto N se va a tener en función de la materia orgánica ha sido algo muy difícil y difícil de estimar; y c) la eficiencia de utilización, nos da la dosis. El punto esencial es que si solo una parte de la ecuación para derivar la dosis óptima y por eso no funciona muy bien.

Análisis de suelo

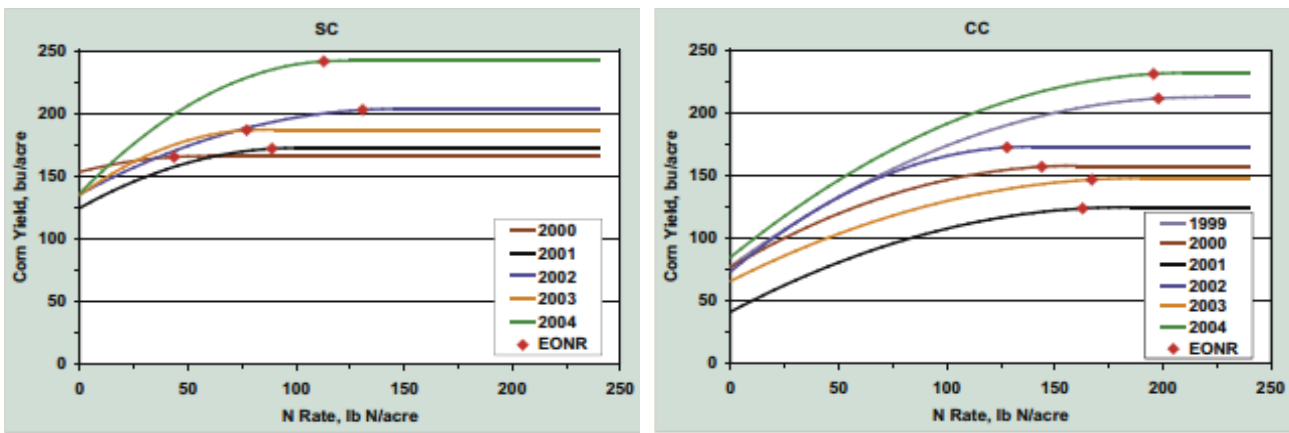
La otra metodología para conocer la contribución del suelo es el análisis de suelo. La experiencia en los Estados Unidos es que, en climas secos, así como Arizona, por ejemplo, el análisis de suelo funciona relativamente bien porque hay poca precipitación, y poca transformación del N, lo que da una buena estimación. Sin embargo, esta es una herramienta que es utilizada por pocos agricultores por el trabajo de hacer unos 20 muestreos por cada parcela, mandar la muestra para análisis, y esperar una a dos semanas para tener los resultados. Generalmente eso se hace al momento de la siembra, que es cuando está más ocupado el agricultor. Entonces a pesar de ser una herramienta relativamente útil no es muy práctica y no se usa mucho.

Pero definitivamente donde casi no sirve, es en condiciones de alta humedad. En ningún lugar de los Estados Unidos se utiliza como una herramienta de diagnóstico en las zonas húmedas, porque el N está constantemente variando; y si tomamos una muestra antes de una lluvia y después de una lluvia nos va a dar resultados muy diferentes.

Promedio regional de experimentos de respuesta a N

Otra herramienta que se utiliza y que está cambiando el referencial, es hacer muchos experimentos de respuesta de dosis. Se utiliza el promedio de 50 o 60 experimentos en una región para servir como base de valores para realizar las recomendaciones de cuanto N se debe aplicar (Fig. 14).

Figura 14. **Uso de promedios regionales de experimentos de respuesta a Nitrógeno como herramienta de diagnóstico**



En los últimos años varias Universidades del Medio Oeste en EUA han cambiado sus recomendaciones basadas en rendimiento a basadas en experimentos de respuesta a N.

La fortaleza de este ultimo método es que esta basado en datos y es transparente y su debilidad es que no distingue un campo de otro campo.

Diagnóstico en base al cultivo

La manera más novedosa es utilizar herramientas de diagnóstico (Figs. 15 y 16). Hay diferentes herramientas de diagnóstico, sensores que permiten conocer el estatus de la planta. Los diagnósticos en base al cultivo son más precisos que los análisis de suelos, pero la desventaja de este sistema es que solamente se puede realizar el diagnóstico una vez que hay las plantas. No permite tomar una decisión anticipada en pre siembra, solamente después de que hay las plantas en el terreno. Los diagnósticos se basan principalmente en estimar el color y la biomasa, que se discute más adelante.

Figura 15. **Equipos disponibles para diagnosticar la respuesta a Nitrógeno en el cultivo**

- Los diagnósticos en base al cultivo son mas precisos que los diagnósticos en base al análisis de suelo pero solo se pueden utilizar una vez que el cultivo esta establecido.
- Propiedades espectrales del cultivo (color), biomasa.

Figura 16. **Tecnología de Sensores Ópticos GreenSeeker**

- Herramienta de diagnostico que permite establecer las necesidades de fertilización nitrogenada de cada campo de agricultor

Colaboración con Oklahoma State University

El CIMMYT, en colaboración de 12 años con la Universidad de Oklahoma, ha desarrollado unos sensores que se llaman *GreenSeeker.* En 2014 salió una versión que cuesta 5.000 US$, y el de la Fig. 16 cuesta 500 US$. Se esta trabajando con ellos para ver cómo se puede adaptar esta tecnología para pequeños agricultores en vías de desarrollo. Se tratará de contar la experiencia tenida en los últimos años.

¿Qué es lo que miden estos sensores?

Estos sensores envían dos haces de luz, uno en la longitud del rojo y la reflectancia en el rojo mide que tan verde o que tan amarilla es la planta; y la reflectancia en el infrarrojo mide que tan grande o que tan pequeña es la planta (Fig. 17). Esos dos valores son incorporados en una fórmula para calcular un índice vegetativo llamado el índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI), cuyos valores van de 0 a 1. Cuanto más alto es el valor de NDVI, más altas, más grandes y más verdes son las plantas. Un valor de NDVI más bajo refleja que las plantas son más pequeñas y más amarillas. Como ejemplo, un trigo bien fertilizado tiene un valor de NDVI 0.80 y un trigo con deficiencia de N solo da un valor de NDVI 0.30 (Fig. 18).

Figura 17. **Las mediciones de un sensor**

- Infrarrojo cercano (NIR) 774 nm (biomasa)
- Rojo 656 nm (Color Verde)
- Rango de NDVI: 0.00 -0.99
- Mide: Color y Follaje
- Índice Vegetativo

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}}$$

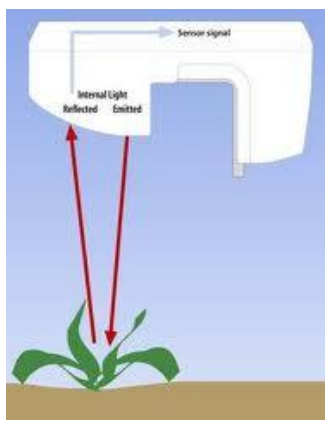
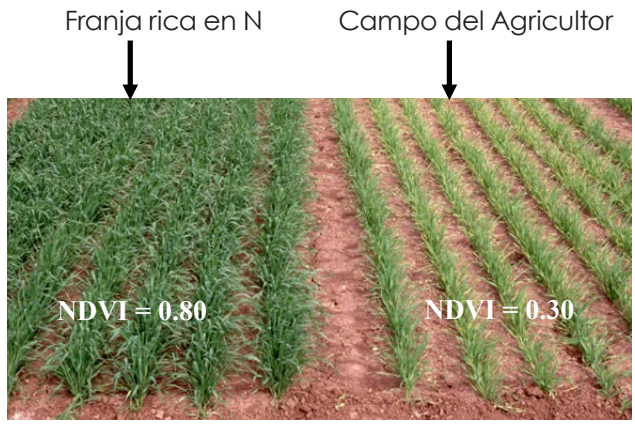


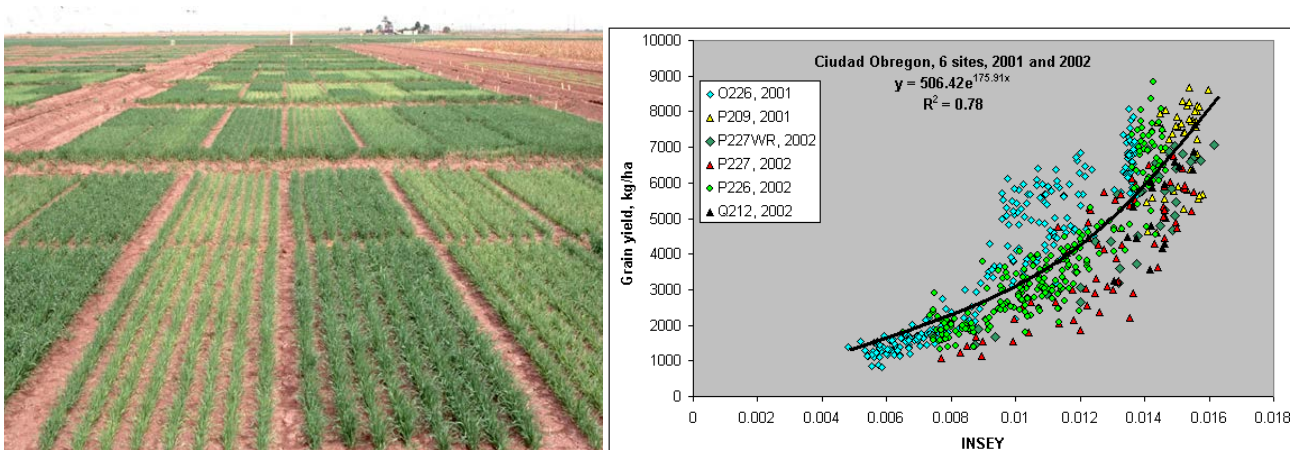
Figura 18. **Diferencias de NDVI en campos con y sin fertilización nitrogenada**



¿Cómo funciona esta tecnología?

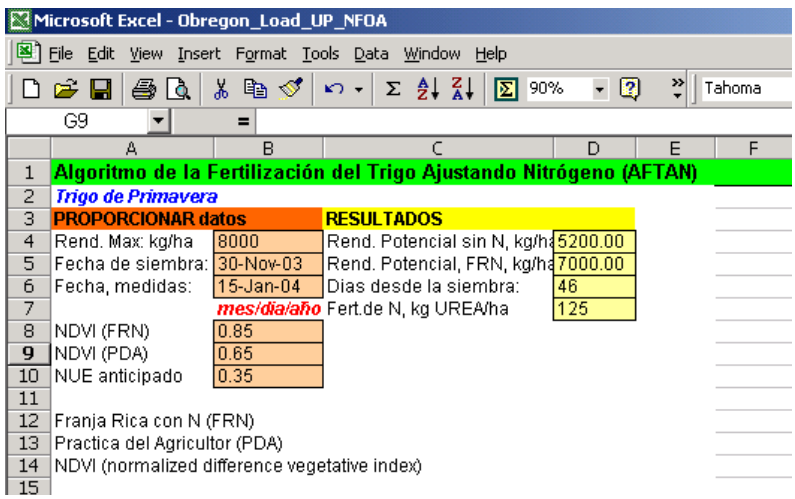
Para poder aplicar esta tecnología el agricultor necesita: 1. Establecer una franja de referencia en su parcela que puede ser un paso de maquinaría con una dosis no limitante de N. Esa referencia, va a ser el 100 %, el óptimo, y en el resto solamente se aplica una parte de N a la siembra, una tercera parte o un 50%. En el trigo el diagnóstico se hace en la etapa de inicio del encañazón. 2. El técnico toma los datos con el sensor. 3. Incorporar los valores de NDVI de la franja de referencia y los valores de NDVI del área de donde se está diagnosticando, en un modelo matemático que dice cuanto N se necesita aplicar. Sin embargo, para poder aplicar esta tecnología, existe la necesidad de hacer una calibración local por cultivo. La calibración para el valle del Yaqui, Sonora, México, esta presentada en la gráfica de la Fig. 19. ¿Cómo se desarrolla esta calibración? Hay que conducir un experimento con diferentes dosis de N, que permita generar un rango de deficiencia hasta suficiencia y las relaciones del valor del sensor contra el rendimiento que permite utilizar el sensor como una forma indirecta de estimar rendimiento y en base a eso hacer la recomendación.

Figura 19. **Para poder aplicar la tecnología de sensores ópticos es necesario tener una calibración para el cultivo y región donde se va a aplicar**



La hoja de cálculo utilizada esta presentada en la Fig. 20. En esta hay que poner un rendimiento potencial estimado, fecha de siembra, fecha en que se tomó la lectura del sensor, valor de NDVI de la franja rica y NDVI del área de donde se está haciendo el diagnóstico. Como se puede ver en la hoja, se está estimando una eficiencia del uso de N del 35 % y la recomendación de aplicar 125 kg de urea.

Figura 20. **Uso del algoritmo para calcular la recomendación de nitrógeno**



En la Fig. 21, se muestran diferentes niveles de tecnologías disponibles. Una que se puede comprar por 120.000 US$ en los Estados Unidos, tiene la gran ventaja que está conectado con un sistema de aplicación variable. Conforme el tractor va avanzando sobre el terreno, los sensores van haciendo el diagnóstico y envían la información a la computadora que va aplicando 0, 60, 120 o 40 kilos de nitrógeno dependiendo de lo que le indiquen los sensores, "Sistema de Aplicación Variable". En Cd. Obregón, México, se hizo el mismo sistema con el tipo de aspersor que tienen los productores, cuyo costo fue de 30.000 dólares, de todas maneras, relativamente caro. Después hay otro sensor de mano que cuesta 5.000 dólares, y hace dos años el sensor de bolsillo que cuesta 500 dólares. Un estudiante de maestría de Oklahoma hizo la comparación entre los últimos dos en Cd Obregón y encontró excelente correlación entre los dos sensores. En otras palabras, se puede lograr un sensor que da la misma información por 10 veces menos del precio.

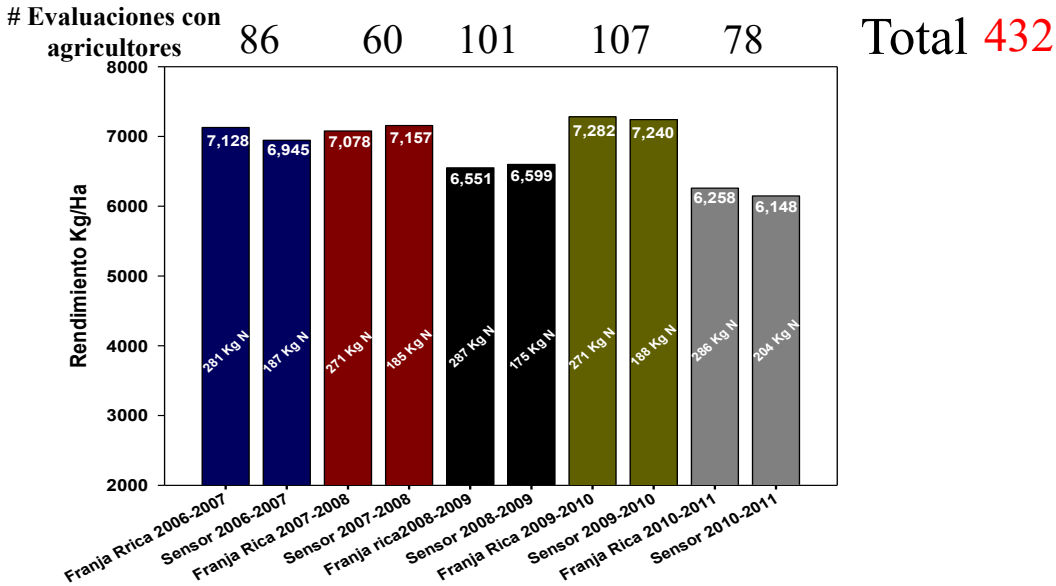
Figura 21. **Distintos tipos de sensores disponibles y su precio aproximado**

Toda esta información y la evaluación de esta tecnología comenzó en el Valle del Yaqui donde el CIMMYT tiene su principal estación experimental de trigo y ya se está trabajando en cuatro estaciones de México transfiriendo esa tecnología. En Sonora se trabaja con una asociación de productores llamado AOASS, cuyos técnicos acompañan al Dr. Norman Borlaug en la Fig. 22.

Figura 22. **Técnicos de la Asociación de Organismos de Agricultores del Sur de Sonora, México**

Los datos de cinco años de evaluación de la tecnología hecha por los técnicos donde se compara el rendimiento entre la franja de referencia, la franja rica que tuvo una dosis no limitante de N, una dosis excesiva para asegurar que no faltaba N y la dosis que se aplicaba con el sensor están presentados en la Fig. 23. Se puede observar que la diferencia de rendimiento es de 7.1 t contra 6.9 t en el primer año, sin diferencia en la desviación estándar, pero con uso de 281 kg de N, contra 187 kg de N en más de 80 campos de agricultores. En el segundo año se evaluaron 60 campos de agricultores y hubo rendimiento de 7 contra 7.1 con aplicaciones de 271 kg de N contra 185 kg de N. En el tercer año, 101 evaluaciones con rendimiento de 6.5 t contra 6.5 t. En total hubo 432 evaluaciones en campos de agricultores donde básicamente se ha demostró mantener el rendimiento reduciendo la dosis de N significativamente.

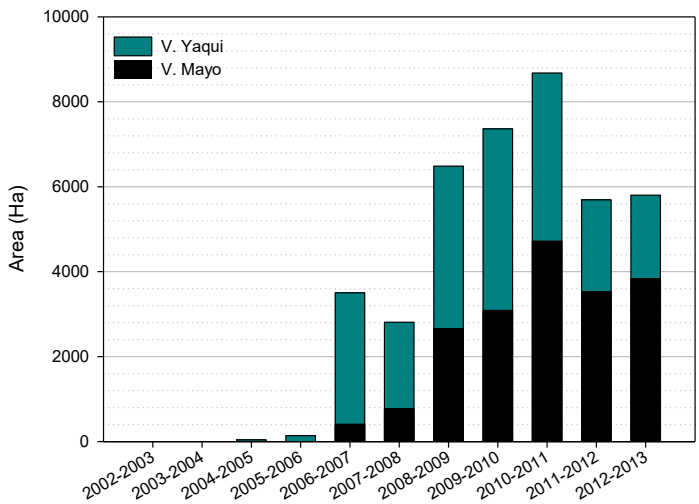
Figura 23. **Rendimiento histórico sensor Vs Franja rica (kg/ha)**



En promedio de esos 5 años la dosis de N se redujo en 68 kg/ha, pero manteniendo el mismo rendimiento lo cual representó un ahorro para el productor.

En la Fig. 24, la gráfica muestra la adopción de la tecnología en los dos valles al sur de Sonora. El bajón del área en los últimos años se debe por la salida de una asociación del estudio y la falta de asesores técnicos para hacer la evaluación en las parcelas de los agricultores. Ese es un problema serio que, en México, donde faltan extensionistas y asesores técnicos que puedan hacer este tipo de trabajo.

Figura 24. **Area bajo manejo del GreenSeeker en el sur de Sonora**

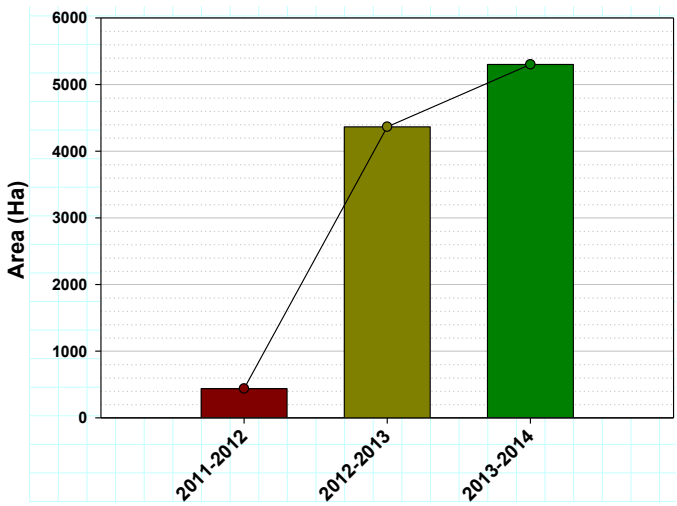


Retos, la sustentabilidad

Después de 12 años de trabajo, se puede asegurar que este sensor tiene una alta confiabilidad, la cual permite al agricultor tener mayores ingresos, pero al mismo tiempo evitar aplicaciones excesivas de N que tienen un impacto negativo en el medio ambiente.

La misma experiencia se logró en el estado de Baja California, en frontera con Estados Unidos, del otro lado del Valle Imperial. El Valle de Mexicali es bastante parecido al Valle del Yaqui, y ahí después de tres años de evaluación los productores están ahorrándose 70 kg de N por hectárea y manteniendo el mismo rendimiento. Las áreas de adopción que fueron de 400 hectáreas a más de 6.000 hectáreas en tres años (Fig. 25).

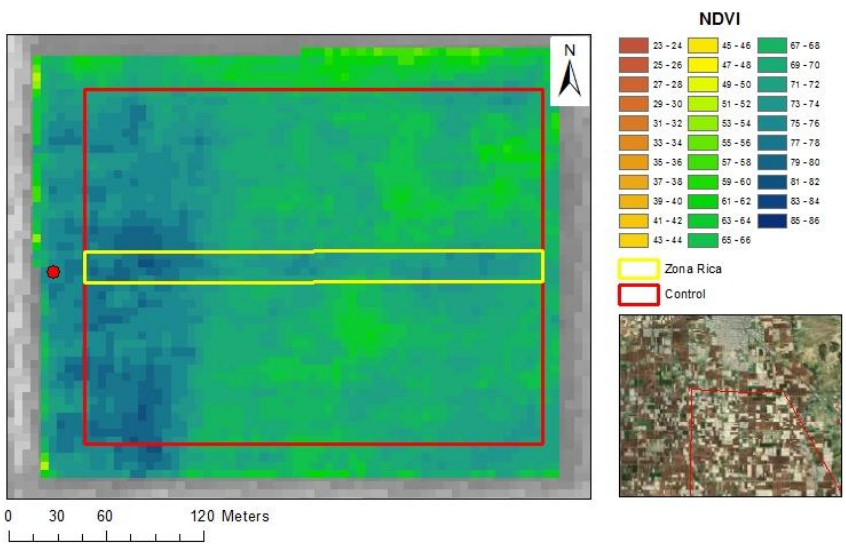
Figura 25. **Area manejada con el Sensor GreenSeeker en Mexicali**



Actualmente se está estudiando la manera de masificar la adopción de esta tecnología y buscando otras plataformas para generar esos valores de NDVI que es el corazón de este sistema de recomendación de N.

Así como este sensor, los satélites, como el *Rapid Eye*, o *landsat*, todo ellos pueden medir NDVI, porque miden reflectancia en rojo e infrarrojo. En este caso aprovechamos las imágenes en un campo de agricultor donde los valores de azul marino son valores de NDVI más alto, y se puede ver la franja rica dentro de la parcela del productor (Fig. 26).

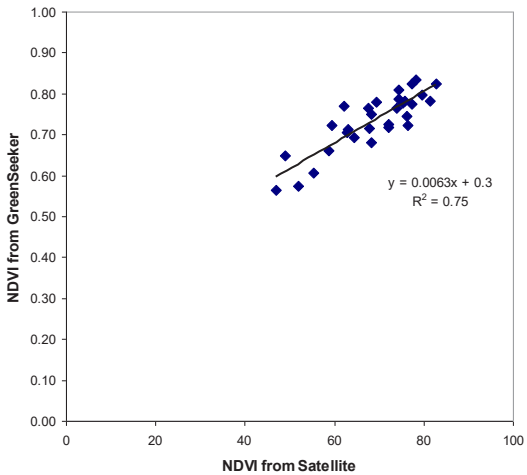
Figura 26. **Ejemplo de campo de trigo con franja rica de N**



Al comparar el NDVI del satélite con el NDVI del *GreenSeeker*, el sensor terrestre, hubo muy buena correlación. El Gobierno mexicano tiene un convenio con *Spot*, una compañía francesa de satélites, que está cubriendo todo el territorio nacional con imágenes de satélite y se está comparando los valores de NDVI del Spot contra del *GreenSeeker* para determinar si puede utilizar las imágenes de satélite para estimar el valor de NDVI.

A los técnicos les interesa esta idea porque en lugar de tener que caminar toda la parcela hay una herramienta que solo marca el perímetro del área y automáticamente calcula el valor promedio de NDVI de toda la parcela. Este valor se pone en el modelo matemático para hacer la recomendación. Pero aún falta confirmar una alta correlación con las imágenes de *Spot* y el *GreenSeeker* (Fig. 27).

Figura 27. **Predicción de NDVI medido con el GreenSeeker y con una imagen de satélite del 23 de enero, 2012**



Información de:
- 15 campos
- Franjas Ricas
- Control

Total de 30 puntos

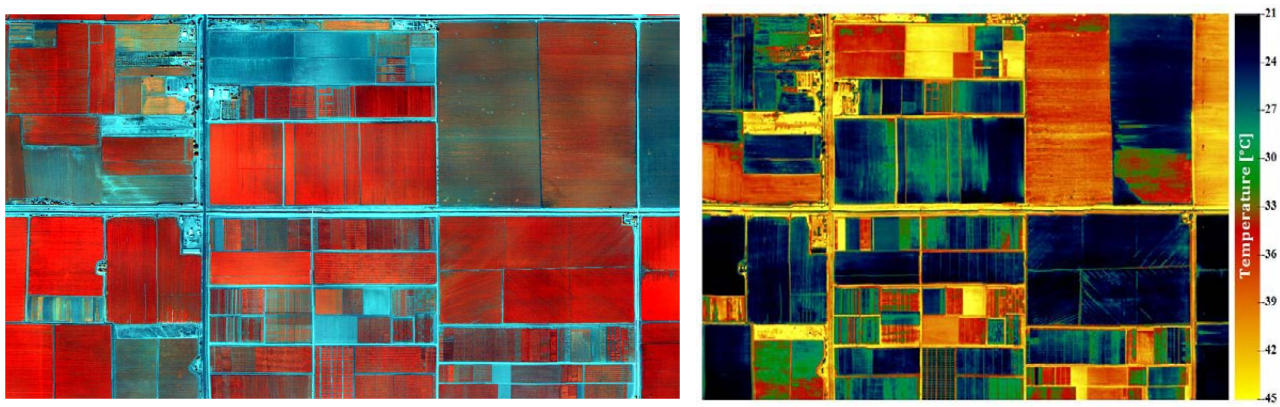
Las lecturas del GreenSeeker fueron tomadas dentro de +/-
7 días de cuando se tomo la imagen de satélite

El satélite parece medir diferencias mas grandes en NDVI que el GreenSeeker (pendiente =0.63).
Esto podría tener implicaciones cuando la información se utilice para hacer recomendaciones de N

Hay una herramienta en desarrollo con un colega experto en imágenes de satélite, que se entra a la página *(http://www.cmgs.gob.mx:8080/ddr/ndvi.aspx)*, donde los productores pueden ver sus mapas de NDVI. Ellos pueden entrar a su parcela y utilizar esta herramienta para calcular los valores de NDVI, pero por ahora está en proceso de validación y aún no es funcional.

La ventaja de tener un aeropuerto con aviones fumigadores cerca del campo del CIMMYT nos ayudó a convencer a un piloto poner unas cámaras a la panza de su avión. Una de las cámaras es multi-espectral que permite medir el NDVI. El mapa de NDVI de la estación del CIMMYT está presentado en la Fig. 28. Si el avión está volando a 1000 metros de altura, puede cubrir 1000 hectáreas en una hora.

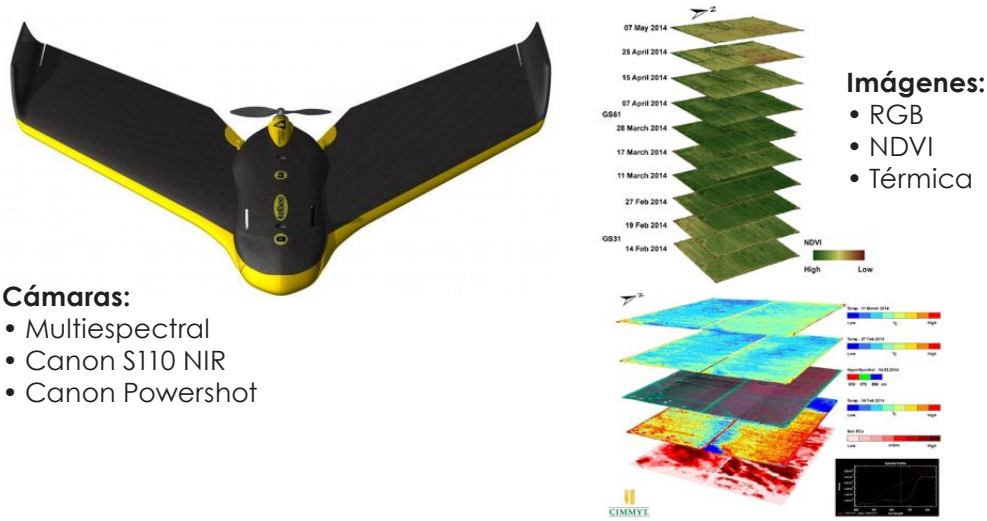
Figura 28. **Mapa de NDVI de la estación experimental de CIMMYT creada por avión tripulado**



Imágenes Multispectral y Térmica del CENEB CIMMYT Blocks 710 y 810

También se está evaluando los drones. El drone *eBee* tiene una cámara multi-espectral bastante pequeña y se va a hacer una comparación de valores de NDVI de estas cuatro plataformas en el próximo ciclo; sensor terrestre, contra el satélite, contra el avión piloteado y contra el dron (Fig. 29). Si hay una buena correlación de valor de NDVI entre estos y el sensor terrestre, entonces se puede utilizar esas plataformas para obtener los valores de NDVI para calcular el requerimiento del N en campos comerciales.

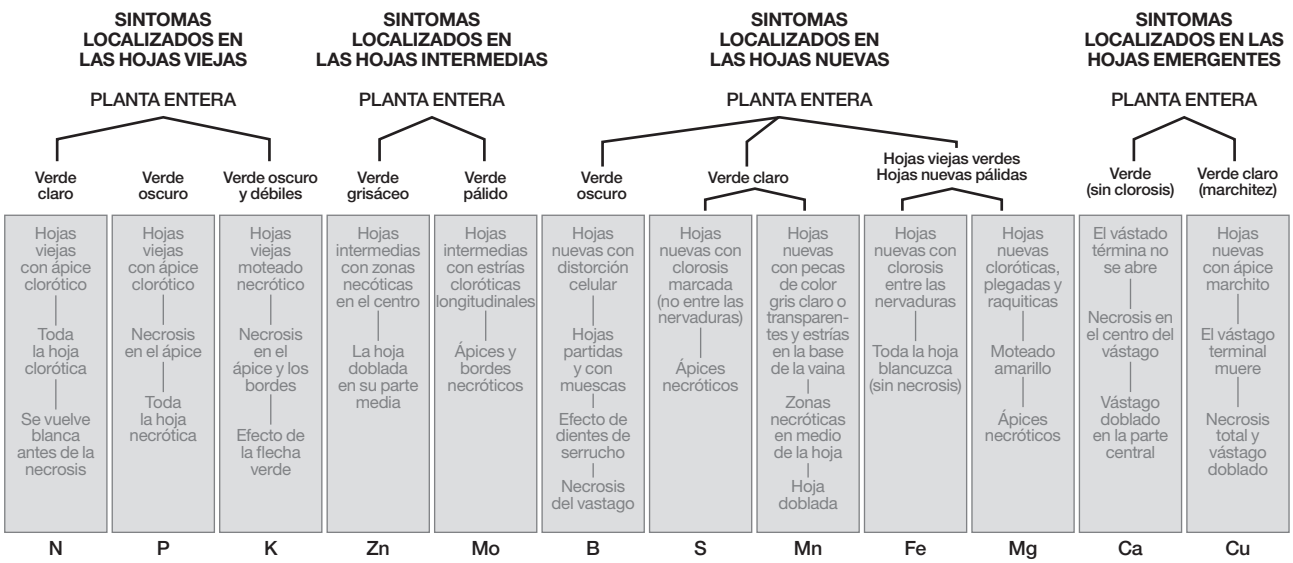
Figura 29. **El uso de Drone eBee para tomar las imágenes espectrales de un cultivo**



Deficiencia de micronutrientes

En cuanto a los micronutrientes, CIMMYT tiene una publicación "Carencias y toxicidades nutricionales que afectan al trigo". Esta publicación tiene una tabla que muestra si los síntomas están en las hojas más viejas, en las hojas intermedias o en las hojas más nuevas; y de esta forma identificar

Figura 30. **Guía para el diagnóstico de carencias nutricionales en el trigo**

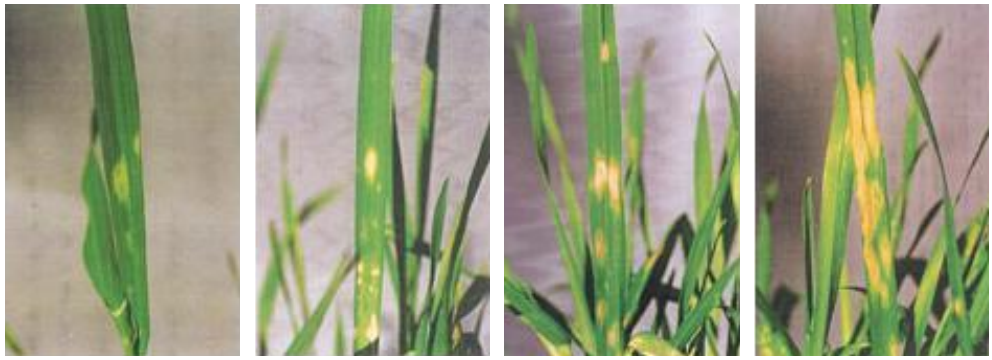


Se agruparon los síntomas principales de acuerdo con su ubicación en la planta. Los encabezamientos en letras grandes se refieren a esa ubicación. Luego se usó el color de tola la planta para establecer las separaciones entre las carencias minerales.

Las descripciones incluidas en los recuadros se refieren específicamente a los síntomas que se han localizado, los cuales, en general, están ordenados en cada columna según su secuencia cronológica. Los comentarios en la parte superior de los recuadros se refieren a partes de la planta en una etapa temprana de su desarrollo, mientras que los comentarios en la parte interior se relacionan con un periodo posterior de ese desarrollo.

más fácilmente el nutriente con deficiencia (Fig. 30). La publicación también tiene fotografías, y la de Zinc están mostradas en la Fig. 31 ya que el Zinc es el micronutriente más comúnmente deficiente en cereales a nivel mundial.

Figura 31. **Síntomas de la deficiencia de zinc en el trigo**



Preguntas y plenaria

- Pregunta: ***¿Las calibraciones hay que hacer cada año, y si hay diferencias en distintas temperaturas y humedad?***
- **Iván Ortiz:** Estimamos que más o menos cinco experimentos, que pueden llevarse a cabo los cinco en un año, o pueden llevarse dos en un año o uno por año, dependiendo de los recursos que tengan. Pero consideramos que más o menos se necesitan cinco experimentos con unas 7 u 8 dosis de N cada uno, para poder tener una buena calibración y empezar a usar el sensor, independientemente de las temperaturas y humedades.
- Pregunta: ***¿Cómo se puede incorporar las diferencias en la fertilidad de textura del campo para recomendaciones?***
- **Iván Ortiz:** Eso es uno de los grandes retos del manejo del N en que las diferencias de texturas causan que haya mayores o menores pérdidas. Por eso, los sistemas de aplicación variable son una excelente solución a este problema de la gran variabilidad. Porque generalmente las deficiencias de N no son homogéneas en toda la parcela, sino que mucho en función de la textura, va a haber lixiviación o denitrificación, o ningún problema. Entonces el problema es que se presenta mucha variabilidad y la solución a esos problemas justamente son los sistemas de aplicación variable conectados a un sistema de sensores que conforme va avanzando el equipo va haciendo el diagnostico, va corrigiendo, va aplicando 20-60-80 unidades de N.
- Pregunta: ***El uso del GreenSeeker implica aplicar urea, en caso de ser necesario, en macollaje, y por lo tanto sin poder incorporarla. Si bien, el NDVI es más exacto que el análisis de suelo, la eficiencia del uso del N sería menor por la volatilización de parte de la urea ¿Es Así?***
- **Iván Ortiz:** Si, es correcto, pero tenemos la opción de usar otras fuentes de urea, como, por ejemplo, la urea *superU* que tiene el inhibidor de la ureasa lo que reduciría mucho las pérdidas por volatilización. También hay la posibilidad en los sistemas de México, dado que se siembra en surcos y es posible entrar con un tractor en la etapa de inicio de macollaje e inyectar la urea en el suelo o sobre el suelo, y como se riega, incorporarla con el riego. Entonces va a depender del sistema. Los sistemas que tienen riego pueden utilizar el riego para incorporar la urea, en los sistemas que se siembran en surcos se puede entrar con el tractor e inyectar la urea por debajo de la superficie, y los que no, se puede utilizar estas otras fuentes de urea, ya sea con el polímero o el inhibidor de la nitrificación o de la ureasa.

Aplicaciones Satelitales para el Agro

Satellite Applications for Agriculture

Wyn Cudlip
Consultor, Satellite Applications Catapult
wcudlip@geoseren.com

RESUMEN

La Agencia Espacial Europea está en proceso de lanzar una serie de satélites que pueden utilizarse para proporcionar imágenes satelitales de bajo costo en apoyo de la agricultura.

Centinela 1 será una serie de satélites de radar de apertura sintética (SAR, por sus siglas en inglés) volando en una órbita de repetición de 12 días. El radar es un sistema activo que no depende de la presencia de la luz solar. También tiene la ventaja de ser capaz de observar a través de la nube y la lluvia y tiene el potencial de proporcionar una serie de datos consistentes sobre el tiempo, particularmente adecuados para la detección de cambios (por ejemplo, crecimiento de cultivos y cosecha). Centinela 1A se lanzó en abril de 2014, y el Centinela 1B se lanzará en abril de 2016. Cuando estén en pleno funcionamiento, los satélites proporcionarán una cobertura global de la superficie terrestre de la Tierra cada 12 días. Los satélites observan una franja de 250 km de ancho y los datos generalmente se procesan para proporcionar imágenes con una resolución espacial de 20 m.

Los satélites Centinela 2 tienen una órbita de repetición de 10 días y llevan un instrumento óptico / de imagen infrarroja con 13 bandas espectrales, un ancho de franja de 290 km y una resolución espacial de 10 m. (Esto se compara con la repetición de 17 días, 11 bandas espectrales, ancho de banda de 185 km y resolución multiespectral de 30 m para Landsat 8). Centinela 2A se lanzó en junio de 2015, y Centinela 2B se lanzará en marzo de 2017.

Cuando estén en pleno funcionamiento, los dos satélites proporcionarán una cobertura global completa de la superficie terrestre de la Tierra cada 5 días (¡sujeta a la nubosidad!). Las imágenes S2 estarán disponibles en mosaicos fijos de 100 km.

Los datos de Centinela están disponibles sin costo a través del sitio web de ESA Scihub, aunque los datos están en un nivel relativamente bajo y requieren un procesamiento significativo para poder obtener productos informativos útiles.

Desde hace tiempo se reconoce que la teledetección satelital de la agricultura tiene una gama de aplicaciones potenciales que incluyen identificación / mapeo de cultivos, etapa de crecimiento, monitoreo de la sanidad, estimación del rendimiento, etc. Sin embargo, hasta ahora, las aplicaciones han estado limitadas por el costo de los datos y observaciones insuficientemente frecuentes. El programa de satélites Centinela, con su bajo costo y repetición frecuente de imágenes, tiene como objetivo proporcionar información agrícola consistente durante al menos los próximos 20 años, y así tiene el potencial de transformar las prácticas agrícolas.

ABSTRACT

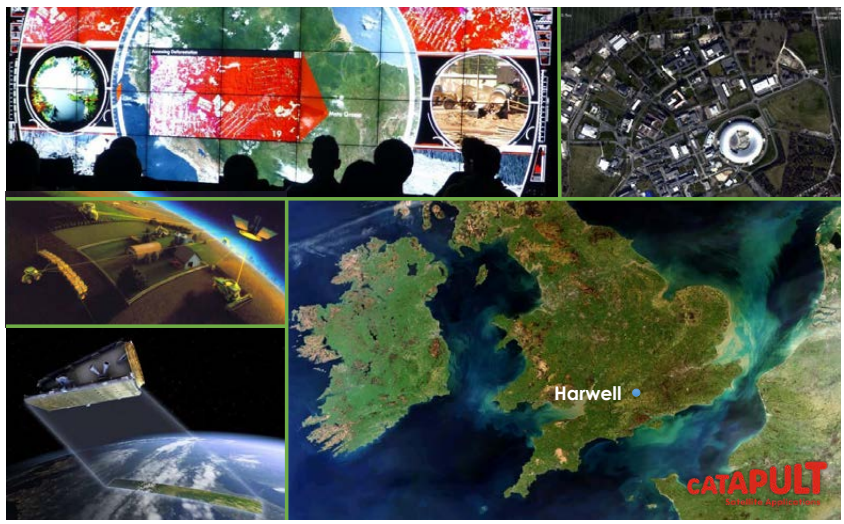
The European Space Agency is in the process of launching a number of satellites that can be used to provide low-cost satellite imagery in support of agriculture. Sentinel 1 will be a series of synthetic aperture radar (SAR) satellites flying in a 12-day repeat orbit. Radar is an active system that does not depend on the presence of sunlight. It also has the advantage of being able to observe through cloud and rain and so has the potential to provide a consistent time-series of data, particularly suitable for change detection (e.g. crop growth and harvesting). Sentinel 1A was launched in April 2014, with Sentinel 1B due to be launched in April 2016. When fully operation the satellites will provide global coverage of the Earth's land surface every 12 days. The satellites observe a 250km wide swath and the data are usually processed to provide imagery with a spatial resolution of 20m. Sentinel 2 satellites have a 10-day repeat orbit and carry an optical/infrared imaging instrument with 13 spectral bands, a swath width of 290km and a spatial resolution of 10m. (This compares to 17-day repeat, 11 spectral bands, 185km swath width and 30m multispectral resolution for Landsat 8). Sentinel 2A was launched in June 2015, with Sentinel 2B due to be launched in March 2017. When fully operational the two satellites will provide complete global coverage of the Earth's land surface every 5 days (subject to cloud cover!). The S2 images will be made available in fixed 100km tiles. Sentinel data is available at no cost through the ESA Scihub website, although the data are at a relatively low level and require significant processing to be able to obtain useful informational products. It has long been recognized that satellite remote sensing of agriculture has a range of potential applications including crop identification/mapping, growth stage and health monitoring, yield estimation etc. However, up to now, the applications have been limited by the cost of the data and insufficiently frequent observations. The Sentinel program of satellites, with its low cost and frequent repeat imagery, is aimed at providing consistent agricultural information for at least the next 20 years, and so has the potential to transform agricultural practices.

INTRODUCCIÓN

Muchísimas gracias por hacerme participar en este evento, aunque conozco muy poco sobre el cultivo del trigo. El propósito de este trabajo es ilustrar los beneficios de las aplicaciones satelitales en la agricultura, pero también reconocer las limitaciones. Como los principios de las imágenes satelitales se aplican a todos los campos de la agricultura, se aplica también para los productores de trigo. Tambien vamos conocer los proyectos que se esta realizando en Colombia y Paraguay.

El centro está localizado en un parque industrial de visualización, a 100 km de Londres (Fig. 1). En el edificio de la imagen se pueden ver gran cantidad de expertos en satélites, equipamiento de hardware, datos, oficina de negocios, legal, etc. Los equipos de visualización, laboratorio de hardware para comunicaciones, etc.; almacenamiento, poder computacional a través de CEMS y la plataforma de desarrollo de aplicaciones son utilizados para desarrollar apps de cero, darles inicio, acrecentarlos y contribuir a la economía del Reino Unido.

Figura 1. **Aplicaciones satelitales Catapult**



¿QUÉ ES EL CENTRO CATAPULT?

Catapult es un centro de tecnología e innovación, parcialmente financiado por el Gobierno británico, para hacer puente sobre la brecha entre la investigación científica y las aplicaciones operacionales. Hay aproximadamente 100 personas con experiencia y pericia en todos los aspectos de aplicaciones satelitales. Catapult provee acceso a tecnología y pericia de liderazgo mundial. Tiene capacidad para proyectos colaborativos de I+D con el sector privado y ayuda en desarrollar habilidades a todos los niveles.

Otro aspecto es proveer facilidades de laboratorios e informáticos para los proyectos colaborativos. Es una organización independiente sin fines de lucro y actúa como conector entre los innovadores investigadores universitarios y unas pequeñas empresas y el mercado en general. Catapult tiene conexiones con la mayoría de las universidades del Reino Unido y muchas empresas. Al abordar los problemas, es posible recurrir a la pericia y experticia de todo el rango de universidades del Reino Unido.

PROYECTO IFSEC - AUMENTAR LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN COLOMBIA Y PARAGUAY

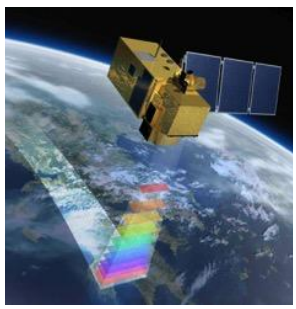
Este proyecto específico en Colombia y Paraguay tiene el objetivo de aumentar la seguridad alimentaria en estos países. El proyecto está financiado por el Ministerio de Relaciones Exteriores del

Reino Unido con el objetivo de investigar como las tecnologías satelitales pueden ayudar a mejorar la agricultura en Sudamérica, particularmente a través del uso de los satélites nuevos, Centinela 1 y Centinela 2. Se está trabajando con consultores de aplicaciones de sensibilidad remota y *Fedearroz* en Colombia, que investiga el arroz e INBIO en Paraguay, que investiga la soja.

Los objetivos técnicos claves son comprender como la imagen satelital puede ayudar con la determinación del área de cultivo y la etapa de crecimiento. Como se puede evaluar las variaciones en la sanidad de los cultivos, pero también analizar el tiempo de la información, del sentido de oportunidad de investigación, integrando las diferentes fuentes de información tanto satelital como terrestre (Fig. 2 y 3).

Figura 2. **Observaciones terrestres para la agricultura**

Figura 3. **Nueva oportunidad de lograr datos vía Satélites Europeos**



Sentinel-1 Radar
Lanzado en Abril 2014.
250km ancho de banda. 20m resolución espacial.
Disponibilidad de datos desde Octubre de 2015.

Sentinel-2 Optical
Lanzado en 23 de Junio de 2015.
Como Landsat pero con mas bandas y alta resolución espacial
(10m comparado con 30m de Landsat)
290km ancho de banda.
Disponibilidad de datos desde Diciembre de 2015

Disponibilidad gratis de una cantidad limitada de datos.
Sin embargo, presenta retos significativos en el procesamiento de datos.

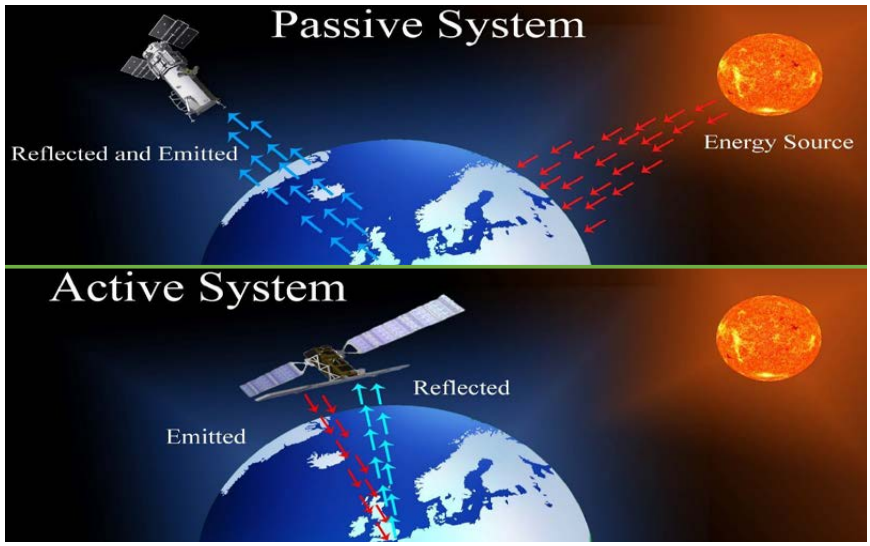
También es necesario comprender los costos de los datos de los servicios de información ya que las aplicaciones deben ser rentables para poder ser aplicadas.

SATÉLITES ÓPTICOS Y DE RADAR

Una de las razones para iniciar este estudio es porque la Unión Europea, a través de la Agencia Espacial Europea ha lanzado el Satélite radar Centinela 1 en abril de 2014 y el Satélite óptico Centinela 2 en junio del 2015. Estos proveen imágenes de grandes áreas y con una resolución de 20 y 10 metros respectivamente.

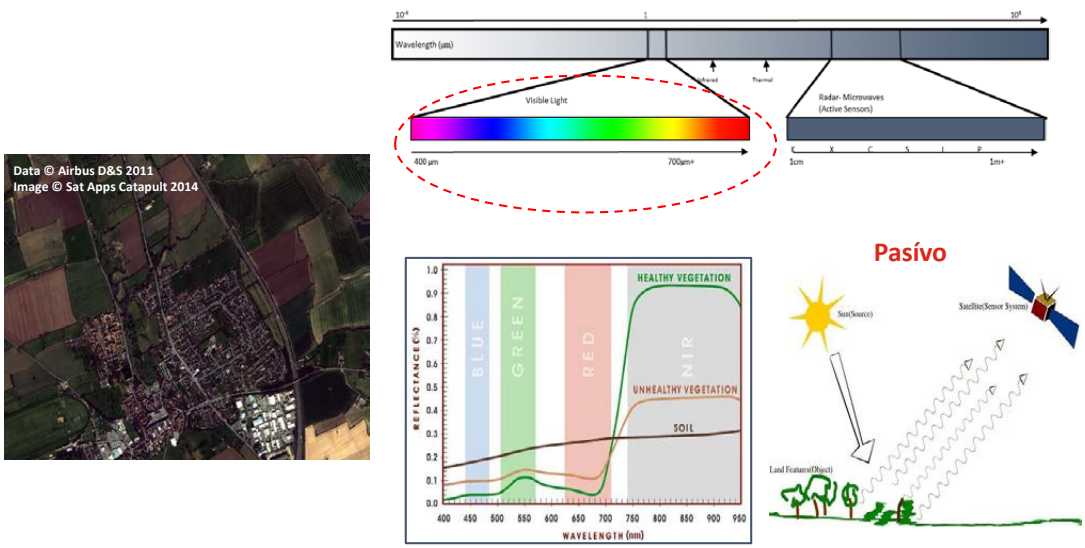
La implicancia de los dos tipos de satélites ópticos y de radar está en la imagen de dos tipos diferentes de observación (Fig. 4). El de observación óptica es pasivo porque simplemente capta la energía reflejada. Sin embargo, el sistema radar es el activo porque no solo recibe las ondas reflejadas, sino que emite, y también puede traspasar las nubes, si éstas existieran.

Figura 4. **Tipos de Sistemas Satelitales**



En la Fig. 5 se puede ver que el efecto óptico es solamente un ancho muy corto del efecto electromagnético (banda de colores). Sin embargo, los satélites de radar operan en la siguiente parte (gris) del espectro con longitudes de onda de centímetros. Una imagen óptica esta creada en la longitud del rojo, azul y verde. Y en la imagen se puede ver por ejemplo la vegetación, un pequeño montículo,

Figura 5. **Caracterización de las imágenes Satelitales Ópticas**



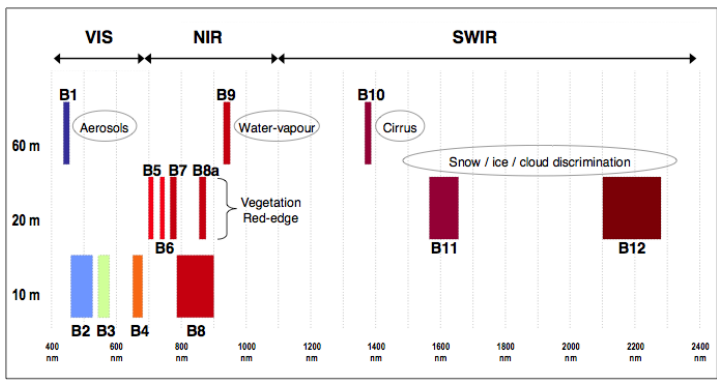
es por eso que la vegetación en general es de color verde. Lo que es muy importante es que la vegetación emite muy fuertemente en la zona cercana al infrarrojo. Por lo cual, es mucho más importante estudiar la radiación infrarroja que la zona del color mismo. Por ejemplo, cuando la vegetación no esta tan saludable, está más baja la medición de rayos infrarrojos. Para estudiar el nivel de sanidad de una vegetación, se puede estudiar la proporción existente, en las plantas saludables como no saludables, tanto en el infrarrojo como en el rojo.

La respuesta proveniente del suelo es muy diferente, que es bastante plana en todo el espectro. Esto es lo que nos permite distinguir con estas imágenes: la vegetación, la vegetación no saludable y el suelo.

Por otra parte, las capacidades del nuevo Centinela 2, tiene las cuatro bandas estándares: rojo, verde, azul e infrarrojo, lo que es muy similar a los satélites anteriores como Landsat y otros. Sin embargo, hay una nueva edición que este satélite puede captar, que es la zona de transición entre el rojo y el infrarrojo (Fig. 6). Y esto se llama el extremo rojo de la vegetación y es muy sensible a nivel de sanidad de la vegetación; son otras bandas que son para determinar y discriminar niveles de sanidad.

Figura 6. **Imagen óptica multi-espectral del Satélite Centinela 2**

To provide high-resolution optical imagery for continuity of SPOT (2.5m) and Landsat (30m/15m) type data.

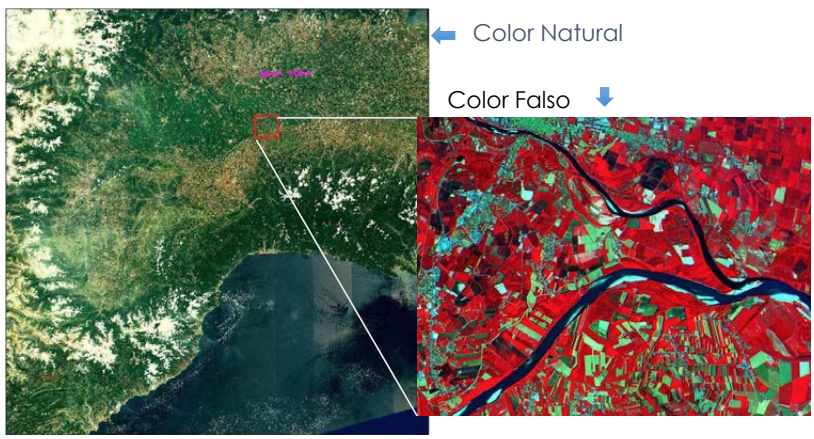


290km swath; 13 spectral bands; res:10m to 60m

En otras palabras, este satélite es similar a los anteriores, solamente que tiene una resolución mayor y opera en otras bandas también. Como ejemplo esta una de las primeras imágenes del Centinela 2 (Fig. 7). El norte de Italia, se puede ver la vegetación, y la nieve normal en las montañas. La primera imagen por supuesto es muy grande, tiene 290 kilómetros de lado. Si uno agrandara y se concentrara en un área más pequeña y entonces se llega a una imagen con color falso, donde al poner el infrarrojo en el canal rojo y la vegetación saludable luce este rojo brillante, y el campo desnudo se ve verde.

Lo importante es notar la gran resolución de los campos pequeños que se pueden detectar.

Figura 7. **Monitoreo global del NDVI hecho por NASA**



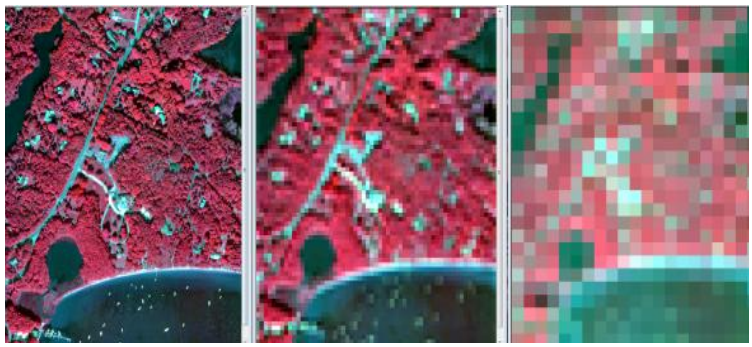
LA RESOLUCIÓN

En cuanto a la resolución, uno siempre quiere la más alta resolución posible, y se puede obtener fácilmente la de un metro que es la que nos presenta *Google earth,* por ejemplo. El problema con *Google earth* es que no siempre está actualizado y si uno quiere información nueva, hay que comprar las imágenes que por supuesto son muy caras.

Luego está *Landsat*, que ha estado presente por 40 años y que está siempre circunvalando la tierra, y los datos son gratuitos y tienen una resolución de 30 metros, pero como ven se pierde mucha información (Fig. 8). Entonces el satélite Centinela 2 es un buen punto medio, entre estos dos. Porque los datos son gratuitos y se pueden hacer análisis de estos campos agrícolas.

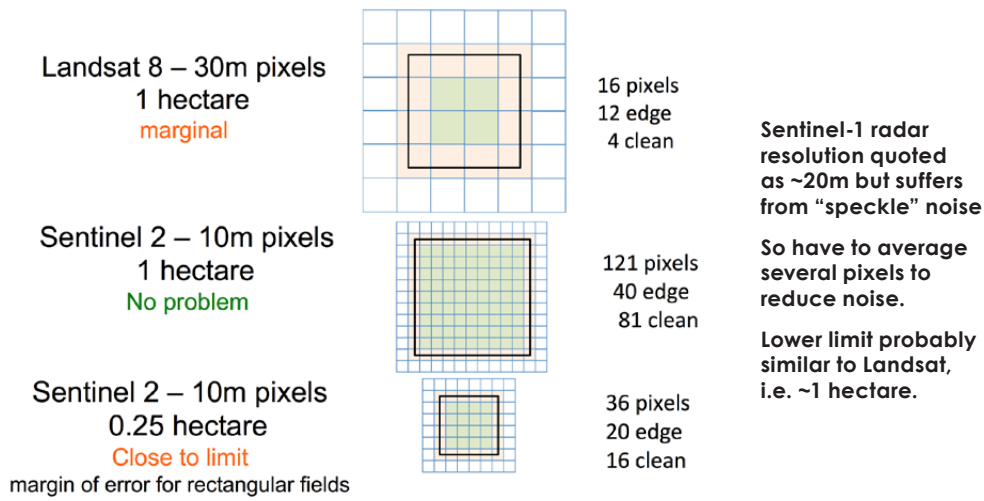
Figura 8. **Impacto de la resolución espacial**

Imágenes en color falso – vegetación es de color rojo



Si se estudia con más detalle el efecto de la resolución, en los campos que tienen alrededor de 1 hectárea y a veces menos. Para un campo de una hectárea y 16 pixeles proporcionado por Landsat, 12 están afectados por el efecto de los extremos y solamente 4 nos dan una señal clara (Fig. 9). Si baja de 30 metros a 10 metros, no parece mucha diferencia, pero opera en ambas direcciones. Ahora hay 121 pixeles, de los cuales 40 están con el efecto de extremos, pero aún hay 81 que están limpios. Tener 20 veces más pixeles para el mismo campo permite realizar un estudio de variabilidad dentro del mismo, para campos hasta de una hectárea. En los campos más pequeños, de ¼ de hectárea, todavía se tiene 16 pixeles limpios. Por supuesto los campos no son necesariamente rectangulares, pero si fueran rectangulares hay más efecto extremo. O sea, la información que hay que descartar, pero aun así uno puede esperar extraer información útil.

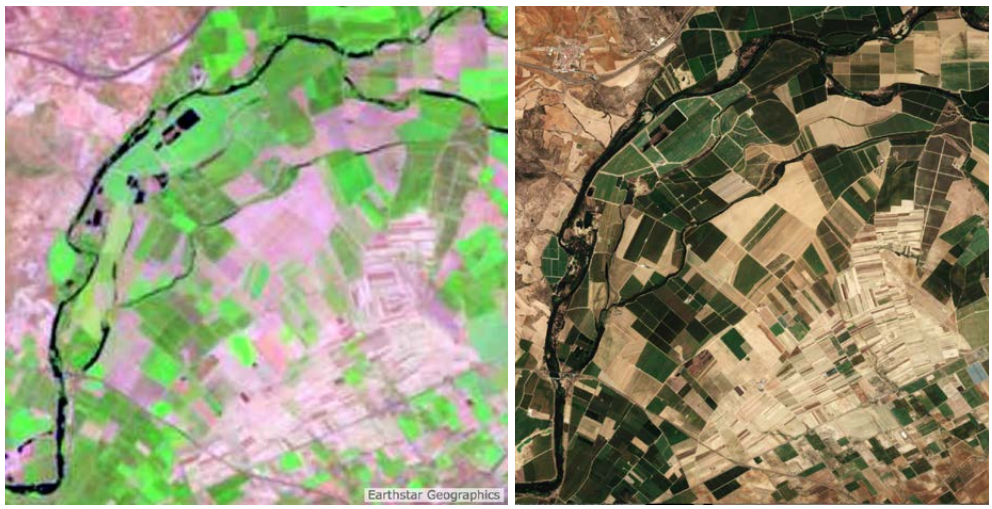
Figura 9. **Resoluciones espaciales de imágenes Satelitales**



No se tratará mucho de la resolución del satélite radar acá. Pero la imagen del satélite radar se aproxima a una resolución de 20 metros. Pero tiene un efecto polvo, por lo cual hay que hacer un promedio de muchos pixeles para reducir este ruido, este efecto. Entonces el limite más bajo es posiblemente similar al de *Landsat* que es más o menos de 1 hectárea.

Un efecto rápido de una imagen de *Landsat*, y una imagen mucho más clara del satélite Centinela 2, particularmente en esa área de pequeños campos, esta mostrada en la Fig. 10. Sin embargo, el *Landsat* 8 está disponible los últimos 2 años, y si no hay nubes uno puede obtener una imagen bastante buena.

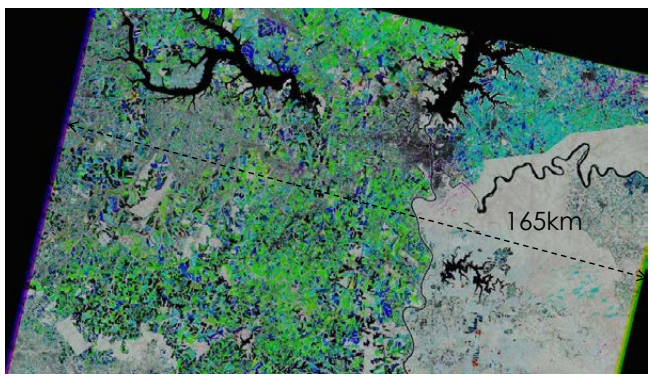
Figura 10. **Imágenes de Landsat 8 y Centinela 2 cerca de Merida, España**

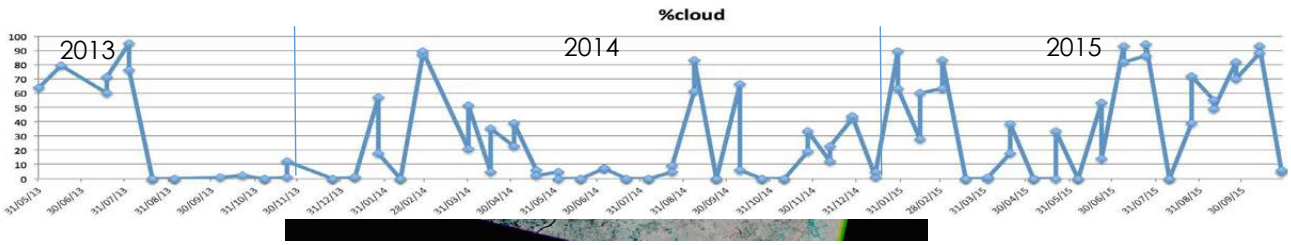


Different colour stretches, but improved "clarity" with Sentinel-2

En la Fig. 11 se muestra la imagen del norte de Itapúa, y sur de Alto Paraná para estudiar el contenido de estos campos y con respecto a la reacción de diferentes espectros. Se puede estudiar el tipo de vegetación que existe y los cambios en el tiempo. Se pueden entonces clasificar los cultivos y medir las áreas que ocupan. Ahora, uno de los problemas es cuando el cielo está cubierto de nubes y esto limita la aplicación. En la gráfica inferior se puede ver el patrón de nubes en el tiempo.

Figura 11. **Imagen Satelital mostrando nubosidad durante 2013 y 2015 en Itapúa norte y Alto Paraná**



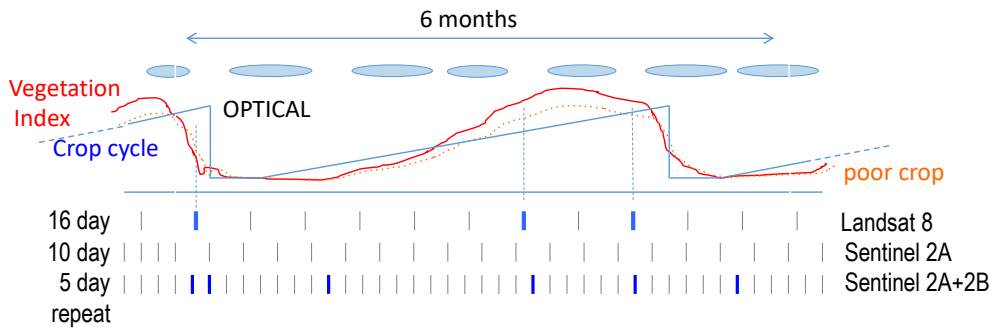


Cada uno de estos puntos de la gráfica está separado por 16 días. Se puede ver la nubosidad en las escenas de *Landsat*, que muestran que no hay ningún patrón. Iniciando con noviembre, diciembre de 2013 con mucha instabilidad de nubes, pero al año siguiente está totalmente despejado en junio y julio más nubosidad en noviembre-diciembre.

FRECUENCIA DE IMÁGENES

Además de la resolución, otro aspecto importante es el momento en que se toma la imagen con respecto al ciclo del cultivo (Fig. 12). Esto es llamado el cambio de ciclo de un cultivo: la planta que crece y se madura y luego la siguiente etapa en donde se cosecha para sembrar el siguiente cultivo, por supuesto, hay las nubes en diferentes momentos del cultivo. Para estudiar, por ejemplo, un índice de vegetación con una medida de la imagen del infrarrojo, se espera que la curva luzca como la línea roja en el ciclo del cultivo.

Figura 12. **Frecuencia de la toma de imágenes por diferentes Satélites**



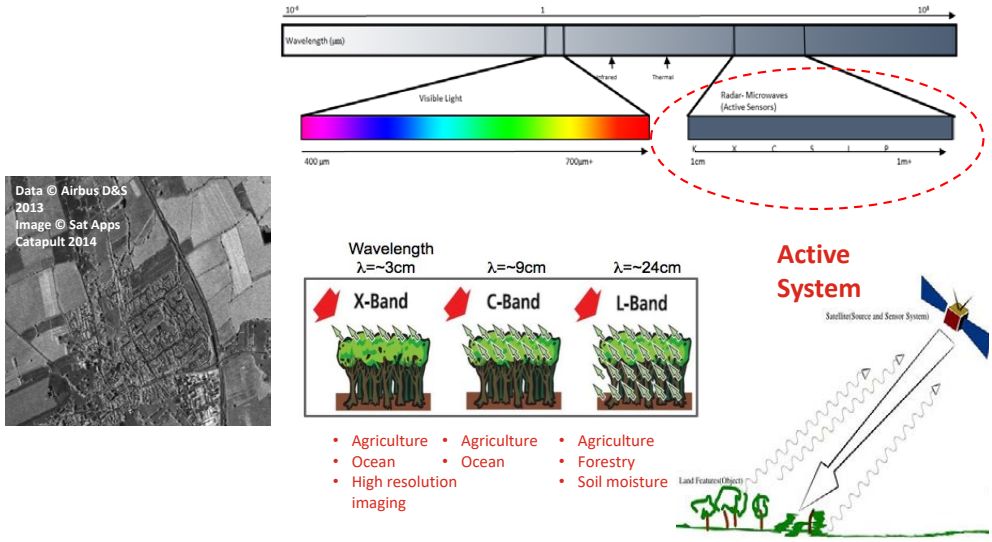
En el caso de *Landsat* 8, las imágenes están disponibles cada 16 días, lo que permite tener solo 2 o 3 durante el ciclo del cultivo. Si uno quiere determinar la forma de la curva de crecimiento, no se puede determinar en qué etapa de crecimiento se encuentra el cultivo. Es posible que al final de los seis meses o al final del año, con un intervalo de tiempo, uno puede mirar para atrás y estudiar los datos que ha obtenido de las imágenes. Y uno puede tal vez trazar una curva de crecimiento y estimar el rendimiento del cultivo en ese periodo de tiempo. Pero idealmente lo que uno debe hacer es realizar la observación en el momento y poder realizar algún tipo de pronóstico para saber en qué etapa el cultivo está saludable o no y que rendimiento se puede esperar o no.

La ventaja del satélite Centinela 2 es tener observaciones cada 10 días. Hay más oportunidades para una tener observación sin nubes para la imagen óptica. Y se puede observar que los satélites Centinela vienen en pares. Un satélite Centinela 2 va a ser lanzado el año que viene. En esa etapa ambos satélites estarán proveyendo una cobertura y una lectura cada 5 días. Considerando que el ciclo de vida del satélite es de 7 años, la información va a ser repetida para proveernos 20 años de observaciones. Esto permite tener más oportunidades de monitorear a cabalidad la curva de crecimiento y responder de manera más adecuada a un estado del cultivo deteriorado o a cualquier otro factor que se presente.

IMAGEN SATELITAL POR RADAR (SAR)

A cerca de los datos del satélite radar (en lugar de rojo verde y azul), los diseñadores les han dado letras a las bandas como Banda X, Banda C y Banda L (Fig. 13). La diferencia está en la longitud de la onda; pues la banda X tiene una longitud de onda de 3 cm. aproximadamente, la Banda C: 9 cm. y la Banda L: 24 cm. La forma en que cada longitud de onda interactúa con la vegetación es diferente. Por ejemplo, la Banda X interactúa con las hojas por lo cual no puede interactuar con la vegetación completa. Sin embargo, la banda L opera con 24 cm. que puede penetrar la vegetación y a menudo puede chocar con la superficie del suelo.

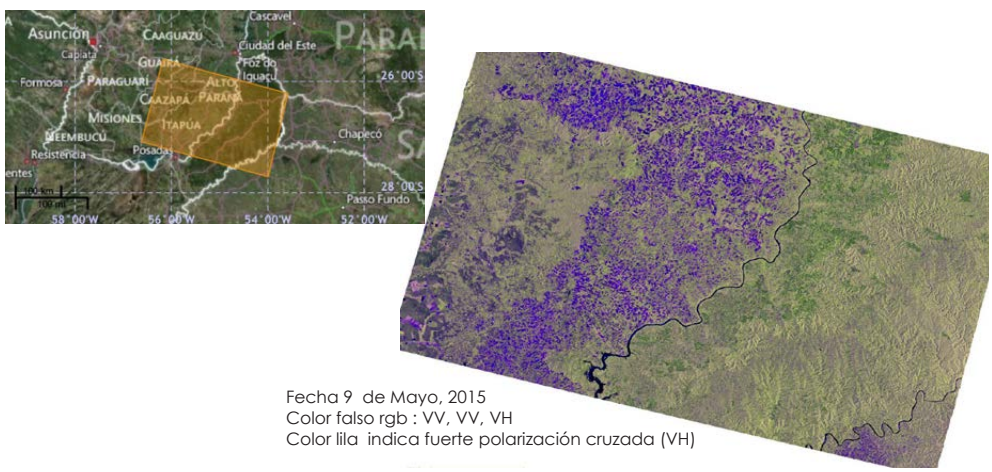
Figura 13. **Características de las imágenes Satelitales por Radar**



También la Banda X puede tener mayor resolución porque tiene una longitud de onda menor. La banda X se utiliza para hacer imágenes de zonas urbanas o de inundaciones o de otros tipos de imágenes que requieren mayor resolución. Sin embargo, la Banda L se utiliza para monitorear bosques, por lo cual muchos de los monitoreos de bosques se realizan con esta longitud de onda. Hay, por ejemplo, un satélite japonés que utiliza la banda L y que provee monitoreo de los bosques. El Centinela opera en la Banda C, y está más o menos en el medio de los dos y resulta muy bueno para los propósitos de la agricultura.

Como fue mencionado anteriormente que las imágenes de Centinela son muy grandes, de 290 kilómetros de ancho, y puede cubrir lo que es Itapúa (Fig. 14). Uno puede procesar esta imagen, pero también puede polarizar la imagen de radar.

Figura 14. **Cobertura de Itapúa en una imagen por Centinela 1 y su polarización**



Fecha 9 de Mayo, 2015
Color falso rgb : VV, VV, VH
Color lila indica fuerte polarización cruzada (VH)

El radar trasmite ondas con una polarización vertical y también puede recibir en posición vertical, pero también se puede recibir ondas horizontales. La vegetación, en general, varía entre estas ondas de verticales a horizontales. La imagen es de colores falsos, donde el color lila indica una fuerte polarización. Lo que quiere decir es que hay una vegetación de arbustos bastantes densos.

Con respecto a este satélite radar, el periodo de medición es de 12 días. Pero el satélite no puede observar todo el mundo todo el tiempo. Solamente puede observar un cuarto del mundo. Por lo

tanto, se tiene que tomar la decisión sobre que parte del mundo va a observar y cuan a menudo repite la observación en ese lugar. La prioridad actual de la Agencia Europea del Espacio es estudiar el movimiento de la tierra en zonas montañosas. Por lo cual se está estudiando los Andes de manera intensa y hay muchos datos repetidos de Colombia, pero no de Paraguay.

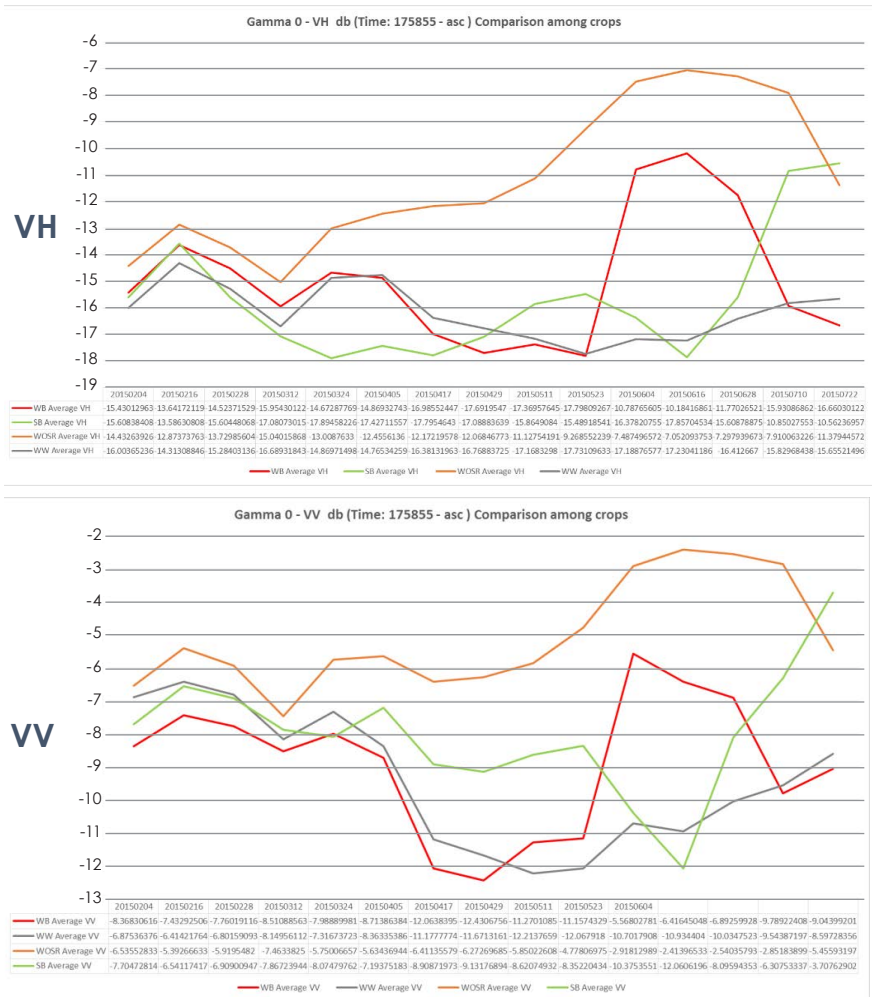
Para Paraguay oriental, la línea base o referencia a obtener una imagen o la referencia de polarización cruzada está disponible cada 6 meses. Esto por supuesto va a limitar el análisis de los cultivos que se pueda realizar. Sin embargo, hay otras regiones donde se estan repitiendo las observaciones, por ejemplo, una zona del Chaco occidental, donde hay una imagen cada 24 dias. La repeticion de imágenes de radar de la zona del Chaco es porque esta zona es de orden de nuevo desarrollo agricola.

Es importante discutir qué es lo que se puede hacer con los datos provistos por el radar, si hubiera datos más abundantes. Como se mencionó anteriormente que los satélites vienen en pares. En este momento está funcionando Centinela 1A y el año que viene se va a utilizar Centinela 1B. Esto permite mayores posibilidades de tener más datos.

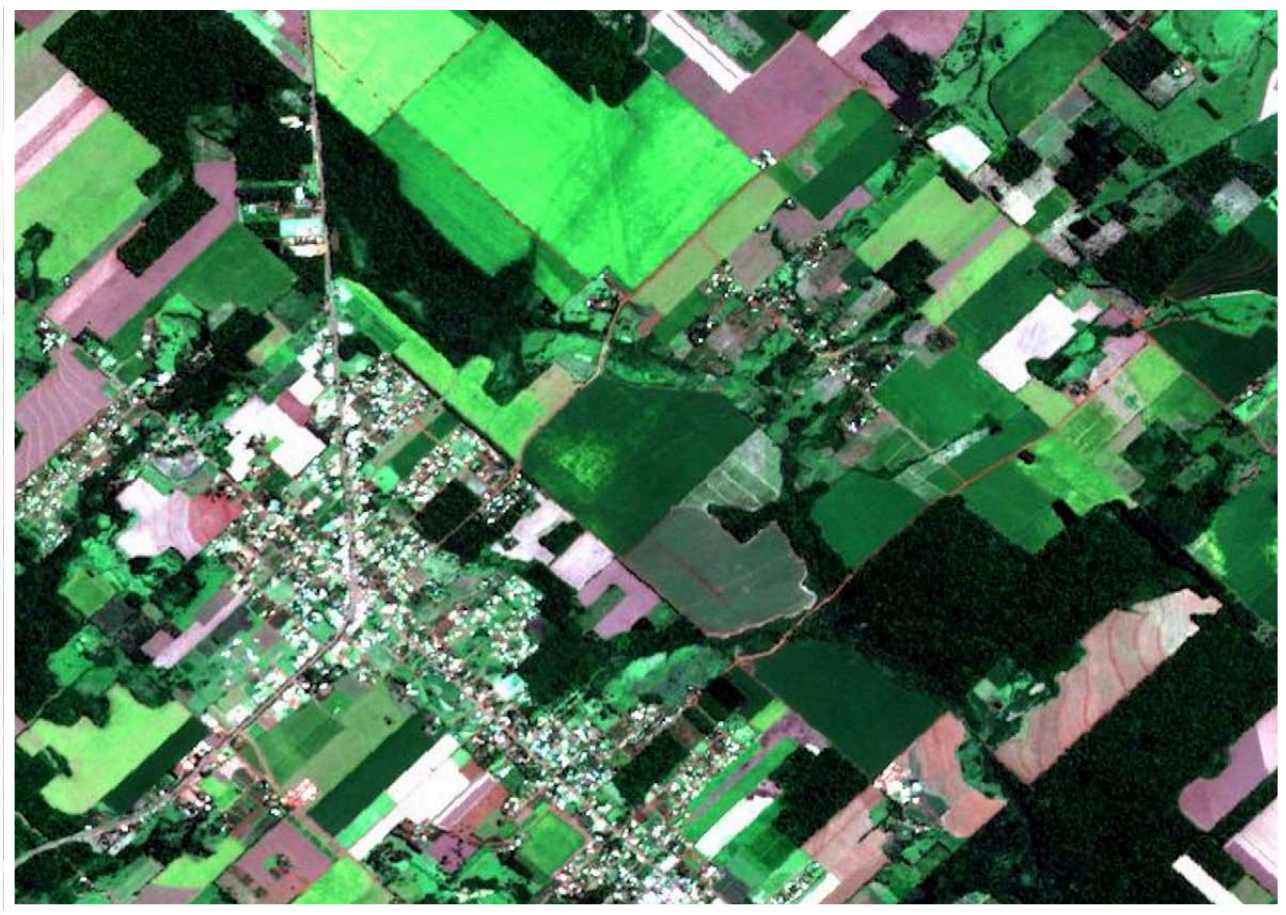
EL USO DE DATOS SATELITALES

El ejemplo en la Fig. 15, es uno de los cultivos del Sur de Inglaterra.

Figura 15. **Firma de Radar para diferentes cultivos en el sur de Reino Unido**



Vista satelital de la Colonia Obligado (Itapúa) y los campos aledaños.



Los análisis de las imágenes se pueden utilizar para identificación de cultivos, la variabilidad del cultivo, los parámetros básicos, con el modelado correspondiente. También esto puede correlacionarse con la sanidad de los cultivos y/o realizar un mapeo de las malezas o de los cultivos que están enfermos. Asimismo, se puede monitorear la etapa de crecimiento del cultivo, y una estimación del rendimiento, la parte interesante, que puede conducir a otras aplicaciones. Por ejemplo, la aplicación de la tasa variable del uso de los fertilizantes. Es aquí, donde se puede empezar a ahorrar en costos y desarrollar un modelo de negocios para utilizar la imagen satelital en la planificación de irrigación y la zonificación del suelo etc. Son solo unos ejemplos para los que se pueden utilizar estos satélites y las imágenes que nos dan.

En resumen, el objetivo del proyecto es crear consciencia de como los datos satelitales pueden ayudar a apoyar el desarrollo agrícola. El enfoque principal actual es la producción de arroz en Colombia y soja en Paraguay. El producto final del proyecto va a ser una hoja de ruta de cómo avanzar respecto al manejo de los cultivos. Las técnicas aplicadas se pueden aplicar al trigo, a producción de arroz, a muchos otros.

Lo importante aquí es que la observación de la tierra está entrando una nueva era, donde hay una gran cantidad de datos gratuitos disponibles. Y combinar estos con otras tecnologías emergentes, por ejemplo, los *drones,* pueden provocar un cambio en la forma en que los sistemas agrícolas operan. Integrar las diferentes fuentes de datos será la clave.

Aspectos del Mercado Internacional del Trigo para Paraguay

Aspects of International Wheat Market for Paraguay

Sonia Tomassone
CAPECO
stomassone@capeco.org.py

RESUMEN

En el último quinquenio se puede observar que el crecimiento mundial del área de siembra de trigo permanece prácticamente estable, notándose que la producción mundial suple ampliamente la demanda. El 67% del trigo es producido por cinco regiones: Unión Europea, China, India, Rusia y Estados Unidos. Asimismo, la oferta también se encuentra concentrada, con el 68% de las exportaciones originadas en cinco países. Con relación a los precios internacionales, los niveles bajos actuales son similares a los observados en el 2009/10. Analizando la situación actual de los cultivos de trigo en nuestros principales países competidores (Estados Unidos, Argentina, Brasil y Uruguay), se observan señales que podrían traducirse en un escenario de potenciales mejoras de precios, especialmente en el mercado brasileño, lo que podría mitigar en parte los altos costos de producción que han llevado a los productores a tener pérdidas importantes en el rubro. No obstante, estas señales alentadoras están sujetas al comportamiento de factores importantes que deberán ser observados en los próximos meses y que podrían influenciar positiva o negativamente en los precios internacionales como ser el clima en los países productores, la firmeza de la demanda, el precio del petróleo, comportamiento del dólar, la devaluación del real, situación de las exportaciones en Rusia, situación política argentina así como el curso de las exportaciones norteamericanas al Brasil. Existen aspectos claves que debemos apuntar para poder seguir creciendo en el rubro como ser el mantener la calidad del producto con una identidad preservada, contar con una oferta mínima constante, interpretar las necesidades

de las industrias molineras para satisfacer su demanda, seguir invirtiendo en tecnología y mejoramiento del cultivo, así como el hacer económicamente sustentable el crecimiento del sector triguero en Paraguay. Contamos con un muy buen producto, con mercados negociados y diversificados, solo falta aumentar la producción para poder crear una identidad propia del trigo nacional, conocida por los mercados destino, la cual se traducirá en mejores precios y en posicionarse como un proveedor fiable en el mundo.

ABSTRACT

Over the last five years, while the world wheat production and area have remained relatively stable, the production has been able to meet the demand amply. Almost two thirds of the world wheat is produced in five regions: European Union, China, India, Russia and the United States. The supply is also concentrated, with 68% of exports originated in five countries. Current international prices are lower but similar to those observed in 2009/10. An analysis of the situation of wheat crops in our main competing countries (United States, Argentina, Brazil and Uruguay), shows the signals that can translate into potential price improvements, especially in the Brazilian market. This can partly mitigate the high production costs that have resulted in significant losses for the farmers. However, these encouraging signals are subject to important factors such as: the climate in the producing countries, the total demand, the oil price, firmness of the dollar, devaluation of the Real, situation of exports in Russia, Argentine political situation as well as the North American exports to Brazil. All of these must be observed in the coming months, which can influence positively or negatively on international prices. For Paraguay the key aspects are: to continue wheat production while maintaining the quality with a preserved identity, have a constant minimum supply, interpret the needs of the milling industries to satisfy their demand, continue to invest in technology and improvement of the crop, as well as make the growth of the wheat sector economically sustainable. Paraguay has a good product and negotiated and diversified markets. It needs to increase production to be able to create a national wheat identity, known by the import markets; which will result in better prices and position us as a reliable supplier in the world.

Brasil sigue siendo el principal mercado de exportación para trigo nacional.

INTRODUCCIÓN

En los últimos 6 años, el área bajo de cultivo de trigo se ha mantenido estable a nivel mundial (Fig. 1). La producción mundial durante el mismo periodo se ha aumentado en casi 80 millones de toneladas debido a las mejores condiciones climáticas y algunos rindes mejorados especialmente en las tres últimas zafras. Si se observa la producción mundial con relación al consumo mundial, se puede ver que prácticamente la oferta suple totalmente la demanda. Principalmente el trigo se usa como alimento de industria y muy poco para ración animal. Es decir, hay que ir enfocando, así como lo está haciendo Paraguay, a un trigo para consumo humano. En el caso de Paraguay se ha buscado un nicho de mercado que es un trigo mejorador, que nos dé un pan mejorado.

Figura 1. **Estadísticas mundiales de trigo**

	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016
Area (1000 HA)	216.807	220.783	215.767	219.878	223.446	224.895
Producción Mundial (1000 MT)	**649.905**	**696.053**	**658.700**	**715.112**	**725.494**	**732.786**
Importaciones Mundiales (1000 MT)	131.990	150.025	145.382	158.360	158.963	157.803
Exportaciones Mundiales (1000 MT)	132.723	158.198	137.439	165.904	164.502	160.575
Consumo Mundial (1000 MT)	**653.225**	**689.345**	**687.151**	**690.956**	**701.616**	**713.637**
Ración Animal y residuos (1000 MT)	116.749	148.256	138.189	126.791	132.877	137.719
Alimento e Industria (1000 MT)	536.476	541.089	548.962	564.165	568.739	575.918

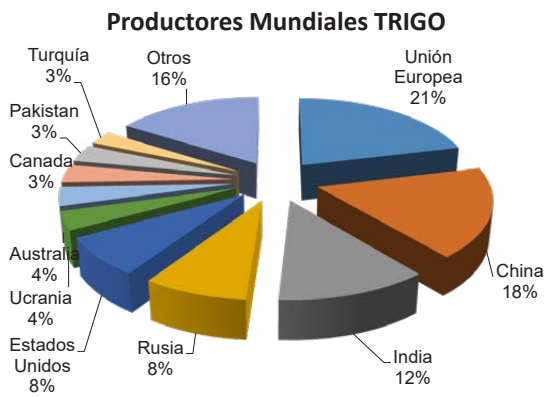
Fuente: **USDA**

LOS PRINCIPALES PRODUCTORES, CONSUMIDORES Y EXPORTADORES DE TRIGO

Los datos presentados en la Fig. 2 muestran que la Unión Europea, es la campeona en la producción de trigo, con más de 155 millones de toneladas producidas en la última zafra. Le sigue China, India, Rusia, EEUU y los demás países. La gráfica señala que cinco regiones: La Unión Europea, China, India, Rusia y EEUU, en su conjunto, producen el 67% del trigo del mundo, todos estos países están situados en el hemisferio norte. Nuestra producción en el hemisferio sur está en un clima prácticamente marginal para el trigo. Es importante mencionar esto porque tenemos que ir siempre monitoreando, cómo va la producción en estos cinco países para poder ir determinando hacia donde van a ir los precios.

Figura 2. **La producción de trigo por principales productores en el mundo**

País	2015/2016 (miles de ton)
Unión Europea	155.263
China	130.000
India	88.940
Rusia	61.000
Estados Unidos	55.840
Ucrania	27.000
Australia	27.000
Canada	26.000
Pakistan	25.000
Turquía	19.500
Otros	117.243



67% UE, China , India , Rusia y EEUU.

Fuente: **USDA**

Entre los principales importadores de trigo, Egipto es el más importante, con una importación anual de más de 11.000.000 de toneladas (Fig. 3). Le siguen, Indonesia, Argelia y Brasil. Nuestro vecino Brasil, es el cuarto importador mundial con el 4% de todas las importaciones mundiales. Para Paraguay, Brasil es hoy el principal mercado y lo va a seguir siendo por mucho tiempo. Primero, por su consumo de trigo y segundo por la cercanía. Vender a Brasil hace que el flujo comercial sea muy rápido. También existen acuerdos con Brasil, entre, el Ministerio de Agricultura Pecuaria y Abastecimiento de Brasil (MAPA) con el SENAVE de Paraguay, a través del cual se instauraron los controles fitosanitarios conjuntos del lado paraguayo en la frontera Ciudad del Este/Foz de Yguazu. Esto hizo de que hoy las importaciones de granos que van al Brasil, vayan en forma más fluida. Después de mucho esfuerzo, tanto de CAPECO como del SENAVE, MAG y también de la cancillería, hoy prácticamente ya no hay rechazos de los embarques a Brasil atendiendo que cualquier camión que pueda tener algún problema de plagas u otro problema de calidad, ya no pasa al lado brasileño. Eso hizo que el comercio sea bastante más fluido, además de evitar sobrecostos, en las exportaciones.

Figura 3. **Las importaciones de trigo por principales países en el mundo**

País	2015/2016 (miles de ton)
Egipto	11.500
Indonesia	7.800
Algeria	7.700
Brasil	6.700
Unión Europea	6.000
Japón	5.800
Filipinas	4.800
Nigeria	4.400
Mexico	4.400
Corea del Sur	4.200
Otros	94.503

40% es importado por 10 países

Fuente: **USDA**

En la Fig. 4 se puede ver que la Unión Europea, también es el principal exportador mundial. Le siguen Rusia, EEUU, Canadá, Australia y varios otros países. En este grupo, Paraguay está en la posición 15 del ranking mundial de exportadores, o sea bastante abajo. A corto plazo, Paraguay debe buscar igualar a Uruguay y dentro de lo posible sobrepasarlo cuanto antes.

Figura 4. **La exportación de trigo por principales países productores**

País	2015/2016 (miles de ton)
Unión Europea	33.000
Rusia	23.500
Estados Unidos	23.133
Canada	19.000
Australia	19.000
Ucrania	15.000
Kazakhstan	6.500
Argentina	5.000
Turquía	4.000
Uruguay	1.300
Otros	11.142

Principales productores: UE, China, India , Rusia y EEUU

68% UE, Rusia, EEUU, Canadá y Australia

Paraguay puesto 15 (800.000 ton)

Fuente: **USDA**

Si atendemos los proveedores mundiales, sucede un poco lo que pasa con los productores. Toda la exportación del mundo se concentra en cinco regiones: la Unión Europea, Rusia, EEUU, Canadá y Australia. Estas cinco regiones son los que proveen el 68% del trigo del mundo. Las exportaciones de la Unión Europea son intra Unión Europea y a otras regiones. El segundo productor mundial es China, pero no exporta, o sea, todo el trigo que China produce, lo consume. Lo mismo que sucede con la India. Le siguen Rusia y EEUU, que en este caso es el segundo y tercer proveedor mundial de trigo siendo estos su vez los países con lo cual Paraguay está compitiendo. Es importante monitorear la producción en estas cinco regiones, también como conocer la situación de las exportaciones. Rusia es el segundo exportador mundial, pero Rusia tiene varias restricciones a sus exportaciones de trigo. En el 2014, por ejemplo, pusieron cuotas en las exportaciones de trigo. Eso hace que los precios del trigo se eleven a nivel mundial. Si a EEUU le va mal en sus exportaciones o sube el precio del dólar, bajan las exportaciones de EEUU lo cual se refleja directamente en los precios internaciones. En conclusión, estos son los países que hay que monitorear permanentemente para entender la tendencia de los precios.

TENDENCIA DE LOS PRECIOS

Si observamos el comportamiento de los precios en la Bolsa de Chicago- CBOT a partir del año 90, nos muestra que los precios actuales están muy lejos de los altos precios del 2007-2008 y muy por debajo de lo que fue hace 10 años, Como se puede ver en la Fig. 5, la tendencia es a la baja. Esta caída estrepitosa sucede, como se mostró en la Fig. 1, debido a que hay mucha producción de trigo a nivel mundial. Las cinco regiones mencionadas han tenido muy buena producción de trigo cubriendo ampliamente la demanda requerida. Otros factores los constituyen, la fortaleza del dólar y que las altas reservas mundiales.

Figura 5. **Evolución de precio de trigo en la Bolsa de Negocios de Chicago (CBOT)**

La oferta inmediata cubre con holgura la demanda
La presión de los factores fundamentales se dio a través de la fortaleza del dólar y los amplios inventarios acumulados a nivel mundial.

LA SITUACIÓN DE LOS PRINCIPALES COMPETIDORES

Los Estados Unidos

En los EEUU, si bien hubo un aumento de más de 200.000 has. en el área de trigo, la producción parece ser similar a la del año pasado (55.8 millones de toneladas) según el último informe del USDA. El consumo dentro de los EEUU es alto, unos 33 millones de toneladas, lo que sumado a la producción

prevista permite que tengan unos 23 millones de saldo para exportación. Según el informe del 10 de noviembre, la estimación del trigo de invierno esta más de la mitad esta de bueno a excelente. Si bien la producción de EEUU va a ser en volumen similar a la zafra anterior, se prevé una buenísima calidad de trigo americano lo que se está traduciendo directamente en los precios.

Argentina

La situación del Argentina ha cambiado recientemente y hay un optimismo impresionante entre todos los productores argentinos. Se espera el cumplimiento de una de las promesas del Presidente Macri, de eliminar las retenciones al trigo y a otros granos y flexibilizar la exportación. ¿Qué es lo que estaba pasando en la Argentina? Argentina aplica un impuesto a la exportación (retenciones) del 23% para el trigo lo que provocó que los números no les cierren a los productores argentinos y como consecuencia se redujo el área de siembra, con todos los problemas que ello conlleva, siendo el único cultivo que más o menos les daba ganancias la soja. Como resultado, los productores argentinos empezaron a hacer soja sobre soja, no respetando la rotación de cultivo que el Ing. Cubilla y todo el equipo tratan de que no suceda aquí.

Como primera medida adoptada al inicio de su gobierno, el Presidente Macri eliminó las retenciones para el maíz y trigo, con una tabla de reducción gradual el caso de la soja. Es una excelente noticia para el productor argentino, pero una no favorable para Paraguay, dado que Argentina volverá a competir en el mercado internacional, empezando a liberar sus exportaciones, que actualmente están sujetas a cuotas a través de los los permisos de exportación (ROEs).

Con las nuevas condiciones, los productores pueden aumentar su área de siembra aun este año. Con 3.5 millones de hectáreas y los rindes de más de 3.000 kg/ha, Argentina puede esperar alrededor de 11 millones de toneladas. Si aumentan su área de siembra, y hay mas producción, los molinos brasileros especularan con las compras y los precios, dado que se sabe que va a entrar trigo argentino. En este caso, van a hacer sus compras a cuotitas, según las necesidades, lo que no ayuda al precio.

Brasil

La situación del trigo en Brasil es pésima y las consultoras estiman que van a tener una zafra de 5,73 millones de toneladas. Un analista en la revista Trigo e Farinha dijo, “Ni todo lo que se ha producido este año será para consumo humano”. La producción esperada de Rio Grande do Sul es de 1.5 millones de toneladas donde 1 millón solo sirve para consumo animal. El estado vecino Paraná también tiene problemas en su producción y sumadas las producciones de Paraná y Rio Grande del Sur, Brasil va a llegar producir 5.3 millones de toneladas, de las cuales solo 3,98 millones de toneladas serían de trigo panificable, la más baja de los últimos 10 años, adicionando que serían de mala calidad. En este caso, Brasil necesitaría importar 6 millones de toneladas este año. Es decir, 800.000 toneladas más de lo que importó en la zafra pasada.

Del punto de vista local, es una noticia positiva para el mercado ya que todos los cambios en Argentina se van a hacer después del cambio del mando. En otras palabras, hay poco tiempo, pero se puede todavía vender el trigo paraguayo con buenos precios. Se espera que las medidas argentinas se concretarían en el periodo entre Navidad/Año Nuevo o enero/febrero lo que permite tiempo de alcanzar de buenos precios en Brasil, siempre que los molinos brasileros no empiecen a regular sus compras esperando los cambios en la Argentina. Actualmente Brasil necesita importar y Paraguay tiene un trigo muy bueno, pero no están concretando compras debido a la devaluación del real dado que le sale muy caro importar el trigo. Por eso es que, si bien fluyen las exportaciones al Brasil, no fluyen en la medida que nos gustaría.

Uruguay

Uruguay es otro competidor que provee al mercado brasilero y a otros mercados de esta zona. Sus cultivos en general se encuentran en buen estado, pero con un rinde poco uniforme. Tienen algunas parcelas con muy buena calidad y otras de calidad regular. La cosecha en el norte del país se inició a principios de noviembre. Por el momento tienen buenas condiciones climáticas, por lo cual esperan una producción de casi 2 millones de toneladas, 500.000 ton más que en la zafra anterior, lo que se traduce en una mayor disponibilidad de trigo en la región.

La situación paraguaya

Paraguay ya finalizó la cosecha de trigo. ¿Qué es lo que se puede decir de esta cosecha? Que es de una altísima calidad según los datos los exportadores en algunos puertos y molinos. Hay trigo con 78 kg/hl de peso hectolítrico, 28% de gluten y 300 segundos de Falling Number, lo que pone a la calidad muy por encima de toda la región. Aunque no se ha finalizado todo el estudio, se estima que la producción del año estaría entre 1,100 y 1,2 millones de toneladas. Si a eso le descuenta el consumo interno que está entre 500 y 550 mil toneladas, hay una oferta exportable de entre 600 y 700 mil toneladas. De este saldo exportable que tiene Paraguay, ya fueron exportadas casi 400 mil toneladas, faltando solo 300 mil toneladas para exportar. Se espera que esta cantidad pueda salir antes de que las medidas argentinas lleven a bajar los precios. Aun cuando las exportaciones bajan un poco hacia el fin de año, no es mucho que el país tiene para vender, no solo al Brasil sino a otros mercados también.

La situación de precios en Brasil

Es interesante analizar a situación de los precios en Brasil. Los precios de las tres regiones (Paraná, Santa Catarina y Mato Grosso de Sul) donde se exporta el trigo paraguayo, están presentados en la Fig. 6. Los precios en Brasil son en Reales por bolsa de 60 kg en los casos de Paraná y Santa Catarina y por R$/tonelada en Mato Grosso de Sul. Las ventas en reales sufren la fluctuación de la relación real/dólar que influye mucho. Paraguay tiene un acuerdo con el Brasil de transporte terrestre donde los exportadores pueden contratar tanto camiones paraguayos como camiones brasileros para abaratar los costos. Todo esto se hace en Reales, por eso la importancia de la fluctuación y la devaluación del Real.

Figura 6. **Precios de trigo en los estados de Paraná , PR; Santa Catarina, SC; y Mato Grosso do Sul, MS, Brasil**

Las gráficas de Paraná y Santa Catarina muestran que en promedio el precio está a 37 Reales la bolsa de 60 kg. Los precios al inicio del año fueron muy bajos, pero con la merma en la producción brasilera, los precios empezaron a subir. Ahora llegaron a 37 Reales, pero no en la medida que el mercado indica. Esto sugiere que los molinos brasileros están especulando, esperando a ver lo que sucederá en la Argentina. A nuestro parecer, los precios van a seguir subiendo hasta tanto la Argentina tome medidas. Haciendo una comparación de precios en noviembre de la zafra pasada, son bastante mejores, de 28 Reales/bolsa a 37 Reales/bolsa de 60 kg. Si bien los precios no están como les gustaría a los productores por un producto tan bueno, pero no esta tan mal comparado a la zafra anterior.

En el caso de Mato Grosso, el precio del grano se cotiza en R$ por tonelada. Se puede ver en la gráfica que el promedio está en 658 Reales/tonelada, bastante más alto de lo que era en noviembre del año pasado. El precio en el MS tiene la misma tendencia de lo que sucede en Santa Catarina y Paraná.

Se inició con precios bajos, los que fueron subiendo cuando vieron que la producción brasilera no iba a alcanzar la demanda del propio mercado.

FACTORES A CONSIDERAR

Hay varios factores que influyen a la producción y precios de trigo que deben ser tenidos en cuenta. Por un lado, el tema del clima es clave para la producción nacional. Paraguay ya termino la cosecha de trigo, pero su principal competidor, que es Argentina, todavía puede seguir produciendo. Ahora que pasa si le viene, como decía un productor un "*'charará o mal tiempo*"' por la lluvia, su calidad se deteriora. En ese caso, aunque aumenten su área de siembra no van a poder tener la producción deseada y lo mismo va a acontecer en Uruguay y en la parte sur de Brasil. Así que, por lo menos este año, el clima ya no es un problema para Paraguay, pero sí lo es para la Argentina, Sur de Brasil y Uruguay.

La demanda hay que seguir monitoreándola, sobre todo en los molinos brasileros. Si van a seguir especulando, o si no, van a pensar en comprar rápido para obtener un producto de buena calidad, que es el paraguayo y mezclar cuando empiece a entrar la producción de Argentina con sus nuevos precios.

Al precio del petróleo que siempre es importante ya que evidentemente determina todas las tendencias del mercado de los granos, se debe adicionar el comportamiento del dólar. Como se mencionó, en Brasil los negocios están en Reales, por lo que la devaluación del real es un ítem con alta influencia. La producción de Paraná y Rio Grande do Sul, también tienen su impacto sobre la demanda y los precios recibidos por los productores locales.

Otro factor importante es la producción en Rusia. Es un mercado importante, porque, así como la Argentina, empieza al ponerle retenciones o cuotas a sus exportaciones cuando tiene problemas con su trigo y eso hace que el precio se dispare. Este factor, si llegara a suceder, no va a alcanzar a la venta paraguaya.

La gran amenaza son las exportaciones de EEUU al Brasil. Hay mucha exportación de trigo de EEUU al Brasil, sobre todo al Norte del Brasil donde Paraguay no llega, o no suficientemente de forma eficiente por el trasporte. Esto hace que los precios internos de Brasil bajen, dado que EEUU llega al Brasil con un precio barato, por más que tenga 10% de impuesto a la importación.

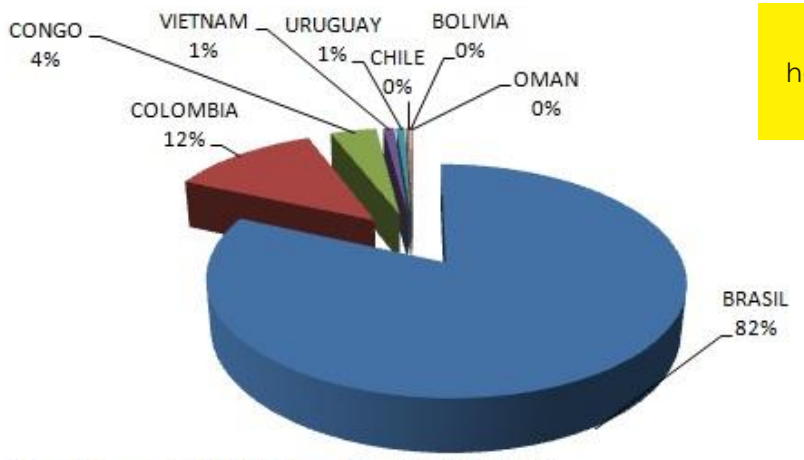
EL ESTANCAMIENTO EN PRODUCCIÓN DE TRIGO NACIONAL Y EL FUTURO

El estancamiento de la producción paraguaya de trigo es un tema de gran preocupación. Hace cinco años que el área de siembra no supera las 550.000 has, por ende, la producción no pasa de 1.500.000 toneladas. En consecuencia, hay años que se exporta mucho, pero también hay otros que es suficiente solo para autoabastecimiento nacional. Esta irregularidad productiva hace que Paraguay no sea un proveedor confiable.

Como consecuencia, no se puede seguir abriendo más mercados, porque no tenemos producto. Si no tenemos producto ni estabilidad en un mercado, no es posible negociar el precio. Si no podemos negociar precio, el productor no recibe lo que quiere recibir por su trigo. Es como el "huevo y la gallina".

La única alternativa viable es producir más, aumentar los rindes y seguir haciendo trabajos de investigación. Cuando alguien dice que "*No podemos producir porque no tenemos mercado*", no es cierto. Como fue mencionado por Mohan al comienzo, cuando empezamos con el programa de trigo, hace más 10 años aproximadamente, el único mercado externo era Brasil. Brasil es y va a seguir siempre el principal destino, que lleva casi el 82% de la exportación nacional. Pero en esta última zafra se envió trigo a Colombia, Congo, Uruguay, Vietnam, Chile, y Bolivia (Fig.7). Es más, Bolivia, Vietnam y Omán fueron tres nuevos mercados habilitados en esta última zafra. No fueron muchas las exportaciones a esos mercados, porque hubo menos de 600 mil toneladas disponible. A la fecha hay 32 mercados de exportación habilitados, tanto en América, en África, Medio Oriente, Europa y en Asia. La lista de los países donde se puede exportar es bastante larga, pero no hay producto para poder exportar a todos estos mercados.

Figura 7. **Mercados de exportación de trigo de Paraguay**



En esta zafra se habilitaron 3 nuevos mercados: Bolivia, Vietnam y Omán

A la fecha hay habilitados **32 mercados** de exportación:

EN AMERICA: Brasil, Bolivia, Chile, Colombia, Cuba, Perú y Uruguay

EN AFRICA: Argelia, Burkina Faso, Camerún, Congo, Costa de Marfil, Ghana, Kenia, Libia, Mali, Marruecos, Mozambique, Nigeria, Ruanda, Tanzania, Uganda

EN MEDIO ORIENTE: Emiratos Arabes, Líbano, Omán, Siria, Turquía, Yemen,

EN EUROPA y ASIA: Rumania, Sri Lanka, Vietnam

La comercialización actual está en el mercado local. Los precios pagados son US$ 168/tonelada a los puertos de Asunción y US$ 165/tonelada en Campo 9. Si bien, se esperaba que suban los precios, ahora el productor no vende lo poco que tiene, porque espera una mejora en el precio. Sin embargo, puede suceder que cuando decida vender, el precio empiece a bajar. Lo importante a tener en cuenta es que Argentina va a cambiar las reglas del juego y es recomendable vender la producción nacional antes.

¿Cuáles son los aspectos claves que hay que seguir apuntando? Primero, seguir manteniendo la calidad con una identidad preservada. Si bien la segregación es costosa, posibilita mantener la calidad e identidad de trigo paraguayo, con lo que se podría obtener mejor precio. La calidad es lo más importante además de tener una oferta mínima constante.

No puede ser que desde hace cinco años la oferta exportable no pasa de 800.000 toneladas. ¿Cómo se puede llevar 800.000 toneladas a 32 mercados? Este año se abrió Omán, quienes apreciaron la calidad del trigo nacional. Si el próximo año no se exporta a este mercado será difícil posicionarnos en el mismo.

Es clave seguir invirtiendo en tecnología y mejoramiento del cultivo. Se ha avanzado mucho en el cultivo del trigo, pero no es suficiente. El mercado va cambiando y hay que estar preparados para esos cambios. Hay que seguir interpretando las necesidades de las industrias molineras. Y lo más importante, que el crecimiento del trigo sea económicamente sustentable, que llegue la plata al bolsillo del productor. Es muy poético cuidar el medio ambiente, la contaminación, pero si el productor pierde con el trigo, va de dejar de hacerlo. En este caso, es clave hacer que el productor tenga un retorno económico tenga más producción para poder negociar mejor precio. He ahí la gran incógnita, pero hay que encontrar la vuelta.

CONCLUSIONES

Es claro que Paraguay tiene un buen producto y tiene mercados para vender su trigo. Lo que se necesita es aumentar la producción nacional para poder mejorar y negociar los precios.

Por ejemplo, Brasil, hasta hace 3-4 años hacía lo que quería con nuestra producción, pagaba lo que quería y cuando quería, aún por un trigo de excelente calidad. Cuando se logró mantener las 800.000 toneladas, que no es mucho pero suficiente, se trató de hacer un acuerdo con ABITRIGO, que agrupa a todos los molineros de Brasil, para negociar precios. En principio, se negaron a negociar mejoras en los precios con una tabla de calidades consensuadas, pero ante la amenaza de enviar el trigo na-

cional a otros mercados y quedarse sin este proveedor, se pudo negociar una tabla con tres tipos de calidades y precios diferenciados. La clase 1 tiene premio por calidad y proteína, clase 2 es precio de mercado y hay castigo para la clase tres. Una vez negociada la tabla, el precio del producto paraguayo empezó a subir. Se pudo negociar esta tabla, porque había lo menos 800.000 toneladas.

Hace cinco años se alcanzó exportar 800.000 toneladas, y salvo en un año excepcional, no hay un aumento en el volumen. Es posible hacer lo mismo con otros mercados, pero primero hay que aumentar la producción. Entonces de nuevo, el mensaje es que se necesita mejorar la producción para poder negociar los precios y que el productor tenga beneficios en su bolsillo.

Preguntas y plenaria

- Pregunta: ***¿Cuál es el equivalente de 270 Reales de nov. del año pasado, con el 370 Reales de noviembre de este año?***
- **Sonia Tomassone:** ¿En dólares/tonelada? A 3.2 está el tipo de cambio del Real por dólar.
- Pregunta: ***y ¿a cuánto estaba anteriormente, dado que mencionaste que hubo una mejora?; en números ya lo vemos, pero en dólares cómo queda?***
- **Sonia Tomassone:** Sí hubo una mejora. En dólares, estamos hablando de 120-130 dólares/tonelada mientras que el año pasado estaba más o menos a US$ 110-115 /ton, por el tipo de cambio
- **Ravi Singh:** Muy buena la presentación para conocer un poco sobre el mercado de esta región. En su presentación, cuando se habló de Europa siempre juntó a la UE como un grupo. A mí me sorprende porqué el Cono Sur no puede trabajar como un grupo, en vez de competir entre sí. Es posible que Uds. están trabajando en eso entre países, porque las condiciones climáticas que tienen aquí, ningún país va a asegurar que a veces no pase mal. Un año puede ser la sequía y en otro año más lluvia. Entonces, mientras que no integren un grupo, no van a poder competir contra los grandes productores/exportadores.
- **Sonia Tomassone:** Sí es así. En Europa son 28 países y realmente les cuesta ponerse de acuerdo; pero nosotros somos 4 y medio. En el caso de Venezuela, es parte del Mercosur, pero como no cumplió todas las reglas, todavía no es miembro pleno. Entonces somos cuatro países productores, y ponerse de acuerdo entre los cuatro lo veo prácticamente imposible. Lastimosamente el Mercosur no es lo que tendría que ser. Desde antes de la existencia del Mercosur, el comercio era súper fluido, no había trabas, todo el mundo le vendía a todo el mundo. Con el Mercosur, nos volvimos especialistas en poner trabas, una traba tras otra. Para lograr que los brasileros vengan a hacer el control integrado de nuestro lado de la frontera, nos llevó 8 años. Y en cada año fuimos manteniéndonos fuertes. Lo bueno del Mercosur, es que Paraguay nunca antes salió a vender, pero hoy tenemos que salir a vender porque la gente ahora no viene más a comprarnos. Y los negociadores en Paraguay nos hemos vuelto unos expertos en solucionar las trabas. Hoy irnos a negociar con la UE, nos es mucho más fácil que negociar con Brasil y Argentina que es bastante más complicado. Ahora bien, sí trabajamos junto en algunos temas de defensa de mercado y otras cosas, pero en la producción como en el caso de Europa, ahí no creo que lo vea, ni mi hijo tampoco.
- **Ravi Singh:** Considerando este continente, ¿Cuál es la demanda de trigo para la América del Sur, y cuál es la producción total?
- **Sonia Tomassone:** La Argentina prácticamente lo que produce, la mitad va a consumo interno y el saldo al Brasil; con nosotros más o menos la mitad. Entonces la producción a nivel continental es la tercera parte o la mitad de la demanda. Los países producen trigo y principalmente para su autoconsumo, que era la situación de Paraguay antes que sea exportador de trigo. Somos exportadores, pero también autoabastecemos de trigo, y pasa lo mismo en toda la región. No tengo los números en mente.
- **Mohan:** Los números varían de año a año dependiendo de factores climáticos, políticos y del mercado, pero la producción anual es alrededor de 20 millones de toneladas y la demanda continental, incluyendo a Centro América y México, es de unos 25 a 26 millones de toneladas.

SEXTO SEMINARIO NACIONAL DE TRIGO

"Del grano al pan"

50 AÑOS

Investigación de Trigo en Paraguay
1965 - 2015

ANEXOS

Pósters del Sexto Seminario

Póster N° 1

Variaciones en el Rendimiento Potencial de Trigo de Paraguay

Variations in Potential Grain Yield of Wheat in Paraguay

Pablo Eduardo Abbate[1], Pedro Chávez Sanabria[2,3] y Diana Martino[3,4]

[1] INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), Balcarce, Buenos Aires, Argentina. CC 276 (7620). *abbate.pablo@gmail.com*

[2] IPTA (Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria), Capitán Miranda, Paraguay.

[3] Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

[4] CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), Balcarce, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Desde un punto de vista práctico, el rendimiento potencial de trigo (RP) es el rendimiento que puede alcanzar un cultivo en un lote en secano bien manejado en localidades con buena disponibilidad hídrica, o en un lote bajo riego de una localidad con deficiencia hídrica frecuente, en ausencia de adversidades climáticas y sanitarias. En tales situaciones, el RP será el resultado del cultivar y del clima durante el ciclo de cultivo. Las variables climáticas más relevantes en la determinación del RP suelen ser: i) la radiación (R) y la temperatura (T) previas al llenado del grano, período en el cual se determina el número de granos/m^2 (NG) del cultivo y ii) la T durante el llenado del grano. El efecto combinado de la radiación y la temperatura sobre el NG puede evaluarse por medio de cociente fototermal (Q) (Fischer, 1985). Varios autores han encontrado relaciones positivas entre el NG vs. Q y relaciones negativas entre el peso por grano (PG) vs. la T durante el llenado del grano. El objetivo de este trabajo fue estimar las variaciones del RP en la Región Triguera de Paraguay originadas por la variación climática entre (i) fechas de floración, (ii) localidades y (iii) años.

METODOLOGÍA

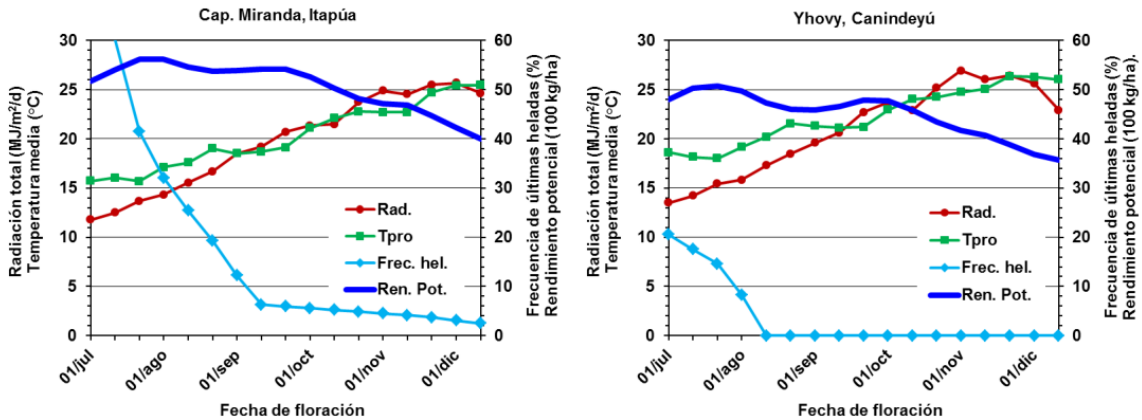
El RP de trigo se calculó como el producto entre el NG y el PG. El NG se estimó siguiendo el método propuesto por Lázaro & Abbate (2012): NG = 4 + 13 Q + CCV, donde el Q fue computado como Q = R / (T - 4.5), promediando R y T desde 20 días antes a 10 días después de floración. El CCV es el coeficiente del cultivar, el cual se estableció en 2.6 granos/m^2, valor correspondiente al promedio de los cultivares argentinos. El PG se calculó por medio de la relación de Abbate & Lázaro (2010): PG = 51.8 - 1.14 T, promediando T desde espigazón hasta 35 días posteriores. Los datos diarios de T provinieron de las estaciones meteorológicas de CICM (Centro de Investigaciones Capitán Miranda, Itapúa; período 1984-2005) y de Yhovy del MAG (Ministerio de agricultura y Ganadería de Paraguay, Canindeyú; período 1995-2005). Los datos de R diaria utilizados fueron los estimados por el proyecto Surface Meteorology and Solar Energy de la NASA.

RESULTADOS

En la Fig. 1 se presenta la R, T y el RP estimado sin considerar el efecto de las heladas, para C. Miranda y Yhovy. Entre el 1-jul y el 1-nov la R aumentó a razón de 0.11 MJ/m^2/d por día en ambas localidades, mientras que la T lo hizo a una tasa de 0.06°C por día. Tanto en C. Miranda como en Yhovy el RP presentó una caída neta a partir del 20-sep de 16 kg/ha por día de retraso en la fecha de floración.

Fechas de floración anteriores a esa fecha no tendrían ventajas desde el punto de vista del RP pero tendrían una probabilidad de daño por heladas (T<0°C) mayor al 10% si la floración fuera anterior al 1-sep en C. Miranda o anterior al 1-ago en Yhovy (Fig. 1). Para cultivares con 83 días de siembra a floración, la fecha de siembra en C. Miranda debería ser entre el 10 y 30-jun. Por su parte en Yhovy es de esperar que el ciclo se reduzca unos 5 días a causa de la mayor temperatura, por lo cual el intervalo de fecha de siembra óptima sería entre el 15-may y el 5-jul. Para cualquier fecha de floración el RP en C. Miranda fue mayor al de Yhovy, pero entre el 1-ago y el 20-sep (intervalo razonable para floración en Yhovy) el rendimiento fue 13% menor que el de C. Miranda, principalmente debido a la mayor T de Yhovy. Considerando el intervalo de floración optima, la variación de RP entre años fue de 12 y 11% para C. Miranda y Yhovy, respectivamente.

Figura 1. **Radiación total, temperatura media, frecuencia de últimas heladas (promedios históricos cada 10 días) y rendimiento potencial estimado (sin considerar el efecto de la heladas y con 14% de humedad) para distintas fechas de floración (antesis), en dos localidades representativas de la región triguera paraguaya**



Al considerar las variaciones de RP entre años (Tabla 1), tanto en C. Miranda como en Yhovy el RP tuvo una alta asociación con la T durante el período de determinación del NG y durante el llenado del grano, y baja asociación con la R. A su vez, ambas T estuvieron asociadas indicando que años con T favorables para un alto NG también lo fueron para un alto PG.

Tabla 1. **Grado de asociación (R^2) a través de los años, entre el rendimiento potencial vs. la radiación (R_{NG}) y la temperatura (T_{NG}) computada para estimar el número de granos y la temperatura computada para estimar el peso por grano (T_{PG})**

Localidad	n	R_{NG}	T_{NG}	T_{PG}
C. Miranda	21	0.01	0.88	0.83
Yhovy	15	0.11	0.99	0.88

CONCLUSIONES

Se estimó que el RP de trigo en dos localidades representativas de la Región Triguera Paraguaya decrece a partir del 20-sep; con fechas de floración anteriores no aumentaría el RP pero sí el riesgo de daños por heladas. Partiendo de C. Miranda, el RP cayó a razón de 1 kg/ha por km hacia el norte de la región triguera. Para la fecha de floración óptima, el RP varió 11-12% entre años y esa variación estuvo altamente asociada con los cambios en la T anterior y posterior a floración.

Referencias

_ Abbate & Lázaro. 2010. Actas del 3°Seminario Nacional de Trigo. Encarnación, Paraguay

_ Fischer. 1985. Journal of Agricultural. Science, 105:447-461.

_ Lázaro & Abbate. 2012. Journal of Agricultural Science, 150, 442-459.

Póster N° 2

Evaluación del Comportamiento de Materiales de Trigo en un Entisol de Caacupé

Evaluation of Wheat Germplasm on an Entisol soil in Caacupe

Alfredo Rojas[1], Alice Chávez[2], Anibal Fariña[1], Marcos Vega[1], Sindulfo Giménez[1], Angel Núñez[1], Graciela Cabrera[1], Mohan Kohli[3]

[1] Centro de Investigación Hernando Bertoni IPTA, Caacupé-Paraguay.

[2] Proyecto Piricularia en trigo, USDA, CAPECO.

[3] Consultor internacional CAPECO.

INTRODUCCIÓN

Dentro de las zonas trigueras nacionales se pueden definir dos áreas diferentes, la primera, al norte y este de la Región Oriental del país, comprende los departamentos de San Pedro, Caaguazú, Amambay, Canindeyú y Alto Paraná norte y la segunda comprende la región sur, departamentos de Misiones, Alto Paraná sur e Itapúa (Kohli et al. 2012). La ciudad de Caacupé, específicamente el Centro de Investigación Hernando Bertoni (CIHB), presenta un ambiente de suelo y clima similar a la región centro-norte de país, en el cual los suelos se han degradado a un nivel extremo, una experiencia que puede repetirse en otras regiones del país, además la expansión de la frontera agrícola hacia zonas con suelos de similares condiciones; teniendo en cuenta además que los materiales del Programa Nacional se Trigo son desarrollados en zonas con suelos de origen basáltico y alta fertilidad, la realización de ensayos de adaptación de materiales de trigo en condiciones de suelo arenoso y baja fertilidad constituye una base de información interesante para su divulgación y adopción en la región.

OBJETIVO

Evaluar el comportamiento agronómico de materiales de trigo en condiciones de suelo arenoso y baja fertilidad.

METODOLOGÍA

El trabajo se realizó en el año 2014 en el predio del CIHB en el distrito de Caacupé, departamento de Cordillera a 25° 23' 15,3" latitud sur y 57° 11' 24,8" longitud Oeste, a 265 msnm. El suelo corresponde a un Entisol, situado en un área de lomadas, con pendientes de 3 a 15 %, material de origen arenisca y drenaje bueno (López et al. 1995). La superficie total del experimento fue de 25 m², midiendo la superficie parcelaria 2 m lineales con un área útil de 1 m lineal, se sembró 5 g de semilla por m lineal, la distancia entre hileras fue de 0,15 m y entre parcelas 0,35 m. Se utilizó 30 materiales de trigo, la lista de los mismos se presenta en la Tabla 1. Se realizó fertilización básica en el momento de la siembra y un refuerzo con fertilización nitrogenada cada 15 días. Los cuidados culturales fueron realizados conforme a los requerimientos del cultivo y las recomendaciones del Programa de Investigación de Trigo (Kohli et al. 2012). Se evaluaron: 1) Número de espigas por metro: se realizo el conteo de espigas en los 0,5 m centrales de las dos hileras. 3) Rendimiento (g/m) y (kg ha^{-1}): pesaje de los granos de dos metros lineales y convertidos a kg ha^{-1}.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

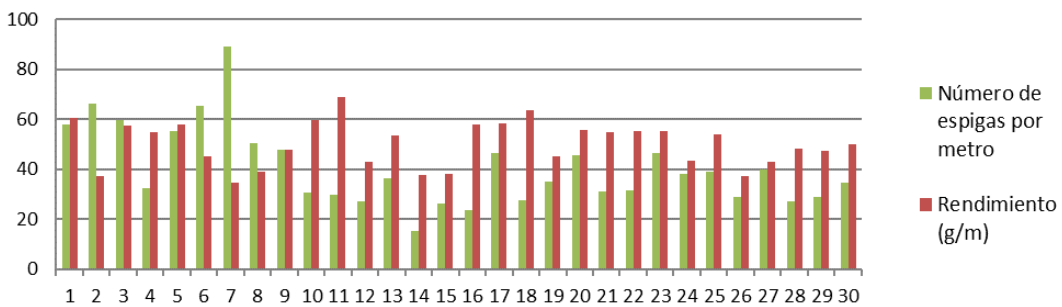
El número de espigas de los materiales varió entre 16 y 89 espigas por metro, mientras que los ren-

Tabla 1. **Materiales de trigo utilizados**

1	ITAPÚA 70	16	KACHU/3/T.DICOCCON PI94624/AE.SQUARROSA (409)//BCN/4/2*KACHU
2	ITAPÚA 75	17	ITAPUA 40/KURUKU
3	E 97034/ITAPUA 45	18	BAV92/SERI
4	MILVUS1/ITAPUA 60	19	ITAPUA 80
5	E 92225/FCEP 30	20	IAN 10/WEEBILL 2
6	ITAPUA 40/ORL 99393	21	ATTILA*2/PBW65//KRONSTAD F2004
7	ITAPUA 40/IAN 10	22	MURGA/KRONSTAD F2004
8	E 92225/FCEP 30	23	SUZ6/OPATA
9	CD 150	24	ITAPUA 70/4/BBX/LR42//BBX*2/3/TUKURU
10	ITAPUA 75/WEEBILL 2	25	BBX/LR42//BBX/3/BBX/LR42//BBX/4/ITAPUA 75
11	PRL/2*PASTOR/4/CHOIX/STAR/3/HE1/3*CNO79//2*SERI	26	SAAR/3/PFAU/SERI.1B//AMAD/4/CD104
12	WORRAKATTA/2*PASTOR//VORB	27	ITAPUA 75/4/BBX/LR42//BBX*2/3/TUKURU
13	T.DICOCCON PI254156/3*KAUZ//2*STYLET	28	ITAPUA 75/PEWIT1
14	BECARD/3/PASTOR//MUNIA/ALTAR 84	29	SAAR/3/PFAU/SERI.1B//AMAD/4/CD104
15	KACHU//WBLL1*2/KUKUNA/3/BRBT1*2/KIRITATI	30	ND643/2*WBILL1//BR 18

dimientos oscilaron entre 991 kg ha^{-1} y 1972 kg ha^{-1}. En el gráfico 1 se observa que los materiales que presentaron mayor número de espigas, no reflejaron ese potencial en un mayor rendimiento. Esto pudo deberse a que dichos materiales tuvieron dificultades para adaptarse a las condiciones agroecológicas del lugar. El rendimiento promedio de trigo estimado por CAPECO para el 2014, fue de 2080 kg ha^{-1}, teniendo en cuenta este dato se puede afirmar que los materiales que presentan mayor potencial de adaptación a las condiciones del ensayo fueron el N° 11 y 18, con 1971 kg ha^{-1} y 1823 kg ha^{-1}, respectivamente, pues son los que más se aproximan a dicho promedio.

Grafico 1. **Número de espigas por metro y rendimiento en g/m de los materiales sembrados en el CIHB de Caacupé, año 2014**



CONCLUSIÓN

Si bien no se realizaron análisis estadísticos, los datos obtenidos muestran que existen materiales dentro del Programa de Mejoramiento del Programa Nacional de Trigo con potencial de adaptación a zonas con suelos degradados y de baja fertilidad, lo cual es de suma importancia teniendo en cuenta la expansión de la frontera agrícola hacia zonas con suelos de estas características.

Agradecimientos

Al Departamento Suelo y Nutrición de Plantas del Centro de Investigación Hernando Bertoni, y al Programa de Investigación de Trigo IPTA-CAPECO-INBIO.

Referencias

- Estadísticas CAPECO 2015. Disponible en: www.capeco.org.py. Consultado 04 de noviembre de 2014.
- Kohli, M; Cubilla, E; Cabrera, G. 2012. Guía para el manejo y la producción de trigo. Fortalecimiento de la Investigación y Difusión del Cultivo del Trigo en el Paraguay. IPTA, CAPECO, INBIO. 50 P.
- López, O; González, E; De Llamas, P; Molinas, A; Franco, E; Garcia, S; Rios, E. 1995. Mapa de Reconocimiento de Suelos de la Región Oriental del Paraguay. PY: MAG/Banco Mundial/Gobierno del Japón/Servicio Geodésico Interamericano. Escala 1:500.000. Color. (Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra).

Póster N° 3

Respuesta de Cuatro Variedades de Trigo a Distintas Densidades de Siembra

Response of Four Wheat Varieties to Different Rates of Seeding

Paulino Fernández Salinas[1], Antonia Elizabeth Medina Paredes[1], Guillermo Andrés Enciso Maldonado[1], Elvio Joel López Ranoni[1]

[1] Fundación Nikkei CETAPAR (Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay). Yguazú, PY.

* Autor para correspondencia: p.fernandez@cetapar.com.py

INTRODUCCIÓN

Existen varios factores que determinan la producción del trigo, entre ellos, la densidad de plantas es uno de los más importantes. La misma es dependiente de la altura de la planta, ciclo del cultivo, la época de siembra, tipo de suelo. La población óptima de plantas de trigo por hectárea es proporcional al rendimiento, por lo que cuando se espera mayor rendimiento de grano la densidad de siembra debe aumentarse (Anderson e Impiglia 2002). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento de cuatro variedades de trigo, sembradas a cinco densidades de siembra.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en una parcela del campo experimental de la Fundación Nikkei-CETAPAR, Yguazú, Alto Paraná, Paraguay (25°24'33''S y 57°24'48''O), entre los meses de mayo a setiembre de los años 2014 y 2015.

Los tratamientos estudiados fueron la utilización de cinco densidades de siembra (T1 = 100 kg/ha; T2 = 120 kg/ha; T3 = 140 kg/ha; T4 = 160 kg/ha; T5 = 180 kg/ha) sobre cuatro variedades de trigo (Itapúa 80, CD 154, IPR Catuara, IPR 85) (Tabla 1), dispuestas en un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Las unidades experimentales estuvieron constituidas por 6 hileras de 6 m de largo y con espacio entre hileras de 0,2 m y el área útil por 6 hileras centrales, eliminando 0,5 m de los extremos.

Tabla 1. **Tratamiento y número de semillas por metro lineal utilizado en cada variedad. Fundación Nikkei – Cetapar. Yguazú. 2015**

Tratamiento	Número de semillas por metro lineal			
	Itapúa 80	CD 154	IPR Catuara	IPR 85
T1	57	60	51	52
T2	69	72	62	62
T3	80	84	72	72
T4	92	96	82	82
T5	103	108	92	93

En 2014, las variedades fueron sembradas el 13/05 y cosechadas el 15/09. Al año siguiente, se replicó el experimento, siendo la fecha de siembra y de cosecha el 19/05 y el 12/09, respectivamente. En ambos años se aplicaron 150 kg/ha del fertilizante 08-20-10 al momento de la siembra y 75 kg/ha de urea 35 días después de la siembra.

Se evaluó el rendimiento y el peso de mil semillas de cada tratamiento y repetición de cada variedad en ambos años, los cuales fueron promediados. El análisis de varianza de los tratamientos promediados fue realizado de forma independiente para cada variedad; se aplicó el test de Tukey al 5 % para determinar las diferencias entre las medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los datos obtenidos de los rendimientos de cada variedad y densidad no se constataron diferencias significativas (Tabla 2). Los resultados obtenidos concuerdan con lo observado por Chen et al. (2008), en donde densidades mayores produjeron menor rendimiento que densidades menores. Esto se debe a la reducción progresiva de la tasa de crecimiento, causado por la alta competencia entre plantas, lo que afecta notablemente la determinación del número de granos (Satorre 1999). Por otra parte, el peso de mil semillas no se ve afectado por el aumento de la densidad de plantas. Puckridge y Donald (citado por Satorre 1999), han demostrado que esta variable apenas sufre una disminución del 4 % cuando la densidad poblacional es de 1,4 a 1078 pl/m^2.

Tabla 2. **Rendimiento y peso de mil semillas de cuatro variedades de trigo sembradas a cinco densidades en dos años consecutivos. Fundación Nikkei – Cetapar. Yguazú. 2015**

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)				Peso de mil semillas (g)			
	Itapúa 80	CD 154	IPR Catuara	IPR 85	Itapúa 80	CD 154	IPR Catuara	IPR 85
1	2744^{*NS}	2740^{*NS}	2805^{*NS}	2738^{*NS}	35,1^{*NS}	33,3^{*NS}	37,9^{*NS}	38,5^{*NS}
2	2899	2710	2845	2775	35,5	34,0	38,9	38,5
3	2848	2834	3071	2929	35,6	34,3	38,5	38,7
4	2903	2814	2992	2825	34,6	34,4	38,2	39,2
5	2879	2791	2880	2749	33,7	31,2	38,6	39,1
CV (%)	**9,5**	**6,9**	**6,67**	**7,0**	**4,3**	**9,0**	**1,9**	**2,5**
DMS	**566,6**	**467,8**	**431,4**	**409,5**	**3,4**	**6,7**	**1,7**	**2,1**

*NS = No Significativo

CONCLUSIÓN

En las variedades estudiadas, el rendimiento de los granos no fue afectado por el aumento de la densidad de siembra. Las variedades presentaron patrones de respuesta similares al aumento de densidades de plantas. El peso de mil semillas no fue alterado por el aumento de la población de plantas.

Referencias

_ Anderson, WK. Impiglia. A. 2002. Management of dryland wheat. Consultado el 17 oct 2015. Disponible en: http://www.fao.org/

_ Chen, C. Neill, K. Wichman, D. Westcott, M. 2008. Hard red spring wheat response to row spacing, seeding rate, and nitrogen. Consultado el 02 nov 2015. Disponible en: https://dl.sciencesocieties.org/publications/

_ Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination. Edited by E. H. Satorre and G. A. Slafer. New York: Food Products Press (1999), pp. 503, US$125.00. ISBN 1-56022-874-1

Póster N° 4

Efecto de la Combinación de *Azospirillum brasilense* con el Tratamiento Químico de Semillas Sobre el Rendimiento de Trigo

Effect of a Combination of Azospirillum brasilense *and Chemical Seed Treatment on Wheat Yield*

Mónica Elizabeth Bogado Rotela[1], Guillermo Andrés Enciso Maldonado[1]

[1] Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay (CETAPAR), Yguazú, Paraguay

* Autor para correspondencia: *monibogado@gmail.com*; *m.bogado@cetapar.com.py*

INTRODUCCIÓN

Las bacterias del género *Azospirillum* son ampliamente conocidas por promover el incremento de biomasa y rendimiento del trigo debido a que anulan los efectos nocivos de uno o varios organismos patógenos y presentan la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, absorción incrementada de agua, nutrientes y de fitorreguladores (Madonni et al. 2003). El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del tratamiento químico de semillas de trigo combinado con la inoculación de *Azospirillum brasilense* sobre el rendimiento de granos de trigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en una parcela del campo experimental de la Fundación Nikkei-CETAPAR, Yguazú, Alto Paraná, Paraguay (25°24'33"S y 57°24'48"O), entre los meses de junio a octubre de 2015.

Los tratamientos estudiados fueron la inoculación de *Azospirillum brasilense* combinado con distintos tratamientos químicos de semilla (Tabla 1) sobre la variedad CD 150. La disposición de los tratamientos se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Las unidades experimentales estuvieron constituidas por 6 hileras de 6 m de largo y con espacio entre hileras de 0,2 m y el área útil por 6 hileras centrales, eliminando 0,5 m de los extremos.

Tabla 1. **Tratamiento, descripción y dosis empleados en el estudio: "Efecto de la combinación de *Azospirillum brasilense* con el tratamiento químico de semillas sobre el rendimiento de trigo". Fundación Nikkei – Cetapar, Yguazú, PY. 2015**

Tratamiento	Descripción	Dosis (cc/100 kg semilla)
T1	Testigo	-
T2	Sedaxano 5 %; Fludioxonilo 2,5 %; Difenoconazol 2,5 %	200
T3	Sedaxano 5 %; Fludioxonilo 2,5 %; Difenoconazol 2,5 % + *A. brasilense* (2,8 x 10^8 células viables/mL)	200 + 400
T4	Tebuconazole (13,5 %)	200
T5	Tebuconazole (13,5 %) + *A. brasilense*	200 + 400
T6	*A. brasilense* (2,8 x 10^8 células viables/mL)	400

Se evaluó el rendimiento y el peso de mil semillas (PMS) de cada tratamiento y repetición. Se realizó el análisis de varianza y las medias de los tratamientos se compararon con el test de Tukey al 5 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2 presenta los resultados obtenidos del rendimiento y del peso de mil semillas (PMS). El test de Tukey (al 5 %) no distingue diferencias significativas entre las medias de los tratamientos en cuanto al rendimiento y al PMS, sin embargo los tratamientos superaron al testigo entre 3 a 15 %. Algunas investigaciones de la última década han demostrado que la inoculación de semillas de trigo con *Azospirillum* produce, en pocos casos, el aumento significativo en el rendimiento (Pautasso 2010). Por otro lado se observa que el mayor rendimiento se obtuvo con T6. Hungría (2011) señala que es importante realizar mayores investigaciones para verificar la compatibilidad de *A. brasilense* con los principales agroquímicos utilizados en el tratamiento de semillas de trigo. Los resultados del PMS en este estudio difieren de los de Firpo et al. (2003), quienes observaron incrementos de hasta un 13% cuando inocularon trigo con *Azospirillum*.

Tabla 2. **Tratamiento, rendimiento y peso de mil semillas (PMS) en el estudio: "Efecto de la combinación de *Azospirillum brasilense* con el tratamiento químico de semillas sobre el rendimiento de trigo". Fundación Nikkei – Cetapar, Yguazú, PY. 2015**

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Peso de mil semillas (g)
1	1593*NS	21,58*NS
2	1705	22,25
3	1650	22,03
4	1707	22,10
5	1755	22,00
6	1883	21,93
CV (%)	**10,23**	**4,62**
DMS	**403,4**	**2,33**

* Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (p>0,05)
** NS = No significativo

CONCLUSIÓN

Bajo las condiciones en la que se realizó el experimento y acorde a los resultados obtenidos se concluye que el tratamiento de semillas de trigo con la combinación de *Azospirillum brasilense* + curasemillas químicos no presentan u efecto sobre el rendimiento.

Referencias

- Firpo, R. Santos, D. Peltzer, H. 2003. Inoculación de Trigo con Azospirillum: su efecto sobre el rendimiento ante distintas dosis de urea. Consultado en 01 nov 2015. Disponible en: www.inta.gov.ar
- Hungria, M. 2011. Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo/ Mariangela Hungria. – Londrina: EMBRAPA Soja, 2011. 36p.
- Maddonni, G. Ruiz, R. Vilariño, P. Garça, A. 2003. Capítulo 17: Dinámica de los Nutrientes en el Sistema
- Suelo-Planta. En Producción de Granos. Bases Funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía. p. 469-474.
- Pautasso, JM. 2010. Efectos de la inoculación de semillas de trigo sobre el rendimiento y sus componentes. INTA AER Diamente. Actualización Técnica N° 1 – CULTIVOS DE INVIERNO 2010. 109 – 112 p.

Póster N° 5

Detección Molecular del Cluster de Genes Lr37-Yr17-Sr38 en Líneas Avanzadas Paraguayas de Trigo Pan (*Triticum aestivum* L.)

Detection of Molecular Cluster of Lr37-Yr17-Sr38 Genes in Advanced Bread Wheat (Triticum aestivum L.) *Lines of Paraguay*

Cardozo Téllez, L.[1]; Kohli, M.[2]

[1] Centro de Investigación Hernando Bertoni (CIHB) - Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA)

[2] Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO)

INTRODUCCIÓN

Los genes *Lr37, Yr17 y Sr38* confieren resistencia genética a la roya de la hoja (*Puccinia triticina* Eriks), roya amarilla (*Puccinia striiformis* West f. sp. tritici) y roya del tallo (*Puccinia graminis* Pers. f.sp. tritici), respectivamente (McIntosh *et al.*, 1995). Estos genes se localizan en el segmento cromosómico 2NS de *Triticum ventricosum* (Tausch) Cess. Este fragmento cromosómico fue translocado al brazo corto del cromosoma 2AS del trigo pan (*Triticum aestivum* L.) (Bariana y McIntosh, 1993). En Paraguay este segmento ha sido también relacionado con la resistencia a *Pyricularia* o Brusone.

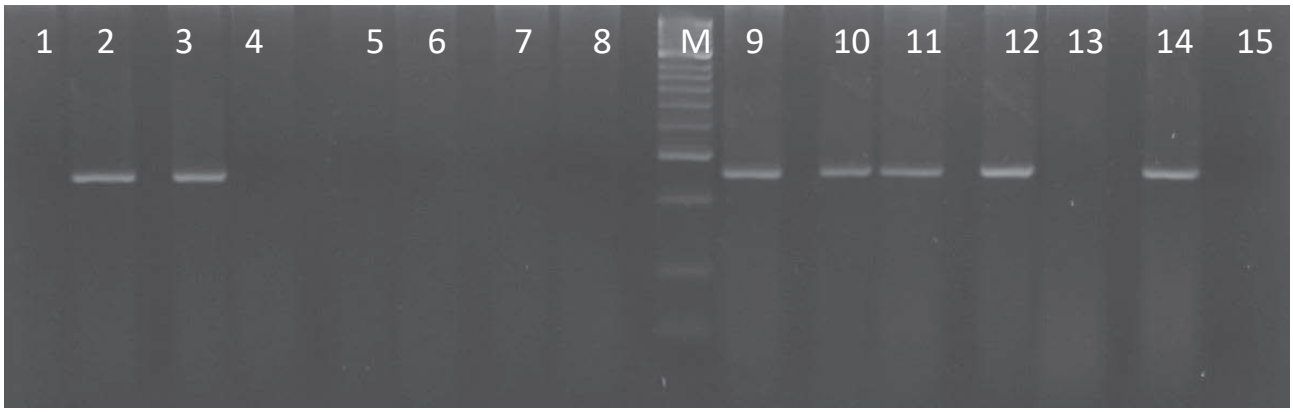
MATERIALES Y MÉTODOS

- **Material biológico:** Se analizaron 70 líneas avanzadas de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) desarrolladas por el Programa de Mejoramiento Genético de Trigo del IPTA.
- **Extracción de ADN:** siguiendo el protocolo de Dellaporta *et al.* (1983).
- **PCR:** según el protocolo de Helguera *et al.* (2003). Se utilizaron primers específicos para el fragmento 2NS (VENTRIUP/LN2).
- **Electroforesis:** gel de agarosa 2%, tinción con bromuro de etidio

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron muestras que presentaban el cluster *Lr37-Yr17-Sr38 y* amplificaron el fragmento esperado de 259pb (Fig. 1).

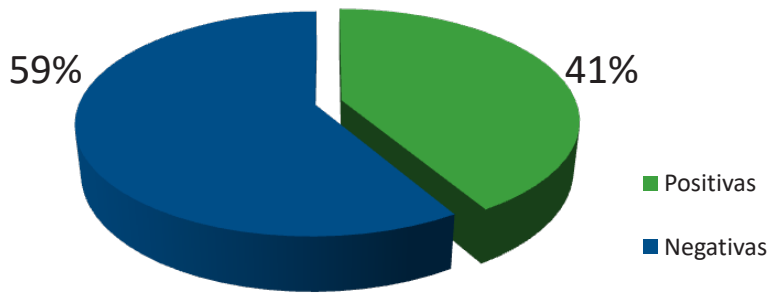
Figura 1. **Amplificación por PCR con cebadores específicos para el fragmento 2NS. Carriles 1-12: líneas avanzadas, 13: Caninde 11 (Control negativo), 14: Milán (control positivo), 15: control PCR (sin muestra), M: marcador Hyperladder 50bp**



Se debe considerar que se utilizó un marcador dominante, por tanto las plantas que tengan el fragmento 2NS translocado, ya sea en homocigosis o heterocigosis, presentan el amplicón de 259pb.

De las 70 muestras analizadas, el 41% presentó la translocación 2NS-2AS, y por tanto los genes *Lr37, Yr17* y *Sr38* (Fig. 2). Estos materiales serán considerados como candidatos para las pruebas de Brusone a nivel de campo y laboratorio.

Figura 2. **Presencia del cluster *Lr37-Yr17-Sr38* en las líneas avanzadas analizadas**



CONCLUSIÓN

La detección del cluster de genes *Lr37-Yr17-Sr38* en líneas avanzadas ayudará al uso de estos materiales en el Programa de Mejoramiento para resistencia a Brusone.

Referencias

- Bariana, H.S. y R.A. McIntosh. 1993. Cytogenetic studies in wheat XIV. Location of rust resistance genes in VPM1 and their genetic linkage with other disease resistance genes in chromosome 2A. Genome 36:476–482.
- DeWolf, E.; Shroyer, J.P. y Olson B. 2011. Wheat disease identification. U.S. Department of Agriculture (USDA).
- Dellaporta, S.; Wood, J. y Hicks, J.B. 1983. A plant DNA minipreparation: Version II. Plant Molecular Biology Reporter 1 (4): 19-21.
- Helguera, M.; Khan, I.A.; Kolmer, J..; Lijavetzky, D.; Zhong-qi, L. y J. Dubcovsky. 2003. PCR assay for the Lr37-Yr17-Sr38 cluster of rust resistance genes and their use to develop isogenic hard red srping wheat lines. Crop Science 43: 1839-1847.
- McIntosh, R.A.; C.R. Wellings y R.F. Park. 1995. Wheat Rusts, an Atlas of Resistance Genes. CSIRO, Melbourne, Australia.

Póster N° 6

Selección de la Dosis de Inóculo Adecuada para la Inoculación de Materiales de Trigo con *Pyricularia oryzae*

Selecting Appropriate Inoculum Dosage for Inoculation of Wheat Germplasm with Pyricularia oryzae

Alice Rocío Chávez[1]*, Cinthia Carolina Cazal Martinez[1], Alfredo Jesús Rojas Ozuna[2], Man Mohan Kohli[3]

[1] Técnico Investigador Proyecto Pyricularia en trigo, USDA. CAPECO

[2] Técnico Investigador Centro de Investigación Hernando Bertoni, IPTA

[3] Consultor Internacional, CAPECO

*alice.r.chavez@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El brusone del trigo es una enfermedad causada por *Pyricularia oryzae* (teleomorfo *Magnaporthe oryzae*) (Couch et al., 2005) considerada de importancia económica en la región pues las epidemias de brusone del trigo están restringidas principalmente al noroeste argentino, llanos bolivianos, sur y centro sur de Brasil y Paraguay (Kohli et al. 2011). Debido a su importancia, las investigaciones están enfocadas a la búsqueda de fuentes de resistencia, mediante la inoculación y evaluación de materiales; muchos de estos trabajos mencionan concentraciones de inóculo de entre $2{,}5.10^4$ conidios/ml^{-1} y 1.10^6conidios/ml^{-1}, no habiendo una concentración estándar para las evaluaciones. El trabajo busco seleccionar una concentración de inóculo de *P. oryzae* que permita distinguir materiales resistentes y susceptibles al hongo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el Laboratorio de Fitopatología del Centro de Investigación Hernando Bertoni durante los meses de octubre de 2014 a enero de 2015. El diseño experimental empleado fue el completamente al azar, con 6 tratamientos, consistentes en 3 concentraciones de inóculo ($2{,}5.10^4$, $7{,}5.10^4$ y 1.10^5 conidios/ml^{-1}) y 2 variedades (Canindé 11 y Milan), con 3 repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por 2 macetas, con 4 plantas de cada una de las variedades. La inoculación se llevó a cabo 2 meses después de la emergencia, pulverizando las hojas con suspensiones de las diferentes concentraciones. Una vez inoculadas las plantas fueron mantenidas en oscuridad por 24 horas a 26°C con humedad del 90%. Posteriormente fueron mantenidas con fotoperiodo de 12 horas. La evaluación se llevó a cabo 8 días después de la inoculación, clasificando las lesiones de acuerdo a la escala propuesta por Valent et al. (1991) en la cual las lesiones son clasificadas en 6 categorías:

0 = Sin infección

1 = Lesiones puntuales del tamaño de una cabeza da alfiler de color marrón

2= Lesiones elípticas o estriadas de 2 mm o más sin centro distinguible

3 = Lesiones redondeadas con borde oscuro y centro ceniza, en algunos casos con halo amarillo

4 = Lesiones típicas del brusone, elípticas con borde oscuro y centro ceniza

5 = Lesiones coalescentes, semejantes a quemaduras redondeadas con centro gris oscuro

Las lesiones de tipo 0, 1 y 2; son consideradas de tipo resistente, puesto que no esporulan cuando se someten a las condiciones favorables. Y las lesiones de tipo 3, 4 y 5 son de tipo susceptible.

Los datos obtenidos fueron promediados, luego sometidos al ANAVA y al test de Tukey al 5% utilizando el programa INFOSTAT.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados en cuanto al tipo de lesión causado por el hongo con las diferentes concentraciones de conidios se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. **Promedio del tipo de lesión causado por *Pyricularia oryzae* en hojas de las variedades Milan y Canindé 11 con las diferentes concentraciones de inóculo**

Concentración conidios/ml^{-1}	Milan	Canindé 11
2,5.10^4	1 a*	3,3 b
7,5.104	1 a	3,3 b
1.105	1 a	3,6 b

* Test de Tukey. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Independientemente de la concentración empleada, las variedades inoculadas se mostraron estadísticamente diferentes; siendo la concentración de 1.10^5 conidios/ml^{-1} en la variedad Canindé 11, la que presentó tipos de lesión de mayor grado.

CONCLUSIÓN

Las variedades Milan y Canindé 11 se comportaron diferente (Resistente y susceptible), independientemente de la dosis por lo tanto se puede utilizar la dosis más baja (2,5.10^4 conidios/ml^{-1}) para futuros ensayos.

Referencias

_ Couch, BC; Fudal, I; Lebrun, MH; Tharreau, D; Valent, B; Van Kim, P; Nottéghem, JL; Kohn, LM. 2005. Origins of host-specific populations of the blast pathogen Magnaporthe oryzae in crop domestication with subsequent expansion of pandemic clones on rice and weeds of rice. Genetics 170(2): 613-630.

_ Kohli, MM; Mehta, YR; Guzman, E; de Viedma, L; Cubilla, L. 2011. Pyricularia Blast- A threat to Wheat Cultivation. Czech. J. Genet. Plant Breed., 47: S130-S134. 2011(Speacial Issue).

_ Valent, B; Farral, L; Chumley, F. 1991. Pyricularia oryzae genes for pathogenicity and virulence identified through a series of backcrosses. Genetics 127. P 87-101

Póster N° 7

Esporulación de *Pyricularia oryzae* en Diferentes Medios de Cultivo

Sporulation of Pyricularia oryzae *in different culture media*

Alice Rocío Chávez[1*] y Mohan Kohli[2]

[1*] Técnico Investigador Proyecto Pyricularia en trigo, USDA. CAPECO alice.r.chavez@gmail.com

[2] Consultor Internacional, CAPECO

INTRODUCCIÓN

El hongo *Pyricularia oryzae* (teleomorfo *Magnaporthe oryzae*) (Couch et al. 2005), agente causal del brusone del trigo, forma conidios piriformes, obclavados, con base circular y ápice fino, levemente oscuros o hialinos (Bedendo y Prabhu 2005). Soave et al. (1975), señalan que este patógeno presenta baja capacidad de esporulación y crecimiento lento en laboratorio, lo cual dificulta la producción de inóculo; así también Cruz et al. (2009) mencionan que la esporulación de *P. oryzae* se ve afectada entre otros factores por la composición del medio de cultivo y por el régimen de luz. Estas características hacen necesario realizar pruebas locales con diferentes medios de cultivo, a fin de encontrar uno que permita una mayor esporulación, y pueda ser utilizado en la producción de inóculo para la realización de pruebas de selección de materiales genéticos a la enfermedad. Este trabajo tuvo por objetivo seleccionar un medio de cultivo adecuado para la esporulación de *P. oryzae*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el Laboratorio de Fitopatología del Centro de Investigación Hernando Bertoni (CIHB). El aislado utilizado fue obtenido durante el ciclo 2013, de una espiga de trigo, proveniente de una parcela comercial del distrito de Capitán Miranda, Departamento de Itapúa. El diseño experimental utilizado fue el completamente al azar, con 4 tratamientos y dos repeticiones. Los tratamientos se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. **Medios de cultivo utilizados y su composición**

Tratamiento	Medio de Cultivo
1	Agar-harina de avena
2	Agar-semillas de trigo
3	Agar-espigas de trigo
4	V8 casero

Un disco de 5 mm de diámetro con cultivo puro del hongo fue sembrado en cada Placa de Petri. Las placas fueron incubadas a 28 ºC, con fotoperiodo de 12 horas durante 10 días, luego, conforme a la recomendación de Marangoni (2014), el micelio fue aplastado con una varilla de vidrio, y las placas puestas bajo luz continua, sin tapa, por 48 horas para favorecer la esporulación. La cuantificación de las esporas se realizó empleando la cámara de Neubauer, tomando 5 muestras por placa, y los valores obtenidos fueron promediados. Los datos obtenidos fueron sometidos al análisis de varianza (ANAVA), y al test de Tukey al 5%.

RESULTADOS

El medio de cultivo que presentó la mayor concentración de conidios fue Agar-Harina de avena, mostrándose estadísticamente diferente a los demás. Los medios de cultivo compuestos por Agar-Espigas de Trigo y V8 casero, también presentaron concentraciones apreciables, pudiendo ser considerados como una opción. Los promedios de concentración de conidios de los diferentes medios de cultivo se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. **Promedio de concentración de conidios/ml de *Pyricularia oryzae* en diferentes medios de cultivo**

Medio de cultivo	Concentración de conidios/ml
Agar-Harina de avena	$4{,}1.10^6$ A
Agar-Espigas de Trigo	$3{,}2.10^6$ AB
V8 casero	$2{,}1.10^6$ AB
Agar-Semillas de Trigo	$2{,}7.10^5$ B

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

CONCLUSIÓN

Los mejores resultados para la esporulación de *Pyricularia oryzae* fueron obtenidos con el medio Agar-Harina de avena, siendo el medio seleccionado para los futuros trabajos de multiplicación de inoculo.

Referencias

_ Couch, BC; Fudal, I; Lebrun, MH; Tharreau, D; Valent, B; Van Kim, P; Nottéghem, JL; Kohn, LM. 2005. Origins of host-specific populations of the blast pathogen Magnaporthe oryzae in crop domestication with subsequent expansion of pandemic clones on rice and weeds of rice. Genetics 170(2): 613-630.

_ Bedendo, IP; Prabhu, AS. 2005. Doenças do arroz (*Oryza sativa*). In Kimati, H; Amorim, L; Rezende, JAM; Bergamin Filho, A; Camargo, LEA. Manual de fitopatologia. Doenças das plantas cultivadas. 4 ed. Sao Paulo, BR. Ceres. v. 1, 663 p.

_ Cruz, MF; Prestes, A; Maciel, JL.2009. Esporulação e crescimento vegetativo de *Pyricularia grisea* em diferentes meios de cultura e regimes de luz. Ciencia Rural. v.39, n.5, p.1562-1564.

_ Marangoni, M. 2014. Comunicación personal.

_ Soave, J.; Galli, F; Kimati, H. 1975. Estudo do crescimento vegetativo e da esporulação de *Pyricularia oryzae* Cavara, em diferentes meios de cultura. *Summa Phytopathologica*, São Paulo, v.1, n.4, p.258-266.

Póster N° 8

Eficiencia de Fungicidas en el Control de *Pyricularia oryzae* en Semillas de Trigo In Vitro

Efficiency of fungicides to Control Pyricularia oryzae *in Vitro in Wheat Seeds*

Alice Rocío Chávez[1*] y Mohan Kohli[2]

[1*] Técnico Investigador Proyecto Pyricularia en trigo, USDA. CAPECO alice.r.chavez@gmail.com

[2] Consultor Internacional, CAPECO

INTRODUCCIÓN

El brusone del trigo, causado por *Pyricularia oryzae* (teleomorfo Magnaporthe oryzae) (Couch et al., 2005) es una enfermedad cuyo principal daño es la disminución del rendimiento y pérdida de calidad del grano. Este patógeno puede sobrevivir en semillas, siendo las mismas uno de los mecanismos de trasmisión e introducción del patógeno en una región. El tratamiento de semillas con fungicidas se realiza para reducir al mínimo posible los niveles de transmisión de patógenos, la eficiencia de este método para el control de *P.* oryzae ya fue observada por Goulart y Paiva (1996), sin embargo, con la aparición de nuevos productos químicos, es necesario realizar ensayos para comprobar la eficiencia de dichos productos. El objetivo del trabajo fue evaluar la eficiencia de los fungicidas actualmente utilizados a nivel de campo para el control de *P.* oryzae, en semillas de trigo

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el laboratorio de Fitopatología del Centro de Investigación Hernando Bertoni. Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones, la unidad experimental fueron dos placas de Petri con 50 semillas de trigo cada una, teniendo en total 100 semillas por repetición y 300 semillas por tratamiento. Los tratamientos se describen en la tabla 1.

Tabla 1. **Tratamientos utilizados en el experimento**

Tratamiento	Principio activo	Nombre comercial	Dosis
1	Azoxystrobin + Ciproconazole	Genesis Duo	325 cc ha^{-1}
2	Tebuconazole	Tricur	750 cc ha^{-1}
3	Trifloxystrobin + Ciproconazole	Sphere Max	150 cc ha^{-1}
4	Piraclostrobin + Epoxiconazole	Opera	1000 cc ha^{-1}
5	Testigo (Suspensión de Pyricularia)		

Para la preparación del inóculo se rasparon 4 placas de Petri con cultivo puro de hongo, junto con 10 ml de agua destilada estéril en cada una, posteriormente la suspensión se agitó por 10 minutos en un agitador, luego se procedió al conteo de conidios empleando la cámara de Neubauer, se ajustó la concentración de conidios a 1.10^6 ml^{-1}. La infección de las semillas se realizó adaptando la metodología propuesta por Orrego et al. (2009) para lo cual, se colocaron las semillas en vasos de plástico, luego a

cada vaso se le agregó 5 ml de la suspensión de conidios y se agitó por 10 minutos. Posteriormente las semillas se dejaron secar sobre papel absorbente por 24 horas. Los fungicidas se prepararon a razón de un litro, de acuerdo con las dosis indicadas en la Tabla 1, teniendo en cuenta un volumen de caldo 600 litros ha^{-1}. Luego a cada grupo de semillas se le añadió 5 ml de la suspensión de fungicida y se agitó por 10 minutos. Posteriormente se dejó secar por 2 horas. Una vez secas las semillas, se procedió a la siembra de las mismas en placas de Petri con medio de cultivo PDA, a razón de 50 semillas por placa. Estas placas fueron incubadas por 5 días a 25°C. Para la evaluación se tuvo en cuenta el número de semillas infectadas en cada placa, expresando el número total de semillas infectadas por repetición en porcentaje. Los datos obtenidos fueron sometidos al test de Tukey al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los fungicidas Tebuconazole y Piraclostrobin + Epoxiconazole, representaron los tratamiento que controlaron la infección de *Pyricularia oryzae* en semilla por completo, no habiendo diferencias estadísticas entre los mismos (Tabla 2). De igual manera no se hallaron diferencias significativas entre las mezclas de Azoxystrobin + Ciproconazole y Trifloxystrobin + Ciproconazole y ambos tratamientos presentaron un nivel bajo de infección.

Tabla 2. **Porcentaje de infección de los tratamientos**

Tratamiento	% de infección
Tebuconazole	0 a
Piraclostrobin + Epoxiconazole	0 a
Trifloxystrobin + Ciproconazole	9,6 b
Azoxystrobin + Ciproconazole	14 b
Testigo (Suspensión de Pyricularia)	100 c

Test de Tukey 5%. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes p > 0,05
CV = 13,57

Teniendo en cuenta la finalidad del tratamiento de semillas, los fungicidas Tebuconazole y Piraclostrobin + Epoxiconazole serán recomendable para eliminar la infección de *Pyricularia oryzae* ya que lograron a reducir totalmente la presencia del patógeno en semillas de trigo.

CONCLUSIÓN

Los fungicidas Tebuconazole y Piraclostrobin + Epoxiconazole en la dosis de 750 cc/ha y 1000 cc/ha respectivamente fueron capaces de eliminar la infección de *Pyricularia oryzae* en las semillas de trigo. Considerando el alto nivel de infección de la enfermedad en los campos comerciales de semilla durante 2014 y 2015, será recomendable usar estos fungicidas para lograr la limpieza de la semilla para el próximo ciclo del cultivo.

Referencias

_ Couch, BC; Fudal, I; Lebrun, MH; Tharreau, D; Valent, B; Van Kim, P; Nottéghem, JL; Kohn, LM. 2005. Origins of host-specific populations of the blast pathogen Magnaporthe oryzae in crop domestication with subsequent expansion of pandemic clones on rice and weeds of rice. Genetics 170(2): 613-630.

_ Goulart, A; Paiva, F. 1996. Efeito do tratamento de sementes de trigo (*Triticum aestivum* L.) com fungicidas para controle de Helminthosporium sativum e Pyricularia oryzae. Ciencia e Agrotecnologia, 20(1) 25-30.

_ Orrego, A; Grabowski, C; Rodriguez, H; Soilan, L. 2009. Eficiencia de fungicidas para el control de Macrophomina phaseolina en semillas de soja, en condiciones in vitro. In: Orrego, A. Macrophomina phaseolina. Hongo causante de la pudrición carbonosa del tallo. INBIO, FCA, UNA. 109 p.

Póster N° 9

Efecto del Medio de Cultivo Natural y Sintético Sobre el Crecimiento y Coloración de Colonias de *Fusarium graminearum*

Effect of the Natural and Synthetic Culture Media on Growth and Color of Fusarium graminearum *Colonies*

Fátima Thompson[1], Sofia Irrazabal[1], Miguel Samaniego[1], Marcos Florentin[1], Pedro Santa Cruz[1], Cinthia Cabera[1], Andrea Ucedo[1], Lourdes Martínez[2], Andrea Alejandra Arrúa Alvarenga[3], Juliana Moura Mendes Arrúa[3]

[1] Estudiante de la Carrera de Biotecnología, FACEN, UNA.

[2] Encargada de Laboratorio de Biotecnología, FACEN, UNA.

[3] Docente Investigador- Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas, CEMIT-UNA. Docente Encargado de Cátedra. Carrera de Biotecnología, FACEN, UNA.

Autor de correspondencia: fatiithompson@gmail.com; jmmarrua@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El medio de cultivo es un producto fundamental para el crecimiento y desarrollo de los hongos en condiciones de laboratorio. El caso particular de los *Fusarium*, el PDA, papa dextrosa agar es recomendado para la evaluación del crecimiento y coloración de las colonias, por tanto se requiere que las mismas crezcan de la manera más uniforme posible. La des uniformidad de estas características puede llevar a confusiones, sobre todo en personas menos entrenadas, por tanto es de suma utilidad establecer si los medios de cultivo naturales o sintéticos poseen algún efecto negativo para el desarrollo de las colonias.

OBJETIVO

Evaluar el efecto del medio de cultivo natural y sintético, PDA sobre el crecimiento y coloración de las colonias de *Fusarium graminearum*

METODOLOGÍA

Preparación del medio de cultivo:

- **Medio natural:** se pesaron 200 gramos de papa, que posteriormente fueron cocidas. El caldo resultante se enraso a 1.000 ml con agua destilada. Se adicionaron 20 gramos de dextrosa (Biopak) y 20 gramos de agar bacteriológico (Sigma. Aldrich).
- **Medio sintético:** Se pesaron 39 gramos de papa dextrosa agar (Merk) y se disolvió según instrucciones del fabricante.

Posteriormente los medios fueron autoclavados a 15 PSI por 20 minutos y colocados en placas de Petri descartables de 9 cm de diámetro.

Se sembraron por triplicado 4 cepas previamente identificadas como *Fusarium graminearum* y pertenecientes a la Colección del Laboratorio de Biotecnología del CEMIT- UNA (Cepas 167, 240 y 330), en el centro de cada placa, posteriormente se incubaron a 22 °C. Se realizaron mediciones con un calibre electrónico a las 24 y 48 horas posteriores a la siembra. La coloración del haz y envés de las colonias se observó al final del experimento.

Los datos obtenidos fueron analizados por medio del programa Infostat. Se realizo la Prueba de Tuckey al 5%. En cuanto al color el análisis realizado fue visual.

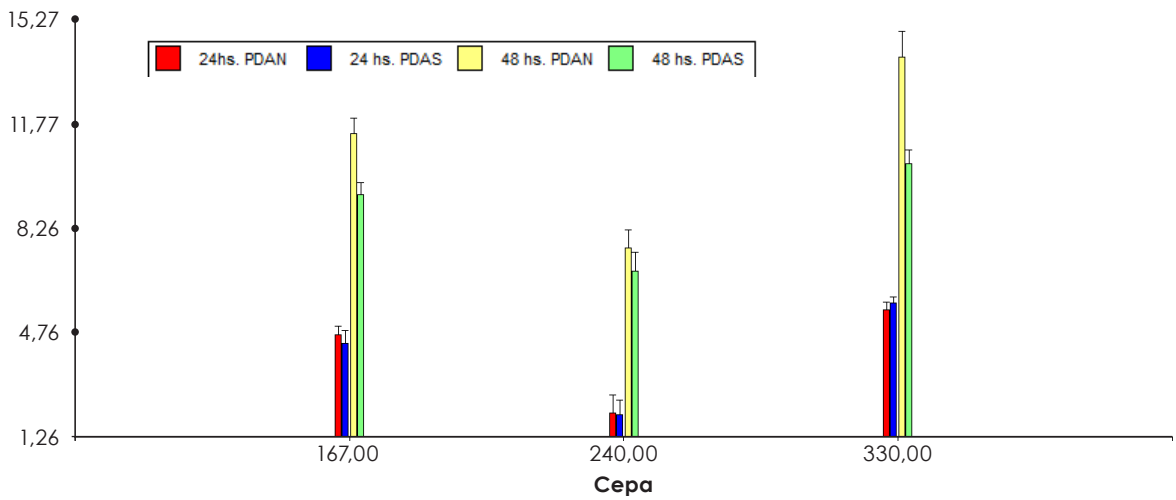
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La coloración de las colonias en los medios fue variable. En medio PDA natural, a misma fue más uniforme entre las diferentes cepas, sin embargo en medio PDA sintético fue altamente variable entre las mismas.

La uniformidad de crecimiento también se vio afectada. En medio PDA sintético, una cepa presentó crecimiento tipo ameboide e irregular, mientras que en PDA natural, en la misma cepa el crecimiento fue radial y uniforme.

A las 24 hs. De crecimiento, las cepas 167 y 240 presentaron un mayor crecimiento en medio PDA natural. A las 48 horas, todas las cepas estudiadas presentaron mayor crecimiento en PDA natural. Esto podría deberse a la alta riqueza en nutrientes que presenta la papa natural en comparación con los valores estandarizados presentes en un medio comercial. En medio natural se observó mayor uniformidad de crecimiento en las tres cepas estudiadas.

Imagen 1. **Efecto del medio de cultivo PDA natural y PDA sintético en el crecimiento de cepas de *Fusarium graminearum***



CONCLUSIÓN

El medio de cultivo natural y sintético presentó efecto sobre la coloración y crecimiento de las colonias. En PDA natural, los crecimientos y coloraciones fueron más uniformes en comparación con el medio sintético.

Imagen 2. **Crecimiento Ameboide en medio PDA sintético versus crecimiento radial y uniforme en medio PDA natural**

Referencias

_ Agrios, G. 2005. Fitopatología. México D.F. Limusa Noriega Editores. p. 332 - 335.

_ Alexander, M. 1994. Introducción a la microbiología del suelo. Segunda edición, AGT Editor, S.A. 491 p.

Póster N° 10

Determinación de la Variabilidad de la Germinación de Conidias de *Fusarium* sp.

Determination of Germination Variability in Conidia of Fusarium sp.

Reyes, Magaliz[1], Arrúa, Andrea[2], Moura Mendes, Juliana[2], Cazal, Cinthia*[3]

[1] Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad Nacional de Asunción San Lorenzo, Paraguay.

[2] Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas, Dirección General de Investigación Científica y Tecnológica, Universidad Nacional de Asunción San Lorenzo, Paraguay.

[3] Cámara Paraguaya de Exportadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO).

* Autor para correspondencia (cccazalm86@gmail.com)

INTRODUCCIÓN

El género de hongos *Fusarium* representa a un grupo de microorganismos de gran relevancia, como patógeno del trigo se le atribuye la enfermedad de la fusariosis de la espiga (FE) y es causante de pérdidas económico importantes en dicho rubro a nivel mundial (USDA, 2015). El ciclo de la enfermedad presenta dos fases de desarrollo del hongo, una parasítica en donde el patógeno se desarrolla sin alterar las funciones del tejido colonizado y una fase saprofitica en la cual el hongo sobrevive a partir de tejido muerto, dicho ciclo se encuentra sujeto a la germinación de las esporas generadas por el hongo (Mazilli, et al, 2007). La cinética germinativa a su vez se ve afectada por factores físicos (temperatura, precipitaciones, viento etc.), fisicoquímicos (pH, humedad, salinilidad, presión osmótica, etc. pudiendo ser también una característica propia de la cepa (Arrubla et. al., 2010). Siendo consideradas las esporas como el inoculo primario de la enfermedad y su germinación como el inicio del ciclo de la FE del trigo, es necesaria la evaluación de factores involucrados en la germinación de conidias, clamidosporas y ascosporas (Pereyra et.al., 2004).

OBJETIVO

Evaluar la variabilidad el porcentaje de germinación de conidias en suspensión de *Fusarium sp.*

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue llevado a cabo en el Laboratorio de Biotecnología de la Dirección General del Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas (DG-CEMIT). Los aislados de *Fusarium* sp identi-

ficadas como: C-095, C-110, C-150 y C-395 forman parte del cepario de dicho centro. Los mismos fueron sembrados en medio específico para esporulación CLAm (Carnation Leaf agar, modificado) (Cazal et. al., 2014). Las placas de petri se incubaron a 22 °C, bajo luz constante en un periodo de ocho días. Se preparó una solución de conidias agregando 10mL de agua estéril y autoclavada al medio. El recuento se llevó a cabo con una cámara de Neubauer previo ajuste de concentración de conidias a 6.10^4conidias.mL^{-1}. Se evaluó el porcentaje de conídias germinadas al día 1 después de la preparación se la suspensión (DPS) y los días 2, 6 y 8 DPS.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Se ha observado que existen diferencias entre asilados según su el porcentaje de germinación de conídias evaluadas, donde las C-110 y C-95 presentaron una media de germinación de 0,32 y 11,75 % de germinación a los 8 días DPS respectivamente. En cuanto a la C-150 presentó un 100 % de conídias germinadas a los 6 días DPS, mientras que, la C-395 obtuvo el 100 % de germinación a los 8 días DPS. Méndez y Pérez, 2006 han evaluado la producción, germinación y el tamaño de esporas en aislados de *Fusarium* variando la presión osmótica del medio, encontrando diferencias en cuanto a estos parámetros en las cepas evaluadas.

CONCLUSIÓN

Se puede concluir diciendo que se evidencia una variabilidad entre aislados según su porcentaje de germinación en suspensión.

Referencias

_ ARRUBLA. P, CÁRDENAS. M y POSADAS. F 2010 Efecto de la humedad relativa sobre la germinación de las esporas de *Beauveria bassiana* y la patogenicidad a la broca del café *Hypothenemus hampei* . Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 67-76, 2010

_ CAZAL, C.C.; ARRÚA, A.; MENDES, J.M.; DUJAK, C.; OVIEDO DE CRISTALDO, R.; KOHLI, M.M. 2014. Comparación del efecto de dos medios de cultivos de origen natural sobre la esporulación de especies de

_ *Fusarium graminearum*. In: 3er. Congreso Nacional de Ciencias Agrarias ago. 2014: 498-499

_ MAZILLI. S, PÉREZ. C y ERNST. O 2008 Fusariosis de la espiga de trigo: Características de la enfermedad y posibilidades de uso de modelos de predicción para control químico. Agrociencia XI 11- 21

_ MÉNDEZ. K & PÉREZ. N 2006 Potencial Osmótico Variante y el crecimiento In Vitro y la patogenicidad del Frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) de *Fusarium* spp. Revista Mexicana de Fitopalogia 24 88-99

_ PEREYRA. S, DILL MACKY. R & SIMS. L 2004. Survival and inoculums production of Gibberella Zeae in wheat residue. Plant Disease 88 (7) 724 - 730

_ USDA (United States Department of Agriculture) 2015. FHB Epidemic in wheat and barley – overview. Consultado el 07-nov-2015. Disponible en: http://www.ars.usda.gov/Main/docs.htm?docid=9765

Póster N° 11

Promoción de Germinación y Crecimiento de Semillas de Trigo Utilizando *Bacillus* sp.

Use of Bacillus sp. *to Promote Germination and Growth of Wheat Seeds*

Cinthia Mabel Rojas Abraham[1], Yessica Magaliz Reyes Caballero[1], Alba María Ramírez Vega[1], Shaun Patrick Mcgahan Silva[2], Lizza Gisselle Roman Miño[2], Cinthia Carolina Cazal Martínez[5], Danilo Fernandez Rios[4],Juliana Moura Mendez Arrúa[3], Andrea Alejandra Arrúa Alvarenga[3]

[1] Iniciación Científica- CEMIT-UNA
[2] Iniciación Científica- Departamento de Biotecnología- Facen-UNA
[3] Docente Investigador- Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas, CEMIT-UNA
[4] Docente Investigador de Tiempo Completo, FAEN-UNA.
[5] Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas, CEMIT-UNA

INTRODUCCIÓN

Se ha incursionado bastante en los últimos tiempos en los ensayos de promoción de germinación de semillas y crecimiento de plántulas forestales como de interés agrícola utilizando microorganismos controladores biológicos para llegar a tal fin. Entre las características deseables de estos microorganismos se encuentran el poder de protección que proveen a las plantas frente a patógenos y la eficacia para competir contra ellos por nutrientes. Los ensayos con especies forestales y con fines agrícolas utilizando *Azospirillum*, *Pseudomonas, Anacardium* y *Bacillus* han obtenido resultados prometedores. En el presente trabajo se empleó bacterias del genero *Bacillus* para los ensayos de promoción de germinación y crecimiento de semillas de trigo. Se seleccionaron 5 cepas de bacterias del genero *Bacillus* (B1, B2, B3, B14 Y B5) para dichos ensayos.

OBJETIVO

Evaluar la germinación y promoción del crecimiento de semillas de trigo tratadas con cepas del genero *Bacillus* en comparación con las semillas sin el tratamiento.

METODOLOGÍA

El ensayo fue efectuado en el laboratorio de Biotecnología del Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas (CEMIT). Las cepas de *Bacillus sp* fueron sembradas en medio líquido extracto de carne durante 5 días a 30˚ C sin agitación. Las semillas de trigo fueron tratadas con hipoclorito de Sodio al 3% por 30 segundos y luego lavadas con agua destilada, posteriormente fueron inoculadas con las cepas bacterianas, sumergiéndolas en una suspensión por 1 minuto. Se retiraron las semillas y se dejaron secar en papel de filtro autoclavado. Se llevó a cabo pruebas de poder germinativo para lo cual se sembraron las semillas en placas de Petri con papel de filtro humedecido con agua destilada autoclavada, 10 semillas por placa por cepa, se llevó a cuarto de cultivo a 25˚C. Se registraron resultados a las 24 y a las 48 horas. Por otro lado se sembraron las semillas en macetas, exponiéndolas a sol y temperatura ambiente fuera del laboratorio. Se retiraron las plántulas al cabo de 15 días, se evaluó longitud de las raíces y peso seco de las mismas. Cada ensayo fue efectuado por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos comparando las cepas seleccionadas con los controles muestran que las bac-

terias promueven la germinación de semillas y el crecimiento de las plántulas de trigo, siendo B5 la cepa de mayor eficacia tanto en porcentaje de germinación como en longitud de las raíces.

Se observaron diferencias significativas en referencia al peso seco de las raíces con respecto al testigo. La cepa B5 fue la que produjo plantas con pesos de raíces más elevados con relación al Testigo (T6) y a las demás cepas estudiadas; en cuanto a la longitud de las raíces, como se oberva en la Imagen 1., nuevamente fue B5 aquella que produjo raíces más largas en las plantas tratadas con relación a las demás cepas utilizadas y al testigo.

Imagen 1. **Longitud de raíces de plantas de trigo B1, B2, B3, B4 Y B5, cepas de *Bacillus* sp. T6, Testigo**

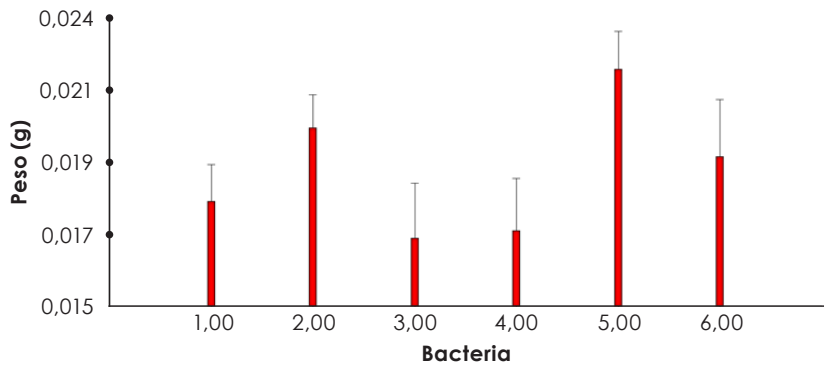
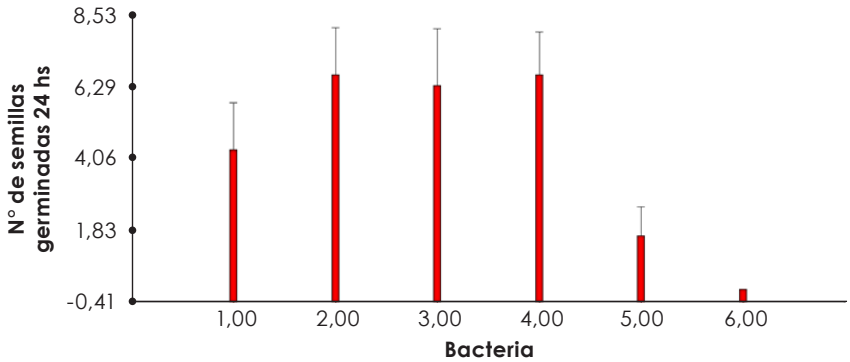


Imagen 2. **Germinación de semillas de trigo B1, B2, B3, B4 Y B5, cepas de *Bacillus* sp. T6, Testigo**



El efecto sobre la germinación se observa en la Imagen 2., donde se presentaron diferencias significativas entre tratamientos y entre tratamientos y el Testigo. Las bacterias 2 y 4 fueron las que promovieron niveles de germinación más elevados.

CONCLUSIÓN

Evaluando los resultados obtenidos se pudo apreciar que es efectiva la promoción de germinación de crecimiento utilizando *Bacillus sp*, y también puede rescatarse que hay cepas más eficientes como es el caso de la B5 en comparación con las 4 cepas restantes. Estos resultados potencian el empleo de estas cepas para su aplicación agrícola, mientras menor sea el tiempo en el que la semilla tarda en desarrollarse, menor es el porcentaje de exposición en que se encuentra al ataque potencial de patógenos, así como tanto mayor sea la longitud de las raíces, la plántula obtiene mayor ventaja en la captación de agua, minerales y nutrientes.

Referencias

_ Barreto, D. 2007. Efecto de Microorganismos Rizosfericos sobre Germinacion y Crecimiento Temprano de *Anacardium Excelsum.* Zonas Aridas 11 Vol. 1. 240-246

_ García, I. 2012. Microorganismos Promotores del Crecimiento Vegetal. XII Congreso de Suelos de Ecuador. 12-15

_ Jacas, J. Caballero, P. Avilla, J. 2005. El Control Biológico de Plagas y Enfermedades. Universidad Pública de Navarra. España. Vol.5, 134-135

Póster N° 12

Comparación de Rendimiento y Calidad de DNA de Hoja de Trigo con el Protocolo Doyle y Doyle (1987) Con y Sin Uso de CTAB

Comparison of Yield and Quality of Wheat DNA Using Doyle and Doyle (1987) Protocol With and Without CTAB

Alejandra Chiola[1], Arturo Santacruz[1], Lizza Román[1], Shaun Mcgahan[1], Diego Acevedo[1], Lourdes Martínez[2], Juliana Moura Mendes Arrúa[3], Andrea Alejandra Arrúa Alvarenga[3]

[1] Estudiante de Biotecnología – FACEN, UNA

[2] Encargada de Laboratorio de Biotecnología – FACEN, UNA

[3] Docente Investigador- Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas, CEMIT-UNA. Docente Encargada de Cátedra – FACEN, UNA

Autor de correspondencia: alejandra.chiola@gmail.com; arrua@facen.una.py

INTRODUCCIÓN

La obtención de material genético en cantidad y pureza suficientes es un paso fundamental para la realización de análisis genético/moleculares en cualquier organismo de interés, en el caso del trigo, la importancia de un protocolo de aplicación sencilla y económica se ve fundamentada en la relevancia de este cultivo para el consumo humano a nivel mundial.

El presente experimento evalúa el rendimiento obtenido mediante la aplicación de un protocolo de extracción de DNA con y sin uso de CTAB, un detergente catiónico que solubiliza las membranas celulares, separando el DNA de ellas así como de los polisacáridos.

OBJETIVOS

- Determinación de calidad y cantidad de DNA extraído de tejido foliar de trigo mediante aplicación de un protocolo de extracción de Doyle y Doyle, 1987 sin uso de CTAB.
- Comparación de rendimiento de extracción entre protocolos con y sin uso de CTAB.

METODOLOGÍA

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnología del CEMIT-DGICT-UNA. Se tomaron cuatro muestras de 100 mg. de hojas de trigo, siendo dos de las mismas sometidas al método estándar de extracción de DNA en frío con CTAB, Doye y Doyle, 1987, y las dos muestras restantes, al mismo procedimiento pero sin el agregado de CTAB. Se analizó la pureza y cantidad de DNA resultante de cada extracción por triplicado mediante nanodrop, y se sometieron los datos al test de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 1. **Pureza de DNA extraído con y sin CTAB**

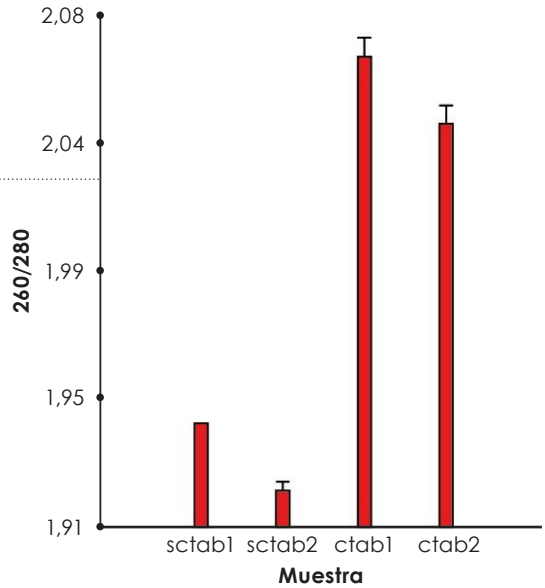
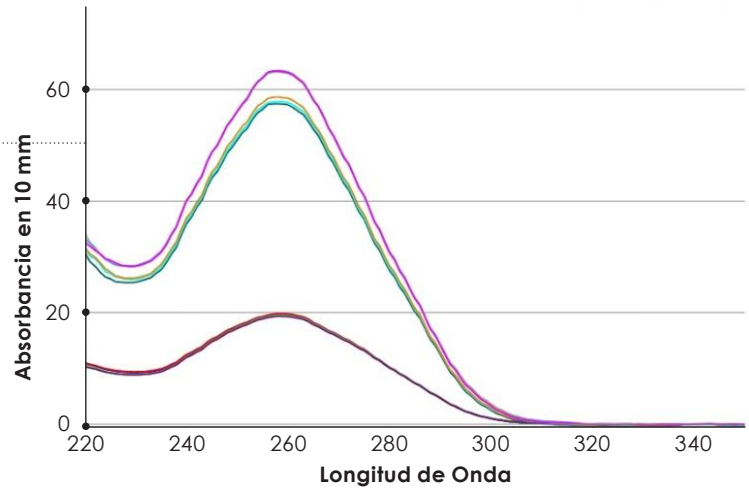


Figura 2. **Espectro de absorbancia de muestras con y sin CTAB**



Se encontraron diferencias significativas con respecto al contenido de DNA en las muestras sin CTAB y con CTAB. El promedio de las muestras sin CTAB varió de 986,3 ng/µL a 988,74 ng/µL para la muestra 1 y de 964,8 ng/µL a 973,61 ng/µL para la muestra 2, mientras que en las muestras con CTAB la cantidad de DNA extraído varió entre 2864,14 ng/µL y 2922,54 ng/µL para la muestra 1 y de 3146,32 ng/µL a 3159,22 ng/µL para la muestra 2.

En cuanto a la pureza no hubo diferencias significativas.

Los resultados obtenidos sin uso de CTAB son aceptables teniendo en consideración la relación costo/beneficio. La cantidad y calidad del material genético extraído permitirían su amplificación y secuenciado, invirtiendo menos recursos financieros en la adquisición del reactivo.

Referencias

_ Beckman, J. S.; Osborn, T. C. 2012. *Plant Genomes: Methods for Genetic and Physical Mapping*. Springer Science and Business Media. pp 3-12.

_ Henry, R. J. 2008. *Plant Genotyping II: SNP Technology*. CAB International. pp 223.

_ Kieleczawa, J. 2006. DNA Sequencing II: Optimizing Preparation and Cleanup. Jones and Bartlett Publishers. Pp 47-58.

_ Muhammad, E.; Zhang, G.; Zhao H. *A Modified Efficient Method for Economical and Rapid Extraction of Genomic DNA for Marker Assisted Selection in Wheat Hybridization*. Journal of Agriculture and Environmental Sciences. June 2014, Vol. 3, No. 2, pp 1-10.

Póster N° 13

Efecto del Uso de Proteinasa K y RNasa A en la Cantidad y Pureza de DNA Extraído de Hojas de Trigo

Effect of Proteinase K and RNase A on the Quantity and Purity of DNA Extracted From Wheat Leaves

Arturo Santacruz[1], Alejandra Chiola[1], Diego Acevedo[1], Lourdes Martínez[2], Andrea Alejandra Arrùa Alvarenga[3], Juliana Moura Mendes Arrúa[3]

[1] Estudiante de Biotecnología – FACEN, UNA

[2] Encargada de Laboratorio de Biotecnología – FACEN, UNA

[3] Docente Investigador- Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas, CEMIT-UNA. Docente Encargada de Cátedra – FACEN, UNA

Autor de correspondencia: arturosantacruz@gmail.com; jmmarrua@gmailcom

INTRODUCCIÓN

La extracción de DNA es un proceso de purificación de DNA a partir de una muestra utilizando una combinación de métodos físicos y químicos. Los reactivos empleados para este proceso y la concentración de los mismos son uno de los factores más importantes en la determinación del rendimiento de una extracción de DNA, entre ellos encontramos dos enzimas que permiten remover impurezas de manera significativamente mayor, estas son la Proteinasa K, una enzima que degrada proteínas entre ellas DNasas, y de la RNasa A, una enzima que degrada moléculas de RNA.

OBJETIVOS

Evaluar el efecto del uso de Proteinasa K y RNasa A en la cantidad y pureza de DNA extraído de hojas de trigo.

METODOLOGÍA

El ensayo fue realizado en el Laboratorio de Biotecnología, DGCEMIT. Se empleó el método estándar de extracción de DNA, Doyle y Doyle, 1987, modificado, a partir de tejido foliar de trigo, con modificaciones realizadas por el Instituto Politécnico y Universidad Estatal de Virginia. Se seleccionaron cuatro tratamientos que fueron realizados por duplicado para evaluar la calidad y pureza de DNA obtenido:

- Método 1 T1: adición de 20 RNasa A al momento de la re suspensión del pellet en agua ultra pura.
- Método 2 T2: sin adición de Proteinasa K ni RNasa A.
- Método 3 T3: adición de Proteinasa K junto con el buffer de lisis antes de la incubación.
- Método 4 T4: adición de Proteinasa K junto con el buffer de lisis antes de la incubación y adición de RNasa A al momento de la re suspensión del pellet en agua ultra pura.

Se analizó la pureza y cantidad de DNA resultante de cada extracción por triplicado mediante nanodrop, y se sometieron los datos al test de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 1. **Contenido de DNA en ng/µl de los diferentes tratamientos**

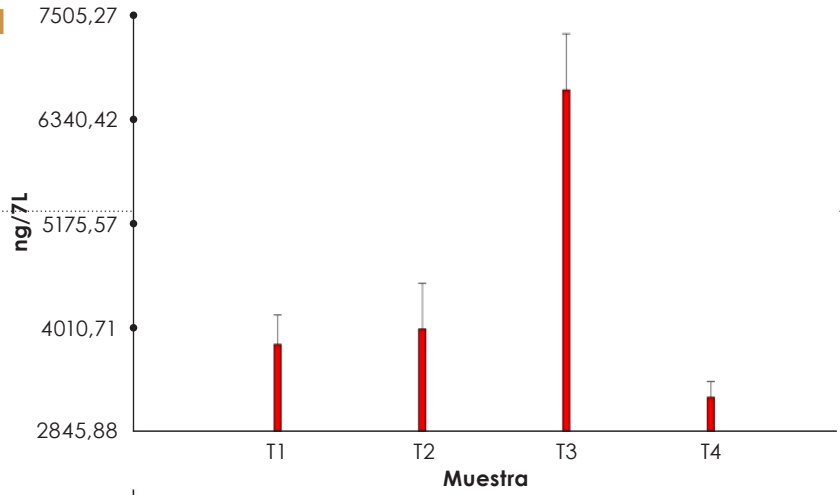
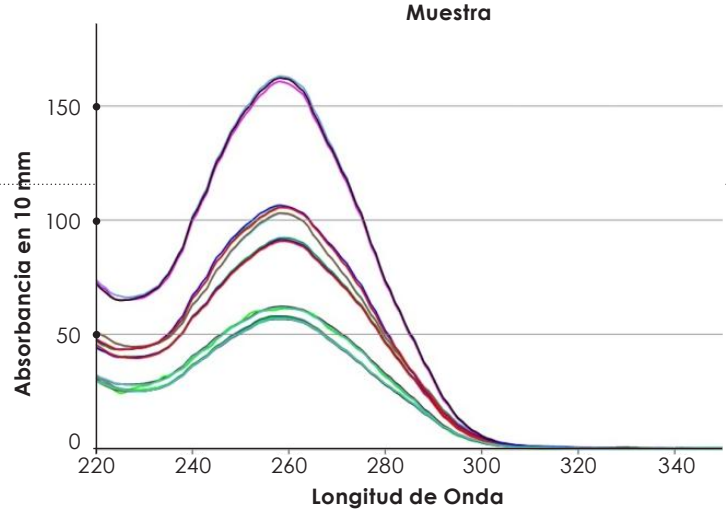


Figura 2. **Espectro de absorbancia de muestras con diferentes tratamientos**



Se encontraron diferencias significativas con respecto al contenido de DNA en las muestras. El T2, Doyle y Doyle, 1987 modificado con Proteinasa K fue el mejor con contenidos de DNA de entre 5000 y 8000 ng/µl. En todos los casos los niveles obtenidos se mantuvieron dentro de rangos de buenos a óptimos. En los tratamientos T1, T2 y T3, no se observaron diferencias significativas. Los menores contenidos de DNA se observaron en el tratamiento T4, Proteinasa más Rnasa, esto, podría deberse a que durante el proceso de limpieza se produjo algún tipo de degradación de los ácidos nucleicos.

En cuanto a la pureza no hubo diferencias significativas.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que la Proteinasa K tuvo un efecto positivo en la cantidad de DNA obtenido en comparación con los demás tratamientos estudiados, sin embargo, es necesario estudiar la relación costo beneficio debido al elevado costo de este producto.

Referencias

_ Centro Internacional de la Papa. 1999. *Molecular Biology Laboratory Protocols: Plant Genotyping.* 2da Edition. Lima, Peru. 1-4 pp.

_ Kieleczawa, J. 2006. *DNA Sequencing II: Optimizing Preparation and Cleanup.* Jones and Bartlett Publishers. Sudbury, Estados Unidos. 39-42 pp.

_ Virginia Tech, Instituto Politécnico y Universidad Estatal de Virginia. DNA *Extraction Protocol for Wheat or Barley.* Blacksburg, Estados Unidos. 1-2 pp.

Póster N° 14

Efecto de la Lisis en la Cantidad y Calidad de DNA Extraído de Hoja de Trigo

Effect of Cell Lysis on the Quantity and Quality of DNA Extracted from Wheat Leaf

Alba María Ramírez Vega*[1], Nayade Gisselle Maciel[1], Cinthia Mabel Rojas Abraham[1], Pablo David Arrúa Alvarenga[1], Magaliz Reyes[1], Cinthia Carolina Cazal Martínez[2], Danilo Fernández Ríos[3], Juliana Moura Mendes Arrúa[3], Andrea Alejandra Arrúa Alvarenga*[3]

[1] Iniciación Científica- CEMIT-UNA

[2] Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas. Investigador Asociado-Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas, CEMIT-UNA

[3] Docente Investigador de Tiempo Completo, FACEN-UNA.

[4] Docente Investigador, Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas, CEMIT-UNA. Docente Encargada de Cátedra, FACEN – UNA

Autor de correspondencia: albaramirez91@outloock.com; arrua@facen.una.py

INTRODUCCIÓN

La base de los experimentos realizados en biología molecular, ingeniería genética y demás ciencias afines es el conocimiento a fondo de la información genética contenida en el DNA, por lo cual la calidad y pureza del material genético de partida con el que vaya a trabajarse debe ser lo más óptima posible.

Por ello es de suma importancia determinar cuál es el método de extracción de DNA más eficaz y luego de haberlo encontrado poner a punto todas las variantes en juego, como concentraciones, temperaturas, etc. La lisis celular es el primer paso dentro del proceso de extracción y de su correcta y efectiva realización dependerá la calidad y cantidad de material de partida para la posterior extracción del material genético.

OBJETIVO

Evaluar el efecto de la lisis celular en la cantidad y calidad de DNA extraído de hoja de trigo.

METODOLOGÍA

El ensayo fue efectuado en el laboratorio de Biotecnología del Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas (CEMIT). El material de partida fue hoja de trigo, como método de extracción fue seleccionado el establecido por Doyle y Doyle, 1987 o CTAB al 2% con modificaciones, según el protocolo de la Universidad de Córdoba, España. Para la lisis celular se seleccionaron dos métodos: Método 1, lisis mediante mortero de porcelana con nitrógeno líquido; Método 2, lisis mediante el uso de esferas de porcelana y vortex.

- Método 1. Se pesó 1 gramo de tejido vegetal (por triplicado). Las muestras se lisaron en mortero de porcelana con nitrógeno líquido hasta la obtención de polvo fino. Posteriormente se pesaron 100 miligramos del lisado y se continuó con el proceso según el protocolo seleccionado.

- Método 2. Se pesó 100 miligramos de tejido vegetal. Se cortó en piezas pequeñas y se depositó en un tubo de 2 ml junto con 2 esferas de porcelana de 5 mm. Se adicionó 750 µl de Buffer de Lisis previamente pre calentado a 65 ºC y se pasó por vortex por 2 minutos, posteriormente se

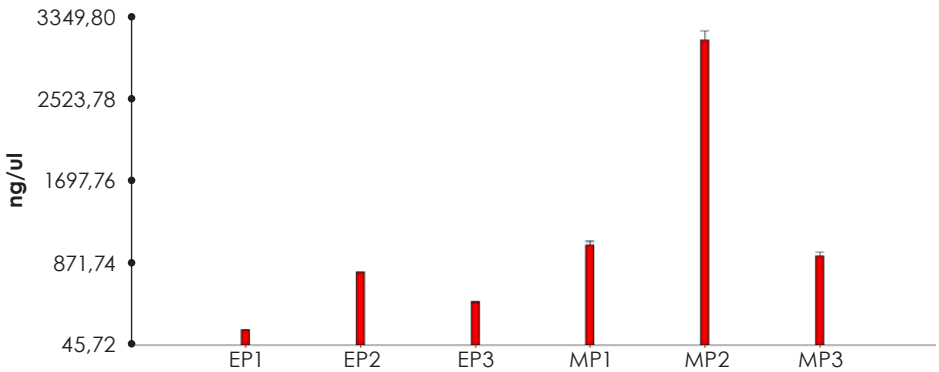
continuó con el proceso según el protocolo seleccionado. Las lecturas de cantidad de DNA obtenido y pureza fueron leídas mediante nanodrop.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el software estadístico Infostat. Se realizó un ANAVA con Test de Tuckey al 5% de la cantidad de DNA obtenido en nanogramos por microlitro por muestra por método y del coeficiente de pureza por muestra por método.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

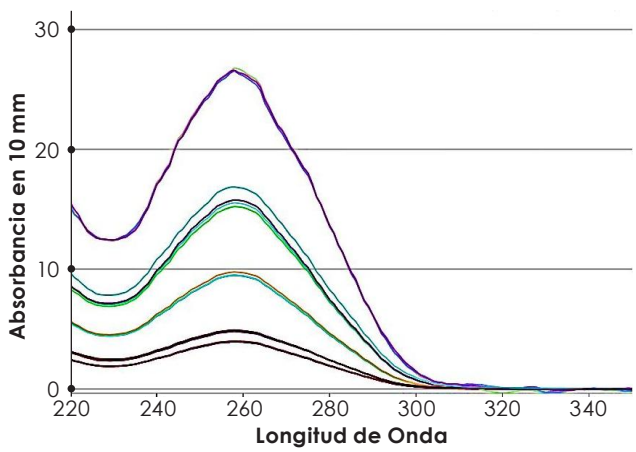
En cuanto al contenido de DNA en nanogramos por microlitros obtenido de las muestras, el mismo fue variable. Los valores más altos, de hasta 3000 ng/µl, en media, se obtuvieron de las muestras lisadas con mortero de porcelana y nitrógeno líquido. En cuanto a las muestras procesadas mediante esferas de porcelana y Buffer de Lisis CTAB los contenidos estuvieron entre 190 y 750 ng/µ.

Imagen 1. **Contenido de DNA en n/µl de muestras de trigo. EP1, EP2 y EP3, corresponde a muestras lisadas mediante esferas de porcelana. MP1, MP2 y MP3, a muestras lisadas con mortero y nitrógeno líquido**



En cuanto a la pureza, se mantuvieron entre 1.8 y 2.0. En muestras lisadas con mortero de porcelana y nitrógeno líquido y entre 2.0 y 2.1 en muestras lisadas con esferas de porcelana. Se ha reportado que valores aceptables de pureza para DNA de alta calidad se encuentran entre 1.8 y 2.0.

Imagen 2. **Lecturas de DNA de muestras procesadas por la Técnica de Doyle y Doyle, 1987, modificada mediante y lisada mediante el uso de esferas de porcelana y buffer de lisis pre calentado y mortero de porcelana con nitrógeno líquido**



CONCLUSIÓN

Ambos métodos resultaron efectivos pero mediante mortero de porcelana con nitrógeno líquido se obtuvieron valores más altos de DNA en nanogramos por microlitro.

Referencias

_ Doyle JJ, Doyle JL (1987) A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. Phytochem Bull 19:11-15

_ Doyle JJ, Doyle JL (1990) Isolation of plant DNA from fresh tissue. Focus 12: 13-15 Edwards K, Johnstone C, Thompson C (1991) A simple and rapid method for the preparation of genomic plant DNA for PCR analysis. Nucleic Acids Res 19: 1349

_ UCO, Universidad de Còrdoba. 2012. Protocolo de Extracciòn de DNA por CTAB Modificado. Departamento de genética de la Escuela técnica superior de ingeniería agronómica y de montes (ETSIAM)UCO, España. 2p.

Póster N° 15

Actividad Inhibitoria del Extracto Etanólico del Hongo *Laetiporus gilbertsonii* Burds Sobre el Hongo Fitopatógeno *Fusarium graminearum*

Inhibitory Activity of the Ethanol Extract of Laetiporus gilbertsonii *Burds Fungus on* Fusarium graminearum

Michelle Campi[1], Claudia Mancuello[1], Miguel Martínez[1], Andrea Arrúa[2]

[1] Laboratorio de Análisis de Recursos Vegetales, Área Fitoquímica, Departamento de Biología, FACEN-UNA

[2] Laboratorio de Biotecnología, Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas-UNA

Contacto: geraldinecampi@gmail.com; claudia_mancuello87@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

El incremento de la productividad de los últimos años y los niveles de la calidad en la producción del trigo, categorizan al Paraguay como un importante productor del grano a nivel regional y mundial. Con el fin de mitigar los problemas fitopatogénicos producidos por hongos en los cultivos de trigo, se emplean un amplio número de productos sintéticos que podrían comprometer la calidad del trigo y contribuir con la contaminación ambiental. Los basidiomicetos son fuente de una amplia gama de productos naturales que abarca desde componentes estructurales con actividad antitumoral e inmunológicamente activos, hasta agentes antimicrobianos, antifúngicos, antivirales, citostáticos, enzimas reguladores de crecimiento y aromas. (Ishikawa et al., 2001; Gezer et al., 2006; Brizuela et al., 1998). Son conocidas las propiedades antimicóticas de ciertos hongos macromicetos, en especial los del género *Laetiporus*, miembros de este género han sido investigados con fines medicinales, antimicrobianos y antifúngicos (Radic, Injac & Strukelj, 2009; Turkoglu et al., 2006). Con propósito de buscar medidas alternas amigables con el medio ambiente y paliar una gran problemática fitosanitaria sin modificar la calidad del cultivo, se evaluó la actividad inhibidora del extracto etanólico de *Laetiporus gilbertsonii* Burds. sobre el crecimiento de *Fusarium graminearum*.

- **Objetivo:** Determinar cuali-cuantitativamente la capacidad inhibitoria del extracto etanólico de *Laetiporus gilbertsonii*. Burds. A distintas concentraciones sobre el hongo fitopatógeno *Fusarium graminearum* 150.

METODOLOGÍA

Especie en estudio: Laetiporus gilbertsonii. Burds. fue colectada en la ciudad de Piribebuy del Departamento de Cordillera con coordenadas geográficas 25°58'27.36"S, 57°14'12.91"O, en el mes de junio del año 2015. La identificación taxonómica fue realizada por la Lic. Michelle Campi en el Laboratorio de Análisis de Recursos Vegetales -Área Micología del Departamento de Biología de la FACEN-UNA. El ejemplar fue depositado en el Herbario FACEN-UNA, HFACEN n° 65 Hongos Filamentosos: Las cepas puras de *Fusarium graminearum* 150 fueron provistas por la Dra. Andrea Arrúa del Laboratorio de Biotecnología del Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas (CEMIT)—UNA.

Obtención del extracto crudo: El basidioma previamente pulverizado se dejó embebido en etanol al 98° por 30 días (extracción por macerado), con agitaciones diarias. Se filtró y evaporó el solvente por medio de un evaporador rotativo, obteniéndose así el extracto crudo.

Preparación de las suspensiones de los extractos brutos: Para la preparación de la solución madre se pesó 0,20 g de extracto crudo, se agregó 5 mL de etanol absoluto, se sónico por 10 min., se llevó a un volumen de 100mL con agua estéril, de esta forma se obtuvo una concentración final de 2000 $\mu g.mL^{-1}$.

DILUCIÓN EN AGAR

Como medio de cultivo se utilizó PDA (Merck, Alemania), una vez esterilizado se dejó enfriar a una temperatura de 50 ºC, adicionando inmediatamente en cajas de petri estériles (90 mm de diámetro) 20 mL de medio junto con el volumen de la solución madre necesaria para obtener concentraciones finales de 150, 250 y 500 ppm. Para la preparación del control negativo se procedió de igual manera que para las muestras sin la adición del extracto crudo de *Laetiporus gilbertsonii*. Burds.

Inoculación: Para la inoculación se tomaron discos de 3 mm de diámetro del hongo filamentoso a inhibir y se colocaron en el centro de las placas previamente preparadas a distintas concentraciones. El ensayo se realizó por triplicado y fueron incubadas a 25 ± 2 ˚C por 5 días.

Porcentaje de inhibición: El porcentaje de inhibición se calculó según (Marquez, De La Rosa & Mercado, 2007), teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$\textbf{\% de Crecimiento} = \frac{\text{Diámetro del crecimiento del hongo en el extracto x 100}}{\text{Diámetro del control negativo}}$$

$$\textbf{\% de inhibición} = 100 - \text{\% de crecimiento}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se calculó la actividad biológica del extracto etanólico de *Laetiporus gilbertsonii* analizando las características cualitativas (características de la colonia) y cuantitativas (mediciones del crecimiento radial de los hongos y porcentaje de inhibición) cuyos resultados y análisis de los mismos pueden expresarse de la siguiente manera: para la concentración de 150 ppm la colonia presentaba crecimiento radial atenuado en comparación al control negativo, con coloración anaranjada en el centro, con escaso micelio radial en expansión, en cuanto al porcentaje de crecimiento se obtuvo un 29,70% y un 70,21% de porcentaje de inhibición. Para la concentración de 250 ppm, se vio características macroscópicas similares a la concentración anterior, el porciento de crecimiento alcanzó un 29,79% y el porcentaje de inhibición un 73,14%, para la concentración de 500 ppm las colonias se presentaban empaquetadas, con crecimiento radial atrofiado, coloración naranja oscura a marrón en el centro, el % de crecimiento fue del 13,17% y el porcentaje de inhibición fue de 86,83%.

A medida que las concentraciones de los extractos se incrementaron, se observó también el incremento en la capacidad inhibitoria sobre el hongo filamentoso *Fusarium graminearum* 150, resultando la concentración de 500 ppm la más eficiente, con el 86,8% de inhibición en contrapartida a los de concentraciones 250 ppm y 150 ppm cuyos porcentajes de inhibición fueron 73,1 y 70,2% respectivamente

CONCLUSIÓN

Extractos etanólicos del hongo basidiomiceto *Laetiporus gilbertsonii* podría inhibir el crecimiento in vitro del hongo filamentoso *Fusarium graminearum* 150, resultando la concentración de 500 ppm la más eficiente en comparación con las concentraciones de 250 y 150 ppm.

Referencias

- Brizuela, M., García, L., Pérez, L. & Mansur, M. 1998. Basidiomicetos: nueva fuente de metabolitos secundarios. *Rev Iberoam Micol*, 69–74.
- Gezer, K., Me, D., Kivrak, I., Turkoglu, a, Mercan, N., Turkoglu, H. & Gulcan, S. 2006. Free-radical scavenging capacity and antimicrobial activity of wild edible mushroom from Turkey. *African Journal of Biotechnology* 5(October), 1924–1928.
- Ishikawa, N.K., Catarina, M., Kasuya, M., Cristina, M. & Vanetti, D. 2001. Antibacterial Activity of Lentinula Edodes Grown in Liquid Medium. *Brazilian Journal of Microbiology* 32(3), 206–210.
- Marquez, R., De La Rosa, C. & Mercado, A. 2007. Actividad antifungica del extracto total en etanol de la hojas frescas de Pedilanthus tithymaloides L Poit (Ultimorrial). *Scientia* (33), 155–159.
- Radic, N., Injac, R. & Strukelj, B. 2009. Sulphur Tuft Culinary-Medicinal Mushroom, Laetiporus sulphureus (Bull.: Fr.) Murrill (Aphyllophoromycetideae): Bioactive Compounds and Pharmaceutical Effects
- derived fungi Polyporales PSU-ES44 and PSU-ES83. *Tetrahedron* 69(34), 6981–6986.
- Turkoglu, A., Duru, M.E., Mercan, N., Kivrak, I. & Gezer, K. 2006a. Antioxidant and antimicrobial activities of Laetiporus sulphureus (Bull.) Murrill. *Food Chemistry* 101(1), 267–273.

Póster N° 16

Actividad Biológica de Extractos Etanólicos de Especies Nativas Medicinales Paraguayas sobre Hongos Fitopatógenos: *Fusarium graminearum* y *Macrophomina phaseolina*

Biological Activity of Ethanol Extracts from Native Medicinal Species on Fusarium graminearum *and* Macrophomina phaseolina

Leyla Díaz[1], Emilia Blanc[1], Liz Bogado[1], Andrea Arrúa[2],Miguel Martínez[3]

[1] Estudiante, Maestría en Química Orgánica con énfasis en Fitoquímica Medicinal y Sintéticos Bioactivos, Departamento de Química, FACEN-UNA

[2] Laboratorio de Biotecnología, Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas-UNA

[3] Laboratorio de Análisis de Recursos Vegetales, Área Fitoquímica, Departamento de Biología, FACEN-UNA

Contacto: mblanc_recalde@hotmail.com; miguelangelquimi@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

El 60% de las enfermedades que afectan a los cultivos son producidos por hongos filamentosos, lo que conlleva a grandes pérdidas de producción debido a que afectan el desarrollo total de las plantas y las hacen más vulnerables al ataque de otros fitopatógenos (Moo-Koh et al., 2014). El hombre en su intento de controlar tales males, ha desarrollado una serie de productos químicos de los cuales hoy día la mayoría de los cultivos son dependientes. Además, la demanda actual exige una elevada producción agrícola, lo que se asocia al uso masivo e indiscriminado de los agroquímicos, que finalmente impacta de manera negativa al medio ambiente, produciendo un desequilibrio en el mismo. Por lo mencionado se requiere de nuevas alternativas de control para el desarrollo de agroecosistemas sostenibles basados en un manejo integrado que permitan combatir y controlar plagas que afectan los cultivos, a través de productos naturales eficientes y biodegradables que contribuyan a mantener el sutil equilibrio natural del cual depende la vida del planeta (Micheo, 1992). En el presente trabajo han sido utilizados extractos crudos etanólicos de especies medicinales nativas de Paraguay: *Kyllinga vaginata, Urera aurantiaca y Acrocomia aculeata* las cuales son empleadas popularmente como alternativa en la atención primaria de la salud, por poseer propiedades farmacológicas, sin embargo, en la presente investigación fueron utilizadas como alternativa de control biológico de hongos filamentosos: *Fusarium graminearum* y *Macrophomina phaseolina.*

METODOLOGÍA

Muestras Biológicas

Especímenes vegetales: Se utilizaron raíces de *A. aculeata*, raíces y rizomas de *K. vaginata* y fruto de *U. aurantiaca Wedd*. La identificación botánica fue realizada por la Prof. MSc. Bonifacia de Bertoni en el Herbario FACEN del Departamento de Biología de la FACEN-UNA. Los ejemplares de dichas especies fueron depositados en el Herbario FACEN-UNA. Hongos filamentosos: *Fusarium graminearum* y *Macrophomina phaseolina* fueron provistas por la Dra. Andrea Arrúa del Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas (CEMIT)-UNA. Preparación de los Extractos Vegetales crudos: Los órganos utilizados fueron secados a temperatura ambiente y molidos con un molino convencional. Las extracciones se realizaron por maceración exhaustiva con etanol 95° por 30 días. Posteriormente se filtró y evaporó el etanol con un evaporador rotativo.

Preparación de suspensiones de los extractos brutos: Para la concentración de 2000 ppm se pesó 0,28 g de cada extracto crudo, se agregó 5 mL de etanol absoluto, se sonicó por 20 min., se adicionó 65 mL de agua estéril y finalmente esta mezcla se adicionó sobre 70 mL de medio de cultivo PDA a 50°C. Para la concentración de 4000 ppm se pesó 0,56 g de cada extracto crudo y se prosiguió de la misma manera como para la preparación de 2000 ppm. Evaluación de la actividad antifúngica: Se realizó mediante la técnica de suspensión del extracto en el medio de cultivo como se describió en la preparación de suspensiones de extractos brutos. Posteriormente se sacó con un sacabocado los hongos filamentosos a inhibir y se colocó en el centro de la placa, se incubó a 25 ± 2°C por 6 días y finalmente se midieron los radios de crecimiento de los hongos. La técnica de dilución del extracto en agar permite una mayor difusión de los componentes en el medio.(S. Moreno-Limón, L.N. Gonezález-Solís, S.M. Salcedo-Martínez, 2011). El porcentaje de inhibición se calculó según Tequida *et al.*, 2002, teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$\text{\% de Crecimiento} = \frac{\text{Diámetro del crecimiento del hongo en el extracto}}{\text{Diámetro del control negativo}}$$

$$\text{\% de inhibición} = 100 - \text{\% de crecimiento}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta las observaciones y mediciones del crecimiento radial de los hongos y habiendo calculado el porcentaje de inhibición de crecimiento de los hongos *Fusarium graminearum* y *Macrophomina phaseolina* se puede emitir el siguiente análisis: Los ensayos realizados tanto para 2000 ppm y 4000 ppm de concentración final en cada placa, el mejor resultado de inhibición presentó *Urera aurantiaca* en relación a las demás especies vegetales. Los porcentajes de inhibición sobre *Fusarium* 150 fueron: *U. aurantiaca* (100%; para 2000 y 4000 ppm), *A. aculeata* (91,8% para2000 ppm y 98,5% para 4000 ppm) y *K. vaginata* (72,9% para 2000 ppm y 82,5% para 4000 ppm). Los porcentajes de inhibición sobre *Macrophomina phaseolina* fueron: *U. aurantiaca* (50,1% para 2000 ppm y 63,1% para 4000 ppm), *A. aculeata* (72,7% para 2000 ppm y 85,1% para 4000 ppm) y *K. vaginata* no presentó actividad inhibitoria sobre esta cepa.

CONCLUSIÓN

De todas las especies vegetales en estudio *U. aurantiaca* es la que mejor inhibición presentó sobre *Fusarium graminearum* 150 y *Macrophomina phaseolina. K. vaginata* no presentó ninguna inhibición sobre *Macrophomina phaseolina,* pero se observa inhibición del crecimiento sobre *Fusarium graminearum* 150; *A. aculeata* presentó una considerable actividad antifúngica sobre *Fusarium graminearum* 150 y *Macrophomina phaseolina.*

Agradecimientos

Sara Orihuela, Ingue Cattebeke, Alan Delgado, Emanuel Rivarola

Referencias

- Galván, J. V., Gonzalez Diaz, C. A., & González Fernandez, R. (2014). Efecto de los extractos acuosos de hojas de plantas de gobernadora (Larreas tridentata), hojasen (Flourensia cernua) y encino (Quercus pungens), sobre el crecimiento micelial in vitro de hongos fitopatógenos. *Acta Universitaria*, *24*(5), 13–19
- Micheo, A. 1992. La agricultura en Venezuela. 3 a Edición. Centro Gumilla. Caracas. Venezuela. 338 p.
- Moo-Koh, F. A., Alejo, J. C., Reyes-Ramirez, A., Tun-Suárez, J. M., Sandoval-Luna, R., & Ramirez-Pool, A. (2014). Actividad in vitro del extracto acuoso del Bonellia flammea contra hongos fitopatógenos. *Agrociencia 48*, 833–845.
- Rodriguez, A. T., Morales, D., & Ramirez, M. A. (2000). Efecto de Extractos vegetales sobre el crecimiento In Vitro de hongos fitopatógenos. *Cultivos Tropicales*.
- S. Moreno-Limón, L.N. Gonezález-Solís, S.M. Salcedo-Martínez, M. . C.-Á. Y. a. P.-R. (2011). Efecto antifúngico de extractos de Gobernadora (Larrea tridentata l.) sobre la inhibición in vitro de aspergillus flavus y Penicillum sp. *Polibotánica*, 193–205.
- Sanabria, M. E., Rodríguez, D., & Rodríguez, J. L. (2006). Inhibición de hongos fitopatogenos con extractos de Phyllanthus niruri L. y Lippia origanoides (H.B.K). In *VII Congreso SEAE Zaragoza 2006 N° 77*

Póster N° 17

Control Biológico de Cepas de *Fusarium graminearum* por Cepas de *Bacillus* sp.

Biological control of Fusarium graminearum *strains by* Bacillus *sp.*

Sofía Elizabeth Irrazabal Duré[1], Cinthia Cabrera Lacarruba[1], Liz Lorena Chamorro Díaz[1], Pedro Santa Cruz Peralta[1], Juliana Moura Mendes Arrúa[2], Andrea Alejandra Arrúa Alvarenga[2]

[1] Estudiante de Biotecnología – FACEN-UNA

[2] Docente Investigador Asociado- Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas, CEMIT-UNA. Docente Encargada de Cátedra FACEN – UNA

Autor de correspondencia: sofyirrazabal.15@gmail.com; arrua@facen.una.py;

INTRODUCCIÓN

El trigo es el principal cultivo durante los meses de invierno en nuestro país. El mismo se ve expuesto al ataque de organismos patógenos durante su cultivo, entre ellos los hongos fitopatógenos, siendo uno de los más importantes en la actualidad Fusarium graminearum. Estos organismos además de ocasionar mermas en el rendimiento producen metabolitos tóxicos para los seres humanos y animales. Otra característica importante de *Fusarium*, es la elevada variabilidad genética que muchas veces se refleja en resistencia a productos fitosanitarios. Además de esto, el uso inadecuado de productos fitosanitarios representa un problema ambiental y social. Es por esto que el control biológico es actualmente una alternativa válida debido a que es inocuo para los seres humanos, animales y ambiente; los hongos no presentan resistencia a bioproductos. Las bacterias del género *Bacillus* se han estudiado desde hace años debido a sus propiedades en la promoción de crecimiento de plantas y control biológico.

OBJETIVO

Evaluar la el nivel de control de cepas de Fusarium graminearum con *Bacillus* sp. *In vitro.*

METODOLOGÍA

El ensayo fue efectuado en el laboratorio de Biotecnología del Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas (CEMIT). Se seleccionó una cepa de *Bacillus* sp. , Cepa B1 aislada de trigo y 5 cepas de Fusarium graminearum, Cepas 95, 167, 240, 256 y 330 aisladas de trigo y pertenecientes a la colección del Laboratorio de Biotecnología de CEMIT DG UNA.

Para el ensayo, las mismas fueron sembradas por triplicado en placas de Petri estériles con PDA. Fusarium graminearum en el centro y 4 explantes de Bacillus sp. en los 4 puntos cardinales de la placa. Por cada cepa de Fusarium graminearum se sembraron por triplicado testigos absolutos. Posteriormente las mismas se incubaron a 25ºC y se realizó la medición de crecimiento de las colonias a los 7 días de crecimiento. Se calcularon los % de Crecimiento e Inhibición de la bacteria sobre las cepas de F. graminearum.

$$\% \text{ de Crecimiento} = \frac{\text{Diámetro del crecimiento del hongo en el medio}}{\text{Diámetro del control negativo}}$$

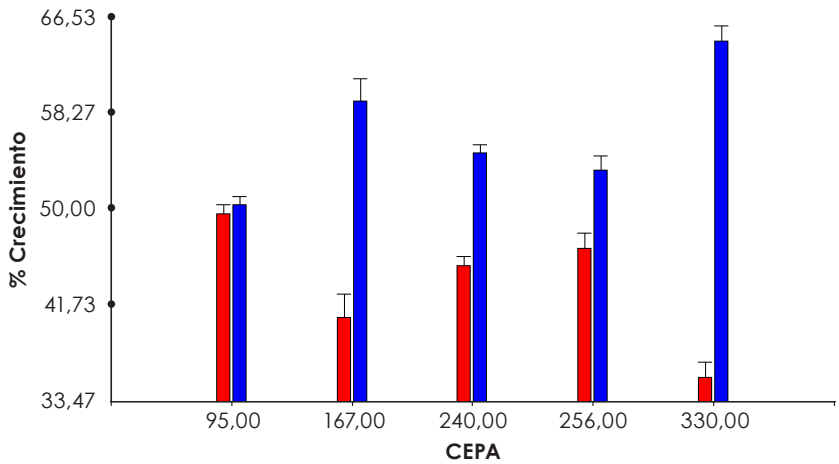
% de inhibición = 100 - % de crecimiento

Mediante el uso del software estadístico Infostat se analizaron los datos obtenidos. Se realizó un ANAVA al 5% con el uso del Test de Tuckey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos comparando las cepas seleccionadas con los controles muestran que la bacteria B1 obtuvo niveles de control variables de entre 37.7 a 60 mm en media a los 7 días de crecimiento.

Imagen 1. **Porcentajes de crecimiento e Inhibición de cepas de *Fusarium graminearum* por *Bacillus* sp. cepa B1. Porcentajes de crecimiento corresponden a las barras en color rojo, porcentajes de inhibición a las barras en color azul**



Se observaron diferencias significativas en cuanto al control de la cepa de B1 sobre las diferentes cepas de F. graminearum estudiadas. Es importante destacar que para que un biocontrolador sea efectivo en campo, se deben establecer dosis adecuadas y que además se requieren de condiciones ambientales amenas para el crecimiento y desarrollo del mismo.

Otro punto importante es que en campo, se encuentran poblaciones de hongos que pueden atacar a las plantas de manera conjunta, por tanto es importante obtener organismos biocontroladores con una capacidad de control aceptable para la mayor cantidad de cepas posibles.

CONCLUSIÓN

Evaluando los resultados obtenidos se pudo apreciar que la cepa B1 de *Bacillus* sp. fue relativamente efectiva para el control de 5 cepas de *F. graminearum* in vitro. Se recomienda la realización de estudios en invernadero y a campo.

Referencias

_ Barreto, D. 2007. Efecto de Microorganismos Rizosfericos sobre Germinación y Crecimiento Temprano de *Anacardium Excelsum.* Zonas Áridas 11 Vol. 1. 240-246

_ Jacas, J. Caballero, P. Avilla, J. 2005. El Control Biológico de Plagas y Enfermedades. Universidad Pública de Navarra. España. Vol.5, 134-135

Póster N° 18

Niveles de Deoxinivalenol en Bebidas a Base de Cebada y Trigo

Deoxynivalenol Levels in Barley and Wheat Based Drinks

Leticia Vazquez[1*]; Juliana Moura Mendes Arrúa[2]; Maricel Cabrera[1]; Andrea Ucedo[1]; Miguel Samaniego[1]; Cinthia Carolina Cazal[5]; Pablo David Arrúa[4] y Andrea Alejandra Arrúa[2*]

[1] Estudiante de la carrera de Biotecnología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, FACEN-UNA

[2] Docente de la carrera de Biotecnología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, FACEN – UNA. Docente Investigador del Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas- CEMIT-UNA

[3] Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas

[4] Iniciación Científica, Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas- CEMIT-UNA

[5] Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas. Investigador Asociado, Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas- CEMIT-UNA

[*] Autor de correspondencia: letyvazquezg@gmail.com; arrua@facen.una.py;

INTRODUCCIÓN

La cerveza es uno de las bebidas más tradicionales y consumidas a nivel mundial. En nuestro país su consumo per cápita alcanza los 8,8 litros al año, según la Organización Mundial de la Salud (OMS); cuarto lugar entre los países de mayor consumo de alcohol en la Región de América Latina y el Caribe. La producción de cerveza se da a partir de cereales, generalmente a base de trigo y cebada. Durante su cultivo estos cereales se ven afectados por organismos patógenos, entre ellos los hongos pertenecientes al Complejo *Fusarium graminearum.* Estos patógenos además de producir mermas en el rendimiento son importantes productores de micotoxinas, metabolitos secundarios tóxicos para los seres humanos y animales, siendo el Deoxinivalenol también conocido como vomitoxina la más importante. Con el objetivo de determinar los niveles de Deoxinivalenol presentes en cervezas nacionales e importadas comercializadas en Asunción se realizó este estudio.

OBJETIVO

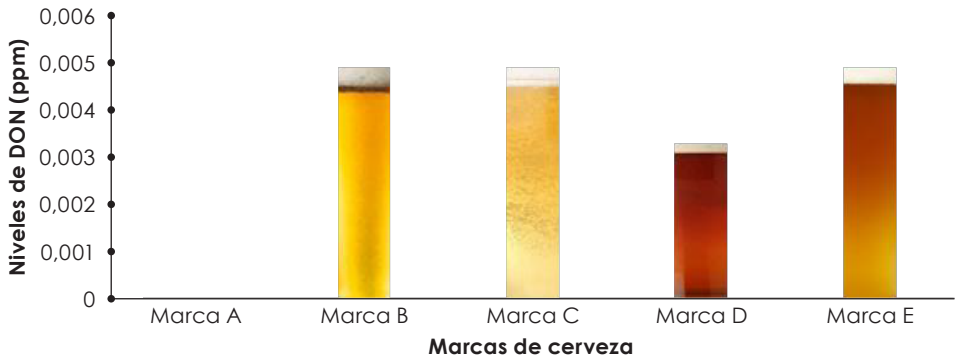
Determinar la presencia de Deoxinivalenol en 5 marcas de cervezas comercializadas en el mercado nacional.

METODOLOGÍA

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnologìa de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, FACEN. Todas las muestras fueron analizadas por quintuplicado. Se realizó la cuantificación por medio de las cintas Don-V Strip Test y el lector Vertu Lateral Flow Reader de Vicam, según las instrucciones del fabricante. Se calculó el promedio de DON presente en las muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 1. **Promedios de niveles de Deoxinivalenol (DON) en distintas marcas de cerveza**



Todas las muestras presentaron resultados negativos, muy por debajo del límite de detección (0.11 ppm). Cabe destacar que es la primera vez que se realizan este tipo de estudios en Paraguay en productos en cerveza, pero que en un trabajo anterior realizado en grano de trigo por (Quintana 2004), que detectaron por HPLC niveles de entre 0,247 a 10,13 ppm. En la actualidad Paraguay no cuenta con ninguna normativa que estipule niveles aceptables de DON en cervezas, pero la Food and Drug Administration (FDA), establece niveles de DON de 1ppm para productos derivados de trigo para consumo humano y 5 ppm para productos destinados al consumo animal.

Referencias

_ Arrua, AA; Moura, J; Cazal, CC; Dujak, CE; Fernandez, D; Cristaldo, RM de; Kohli, MM. . 2014. Incidencia de hongos del complejo Fusarium gramínearum y acumulación de Deoxinivalenol en líneas de trigo. Investigación Agraria 16(1): 43-48.

_ Quintana, L. . 2004. Toxinas de Fusarium en semilla de trigo en el Paraguay. Avances y Resultados de la Investigación del Trigo en el Paraguay. Itapúa, Paraguay, MAG/DISE-APROSEM, p.335.

_ Quintana, L; Morel, W. 2004. Especies de Fusarium que afectan a semillas de trigo en Paraguay. Avances y Resultados de la Investigacion del Trigo en el Paraguay. Itapúa, Paraguay, MAG/DISE-APROSEM, p.328.

Póster N° 19

Presencia de Deoxinivalenol en Galletitas Integrales Comercializadas en Gran Asunción

Presence of Deoxynivalenol in Crackers Sold in Gran Asunción

Maricel Cabrera[1*]; Juliana Moura Mendes Arrúa[2]; Leticia Vázquez[1]; Liz Chamorro[1]; Marcos Florentin[1]; Cinthia Carolina Cazal[3]; Pablo David Arrúa[4] y Andrea Alejandra Arrúa[2*]

[1] Estudiante de la carrera de Biotecnología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, FACEN-UNA

[2] Docente de la carrera de Biotecnología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, FACEN – UNA. Docente Investigador del Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas- CEMIT-UNA

[3] Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas

[4] Iniciación Científica, Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas- CEMIT-UNA

[*] Autor de correspondencia: maricelcab5@gmail.com; arrua@facen.una.py

INTRODUCCIÓN

Se define como *seguridad alimentaria, al acceso físico y económico de todas las personas de una sociedad, a alimento suficiente, seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades calóricas y sus preferencias, con el objeto de llevar una vida activa y sana.* (FAO, 2002). Los cereales integrales son alimentos altamente consumidos debido a las múltiples propiedades que posee a niveles nutricionales. Los cereales, durante su cultivo, se ven expuestos al ataque de organismos patógenos entre ellos los hongos del Complejo *Fusarium graminearum.* Estos hongos además de disminuir el rendimiento del producto, producen metabolitos tóxicos para los seres humanos llamados micotoxinas, siendo uno de los más importantes el Deoxinivalenol (DON). Es por estas razones importante controlar en los productos a base de cereales, en este caso en particular en galletitas, la presencia de Deoxinivalenol (DON), para ello, se estudiaron muestras de tres productos comerciales nacionales y nueve de productos importados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la determinación del contenido de DON se utilizó el equipo Vertu Lateral Flow Reader, VICAM Technologies© y la cinta de inmunoafinidad DON-V, de Vicam Technologies©. Se pesaron 5 gramos de muestra y posteriormente se pasaron por un molino de café hasta quedar reducidas a polvo fino. Las mismas se transvasaron a un tubo de 50 mL con 20 mL de agua destilada esterilizada. Se mezcló 2 minutos mediante vortex y se filtró a un tubo de 50 mL limpio. De dicha dilución se tomaron 100 µL que fueron mezclados con 1000 µL de agua destilada en un tubo de 1,5 mL. Posteriormente 100µL de esta dilución fueron mezclados con 100 µL de solución buffer o amortiguadora, proveída por el fabricante y fueron mezcladas por 1 minuto mediante vortex. De esta mezcla se tomaron 100 µL que fueron depositados en la cinta DON-V, 1 gota por segundo y se dejó incubar por 3 minutos a temperatura ambiente antes de ser leído en el equipo Vertu Lateral Flow Reader. Límite de detección del equipo: de 0.11 ppm a 5 ppm.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

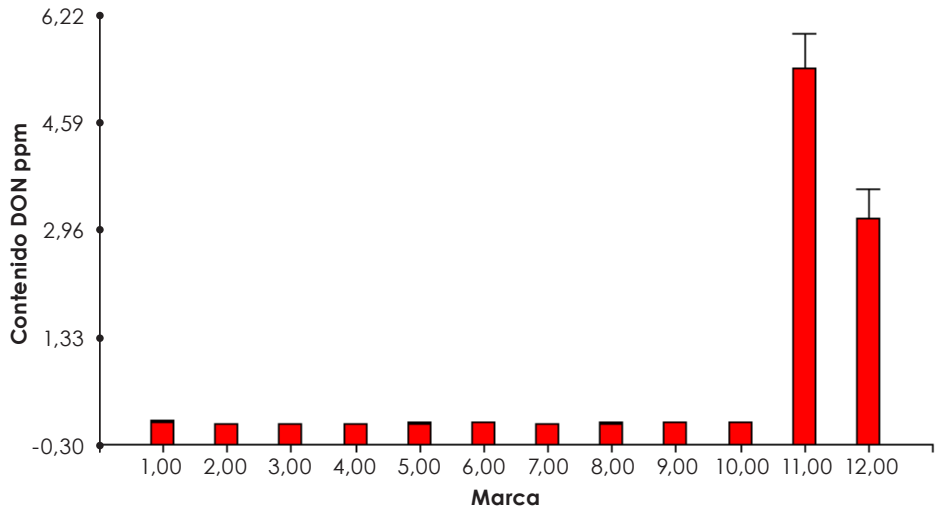
Se calculó la media de DON en las diferentes muestras procesadas. Posteriormente se realizó la prueba de normalidad de Shapiro – Wilks modificada para cada tipo de muestra estudiada. Para la

comparación de medias se utilizó el análisis de varianza no paramétrica de Kruskal Wallis con un intervalo de confianza del 95%, por medio del paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo et al. 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los contenidos de DON en las muestras analizadas fueron variables y no presentó distribución normal. Se observaron diferencias significativas entre las mismas, en referencia al contenido de DON. En productos nacionales los niveles de DON variaron de 0 a 0.1 ppm, niveles considerados aceptables por la Food and Drug Administration (FDA 2010)mientras que en los importados de 0 a 5.4ppm en media superando las recomendaciones de los organismos internacionales reguladores.

Imagen 1. **Niveles de DON en galletitas integrales comercializadas en Gran Asunción. Las marcas 1, 2 y 3, corresponden a productos nacionales. Las marcas 4 a 12 a productos importados**



En la actualidad Paraguay no cuenta con ninguna normativa que estipule niveles aceptables de DON en trigo y derivados, pero siguiendo las normativas de FDA los niveles detectados se encuentran por debajo de lo establecido en productos nacionales y por encima en productos importados.

CONCLUSIÓN

Es importante el estudio de una legislación nacional que establezca límites aceptables de DON en productos destinados al consumo humano e implementar sistemas de manejo a nivel de campo para prevenir la contaminación con *Fusarium graminearum* y DON.

Referencias

_ Arrua, A; Mendes, JM; Cazal, CC; Eduardo, C; Riquelme, D; Ríos, DF; de Cristaldo, RM; Kohli, MM. . 2014. Incidencia de hongos del complejo Fusarium gramínearum y acumulación de Deoxinivalenol en líneas de trigo Incidence of fungi from the Fusarium graminearum complex and accumulation of Deoxynivalenol in strains of wheat. Investigación Agrária 16(1): 43–48.

_ FDA. . (2010) "Guidance for Industry and FDA : Advisory Levels for Deoxynivalenol (DON) in Finished Wheat Products for Human Consumption and Grains and Grain By-Products used for Animal Feed".

_ Leslie, JF; Summerell, BA. . 2006. The Fusarium Laboratory Manual. Ames, Iowa, Wiley-Blackwell.

_ Viedma, L De. . 2004. Toxinas de Fusarium en semilla de trigo en el Paraguay. Avances y Resultados de la Investigación del Trigo en el Paraguay. Itapúa, Paraguay, MAG/DISE-APROSEM, p.335.

Póster N° 20

Especies de Áfidos (Hemíptera: Aphididae) Vectores del Virus del Enanismo Amarillo de la Cebada (BYDV) en el Cultivo de Trigo *(Triticum aestivum)*

Species of Aphid (Hemiptera: Aphididae) Vectors of Barley Yellow Dwarf Virus (BYDV) in Wheat (Triticum aestivum)

Rebeca González Torres[1*]; Luis R. González Segnana[1]; Francisco Vergara Ocampos[1]; Osmar R. Arias[1]; María B. Ramírez de López[1]

[1] Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción (FCA-UNA). San Lorenzo, Paraguay. *rebegonzalezt@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El Barley yellow dwarf virus o Virus del Enanismo Amarillo de la Cebada es una de las enfermedades transmitidas por áfidos y causa pérdidas substanciales en todas las regiones productoras de trigo en el mundo entero, además de otros cultivos de la familia Poaceae (Miller y Rasochová 1997). Las pérdidas ocasionadas por este virus y sus diferentes cepas pueden causar hasta un 50% de la producción (Henry y Plumb 2002). Reconocer e identificar las especies que transmiten la enfermedad es de suma importancia para cualquier sistema de producción, a fin de encarar tácticas de control preventivo evitando la diseminación de la misma.

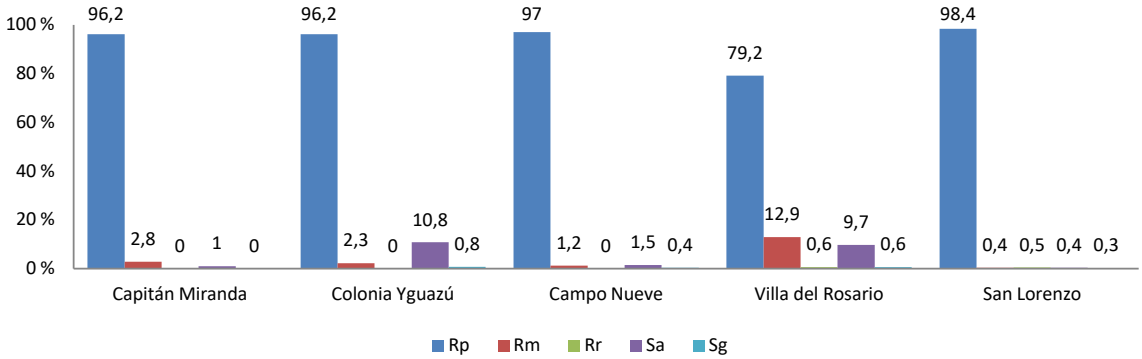
OBJETIVO

Identificar especies de áfidos transmisores del BYDV capturados en los cultivos de trigo de las zonas de mayor producción del país, Alto Paraná, Itapúa, Caaguazú y San Pedro.

METODOLOGÍA

Se colectaron áfidos en el Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay (CETAPAR) Colonia Yguazú, Alto Paraná; en el Centro de Investigación de Capitán Miranda (CICM), dependiente del IPTA, Itapúa; en Villa del Rosario, San Pedro y en la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA), San Lorenzo, Central. Los trabajos fueron realizados desde el mes de mayo hasta octubre del año 2014. Los insectos fueron colectados semanalmente desde el inicio de la emergencia hasta la etapa final del cultivo de trigo en el año 2014. Se utilizaron trampas tipo Moericke, que consisten en un recipiente de metal con el interior de color amarillo. Fueron realizadas las identificaciones consultando claves taxonómicas de Valle da Silva y Salvadori (2005).

Figura 1. **Porcentaje de áfidos colectados en el año 2014 en cultivos de trigo en Paraguay**



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En total fueron capturadas cinco especies de áfidos, *Rhopalosiphum padi, Rhopalosiphum maidis, Sitobion avenae, Schizaphis graminum* y *Rhopalosiphum rufiabdominalis*, que son consideradas transmisoras del virus. La especie *Rhopalosiphum padi* ha sido la especie con mayor ocurrencia, alcanzando un 97% en la localidad de Campo Nueve, Alto Paraná.

Agradecimientos

Al INBIO, IPTA, CETAPAR, y a los investigadores involucrados en el trabajo, por su cooperación

Referencias

_ Henry, M; Plumb, RT. 2002. Barley yellow dwarf luteoviruses and other virus diseases (en línea). FAO Corporate document repository. Disponible en www.fao.org

_ Miller, W; Rasochová, L. 1997. Barley yellow dwarf viruses. Iowa USA. Annual Revue Phytopathology n 35. 167-190.

_ Salvadori, JR; Lesche, GE. 2001. Manejo intergrado dos pulgoes do trigo. Passo Fundo BR. EMBRAPA Trigo. Documentos, 34. 52 p.

Figura 2. ***Rhopalosiphum padi* (Linneus, 1958). A) Antena; B) Sifúnculos; C) Adulto áptero; D) Adulto alado; E) Alas**

Silva y Salvadori (2005).

Póster N° 21

Detección del Soil Borne Wheat Mosaic Virus (SBWMV) en Parcelas de Trigo en el Departamento de Itapúa

Detection of Soil Borne Wheat Mosaic Virus (SBWMV) in Wheat Plots in the Department of Itapua

Luis R. González Segnana[1*], Francisco Vergara Ocampo[2], Rebeca González Torres[2], Richard Burgos Esquivel[3], César Darío Pino[1], Diego D. González Espínola[1]

[1*] luis.gonzalez@agr.una.py
[1] Docente Investigador. FCA-UNA.
[2] Alumno de Maestría de Protección Vegetal. FCA-UNA.
[3] Alumno de Ingeniería Agronómica. FCA-UNA.

INTRODUCCIÓN

El virus Soil Borne Wheat Mosaic Virus (SBWMV género Furovirus, Familia Virgaviridae) es el agente causal de una enfermedad en el cultivo del trigo reportado en varias regiones productoras del mundo (Kankuya et al. 2003). Los síntomas de la enfermedad incluyen mosaico, moteado, estrías de color verde claro a amarillo y enanismo; estas señales se manifiestan sobre todo en hojas jóvenes. Éste virus es transmitido por el organismo *Polymyxa graminis*, un parásito obligado de raíces de cereales, clasificado actualmente como protista (Yilmas et al. 2011).

OBJETIVO

Detectar el SBWMV en muestras de trigo en cultivos sintomáticos en diferentes regiones del Departamento de Itapúa.

METODOLOGÍA

Se realizaron viajes de prospección a las principales regiones productoras de trigo del Departamento de Itapúa buscando identificar parcelas que presentasen alguna sintomatología sospechosa atribuible al virus. En los casos en los que se detectaron parcelas sospechosas se procedió a tomar muestras que fueron identificadas y posteriormente trasladadas al Laboratorio de Biología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción para el análisis de detección del virus utilizando el test de ELISA. Luego, en todas las muestras que resultaron positivas para el virus, se procedió a la observación de tejido radicular por microscopía óptica mediante la selección y tinción de las raíces más finas con Azul de Lactofenol (azul algodón) de modo a observar las estructuras específicas como las esporas de resistencia de *Polymyxa graminis*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se observan las muestras positivas para el SBWMV. En todas las muestras positivas (Imagen 1a y 1b) para el virus se pudo observar también la presencia de diversas estructuras coloreadas

típicas de *Polymyxa* en el tejido radicular (Imagen 1c). Esta enfermedad se encuentra difundida en varias regiones del Departamento de Itapúa, posiblemente donde las condiciones edáficas, climáticas y varietales permiten la proliferación del virus y del vector.

Tabla 1. **Muestras positivas para SBWMV y *Polymyxa graminis***

Muestra	Localidad	Presencia	
		SBWMV	Polymyxa
Itapúa 65	Capitán Miranda	+	+
Codetec	Capitán Miranda	+	+
Itapúa75	La Paz	+	+
CRIA PTB	Capitán Miranda	+	+
Itapúa 65	Capitán Miranda	+	+
Codetec	Pirapó	+	+
CRIA PTB 2	Capitán Miranda	+	+
CRIA 98	Capitán Miranda	+	+
CRIA 11	Capitán Miranda	+	+
Itapúa 75	Itapúa Poty	+	+

Imagen 1. **1a) Parcela afectada por el SBWMV. 1b) Síntomas foliares del SBWMV. 1c) Estructura de resistencia de *Polymyxa graminis* en raíces de trigo**

CONCLUSIÓN

Tanto el SBWMV como su vector *Polymyxa graminis* están presentes en la región estudiada. Al tener una distribución importante en la región de Itapúa sería importante hacer una evaluación de las variedades locales estudiando su susceptibilidad/resistencia además de la incorporación de genotipos resistentes provenientes de centros de investigación de referencia en los programas de mejoramiento nacionales.

Agradecimientos

Al INBIO y CICM-IPTA por su colaboración en la realización de este trabajo

Referencias

_ Kanyuka, k. Ward, E. Adans, J. 2003. *Polymyxa graminis* and the cereal viruses it transmits: a research challenge. Molecular Plant Pathology 4(5):393-406.

_ Yilmas, N. Lyon, R. Smith, M. Kanyuka, K. 2011. Investigation of soil mosaic virus diseases transmitted by *Polymyxa graminis* in cereal production areas of Anatolian part of Turkey. Eur. J. plant Pathol 130:59-72.

Póster N° 22

Especies de Parasitoides de Áfidos (Hemíptera: Aphididae) en el Cultivo de Trigo (*Triticum aestivum*)

Species of Aphid (Hemiptera: Aphidae) Parasitoids Present in Wheat (Triticum aestivum) *Crop*

Rebeca González Torres[1*]; Luis R. González Segnana[1]; Francisco Vergara Ocampos[1]; Osmar R. Arias[1]; María B. Ramírez de López[1]

[1] Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción (FCA-UNA). San Lorenzo, Paraguay. *rebegonzalezt@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Los áfidos sirven de alimento y hospederos para gran número de organismos predadores, parasitoides y entomopatógenos (Salvadori y Lesche 2001). Los dos grupos de parasitoides koinobionte que atacan los áfidos Aphidiinae (Ichneumonoidea: Braconidae) y Aphelinidae (Chalcidoidea), ponen sus huevos en forma individual dentro de los pulgones vivos y la larva paraliza el desarrollo del áfido hasta que haya alcanzado la fase adulta, alimentándose del mismo causándole la muerte (Powell 1982; Askew y Shaw 1986). Muchos estudios han informado de que endoparasitoides himenópteros pueden reducir la capacidad de reproducción de los áfidos (He et. al 2005). En consecuencia, los parasitoides limitan las poblaciones de áfidos y es de suma importancia identificarlos para mejorar las tácticas en el manejo integrado de plagas y enfermedades del trigo.

OBJETIVO

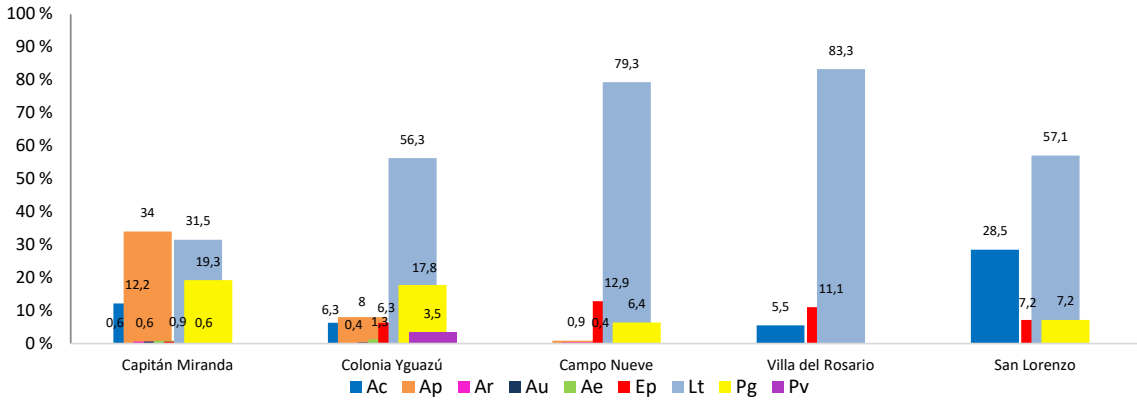
Identificar especies de parasitoides de áfidos capturados en los cultivos de trigo de las zonas de mayor producción del país, Alto Paraná, Itapúa, Caaguazú y San Pedro.

METODOLOGÍA

Se colectaron parasitoides en el Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay (CETAPAR) Colonia Yguazú, Alto Paraná; en el Centro de Investigación de Capitán Miranda (CICM), dependiente del IPTA, Itapúa; en Villa del Rosario, San Pedro y en la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA), San Lorenzo, Central. Los trabajos fueron realizados desde el mes de mayo hasta octubre del año 2014. Los insectos fueron colectados semanalmente desde el inicio de la emergencia hasta la etapa final del cultivo de trigo en el año 2014. Se utilizaron trampas tipo Moericke, que consisten en un recipiente de metal con el interior de color amarillo. Fueron realizadas las identificaciones consultando claves taxonómicas de Valle da Silva y Salvadori (2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 1. **Porcentaje de parasitoides colectados en cultivos de trigo en Paraguay, en el año 2014**



En total fueron capturadas nueve especies de parasitoides, *Lysiphlebus testaceipes, Ephedrus plagiator, Praon gallicum, Praon volucre, Aphidius colemani, Aphidius picipes, Aphidius evansi, Aphidius urbekistanikus, Aphidius rhopalosiphi.* La especie *Lysiphlebus testaceipes* se ha encontrado en todas las localidades, presentando un alto porcentaje. El análisis faunístico denomina a esta especie como súper dominante, súper abundante y súper frecuente en Colonia Yguazú; dominante y muy frecuente en las localidades de Capitán Miranda, Villa del Rosario y San Lorenzo; dominante y frecuente en la localidad de Campo Nueve.

Agradecimientos

Al INBIO, IPTA, CETAPAR, y a los investigadores involucrados en el trabajo, por su cooperación

Referencias

_ He, XZ; Wang, Q; Teulon DA. 2005. The effect of parasitism by Aphidius ervi on development and reproduction of the pea aphid, Acyrthosiphon pisum. Insect Pests of Trees & Crops 202. NZ. New Zealand Plant Protection 58:202-207

_ Powell, W. (1982), The identification of hymenopterous parasitoids attacking cereal aphids in Britain. EN. Sistematic Entomology, 7, 465-473

_ Salvadori, JR; Lesche, GE. 2001. Manejo intergrado dos pulgoes do trigo. Passo Fundo BR. EMBRAPA Trigo. Documentos, 34. 52 p.

Póster N° 23

Infección Simultánea del WSSMV y el SBWMV en Parcelas de Trigo del Departamento de Itapúa

Combined Infection of WSSMV and SBWMV in Wheat Plots in the Department of Itapua

Luis R. González Segnana[1*], Francisco Vergara Ocampo[2], Rebeca González Torres[2], Richard Burgos Esquivel[3], César Darío Pino[1], Diego D. González Espínola[1]

[1*] luis.gonzalez@agr.una.py

[1] Docente Investigador. FCA-UNA.

[2] Alumno de Maestría de Protección Vegetal. FCA-UNA.

[3] Alumno de Ingeniería Agronómica. FCA-UNA.

INTRODUCCIÓN

Existen varios virus que pueden infectar cereales y ser transmitidos por *Polymyxa graminis.* Entre éstos se destacan el Soil Borne Wheat Mosaic Virus (SBWMV), el Soil Borne Cereal Mosaic Virus (SBCMV) y el Wheat Spindle Streak Mosaic Virus (WSSMV); éstos patógenos actuando juntos o en sinergia están causando importantes reducciones en los rendimientos, sobre todo en aquellas variedades con menos resistencia genética en diversas regiones del mundo (Davidson, 2004; Rush, 2003). En el presente trabajo se realizaron estudios para determinar la presencia de los mismos en forma aislada o en conjunto en áreas trigueras del Departamento de Itapúa.

OBJETIVO

Determinar la presencia del SBWMV, SBCMV y el WSSMV en cultivos de trigo del Departamento de Itapúa.

METODOLOGÍA

Se procedió a colectar muestras en la región de Itapúa de parcelas de trigo con algún síntoma particular atribuible a enfermedades virósicas, mediante datos suministrados por técnicos de instituciones privadas y estatales. Una vez localizadas las parcelas se procedió a la colecta de muestras para su posterior traslado al Laboratorio de Biología de la FCA-UNA para su análisis mediante el test de ELISA utilizando anticuerpos policlonales y monoclonales específicos para los virus estudiados según la metodología utilizada por González Segnana et al. (2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

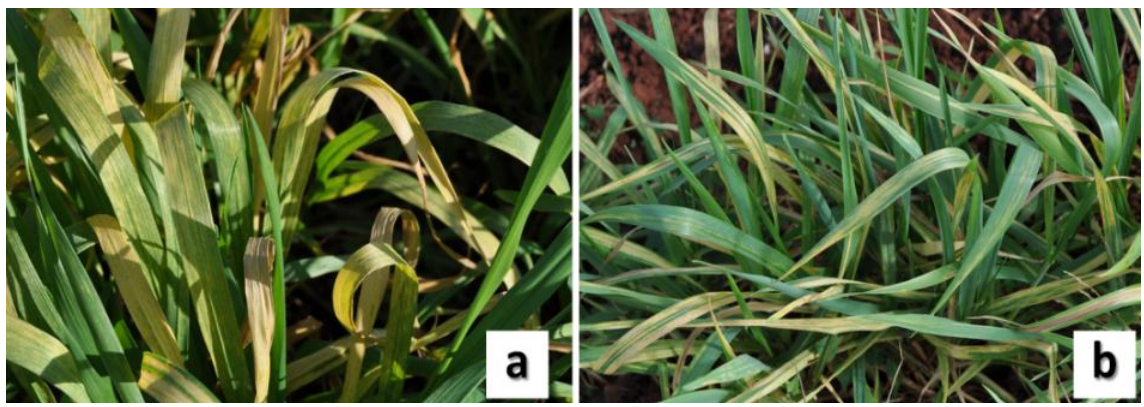
De las 14 parcelas estudiadas (Tabla 1), 7 de ellas tenían infecciones dobles de SBWMV y WSSMV (Imagen 1a y 1b), en los demás casos se observaron parcelas infectadas con uno de ellos solamente. El SBCMV no fue detectado en ninguno de los casos.

Estas enfermedades muchas veces están siendo confundidas con problemas nutricionales por los productores. Las condiciones de suelo y clima en la región resultan favorables para la presencia de éstas enfermedades en determinadas parcelas del Departamento de Itapúa al igual que la región sur del Brasil (Dalbosco et al. 2002).

Tabla 1. **Muestras analizadas para SBWMV, WSSMV y SBCMV**

Muestra	Localidad	Presencia		
		SBWMV	WSSMV	SBCMV
Itapúa 65	Capitán Miranda	+	-	-
Codetec 116	Capitán Miranda	+	-	-
CRIA 1	Capitán Miranda	+	+	-
Trocisa 1	Capitán Miranda	-	+	-
CRIA 8	Capitán Miranda	+	+	-
Trocisa 3	Capitán Miranda	-	+	-
Canindé	Capitán Miranda	-	+	-
Trocisa 2	Capitán Miranda	+	+	-
Pirapó	Pirapó	+	-	-
Codetec	Capitán Miranda	+	+	-
CRIA PTB	Capitán Miranda	+	+	-
CRIA 98	Capitán Miranda	+	+	-
CRIA 11	Capitán Miranda	+	+	-
Itapúa 75	Itapúa Poty	-	+	-

Imagen 1. **a) Síntomas foliares de infección múltiple. b) Trigo afectado por infección doble**



CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

Ambas enfermedades están distribuidas en la región estudiada por lo que sería recomendable hacer una evaluación varietal de modo a conocer la susceptibilidad y/o resistencia a las mismas para evitar pérdidas de rendimiento.

Agradecimientos

Al INBIO y CICM-IPTA por su colaboración en la realización de este trabajo

Referencias

- Dalbosco, M.; Schons, J.; Prestes, A.M; Cecchetti, D. 2002. Efeito do virus do mosaico do trigo sobre o rendimento de trigo e triticale. Fitopatol. bras. 27(1) jan-fev 2002
- Davidson, C. Bergstrom, G. 2004. The Effects of Postplanting Environment on the Incidence of Soilborne Viral Diseases in Winter Cereals. Phytopathology 94(5):527-534.
- González Segnana, L.R; Vergara O., F.A.; Grabowski, C.; González, R.; Arias, O.; Ayala, S. 2015. Incidencia del virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV) en cultivos de trigo (*Triticum spp*) en la región sur del Paraguay. Investig. Agrar. 17(1): 60-64.
- Rush, C. 2003. Ecology and Epidemiology of Benyviruses and Plasmodiophorid Vectors. Annu. Rev. Phytopathol. 41:567-592.

Póster N° 24

Evaluación de la Eficiencia de Diferentes Insecticidas Curasemillas para el Control del Coro de las Pasturas (*Diloboderus abderus*), en el Cultivo de Trigo Bajo Condiciones de Invernadero

Efficiency of Different Seed Treatment Insecticides to Control Diloboderus *Beetle* (Diloboderus abderus) *in wheat crop*

Ing. Agr. Nathalia Acosta; Ing. Agr. Gabriela Acosta;
Colaborador: **BTA Narciso Almada**

INTRODUCCIÓN

En algunas regiones especialmente en el sur de Itapúa, el coro de las pasturas se ha convertido en una plaga de ataque temprano y de mucha importancia en cultivos extensivos. Las larvas consumen preferentemente raíces y semillas de gramíneas, y una larva puede consumir hasta 10 plantas. El adulto, escarabajo que suele ser atraído por las luces de alumbrados, coloca los huevos en un nido de las que emergen las larvas, caracterizadas por ser blancas con tres pares de patas, sus daños son observados a partir de los meses de mayo a junio. Disminuyen considerablemente el stand de plantas de trigo, debido a la destrucción del sistema radicular.

En parcelas donde poseen registros del ataque de esta plaga al cultivo de trigo, frecuentemente, es recomendado el uso de insecticidas curasemillas a base de productos de acción sistémica y/o de contacto, en el caso que no sea posible la rotación de cultivos con especies como el nabo forrajero y la canola. Para que el control de esta plaga sea eficiente es necesario que el producto utilizado sea el adecuado, por lo tanto, surge la necesidad de generar información a través de este ensayo y así realizar recomendaciones adecuadas al productor.

OBJETIVO

Evaluar la eficiencia de los insecticidas curasemillas para el control del Coro de las pasturas *(Diloboderus abderus)* en días posteriores a la siembra del cultivo de Trigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue realizado en el invernadero ubicado dentro de las instalaciones del Centro de Investigación de Capitán Miranda, Itapúa, en el periodo comprendido entre los meses de agosto a setiembre del 2015.

El diseño experimental fue de DCA (Diseño completamente al azar), utilizándose 5 tratamientos con 4 repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por macetas de plástico de 1 litro (15cm de diámetro) que contenían una densidad de 10 plantas de trigo distribuidas de forma aleatoria. El ensayo se llevó a cabo bajo condiciones controladas de temperatura de 18˚C ± 26˚C.

Se dio inicio al ensayo el 11 de agosto del 2015, con la siembra de semillas de trigo de la variedad Itapúa 75, previamente tratadas conforme al cuadro N° 1. El sustrato utilizado fue tierra en mezcla con arena (proporción 1:1) brindando mayor ligereza y permitiendo de esta forma la extracción completa de las raíces al final del ensayo para su evaluación. Pasado 13 días después de la siembra se realizó la infestación teniendo en cuenta una proporción de 1 larva de *Diloboderus abderus* cada 5 plantas de trigo, se colectaron un total de 40 larvas de parcelas pertenecientes a la institución.

Cuadro 1. **Dosis y momento de aplicación de insecticidas curasemillas para el control del Coro de las pasturas (*Diloboderus abderus*) en trigo. Capitán Miranda, 2015**

Ingrediente activo	Dosis ml/200 gr semilla*	Plaga	Momento de Aplicación
Thiametoxam	0,2	*(Diloboderus Abderus)*	Tratamiento de semilla – Previo a la siembra
Thiodicarb	2		
Fipronil + Imidacloprid	0,38		
Imidacloprid + Thiodicard	0,4		
Testigo sin tratamiento	-----		-----

* Las dosis utilizadas son las recomendadas por cada producto, no se evaluó eficiencia con diferentes dosis.

Se realizaron 4 evaluaciones cada 3 días desde la fecha de infestación (ddi), las evaluaciones consistieron en el conteo de plantas cortadas dentro de cada unidad experimental. La evaluación final fue realizada el 23 de setiembre del 2015, donde se realizó la extracción de las plantas sobrantes para la evaluación del consumo de raíces y conteo de larvas vivas por unidad experimental. Los datos fueron analizados estadísticamente por medio del Análisis de Varianza y la comparación de medias se realizó por el Test de Duncan al 5% de probabilidad realizado a través del programa Infostad. El % de eficiencia fue hallado por la fórmula de Abbott (% E= (Testigo - tratamiento / Testigo) x 100), donde se considera: 0-20 %= eficiencia muy baja; 21-40 %= eficiencia Baja; 41-60 %= eficiencia media; 61-80 %= eficiencia buena y 81-100 %= eficiencia excelente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fue evaluado el promedio de plantas cortadas a causa del consumo de raíces por el Coro de las pasturas, en donde los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente y los resultados obtenidos son expuestos en el siguiente cuadro.

El cuadro 2 representa el análisis de varianza, en el cual se encontró que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos, donde se consideran las cuatro evaluaciones realizadas cada tres días, esto explica que hubo diferencia en la acción de los insecticidas curasemillas. En el Test de Duncan no se observan diferencias significativas entre los insecticidas curasemillas a base de Thiametoxan, Imidacloprid + Thiodicarb e Imidacloprid + Fipronil, debido a que el promedio de plantas cortadas es similar entre estos tratamientos. Entre el insecticida curasemilla a base de Thiodicarb y el Testigo sin tratamiento químico no existe diferencia significativa, debido a que el número de plantas cortadas en ambos tratamientos también son similares.

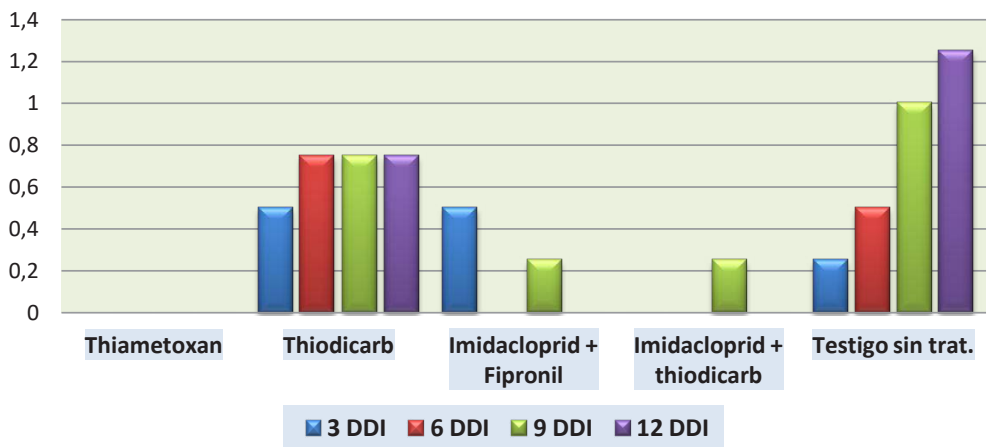
Esta diferencia en la acción de los insecticidas curasemillas utilizados fue observada en las cuatro lecturas realizadas, donde la eficiencia de los mismos fue marcada hasta el final del periodo de evaluación. Estos datos son explicados a través de la siguiente figura.

Cuadro 2. **Análisis estadístico del promedio de plantas de trigo cortadas por larvas de *Diloboderus abderus* bajo diferentes tratamientos de insecticidas curasemillas. Capitán Miranda, 2015**

Análisis de Varianza					
F.V.	SC	gl	CM	F	
Modelo	0,57	4	0,14	9,83	
Tratamientos	0,57	4	0,14	9,83	
Error	0,22	15	0,01		
Total	0,79	19			
F – Tratamiento	**0,0004**	**			
CV %	**13,54**				
Tratamientos	**Medias**	**n**	**E.E.**	**Test de Duncan**	
Thiametoxan	0	4	0,06	A	
Imidacloprid + Thiodicarb	0,06	4	0,06	A	
Imidacloprid +Fipronil	0,1	4	0,06	A	
Thiodicarb	0,7	4	0,06		B
Testigo sin trat.	1,1	4	0,06		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

La figura 1 representa el número de plantas cortadas en los cinco tratamientos utilizados durante los cuatro días de evaluación, donde el insecticida curasemilla que tuvo mayor eficiencia fue el Thiametoxan, que comprobado por la fórmula de Abbott tuvo una eficiencia del 100% (excelente), debido a que no se observaron plantas cortadas hasta el final del ensayo. Así también, el Imidacloprid + Thiodicarb tuvo una eficiencia excelente del 92%, con 0,25 plantas cortadas a los nueve días después de la infestación. Se comprobó que el insecticida curasemilla a base de Imidacloprid + Fipronil tuvo una eficiencia del 75% (buena), con 0,5 y 0,25 plantas cortadas, respectivamente, a los tres y nueve días después de la infestación.

Figura 1. **Promedio de plantas de trigo cortadas por larvas de *Diloboderus abderus* bajo diferentes tratamientos de insecticidas curasemillas. Capitán Miranda, 2015**

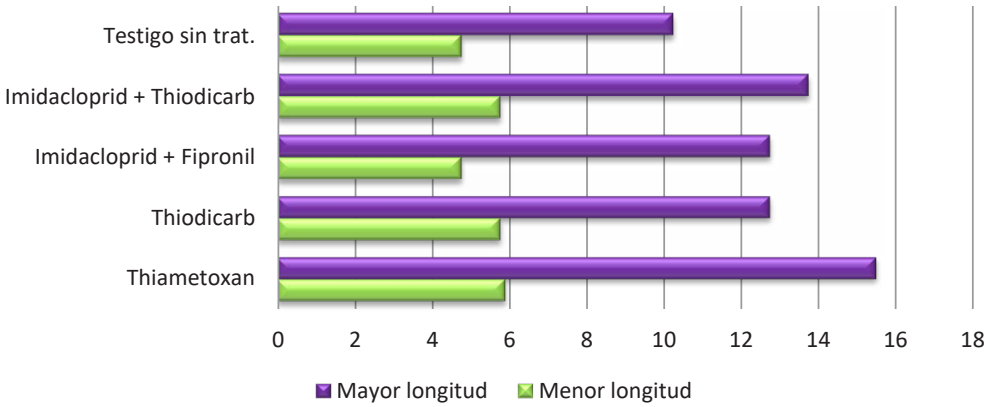


El tratamiento con menor eficiencia, alcanzando el 8,33% (muy bajo), fue el Thiodicarb y como se observa en la figura 1 se contabilizaron plantas cortadas en los cuatro días de evaluación. El promedio general en este tratamiento es muy similar al del testigo, existiendo repeticiones con hasta dos a tres plantas cortadas cada 3 días, lo que indica que las larvas se alimentaron del inicio al final del ensayo.

Al final del ensayo se obtuvo los datos de longitud de raíces dentro de cada tratamiento, que

puede ser observado en la figura 2, el cual explica la intensidad del consumo de raíces por las larvas a lo largo del ensayo y puede considerarse como un respaldo de los resultados ya mencionados.

Figura 2. **Longitud de raíces de plantas de trigo consumidas por larvas de *Diloboderus abderus* bajo la acción de diferentes insecticidas curasemillas. Capitán Miranda, 2015**



Observando los datos de longitud de raíces de plantas tratadas con el insecticida curasemilla a base de Thiametoxan, se comprueba que las larvas consumieron en menor medida las mismas, observándose las raíces de mayor longitud en este tratamiento. Por lo tanto, las larvas de *Diloboderus abderus* prácticamente no consumieron las mismas, en comparación a los demás resultados, y por lo tanto no llegaron a cortar plantas.

Como se observó en la figura 1, en las plantas tratadas con Imidacloprid + Thiodicarb ciertas plantas fueron cortadas pero las demás mantuvieron una longitud de raíces entre 5,5 a 13,5 cm, lo que significa que las larvas no llegan a alimentarse de las mismas en gran medida. Por lo tanto, se comprueba que este tratamiento es altamente eficiente.

Las plantas tratadas con Imidacloprid + Fipronil y Thiodicarb mantuvieron una longitud de raíces prácticamente similar, pero con menor control en el consumo total de raíces. Sin embargo, en el testigo es observado que las larvas se alimentaron prácticamente de todas las plantas en 12 días de ensayo.

A través de este ensayo se demuestra que los insecticidas curasemillas que poseen mayor eficiencia contra los daños de larvas de *Diloboderus abderus* en plantas de trigo, son aquellos de acción sistémica, debido a que el de mejor resultado fue el Thiametoxan, así también, el Imidacloprid en mezcla con Fipronil. Además, el Thiodicarb producto de contacto como tratamiento único tuvo una eficiencia muy baja, sin embargo, cuando se encuentra en mezcla con el Imidacloprid, producto sistémico, posee resultados excelentes.

CONCLUSIONES

- El insecticida curasemilla a base de Thiametoxan posee una eficiencia excelente, en donde no fueron observadas plantas cortadas y las larvas prácticamente no se alimentaron de las raíces 12 días después de la infestación.
- Los insecticidas curasemillas a base de Imidacloprid + Thiodicarb e Imidacloprid + Fipronil demostraron una eficiencia excelente y buena, respectivamente, en donde se observaron un número de plantas de trigo cortadas muy reducido durante los días de evaluación.
- El tratamiento de menor eficiencia fue el insecticida curasemilla a base de Thiodicarb, en donde los daños fueron muy elevados y similares al Testigo sin tratamiento químico.
- Los insecticidas de acción sistémica son de mayor eficiencia contra el ataque de larvas de *Diloboderus abderus.*

Cosecha de ensayos de trigo, Capitán Miranda.

El equipo del Proyecto de Trigo IPTA/CAPECO/INBIO.

ISBN 978-99953-849-7-5

CAPECO

INBIO
INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA