

MODERADOR: Martín Descalzo

Socio ASAGIR – Miembro de la Comisión Organizadora del Congreso. Sursem.

NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TOLERANCIA A HERBICIDAS**DISERTANTE: CARLOS SALA**

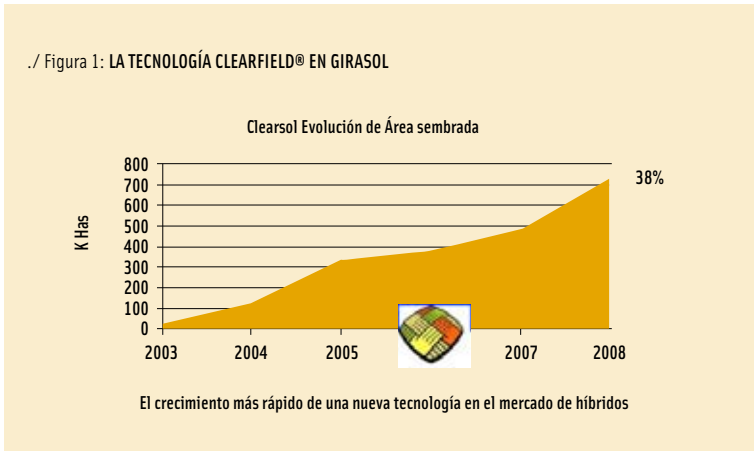
Ingeniero y Master en Ciencias por la Universidad Nacional de Mar del Plata. Ha sido docente e investigador universitario y ha dirigido tesis de grado y postgrado. Publicó numerosos trabajos y comunicaciones científicas y es obtentor de creaciones fitogenéticas en varios cultivos. Actualmente es Gerente de Investigación del Departamento de Biotecnología de Nidera, y junto a su equipo y el liderado por Brigitte Weston de BASF, ha creado y desarrollado la tecnología CL Plus.



CL Plus es una nueva tecnología de tolerancia a herbicidas en girasol y la evolución de una tecnología ya existente.

Actualmente, en el mercado existe la tecnología Clearfield, que le permitió al productor argentino realizar un control de malezas clave en el girasol, un cultivo para el que no había herbicidas específicamente desarrollados. El herbicida Clearsol otorga un amplio espectro y control efectivo de malezas con una sola aplicación post emergente temprana, de modo que reduce el número de aplicaciones necesarias para controlar las malezas en el cultivo, posibilita la siembra directa y gracias a que otorga un período extendido de control, evita nuevos nacimientos. Mejora la eficiencia, la calidad de cosecha y disminuye los descuentos por cuerpos extraños. Desde que la tecnología Clearfield llegó a la Argentina en 2003, el productor ha logrado más rendimiento y rentabilidad, y actualmente logró abandonar esos lotes totalmente enmalezados y obtener un lote absolutamente limpio en el momento de la cosecha. Las virtudes de la tecnología Clearfield en girasol fueron de tal magnitud que si analizamos su tasa de adopción –una de las mejores maneras de saber si una tecnología tiene impacto en un cultivo– encontramos que entre 2003 y 2009 la cifra fue creciendo progresivamente hasta alcanzar un 38% de los productores de girasol que lo adoptaron definitivamente (ver Figura 1).

./ Figura 1: LA TECNOLOGÍA CLEARFIELD® EN GIRASOL



REF: DEPARTAMENTO TÉCNICO BASF. INFORME INTERNO

Tuvo el crecimiento más rápido que una tecnología en el mercado de híbridos ha tenido hasta el momento. Sin embargo, nosotros sabíamos ya en 2003 que existían algunos puntos de la tecnología que eran importante mejorar, por eso iniciamos un acuerdo con la empresa BASF para desarrollar su evolución. Así comenzó un programa de mutagénesis que culminó en la innovación que a continuación se presenta.

DE CLEARFIELD A CL PLUS

La tecnología Clearfield está basada en dos sistemas fisiológicos que tienen control genético separado. Uno es el responsable de la actividad de una enzima, que se llama AHAS y está determinada por un solo gen. Esa enzima es el *target* sobre el cual actúa inicialmente el herbicida cuando se aplica a la planta. Paralelamente es necesario que actúe otro sistema fisiológico que metabolice al herbicida mientras está en la célula, es decir, que comience a degradar la molécula. Ambos sistemas fisiológicos tienen dos controles genéticos separados, lo que determina que para introducir la tecnología Clearfield a un híbrido hay que introducir al menos dos genes: uno responsable de la síntesis de la enzima AHAS y otro responsable de modificadores que tratan de detoxificar el herbicida de la planta.

Esto es así porque el gen que determina la actividad de la enzima AHAS en los girasoles Clearfield, también llamados Imisun, no es extre-

madamente potente, de modo que se necesita un sistema de detoxificación. Nuestra idea, originalmente, era lograr un gen que produjera una enzima más tolerante al herbicida, que permitiera prescindir del sistema de detoxificación y de un segundo sistema genético, y que genere girasoles mucho más tolerantes a este herbicida a campo.

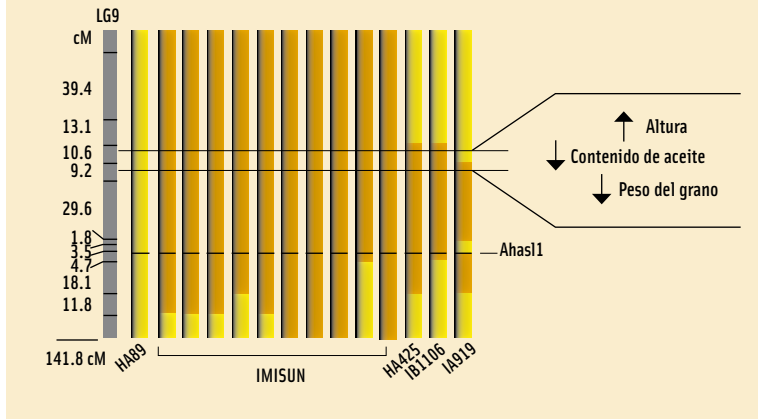
Por otra parte, también queríamos eliminar un problema asociado a la resistencia original de los girasoles Clearfield: como provenían de poblaciones silvestres de *Helianthus annuus*, una buena parte de los genes que están estrechamente ligados al gen de resistencia se introdujeron junto con este gen en el cultivo de girasol. Lamentablemente algunos de esos genes ocasionan una disminución del porcentaje de aceite en el grano, y por esta razón, en los años posteriores al lanzamiento había dos o tres puntos menos de aceite en todos los híbridos Clearfield en comparación con los híbridos convencionales. Entonces también queríamos que no existiese genoma, ADN o cromosomas de la especie silvestre dentro del cultivo de girasol, para retornar al porcentaje de aceite y al rendimiento de los girasoles convencionales.

TRABAJO DE LABORATORIO

Como muestra la Figura 2, en una gran cantidad de genoma –naranja– aparece genoma silvestre, que se mantuvo alrededor del gen AHAS L1 que confiere la resistencia. En la derecha de la imagen, se ve un gen, un QTL que determina mayor altura, menor contenido de aceite y menor peso de mil granos. Lo queríamos eliminar para otorgar no sólo mayor resistencia a herbicidas sino también mayor rendimiento.

Para lograr una enzima AHAS más potente utilizamos la estrategia de mutagénesis, que consiste en cambiar únicamente una letra de toda la información genética del girasol. Obtenidos los mutantes y evaluados por su resistencia a imidazolinonas, encontramos una planta entre 600.000 evaluadas que mostró altos niveles de resistencia. Luego secuenciamos el ADN del gen que produce la enzima AHAS de esa planta mutante que habíamos obtenido y vimos que habíamos alcanzado exactamente la mutación que necesitábamos: se había modificado un aminoácido en el sitio activo de la enzima, lo que determinaba que en pruebas in vitro la actividad de la nueva enzima AHAS –que habíamos obtenido por mutagénesis– fuera mucho mayor, casi del doble de la que

./ Figura 2: INTRODUCCIÓN DE RESISTENCIA A IMIDAZOLINONAS DESDE POBLACIONES SILVESTRES DE GIRASOL



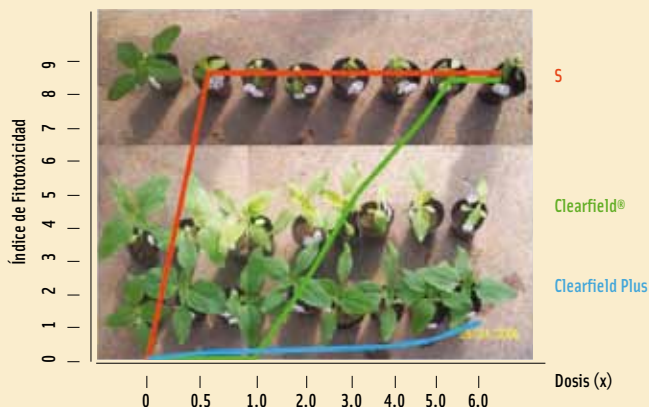
REF.: TRUCILLO, I. ET AL. 2010. V CONGRESO ARGENTINO DE GIRASOL. POSTER 8.

exhibían los girasoles CL. Y obviamente, muchísimo mayor que la de los girasoles susceptibles.

Era momento, entonces, luego de hacer los ensayos de tolerancia in vitro, de continuar con las pruebas a nivel biológico. Para eso necesitábamos obtener materiales que tuvieran el mismo trasfondo genético, es decir, el mismo genotipo para los 30 mil genes de girasol, excepto por el mutante que nosotros habíamos creado, y que queríamos comparar con el mutante Imisun. Para eso desarrollamos una cantidad de marcadores moleculares que pueden detectar fácilmente el gen que habíamos creado, el gen CLPlus, y que también podían detectar cualquiera de los otros genes acompañantes, otros alelos del mismo locus Ahas1, que era el locus que nosotros intentábamos cambiar. Gracias a estos marcadores pudimos hacer conversiones de materiales genéticos, de forma tal de comparar iguales trasfondos genéticos, excepto por la diferencia en el genotipo en Ahas1.

En la Figura 3 se ve que a partir de un híbrido susceptible –que no tenía ningún mutante para resistencia– creamos un híbrido Clearfield homocigótico para el gen Imisun, que es el gen que tienen los girasoles

./ Figura 3: EVALUACIÓN DEL CARÁCTER BAJO CONDICIONES CONTROLADAS



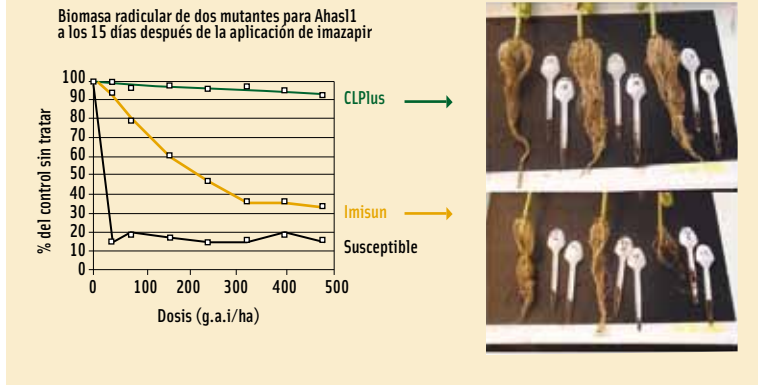
SALA, BULOS & WESTON. 2010.

Clearfield que actualmente están en el mercado; y un híbrido homocigótico CLPlus.

LA HORA DE LOS TESTS

Aplicamos herbicida a todos estos híbridos desde cero –esto es, sin tratamiento– en distintos niveles: desde media X a 6X, siendo “X” la dosis de herbicida actualmente utilizada a campo. Como se puede apreciar, la planta susceptible exhibe a media X una gran cantidad de síntomas de fitotoxicidad, y a 1X ya están muertas. En el caso de los girasoles Clearfield o Imisun, soporta media X, 1X y luego comienza a haber amarillamientos y deformaciones hasta muerte del ápice de la planta, porque no puede producir aminoácidos esenciales para su crecimiento. Y en el caso de las plantas homocigóticas CLPlus, como se puede ver, no hay ningún síntoma asociado al incremento en las dosis de herbicidas. De hecho, la fitotoxicidad de cada uno de estos tres genotipos es visible en estas curvas: la del CLPlus se mantuvo muy baja e inalterable, sólo un poquito aumentó hacia 6X pero no fue significativo, mientras que la de los girasoles Imi-

./ Figura 4: EFECTO SOBRE LA BIOMASA RADICULAR



SALA, C. & BULOS, M. 2010

sun incrementaba exponencialmente a partir de 2X, hasta la muerte de las plantas.

Lo mismo que encontramos en la parte aérea de las plantas también ocurría en la parte subterránea, en las raíces, algo que es importante para este cultivo porque geográficamente va a estar situado en regiones con estrés hídrico. La parte radicular nos interesaba tanto como la biomasa aérea, y queríamos investigar qué ocurría cuando una planta recibía dosis de herbicida en su parte aérea. Como se puede apreciar en la Figura 4, en el caso de CL Plus la biomasa radicular se mantenía casi inalterable cuando se incrementaba las dosis de herbicida. En el caso de Imisun, por otra parte, la biomasa radicular decrecía continuamente a medida que se iba agregando herbicida sobre la parte aérea.

LA EXPERIENCIA A CAMPO

Fue tras estas pruebas a nivel de invernáculo que supimos que teníamos los materiales y la tecnología como para iniciar ensayos de campo. En la Figura 5 se puede apreciar cómo en un ensayo de campo se va incrementando la dosis de herbicida hasta llegar a algunas plantas en las que hay amarillamiento y otras que no están tan bien. En dichas imágenes se pueden ver las plantas sin tratar, aquellas que fueron tratadas con

./ Figura 5: EVALUACIÓN DEL CARÁCTER A CAMPO



dos veces la dosis de campo, otras con cuatro veces la dosis de campo y, finalmente, seis veces la dosis de campo. Como se aprecia, los síntomas de fitotoxicidad se incrementan inmediatamente en los girasoles Imisun a medida que se incrementa las dosis de herbicida.

En el caso de los materiales CL Plus, en cambio, a medida que se aumentan las dosis de herbicida, no hay prácticamente ningún síntoma de fitotoxicidad. Eso indica, entonces, que la enzima que está produciendo esta planta es altamente tolerante y soporta las dosis de herbicidas, hasta 8 y 10X, como hemos tratado a campo.

Sabíamos que podíamos comenzar a ingresar esta tecnología y hacer ensayos en todo el mundo. ¿Por qué razón queríamos hacer ensayos en todo el mundo? Porque necesitábamos exponer estos genotipos a todas las variaciones ambientales que pudiéramos encontrar. Hicimos ensayos en Estados Unidos, en varios países de Sudamérica y en Europa, para comparar la fitotoxicidad y el rendimiento de los híbridos CL Plus en relación con los híbridos Imisun.

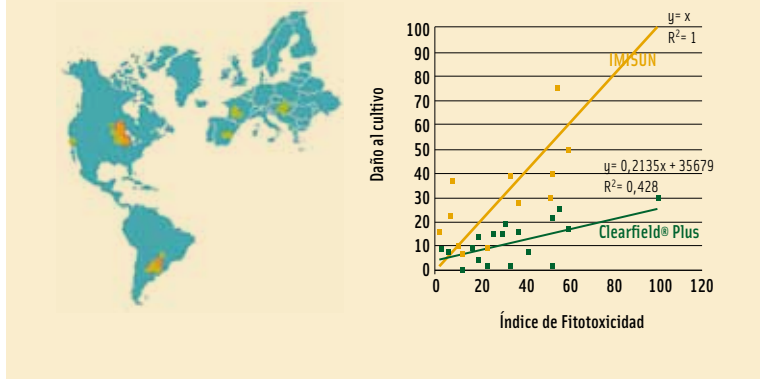
RESULTADOS SUPERIORES

A continuación voy a compartir cuatro años de ensayos en todas estas localidades. En primer lugar me quiero referir a la adaptabilidad de

las dos tecnologías, es decir, a la capacidad de ambas para tolerar la severidad del ambiente. ¿A qué llamamos ambiente? El ambiente se puede dividir conceptualmente en dos partes. En primer lugar está la parte predecible: la dosis y el tipo de herbicida –dos elementos que son manejables–, y el tipo de suelo o el clima general de un lugar. Estos elementos son predecibles, y la adaptabilidad, en consecuencia, nos está demostrando cómo interactúa cada una de las tecnologías con estos aspectos predecibles del ambiente. La otra parte en la que podemos dividir al “ambiente” es aquella que no es predecible: el tiempo climático básicamente, o sea, las variaciones en temperatura y humedad.

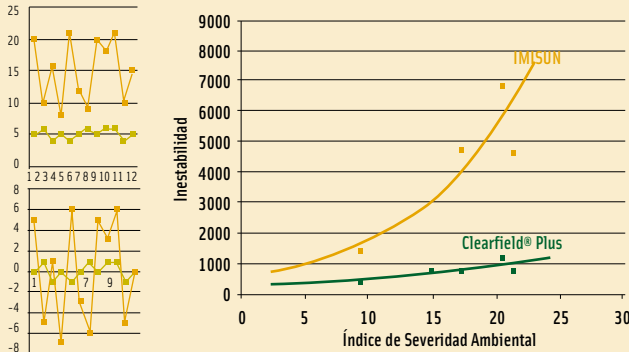
Como muestra la Figura 6, cuando se grafica la fitotoxicidad o el daño al cultivo con respecto al índice de fitotoxicidad –es decir, a la severidad que tiene el ambiente–, en la tecnología Imisun, graficada en naranja, inmediatamente se incrementa el daño al cultivo. Por el contrario, en la tecnología Clearfield Plus se mantiene mucho más bajo en todos los ambientes. De hecho, el daño al cultivo era superior en la tecnología Imisun que en la tecnología Clearfield Plus, de modo que sabíamos que podíamos cambiar moléculas de tipo imidazolinonas, e incorporar mayores dosis de herbicida porque la tecnología Clearfield Plus la soportaría.

./ Figura 6: ADAPTABILIDAD: Capacidad de tolerar la severidad del ambiente (variación predecible: dosis, clima y tipo de suelo)



REF.: SALA, BULOS & WESTON, 2008. INT. SUNFLOWER CONFERENCE

./ Figura 7: ESTABILIDAD: Capacidad de hacer frente a las variaciones impredecibles del ambiente (humedad, temperatura)



REF.: SALA, BULOS & WESTON, 2010

El segundo punto que investigamos fue cómo reaccionaban ambas tecnologías con respecto a la parte no predecible del ambiente. A esto lo llamamos “estabilidad”, es decir, cómo se llevan ambas tecnologías con las variaciones en el tiempo climático. Si bien puedo manejar la dosis y el tipo de herbicida, manejar el suelo y asumir el clima, el tiempo climático nadie lo maneja. Cuando se grafica de nuevo la severidad ambiental en este eje –y acá agregó la inestabilidad, porque cuanto más interactúa con la variación no predecible, más inestable es una tecnología– se puede ver que inmediatamente la tecnología Imisun incrementa su inestabilidad a medida que la severidad del ambiente se incrementase más alta. Por su parte, la tecnología Clearfield Plus mantiene una estabilidad muy alta a través de todos los ambientes, lo que significa que interactúa poco con las variaciones impredecibles del ambiente y, por ende, es mucho más estable que la tecnología Imisun (ver Figura 7).

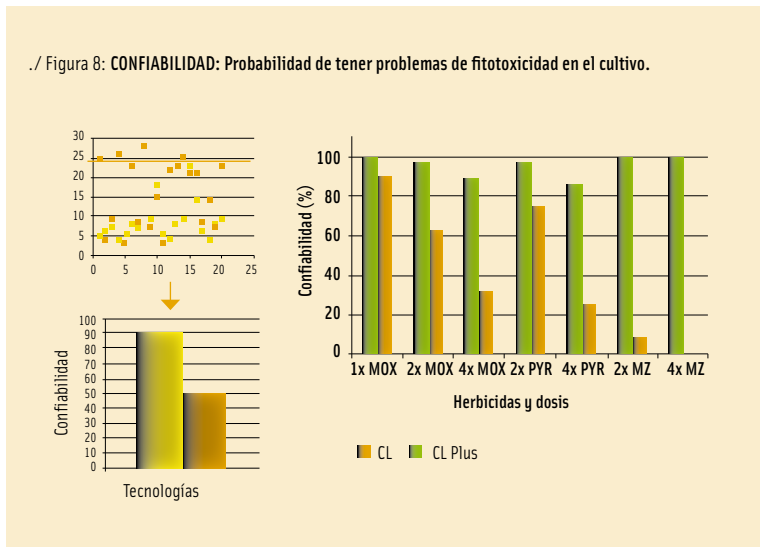
MAYOR CONFIABILIDAD

El tercer punto a determinar era cuán “confiable” es una tecnología con respecto a la otra. Para esto tomamos un parámetro de la industria automotriz, donde la confiabilidad es un parámetro que cuantifica la pro-

bilidad de no sufrir un desastre. Supongamos que cambio una pieza de un motor por otra, que está hecha con otro material. La nueva, ¿va a brindar la misma confiabilidad a todo el sistema, al motor, al auto y a las personas que están arriba del auto, o está disminuyendo la confiabilidad y tengo mayores probabilidades de sufrir un desastre? En consecuencia, nosotros calculamos la probabilidad de tener problemas de fitotoxicidad mayores a un 20% –el valor que tomamos como sinónimo de “desastre”– para cada una de estas dos tecnologías.

La Figura 8 grafica, en verde, la confiabilidad de la tecnología CL Plus y en naranja la confiabilidad del Imisun. Como se puede observar, a medida que se incrementa la dosis de herbicida, la confiabilidad de la tecnología Imisun decrece; cuando se cambia de herbicidas también ocurre lo mismo, y más importante, cuando se combinan dos moléculas como Imazamox e Imazapir, la confiabilidad de la tecnología Imisun decrece a cero, es decir que siempre va a haber problemas de fitotoxicidad superior al 20%. Por el contrario, en la tecnología CL Plus la confiabilidad se mantiene siempre al 100%, lo que demuestra que en comparación con la tecnología Imisun es extremadamente confiable.

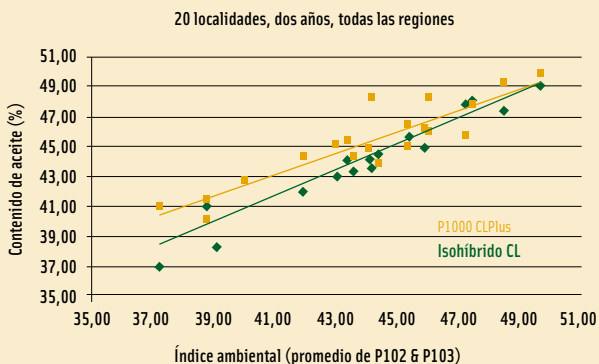
./ Figura 8: CONFIABILIDAD: Probabilidad de tener problemas de fitotoxicidad en el cultivo.



REF.: SALA, BULOS & WESTON, 2010

¿Qué pasó con el aceite, que era uno de los objetivos? Una vez que se obtuvieron los isohíbridos pudimos compararlos a campo en muchas localidades. Como expone la Figura 9, una comparación realizada en veinte localidades de toda la Argentina a lo largo de dos años muestra que en relación con dos materiales testigo muy potentes, como son Paraíso 102 y Paraíso 103, siempre el material CL Plus, que se llama Paraíso 1000 CL Plus, está por arriba en contenido de aceite respecto de su isohíbrido CL o Imisun. Esto significa que el objetivo de lograr que la tecnología CL Plus tuviera más aceite por hectárea que la tecnología Imisun, también lo hemos logrado.

./ Figura 9: CONTENIDO DE ACEITE EN PARAÍSO 1000 CL PLUS VERSUS SU ISOHÍBRIDO IMISUN



REF: ELABORADO SOBRE DATOS DEL PROGRAMA DE GIRASOL, NIDERA S.A.

MODERADOR: Martín Descalzo

NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TOLERANCIA A HERBICIDAS



DISERTANTE: BRIGITTE WESTON

Doctora por la Universidad de Saskatchewan y título de grado y maestría por la Universidad de Carleton, Ottawa. Ha trabajado en Bayer Crop Science, Adventis, Plant Genetics Systems, AgrEvo Canadá y Hoechst Canadá. Actualmente es Gerente Global de Desarrollo de trigo y oleaginosas tolerantes a herbicidas en BASF Plant Science donde coordina actividades para el desarrollo de resistencia a herbicidas para granola, girasol y trigo.

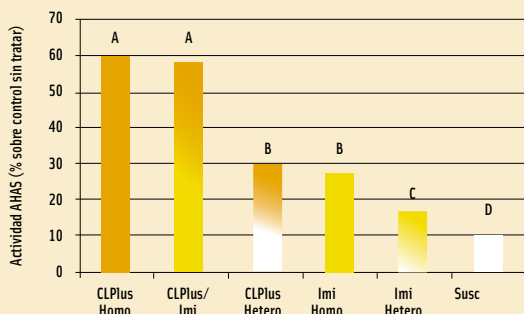
Como decíamos, se hicieron ensayos para comparar las distintas mutaciones: la de CL Plus homocigoto se comparó con la CLPlus heterocigótico y también con plantas que llevaban ambas mutaciones conjuntamente: CLPlus y la antigua mutación Imisun. Estas últimas plantas las denominamos “apiladas”. Además, se testeó la mutación Imisun al estado homocigota y heterocigota, y un girasol susceptible.

De cada uno de estos materiales se extrajeron las proteínas y toda la proteína fue tratada con cierto nivel de Imidazolinonas y se midió la actividad de la enzima AHAS durante un tiempo determinado. Como se puede ver en la Figura 10, la actividad enzimática de la homocigota CLPlus y la de las plantas apiladas fue muy alta y casi idéntica entre sí. Sin embargo, la actividad enzimática de la heterocigota CLPlus y la de la homocigota Imisun estuvieron en niveles muy inferiores, incluso menores a la mitad de la actividad.

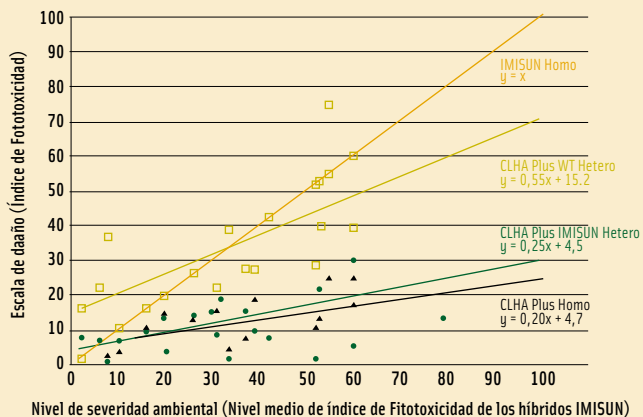
Allí obtuvimos una idea del modo en que funcionaban estas mutaciones en el nivel enzimático, y nos propusimos ver cómo se desenvolvían en el campo. Se crearon híbridos en los que se combinaba CLPlus con Imisun, la apilada, que es la curva verde de la Figura 11. También producimos híbridos del sistema Clearfield actual, que es el gen Imisun, con algo que nosotros llamamos el “factor E”. A decir verdad, aún no sabemos si se trata de un solo gen o más, pero actualmente no contamos con marcadores moleculares para detectarlo. También hicimos híbridos CLPlus heterocigotas y CLPlus homocigota.

Estos híbridos fueron probados durante cuatro años en Estados Unidos, Sudamérica y Europa, y nosotros los tratamos con niveles muy altos de herbicida, hasta casi seis o siete veces las dosis normales de campo. Recolectamos todos los datos e hicimos un análisis de regresión. En la misma imagen, la línea naranja muestra la respuesta de los híbridos

./ Figura 10: RELACIONES DE DOMINANCIA EN *Ahas1*



./ Figura 11: RELACIONES DE DOMINANCIA EN *Ahas1*



REF.: SALA, BULOS & WESTON, 2008. INT. SUNFLOWER CONFERENCE

Clearfield actuales. El eje X representa la severidad del ambiente, es decir la dosis de herbicida combinada con el clima, y factores como el suelo, la presión o enfermedades. El eje Y muestra lo que se denomina el índice de fitotoxicidad, en una escala de 0 a 100%. A medida que la severidad ambiental aumenta puede verse que hay un incremento de la fitotoxicidad, particularmente para los híbridos Imisun actuales así como para el híbrido heterocigota CL Plus. Sin embargo, el nuevo homocigoto CLPlus, que es la línea negra, y el apilado, que es CLPlus más Imisun, tienen una tolerancia mucho mayor a mayor severidad, ya se trate de estrés ambiental o del aumento de la dosis de herbicida.

PRODUCTOS AL MERCADO

A partir de estos resultados, llegamos a la conclusión de que tenemos dos distintos tipos de productos que podemos llevar al mercado. El primero es la nueva mutación CLPlus en estado homocigótico, o sea que la nueva mutación debe estar presente tanto en el progenitor femenino como en el masculino del híbrido. El segundo tipo de producto es un apilado entre el sistema actual Imisun comercial y el nuevo CLPlus.

Este nuevo carácter CLPlus requiere también de un nuevo herbicida, que en Argentina se llama Clearsol Plus. Se trata de una formulación líquida que proporciona un mayor espectro de control de malezas, particularmente para las de hoja ancha, y también para gramíneas anuales, gramíneas perennes como el yuyo esqueleto u otras malezas que generan problemas.

Este herbicida tiene un excelente control post emergente, de hasta 30 o 35 días, y también un control temprano, en los estadíos de 2 a 4 hojas. Aunque la absorción se da tanto a nivel foliar como radicular, el punto más importante de Clearsol Plus es su flexibilidad en rotación de cultivos: con este nuevo producto no hay ninguna restricción para la cosecha fina ni para las pasturas.

Para resumir, analicemos la Figura 12 y comparemos al Clearsol Plus en relación con el Clearsol actual y el sistema preemergente que se utiliza en los girasoles convencionales. Si nos fijamos en el control post emergente, en el control prolongado residual, en el de las gramíneas anuales, en el de malezas de hoja ancha y el de otras malezas-problema como el sorgo, el pelo de chancho o el yuyo esqueleto, sólo encontramos mucha

./ Figura 12: HERBICIDA EXPERIMENTAL CLEAR SOL® Plus

	Pre emergente	Clearsol	Clearsol Plus
Control Poe	+	++++	++++
Control prolongado	++	++++	++++
Gamíneas anuales	++++	++++	++++
Malezas de hoja ancha	++	++++	++++
Malezas "problema"	+	++++	++++
Rotación de cultivos	++++	++	++++

++++	++++
+++	+++
++	++
+	+

REF: DEPARTAMENTO TÉCNICO BASF.

más flexibilidad en la rotación de los cultivos. Si los casilleros verdes representan mayores beneficios, y en naranja se describen los menores, Clearsol Plus tiene los mismos beneficios de Clearsol y un beneficio adicional: la flexibilidad para la rotación de cultivos.

RESULTADOS A CAMPO

¿Cuál es su efecto en el campo? En la Figura 13 tenemos las plantas en su estadio de 4 hojas sin tratamiento, tratadas con Clearsol y con Clearsol Plus. Se puede ver el beneficio de un mayor control de malezas en el caso del Clearsol Plus, y en su madurez (Figura 14) se ve aún más la diferencia. Aquí tenemos un campo no tratado o simplemente tratado con herbicidas preemergentes y aquí tratado con Clearsol Plus. En la Figura 15 encontramos que el control de malezas es superior al sistema de preemergencia.

En resumen, Clearfield Plus presenta 8 beneficios. Los primeros 5 son para el productor: en primer lugar, mayor tolerancia a los herbicidas; el segundo, que este carácter fue desarrollado a través de mutagénesis, es decir que no es transgénico, lo que es sumamente importante en el caso de los mercados de exportación. También es altamente destacable

./ Figura 13: HERBICIDA EXPERIMENTAL CLEAR SOL® Plus



REF: DEPARTAMENTO TÉCNICO BASF. INFORME INTERNO. FRAPAL, 20 DÍAS PT

./ Figura 14: HERBICIDA EXPERIMENTAL CLEAR SOL® Plus



REF: DEPARTAMENTO TÉCNICO BASF. INFORME INTERNO. COMPARACIÓN PRE-COSECHA

el mayor rendimiento –además de un mayor rendimiento de aceite por hectárea– como producto de que el nuevo sistema Clearfield Plus no contiene ninguna secuencia de girasol silvestre, sino que la mutación se hizo en una línea elite de girasol y por esto no contiene ningún arrastre por ligamiento que sí contienen los girasoles Imisun en algunas variedades.

El cuarto beneficio para los productores es que la tecnología es altamente adaptable, estable y confiable. Esto es importante cuando uno tiene cultivos en distintos ambientes que sufren distintos tipos de estrés. En quinto lugar, que la mayor tolerancia a los herbicidas con imidazolino-

./ Figura 15: HERBICIDA EXPERIMENTAL CLEARSOL® Plus



Tratamiento estándar con pre-emergentes

Tratamiento con Clearsol Plus

REF: DEPARTAMENTO TÉCNICO BASF

nas brinda mayor flexibilidad y mayor estabilidad en distintos ambientes. Y esto, por supuesto, permite utilizar nuevas formulaciones de herbicidas, lo que proporciona mayor flexibilidad en control de malezas y en la rotación de cultivos.

Finalmente, existen otros tres beneficios para las semilleras y para los mejoradores. El primero es una simplificación en el mejoramiento, porque Clearfield Plus es un único gen, de modo que es más fácil la selección de las plantas resistentes o tolerantes y no se necesita ya más un factor E. Por lo tanto, el mejoramiento será más rápido, se necesitan menos plantas para auxiliar a las conversiones y podemos pasar a la siguiente generación. La segunda ventaja es que también se puede utilizar todo el material Clearfield para producir híbridos Clearfield Plus, ya que como mencionamos, los híbridos apilados nos ofrecen un excelente control de malezas y también alta tolerancia.

En último lugar, es una gran oportunidad para acceder a otras tecnologías, porque como se trata de un único gen es muy fácil de apilar con otro genes y utilizar marcadores moleculares para hacer el seguimiento de los caracteres a través de las generaciones. Se puede apilar con caracteres de tolerancia a enfermedades y con otros caracteres de interés, como por ejemplo la calidad del aceite a un costo reducido.

Por todos estos motivos, esta tecnología es la evolución de Clearfield, lo que se puede resumir en cuatro letras: PLUS.

módulo

04

MODERADOR: Martín Descalzo

SUELO Y FERTILIDAD EN LA CONDUCCIÓN DEL CULTIVO



DISERTANTE: MARTÍN DÍAZ ZORITA

Ingeniero Agrónomo de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. Master en Ciencias Agrícolas de la Universidad Nacional del Sur y PHD en Ciencias del Suelo de la Universidad de Kentucky. Fue investigador en manejo y conservación de suelos del INTA y coordinador de investigaciones del proyecto Fertilizar. Es autor de cuatro libros sobre fertilización y producción de girasol y soja, y de numerosos capítulos en otros libros, y artículos de investigación en revistas científicas nacionales y el exterior. Ha recibido diversas distinciones profesionales y actualmente integra el estudio agronómico de DZD Agro y es investigador Adjunto de CONICET en el Instituto de Biociencias Agrícolas y Ambientales (INBA) en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.

Para abordar la temática de la nutrición del cultivo y su vinculación con el suelo, el objetivo de esta presentación es mostrar hacia dónde se está avanzando en cuanto al conocimiento del suelo para tomar decisiones, en la conducción del cultivo, y hacia dónde se va en materia de fertilidad y fertilización.

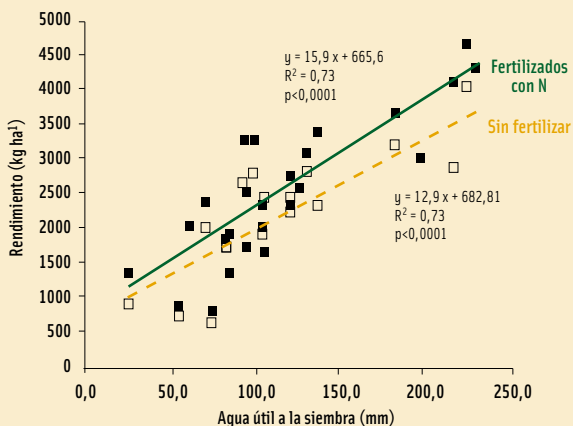
Haciendo memoria, hace algunos años nos preguntábamos cuál era la necesidad nutricional del cultivo en el marco actual de producción. Hoy ya se pueden encontrar resultados integrados que permiten entender la contribución del manejo de la nutrición dentro del cultivo, algunos comentarios sobre los avances en la nutrición con fósforo, nitrógeno u otros nutrientes y otros desarrollos que permiten estar al tanto de lo que viene y del estado actual.

En primer lugar, no debemos olvidar que el suelo, más allá de la parte física que implica sostener a la semilla para que no se caiga, tiene una función muy importante, que es ser reservorio de agua. Hemos avanzado en la región oeste de Buenos Aires, oeste de La Pampa, y sabemos que en la medida que tenemos mayor disponibilidad de agua, los rendimientos aumentan. Esto no es novedad, pero está medido y sabemos que un ma-

nejo eficiente de la fertilización nos permite hacer un salto en la mejora productiva. Existe una herramienta que nos permite saber cuánta agua hay en el suelo a la hora de sembrar, y es una herramienta muy potente para tomar decisiones, ya sea de maximización de la producción porque estamos en suelos con perfiles cargados, o de arriesgar productividad porque se está trabajando en suelos sin capacidad de almacenaje de agua en la siembra. Hoy el diagnóstico del conocimiento de la oferta de agua es muy importante y marca la evolución del rendimiento. (Ver Figura 1)

En algunas de las exposiciones previas se discutió el trabajo de Jorge Mercáu y el Dr. Hall, sobre los talleres de discusión que se hicieron en Mar del Plata a principios de este año, y se expresó que en la región del NEA, utilizando modelos de simulación, se pueden observar exactamente las mismas tendencias en sitios como Las Breñas o como Reconquista. En ambas, la mejora en la oferta hídrica permite incrementar los rendimientos alcanzables estimados, lo que nos indica que más allá de la región, es importante pensar en el suelo como reservorio de agua. (Ver Figura 2)

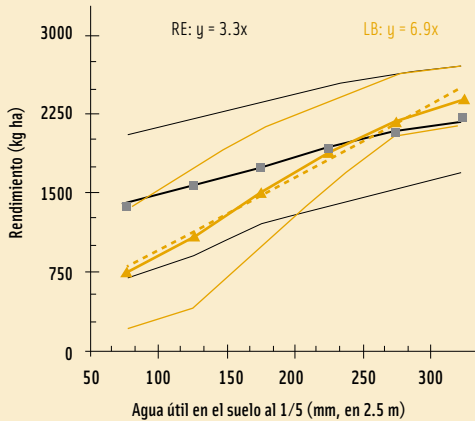
./ Figura 1: EL SUELO Y LA DEFINICIÓN DEL RENDIMIENTO. Agua en la siembra y rendimientos en la pampa arenosa



Mayores rendimientos con mayor disponibilidad inicial de agua y oferta de nitrógeno.

REF.: FUNARO Y COL. (2006)

./ Figura 2: EL SUELO Y LA DEFINICIÓN DEL RENDIMIENTO. Agua en la siembra y rendimientos alcanzables (simulados) en la región del NEA



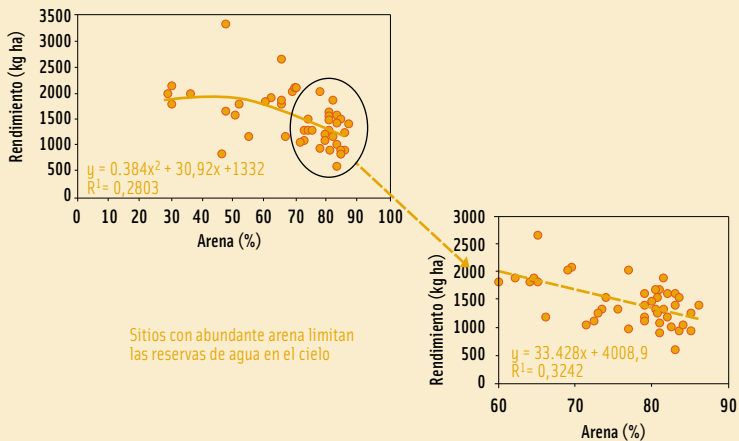
Con diferencias en la eficiencia de uso, a mayor reserva inicial de agua mayores productividad

REF: MERCAU Y HALL (2010)

El reservorio hídrico está dado por su espesor. Su nivel de presencia de tosca, la presencia de pisos de arado o de horizontes B van a limitar el espesor explorable. Es importante pensarlo también en función de nuestra habilidad para cosechar agua, es decir, al girasol hay que verlo dentro de un sistema y entender cuál es el beneficio o el riesgo de las decisiones previas que podamos tomar, como la duración de barbechos, el pisoteo o las coberturas. En condiciones de alta reserva hídrica, esos elementos nos van a permitir contar con mayor flexibilidad a la hora de tomar decisiones para buscar altos potenciales.

Si nos referimos con un poco más de detalle al suelo y entendemos el rol de algunas propiedades intrínsecas de cara a la producción, por ejemplo, para la región oeste de La Pampa, vemos que a medida que el contenido de arena en el suelo aumenta, los rendimientos tienden a disminuir. Cuando analizamos qué sucede en suelos destinados al girasol con contenidos de arena superiores al 65%, encontramos que hay una relación lineal de pérdida de rendimientos alcanzables, a razón de casi 33

./ Figura 3: EL SUELO Y LA DEFINICIÓN DEL RENDIMIENTO. Propiedades de suelo en la pampa arenosa



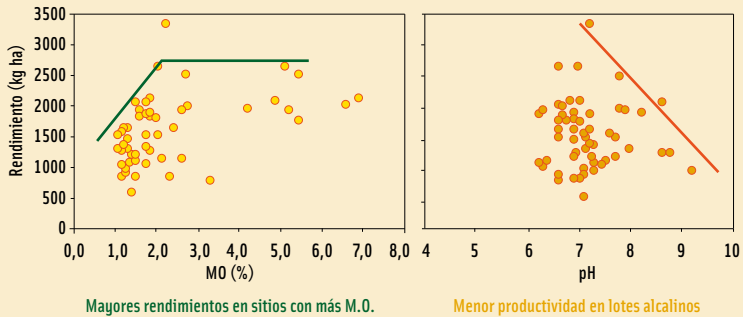
DZD AGRO SRL (2010)

unidades de producción por cada unidad de arena. En consecuencia, si estamos sumando indicadores es muy importante conocer el sitio donde se va a producir. (Ver Figura 3)

En su disertación, Pablo Calviño aseguró que el desafío está en la planificación, y el desafío de la planificación es conocer el sitio, más allá de dónde esté ubicado el lote. ¿Qué atributos independientes ayudan a cada uno a definir su estrategia productiva? Hoy, para la región Oeste, conocer el contenido de arenas marca la trayectoria de los rendimientos que se pueden obtener en promedio, principalmente por la capacidad del suelo de absorber o capturar agua en el momento de la siembra, y tolerar pequeños períodos de sequía. Esto implica que hablemos de suelos altamente demandantes del patrón hídrico de las precipitaciones, o que tienen una capacidad de reserva o tolerancia mayor al estrés hídrico por su capacidad de reservorio.

Como vemos en la Figura 4, en estos ambientes arenosos, donde hemos realizado nuestros trabajos de investigación, los rendimientos

./ Figura 4: EL SUELO Y LA DEFINICIÓN DEL RENDIMIENTO. Propiedades del suelo y rendimiento en la pampa arenosa



DZD AGRO SRL (2010)

alcanzables se incrementan en la medida que la conservación de materia orgánica es creciente. Es decir que cuando hablamos de conservar la materia orgánica no lo hacemos porque sí, sino que en estos suelos arenosos juega un rol insustituible a la hora de conservar la humedad. El esfuerzo de hacer siembra directa en el Oeste significa nada más y nada menos que 30 mm adicionales de agua, respecto de cualquier sistema que haya visto disminuido su nivel de producción por una merma en el contenido de materia orgánica. Este adicional, en un suelo con 70 mm de capacidad de almacenaje de agua en un metro implica prácticamente el 50% de su capacidad de almacenaje, en una región donde, de acuerdo al Proyecto Brechas, existe una diferencia del 40 al 60% entre los rendimientos alcanzables y los posibles, y esta diferencia pasa por la conservación del suelo. Por ende, el esfuerzo de conservar materia orgánica o intentar llevarla a su nivel original dentro de sistemas agrícolas mixtos, tiene un peso más que importante a la hora de hablar de mejoras productivas y tomar conciencia sobre la planificación del cultivo. Conocer el suelo es conocer su textura, conocer la materia orgánica.

Hemos dicho, asimismo, que el girasol avanza gracias a su tolerancia a la sequía. Los paneles de mejoramiento genético del Congreso han expuesto lo bien que se comportan sus raíces, lo bueno que es su com-

portamiento estomático, los avances ante la presencia de malezas que limitan el crecimiento, todos elementos que nos permiten pensar que es un cultivo explorador o conquistador de áreas nuevas. Lo que estamos descubriendo, como muestra el gráfico de la figura 4, es que se está saliendo del ambiente de confort de los cultivos agrícolas, con suelos de pH 6 a 7, pH neutros, levemente ácidos o moderadamente alcalinos, y se están explorando ambientes con pH superiores a 7,5, de 8 o de 9. Allí hacemos y logramos el cultivo con gran esfuerzo, se logran las raíces y la capacidad estomática de tolerancia a estrés hídrico le permite sobreponerse e implantarse, pero encontramos una limitación en cuanto a la eficiencia del uso de agua, que tiende a disminuir la productividad.

Ese gráfico nos muestra un escenario real: ¿podemos hacer girasol en suelos con condiciones de alcalinidad moderada? Sí, pero no podemos imaginarnos que el planteo tecnológico en el cual vamos a estar inmersos vaya a ser equivalente al de la tecnología con pH en condiciones neutras.

En síntesis, cuando hablamos de suelo hoy tenemos indicadores que nos permiten orientar nuestras decisiones y saber si estamos avanzando en ambientes con probabilidades de mejora productiva –donde vamos a capturar esa oportunidad productiva– o si vamos a tener que hacer una estrategia defensiva para proteger nuestra inversión.

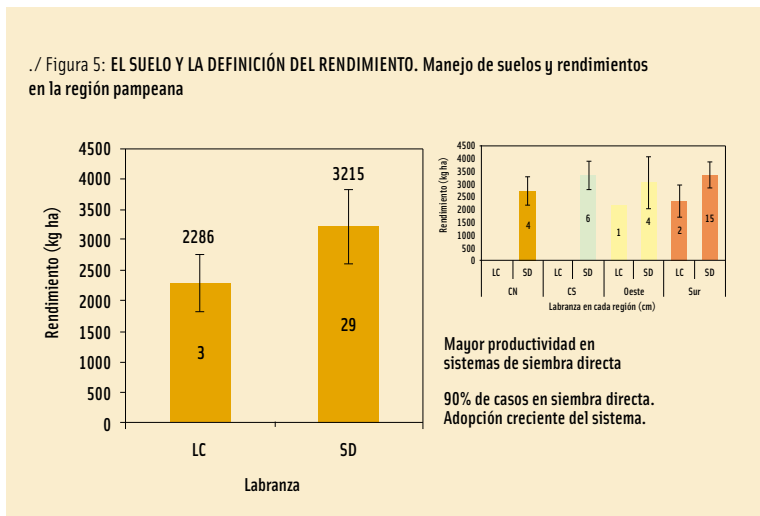
SIEMBRA DIRECTA Y CAMBIO

También es interesante ver que el crecimiento del área agrícola con girasol fue de la mano del crecimiento del sistema de siembra directa, dentro del contexto de sistema. Y si tomamos como ejemplo un concurso de altos rendimientos, de máxima producción, que se realizó este año, vemos que hubo un predominio de productores que hacían el cultivo en siembra directa. La siembra directa ya es parte del sistema de producción de girasol. ¿Es difícil? Sí. ¿Tiene alguna complicación o complejidad desde el punto de vista del manejo del cultivo? Posiblemente. ¿Tiene soluciones para esas complejidades? Sí. Y eso fue lo que ayudó a que el sistema se impusiera. El cultivo ingresa a un sistema de mejoras de la conservación de la materia orgánica, de la estructura del suelo, en el uso del agua, que le está dando un piso de sustentabilidad.

La incorporación de la siembra directa es la aplicación del avance agrícola al girasol. Hoy contamos con sondeos que nos permiten saber

que la decisión no ha sido errónea. Si se observa la figura 5 podemos encontrar que solamente en esa población de alta productividad existe una brecha producto de ser más eficientes en el uso del agua y de los recursos.

Por el contrario, la “mala noticia” que genera la siembra directa, es que produce un cambio en el suelo, y que toda la información sobre la cual nos educamos y formamos profesionalmente está vinculada a sistemas con laboreo. Por lo tanto, en relación con la dinámica de nutrientes, el ingreso de la siembra directa en los sistemas de producción y cultivo de girasol nos obliga a tener en cuenta aspectos que no eran necesarios en girasol, y que ahora vuelven a tener valor. En primer lugar, nos referimos a la oferta de nutrientes, la oferta de nitrógeno y las condiciones de temperatura de siembra, que son más frescas. Por otra parte, se encuentran las condiciones de exploración de perfil en cuanto al desarrollo de raíces en suelos más estructurados, con sistemas porosos más favorables pero con dureza no producida por compactación sino que es un suelo con una estructura tal, capaz de almacenar agua, que hace que las raíces tengan una limitación inicial al crecimiento, pero un provecho mayor posterior en cuanto al uso del agua.



ALTOS RENDIMIENTOS PANNAR DZD AGRO SRL (2010)

LA TEXTURA DEL LOTE

Hoy tiene un peso importantísimo la textura, y si hay algo que hoy hay que saber es la cantidad de arena que tiene el lote sobre el que se trabaja, porque es lo que define con qué cantidad de agua se va a estar gobernando el cultivo, o si se va a depender de las lluvias.

La materia orgánica es un desafío permanente; si no hay conservación de materia orgánica lo que estamos haciendo es perder la oportunidad —en suelos que tienen muy bajos contenidos de arcilla— de tener las partículas minerales aglutinadas, formando estructura suficiente para conservar la humedad. En consecuencia, todo esfuerzo que podamos hacer en conservar la materia orgánica es invaluable, es indispensable. Y por lo tanto, la conservación de esa variable a través del manejo de la siembra directa hoy ya no se discute. Hoy el girasol que vemos es en siembra directa, y eso nos obliga a ver el suelo con una visión un poco diferente de la que teníamos pocos años atrás.

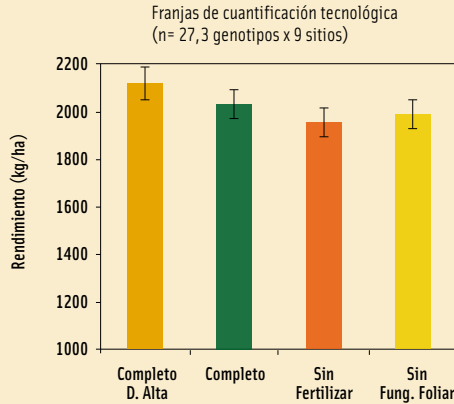
El otro componente determinante es la implantación: el suelo tiene un peso muy importante en relación con la condición de logro del cultivo, por las condiciones de temperatura y humedad iniciales. La presencia de rastrojos —favorable en algunos ambientes, compleja en otros— nos obliga a la toma de decisiones en el manejo de la nutrición, pensando principalmente en ayudar al cultivo a no sufrir restricciones en su crecimiento y logro inicial.

El avance hacia suelos alcalinos o salinos también interfiere con el normal crecimiento del cultivo, y en consecuencia debemos ser conscientes de que estamos manejando escenarios nuevos, y que esto implica nuevos desafíos, para los cuales no sería muy sensato traer recetas viejas. Hoy debemos estudiar cómo manejar estos nuevos escenarios, más que tratar de cambiarlos, porque el suelo alcalino va a ser alcalino a menos que tengamos una solución mágica, algo que por ahora no encontramos.

EL APORTE DE LA NUTRICIÓN

Empecemos ahora a transitar los aspectos de la nutrición. Pocos años atrás nos preguntábamos si había respuestas a la fertilización de los cultivos de girasol, si esas respuestas eran consistentes, y cuánto influía en el rendimiento del cultivo fertilizar o no hacerlo. Hoy existe abundante información. La Figura 6 muestra los resultados de una red de ensayos

./ Figura 6: **APORTES DE LA FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO.** Cuantificación integrada de tecnologías de producción



SPS ANTICIPA – SYNGENTA DZD AGRO (2008)

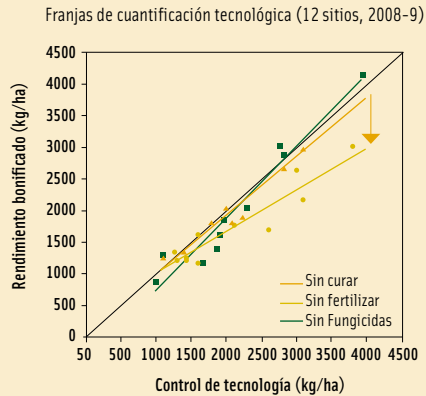
en la que se comparó el impacto de eliminar la fertilización y el manejo con nitrógeno y fósforo.

Lo que podemos ver es que hay una brecha, pero que parte de la brecha está en el manejo de la nutrición, eso es lo que impacta. La Figura 7 muestra otra red de ensayos, realizada también en una sola campaña en doce sitios experimentales que cubrieron la región norte, oeste y sur. El ensayo muestra que en la medida que tenemos mayores rendimientos alcanzables, la brecha entre rendimiento completo y rendimiento sin fertilizantes crece. En el gráfico, es la distancia entre las líneas amarillas y negra.

En estos ensayos, el crecimiento productivo por una mejor elección de sitio y condición productiva permite ver las mayores limitaciones nutricionales. El cultivo de hoy no sólo se comporta por la mejora genética, sino por el acompañamiento en su manejo, donde la fertilización tiene un peso creciente, en términos relativos.

Si observamos en la Figura 8 los máximos rendimientos, vemos que aquellos que creían que podían alcanzar la máxima productividad le daban crédito a la fertilización. Casi en un 70% de los ambientes de

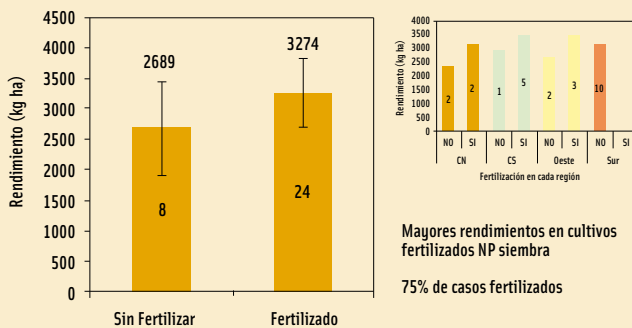
./ Figura 7: APORTES DE LA FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO. Cuantificación integrada de tecnologías de producción



Las limitaciones nutricionales (NP) representan una reducción media del 10% de los rendimientos alcanzables (n= 611, campañas 2002 a 2008)

GIRASOLSD/TEG SYNGENTA DÍAZ-ZORITA Y COL.(2009)

./ Figura 8: APORTES DE LA FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO. Fertilización y rendimiento en la región pampeana



Mayores rendimientos en cultivos fertilizados NP siembra

75% de casos fertilizados

MÁXIMOS RENDIMIENTOS PANNAR DZD AGRO SRL (2010)

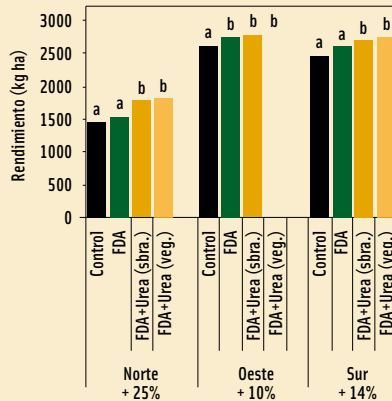
alta producción, principalmente en la zona sur y parte de la zona oeste pampeana vemos mejoras o incrementos en la frecuencia de uso de la fertilización, y son producto de la existencia de brechas productivas. En la región centro-norte, centro-sur, oeste, en el sur vemos de manera masiva que el uso de fertilizantes estaba permitiendo una mejora productiva y una adopción de tecnología.

EL IMPACTO SE HACE NOTAR

Por lo tanto, hoy, a diferencia de lo que veíamos hace un par de años, de manera generalizada en todas las campañas y en todas las situaciones de alta producción, encontramos un aporte del manejo de la nutrición que ronda entre un 10 y un 25% de las mejoras productivas. La Figura 9 es el resumen de un estudio sobre 80 sitios de experimentación a lo largo de 5 campañas experimentales, entre 2005 y 2008. Allí se evaluaron 4 tratamientos, tanto en la región del norte –principalmente Santiago del Estero y Chaco–, del oeste –este de La Pampa, sur de Córdoba y sur de San Luis–, y el sur de Buenos Aires –Tandil, Tres Arroyos, Coronel Suárez,

./ Figura 9: APORTES DE LA FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO

Rendimientos y fertilización NP en Argentina (n= 80, 2005/6 a 2008/9)



GIROSOLSD/TEG SYNGENTA DÍAZ ZORITA Y FERNÁNDEZ CANIGIA (2010)

Necochea—. Allí se llevó a cabo un manejo de girasol en siembra directa sin fertilización, con nivel tecnológico del mejor híbrido adaptado a la región, densidades, control de plagas o enfermedades. La única variable que faltaba era la nutrición. Tenía una fertilización de base moderada con fosfato diamónico, o el aporte de nitrógeno en aplicaciones de siembra y en estados vegetativos.

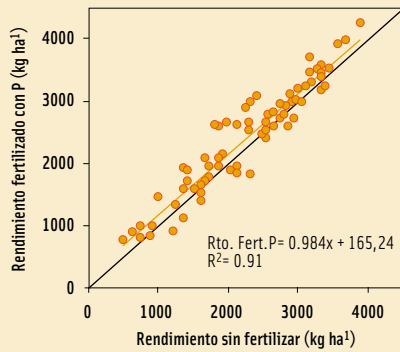
La síntesis de estos 80 sitios experimentales sugiere que en el oeste y en el sur hay un aporte promedio de entre 10 y 15% de mejora en la producción, o, si lo leemos al revés, que la ausencia de fertilización limita los rendimientos alcanzables del cultivo entre un 10 y un 15%. En el norte, por otra parte, esa brecha es un poco mayor, del 25%. En la misma línea, durante el taller de brechas del Congreso, un colega de esta región expresó la frase “no nos olvidemos de la fertilización, que hay un aporte importante, porque es necesario subsidiar al cultivo durante todo el ciclo productivo”. Para el oeste y el sur ya mencionamos que es muy importante elegir el sitio; si bien la nutrición acompaña, el sitio tiene mucha más influencia.

Si medimos el aporte de la fertilización en términos de kilos, independientemente de la región y de la campaña, estadísticamente vemos una mejora de la fertilización de base de unos 160 kilos, aproximadamente, que explicamos principalmente por la incorporación del sistema de siembra directa y la búsqueda de fechas de siembra más tempranas, para lograr una mejor productividad. Siembras más tempranas significa suelos más fríos, crecimientos vegetativos más lentos, crecimiento de raíces más lentos, posibilidades de competir, explorar y colonizar el suelo más lento. La fertilización no aumenta las tasas de crecimiento; lo que hace es acercar a las raíces los nutrientes necesarios para que ese crecimiento no se vea limitado. (Ver Figura 10)

Por lo tanto, vemos una ventaja generalizada, que es esa mejora de 160 kg/ha promedio, asociada a un buen manejo de la fertilización de base. Sin dudas, esto no tiene sentido si pensamos en el corrimiento hacia ambientes en condiciones de temperaturas más altas, o condiciones de suelos con laboreo, o con otras restricciones como el suelo alcalino, pero en la búsqueda de reducir las brechas no nos podemos olvidar del aporte que hace una fertilización de base en la conquista del sitio de producción. (Ver Figura 11)

./ Figura 10: APORTES DE LA FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO

Rendimientos y fertilización NP en Argentina (n= 80, 2005/6 a 2008/9)

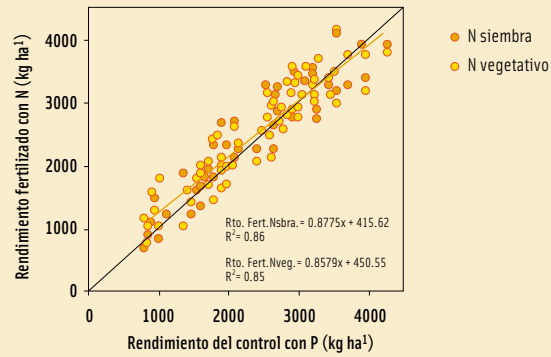


Con FDA los rendimientos aumentaron unos 165 kg/ha

GIRASOLSD/TEG SYNGENTA DÍAZ ZORITA Y FERNÁNDEZ CANIGIA (2010)

./ Figura 11: APORTES DE LA FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO

Rendimientos y fertilización NP en Argentina (n= 80, 2005/6 a 2008/9)



Con urea (siembra o v6-v8) hay mayores respuestas al disminuir la productividad de cultivos con FDA (limitaciones por sitio)

GIRASOLSD/TEG SYNGENTA DÍAZ ZORITA Y FERNÁNDEZ CANIGIA (2010)

El nitrógeno aporta también a los rendimientos. Sobre esa base de información, y partiendo de que estábamos trabajando con un cultivo que tenía esa fertilización de base, empezamos a explorar y vimos que hay mejoras en el rendimiento por el uso de nitrógeno, de urea, decrecientes en la medida que el rendimiento del cultivo aumenta. Podría imaginarse que a medida que los rendimientos de un cultivo se incrementan, la condición de fertilidad intrínseca del suelo o del sitio de producción es creciente. Por lo tanto, las posibilidades que tiene dicho suelo de proveer nutrientes a lo largo del ciclo, también lo son. Lo que vemos es que el avance del cultivo hacia ambientes con menor capacidad de proveer nutrientes hace necesario subsidiarlo con nitrógeno para que soporte una tasa de crecimiento importante.

PROFUNDIZANDO EL ANÁLISIS

Así empezamos a mezclar jugadores, rendimientos alcanzables moderados, costos y riesgos que se incrementan. La decisión de tomarlo o dejarlo es del empresario, pero sabemos que la fertilización, sí tiene un lugar, está asociada a la baja posibilidad que tienen los suelos de aportar nutrientes al cultivo.

Pero el suelo no es todo. De esa misma base de datos, lo que hicimos fue analizar cuáles eran las condiciones del cuartil de mayor respuesta a la fertilización, y las del cuartil de menor respuesta. Es decir, qué es lo que hacíamos por manejo, para darle más consistencia a la fertilización en función de las respuestas. La Figura 12 es el resumen de los resultados. Sabíamos que el cuartil de mayor respuesta había sido sembrado 17 días antes que el de menor respuesta, ya sea en el norte, el centro o el sur. Buscamos la máxima productividad del cultivo, y en dos regiones –el sur y el oeste– nos obligó a sembrar en suelos más fríos. Esta decisión de búsqueda del potencial productivo nos obligó a subsidiar el cultivo a través de una buena implantación nutricional desde su origen.

En todas las situaciones también se encontró que los cultivos de mayores respuestas tenían un 17% más de plantas logradas que aquellos que habían tenido menor respuesta a la fertilización. Es importante no tomar esta lectura al revés: no significa que la mayor densidad nos obliga a fertilizar, y que por ende se logra mayor respuesta, sino que definida una densidad de plantas objetivo, cuando tenemos pérdidas de plantas

./ Figura 12: APORTES DE LA FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO. Rendimientos y fertilización NP en Argentina (n= 80, 2005/6 a 2008/9)

Región	Rta.	Siembra	plantas/ha	Antecesor maíz (%)	Agricultura (años)
Norte	Mayor	Ago.20	54624 +19%	53	52
	menor	Sep.25 + 35 días	45971	7	27
Oeste	Mayor	Oct.28	53315 +26%	52	6
	menor	Nov.5 + 6 días	42371	33	7
Sur	Mayor	Oct.17	55044 +7%	62	18
	menor	Oct.28 + 11 días	51272	9	14
	Mayor		54327 + 17%	56	25
	menor	+ 17 días	46538	16	16

Mayores respuestas en siembras tempranas, cultivos con alta densidad y antecesor maíz

GIRASOLS/TEC SYNGENTA DÍAZ-ZORITA Y FERNANDEZ CANIGIA (2010)

se reduce la densidad y así nos alejamos de la distribución ideal del cultivo que habíamos diseñado y planificado. 60.000 plantas, 54.000, 46.000 o 38.000 no nos dicen absolutamente nada. Lo que sí nos dice es que en las dos situaciones donde se sembró exactamente lo mismo, tuvimos una diferencia media mayor al 17% en la expectativa de implantación de cultivo. Teníamos plantas que no lograban compensar los espacios que no tenían que estar en ese lugar. La lectura, en consecuencia, es que cuando hablamos de fertilización, la búsqueda de mayores rendimientos es la búsqueda de altas eficiencias de implantación. ¿Con cuántas plantas? Habrá que definirlo para cada sitio, para cada ambiente, pero la búsqueda de la eficiencia de implantación es la búsqueda de la mejora productiva.

También vimos que el 56% de los casos que estaban dentro del cuartil de alta respuesta a la fertilización tenían como antecesor al maíz. ¿Qué tiene que ver el maíz con la fertilización? Dado que bloquea el nitrógeno se podría pensar que genere su inmovilización en los rastrojos. Sin embargo, en realidad se trata de que si se hizo maíz se hizo cobertura, se rotó, y en consecuencia se cuenta con una condición de implantación más favorable, temperaturas más frescas para el caso de golpes de calor,

condiciones de conservación de humedad en aquellos ambientes en los que no se logró conservar bien la humedad, y la búsqueda de mejoras en condición de alta productividad, para la cual la fertilización acompaña.

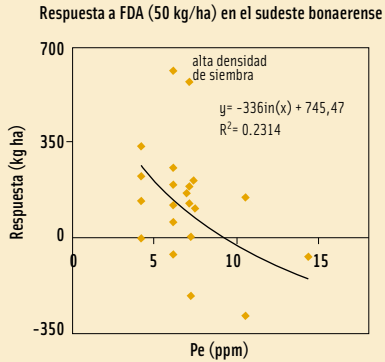
En cuanto a los años de agricultura, última columna de la Figura 12, en el Congreso surgió una pregunta: ¿Podemos seguir haciendo agricultura en forma indefinida? Sería muy irracional decir que sí, pero no cuento con muchas herramientas para decir que no, porque las mejores condiciones de respuesta las estamos viendo en cualquier tecnología agrícola, de modo que no nos sorprendió ver que dentro de los ambientes de máxima respuesta teníamos un aumento relativo en la frecuencia de lotes que tenían muchos años agrícolas. Esto significa que ese suelo está acostumbrado a esa agricultura, que está en condiciones de seguir haciendo agricultura pero lo que hay que hacer es acompañarlo y entender qué nutrientes o qué elementos lo están limitando.

EVITAR LA FITOTOXICIDAD

Hasta ahora vimos que la fertilización llegó, se implanta y tiene un espacio muy importante, que no desconoce el componente manejo ni el conocimiento de la oferta de nutrientes del sitio. ¿Qué avances hay? La Figura 13 muestra datos de la última campaña, tomados por el Dr. González Montaner y Marcelo Di Nápoli, donde se percibe que en cuanto al fósforo, el análisis de suelo sigue siendo una herramienta más que importante a la hora de definir sitios con alta o baja probabilidad de respuesta a la fertilización. Por lo tanto, si se quiere mirar solamente el aporte del fósforo para definir si se fertiliza o no, tenemos que tener en cuenta que el análisis de suelo va a separar dos poblaciones –dónde espero respuestas, y dónde no las espero– pero que no va a decir ni cuántos kilos de respuesta se va a tener ni con qué dosis se debe fertilizar, y mucho menos, si la respuesta es segura o si va a estar asociada a otros factores del ambiente.

La Figura 14 es información conocida, pero hay que mostrarla siempre que hablemos de fertilización con fósforo. Este es un nutriente que prácticamente no se mueve del suelo, y hay que acercarlo a donde están las raíces pero con cuidado, porque si está muy cerca de la semilla hay un efecto fitotóxico de pérdida de plantas por intoxicación con amoníaco, por defecto salino del fósforo, que nos genera pérdidas en el stand de

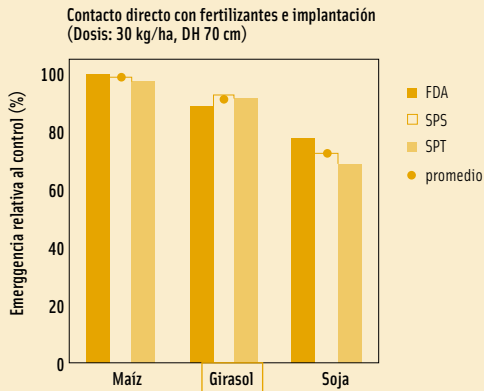
./ Figura 13: MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN: FÓSFORO



Suelos con menos de 10 ppm de Pe con mayores frecuencias y respuestas a la fertilización de base con P.

GONZALEZ MONTANER Y DI NAPOLI (2010)

./ Figura 14: MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN: FÓSFORO



Riesgo de pérdidas de plantas por contacto con fertilizantes al sembrar

BARRACO Y DÍAZ ZORITA, 2002

plantas. Es menos importante en maíz, bastante más importante en girasol, y sin dudas, altamente importante en soja. Es importante no olvidarse de eso. Este año hemos encontrado muchos daños en implantación de girasol, asociados a incrementos en la dosis de fertilización del cultivo por simplificación operativa: “incorporé fertilizante al voleo en la sembradora, total tenía espacio y capacidad”, y el resultado fue que se hizo perder el cultivo, perder fecha de siembra, y oportunidad de siembra.

La Figura 15 muestra los datos del ex Instituto del Potasio y el Fósforo (INPOFOS) ahora IPNI, que indican que en el caso del girasol, aún cuando se busque tener pérdidas inferiores al 20% de implantación, 40 o 50 kilos de fosfato diamónico en contacto con la semilla ocasionan un riesgo muy alto de pérdida de plantas. En consecuencia, es importante manejar con prudencia las dosis de fertilizantes, si van a estar en contacto directo con las semillas.

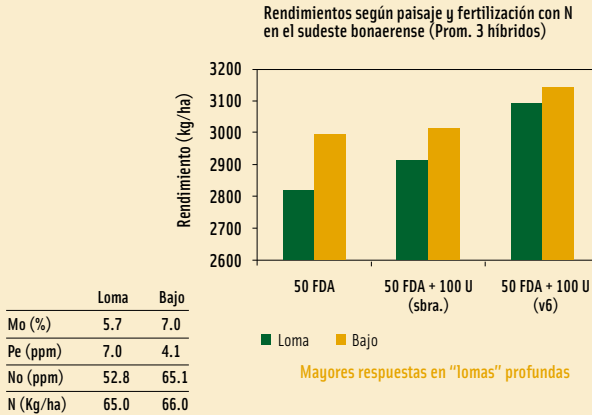
En el caso del nitrógeno, como muestra la Figura 16 la respuesta es visible. El gráfico muestra una experiencia sobre sistemas de siembra directa en el sudeste de Buenos Aires, y lo que hay que entender y conocer

./ Figura 15: MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN: FÓSFORO. Fertilización junto a la semilla. Dosis críticas estimadas para pérdidas del 20 y del 50% de plantas.

Cultivo	Fertilizante	Dosis (kg/ha)	
		20%	50%
Trigo	Urea	30-50	75-120
Cebada	Urea	30-50	80-100
Alfalfa	Urea - SA	20-30	50-70
	FDA - SFT	90-110	160-200
Soja	FDA - FMA - SFT	20-40	55-75
	SFS	20-80	60-120
	SA	20-30	60-80
Maíz	Urea	15-30	60-80
	NA - NAC - SA	60-80	100-130
	FDA	60-80	130-170
Girasol	Urea - NA - NAC - SA	20-40	60-90
	FDA	40-50	80-120

Riesgo de pérdidas de plantas por contacto con fertilizantes al sembrar

./ Figura 16: MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN: NITRÓGENO



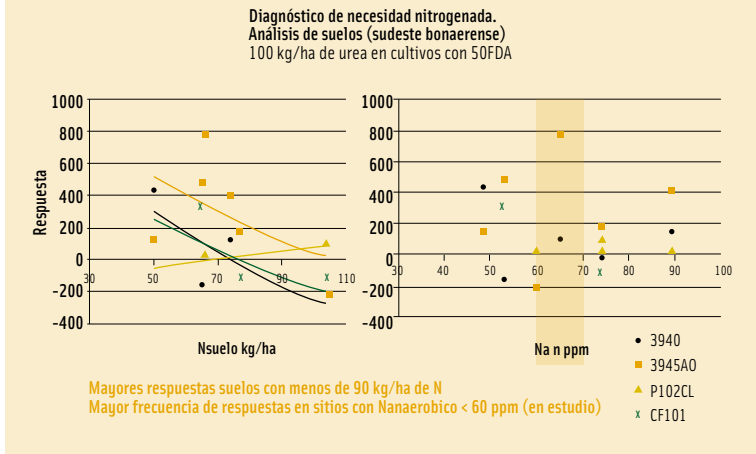
GONZÁLEZ MONTANER Y COL. (2010)

es dónde estamos trabajando, si en una loma o un bajo, ya que eso definirá la expectativa de mejora productiva que debemos estar buscando. Sin dudas, lo que estamos viendo es que la mejora de producción en las lomas es en términos relativos más importante que en los bajos. Por lo tanto, se puede sospechar que en esas lomas profundas no hay efecto tosca y están limitadas por nitrógeno. El suelo no tiene capacidad de proveerle nitrógeno a ese cultivo. La tercera columna muestra que lomas y bajos no se igualan, pero tienden a llegar a un nivel relativamente semejante, porque el limitante es el nitrógeno. Superada la condición de siembra, en los suelos profundos del sudeste de Buenos Aires, la limitante número 1 es el nitrógeno, y en consecuencia, no podemos dejar de hacer nutrición en nitrógeno.

INTEGRANDO EL MANEJO

Se han realizado avances para entender cómo diagnosticar la respuesta al fertilizar con N y elegir lotes de respuesta económica conveniente. Uno es el análisis de suelos. La Figura 17 muestra distintos híbridos, y sabemos que para el sudeste de Buenos Aires aproximadamente entre 80

./ Figura 17: MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN: NITRÓGENO

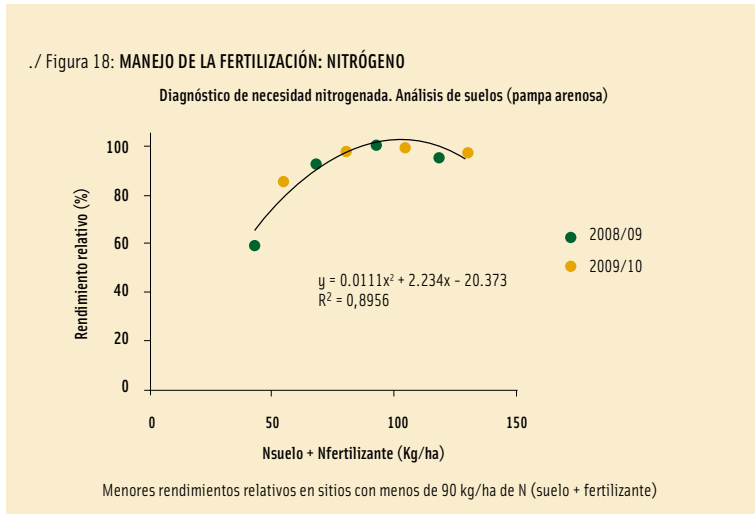


CREA MYS + TEC SYNGENTA GONZÁLEZ MONTANER Y COL. (2010)

y 90 kg/ha de nitrógeno son el punto de indiferencia, si tenemos menos de 90 kg/ha es probable que haya respuesta al nitrógeno.

Asimismo, se está avanzando en un índice de nitrógeno anaeróbico, que muestra cuál es el potencial, la capacidad del suelo de aportar nitrógeno, y cuyo punto de indiferencia estaría en un rango de entre 60 y 70 partes por millón. De lo que se trata es de intentar entender un poco más antes de sembrar, y si vale o no la pena fertilizar. Cuando observamos el oeste, o la región de La Pampa, encontramos que las probabilidades de respuestas altas por nitrógeno ocurren con suelos con menos de 55 kg/ha de nitrógeno. El 99,9% de los lotes de girasol está por debajo de ese nivel, por lo tanto es muy probable que tengamos que pensar en nitrógeno.

También sabemos que hay que ajustar dosis: la Figura 18 muestra datos recientes del ingeniero Funaro, del INTA Anguil, en dos años de experimental en Huinca Renancó. Los gráficos expresan que los máximos rendimientos se lograrían aproximadamente corrigiendo el nitrógeno del suelo hasta 90 kg/ha de nitrógeno. La cuenta rápida, por los promedios históricos que tenemos de nitrógeno en el suelo, y ese nivel objetivo, in-



ADAPTADO DE FUNARO Y LASTA (2009 Y 2010)

dica que si tenemos que fertilizar girasol en el oeste, la corrección es con 40 unidades de nitrógeno. Esa es la dosis económica que la estadística sugiere, una vez que decidimos fertilizar.

Como el cultivo crece durante un período muy dinámico en cuanto a condiciones climáticas —empieza a llover, aumenta la temperatura, mejora la tasa de crecimiento, interactúa con herbicidas o con el ambiente— la mejor lectura para tomar la última decisión de si fertilizo o no viene de la mano de entender al cultivo en sí mismo. Para esto hemos avanzado en metodologías como la medición de la concentración de nitratos en los pecíolos de la planta, ya que descubrimos que a medida que se incrementa el nitrógeno del suelo, la cantidad de nitratos en los pecíolos aumenta.

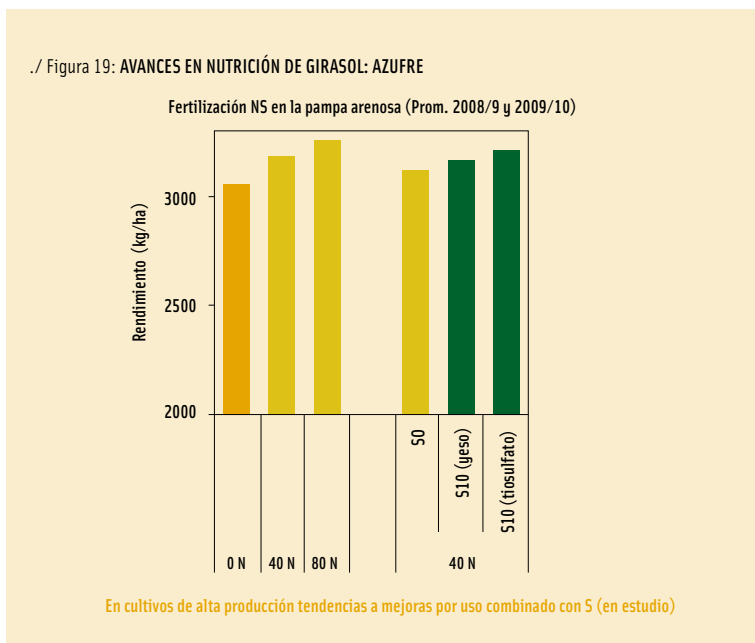
Hemos visto que es muy frecuente tener suelos con necesidad de nitrógeno al momento de la siembra, y cultivos en el oeste, por debajo del 30% de los casos, con necesidad de corregir el nitrógeno una vez que el cultivo está logrado.

Si integramos toda esta información, las primeras preguntas que debemos hacer para pensar en fertilizar con nitrógeno son: ¿Hacemos siembra directa? Sí. ¿Tengo buen nivel de humedad? Sí. ¿Espero cosechar 2000 kg/ha? Sí. ¿Me falta nitrógeno? Sí. ¿Tengo menos de 2500 partes

por millón de nitrato en los pecíolos? Sí. Entonces fertilizo. La idea es buscar todos los escenarios a la hora de tomar decisiones, y cuantificarlos, para planificar el cultivo.

NUTRIENTES EN ESTUDIO

Cuando pensamos en novedades o avances, el primero que aparece entre los macronutrientes para el girasol es el azufre, donde vemos que en ambientes de muy alta producción hay mejoras cuando se supera los 3000 kg/ha. Las cifras son aún erráticas, pero vemos que hay una contribución a la mejora en la eficiencia del uso del nitrógeno. Eso es muy importante y lo hemos visto en maíz y en trigo. El azufre en ambientes arenosos ayuda a la eficiencia del uso del nitrógeno. No se puede saber si va a permitir disminuir dosis, pero sí creemos que se van a reducir las pérdidas y se incrementará la eficiencia de captura por el cultivo. (Ver Figura 19)



BUNGE FERTILIZANTES-PASA DZD AGRO (2010)

En el caso del boro, un micronutriente con el que tenemos muchos años de experiencia, hemos notado que sus aplicaciones al suelo, en el momento de la siembra, no eran las más eficientes, y ahora estamos explorando las aplicaciones en combinación con fuentes de nitrógeno, donde creemos que pueden ser una oportunidad para explorar su incorporación de una forma más amigable que en una aplicación foliar en el cultivo ya desarrollado, ya que allí hay más restricciones de ingreso. Vemos que hay un pequeño aporte que está por debajo del 10% de mejora que notamos por corregir bien el fósforo, entender el nitrógeno y conocer mejor nuestros sitios de producción. (Ver Figura 20)

El girasol no crece solo, sino que interactúa con muchos microorganismos rizosféricos. Sergio Alemán, de la Universidad de Río Cuarto, presentó durante el taller científico de ASAGIR de marzo un trabajo con el avance de la investigación en microorganismos benéficos, principalmente por la fijación libre de nitrógeno, utilización de fósforo y promoción del crecimiento. Alemán aisló y encontró 29 bacterias que crecían en cul-

./ Figura 20: AVANCES EN NUTRICIÓN DE GIRASOL: BORO. Fertilización con Boro en la región semiárida-subhúmeda pampeana (2009/10)

Resumen de respuestas (%) de la fertilización NS sobre el control sin fertilización

		Mangas 2	La Perla 36	La Perla 42-49	Promedio
Peso de aquenios	NS	101	94	100	98
	NSB (suelo)	97	96	98	97
	NSB (foliar)	96	96	113	102
Números de aquenios	NS	102	106	97	102
	NSB (suelo)	111	101	114	109
	NSB (foliar)	108	100	92	100
Rendimiento	NS	103	100	97	100
	NSB (suelo)	107	97	112	105
	NSB (foliar)	104	96	104	101
Materia grasa	NS	100	100	92	97
	NSB (suelo)	100	93	113	102
	NSB (foliar)	104	95	108	102
Rendimiento bonificado	NS	103	100	97	100
	NSB (suelo)	107	97	112	105
	NSB (foliar)	104	96	105	101

En cultivos de alta producción tendencias a mejoras por uso de B en aplicación combinado con N (en estudio)

BUNGE FERTILIZANTES-PASA DZD AGRO (2010)

tivos de girasol. De esas, eligió 8, que consideró que podían tener buen comportamiento. El primer paso fue el análisis en condiciones de sequía, o condiciones de estrés hídrico y condiciones de saturación, para ver el crecimiento de materia seca y el crecimiento aéreo y en raíces, y encontró que había algunos microorganismos que, aplicados al momento de la siembra, mejoraban las condiciones de implantación del cultivo. Siempre, el gran desafío del girasol es lograr que se implante y crezca desde el primer día a un ritmo tal como el que estamos familiarizados de ver en el caso del maíz. Ese avance lo llevó a estudios de campo, y ya lleva dos años. El Ingeniero Torres es un estudiante de doctorado que está avanzando en esta línea de investigación en INTA Manfredi, y encontró que había algunas contribuciones microbianas que podían hacer estos sistemas más productivos. Es importante tener en cuenta que son todos elementos en análisis, y que aún no podemos decir que son soluciones, pero son esfuerzos para mejorar el crecimiento inicial, la condición de implantación, y lograr avanzar en el cultivo desde su arranque, para no corregir una vez que el cultivo ya está desarrollado.

También hay avances con otros microorganismos, Azospirillum y con Pseudomonas. La Figura 21 muestra 5 lugares de experimentación en

./ Figura 21: AVANCES EN NUTRICIÓN DE GIRASOL: PROMOTORES BIOLÓGICOS. Microorganismos rizosféricos benéficos. Azospirillum brasiliense y Pseudomonas fluorescens. Región de la pampa arenosa (2009/10)

Localidad	RGM (kg/ha)	
	Inoculado	Sin Inocular
Dorila	2876	2860
F. Olavarría	2241	1970
Hereford	1907	1990
V. Gómez	1509	1273
Trili	1481	1273
PROMEDIO	2003	1874
Respuesta	129	6.9%

Mayores respuestas en producción (+14% en MS de raíces en v4)
al aplicar promotores biológicos del crecimiento (en estudio)

el oeste de Buenos Aires, manejado por la consultora Ojos del Salado, donde en términos de mejoras en raíces lograron aumentos del 14%. Es normal que los microorganismos permitan alcanzar esas mejoras en implantación, pero lo interesante es que eso llegó de la mano de una mejora promedio del 7% de la productividad. ¿Cuál es el beneficio? Una vez más, se mejoró la colonización del sitio y una mejor instalación del cultivo desde su arranque.

CONCLUYENDO

A modo de resumen, me interesa destacar tres elementos de importancia: en primer lugar, no podemos olvidar que la nutrición, principalmente con nitrógeno y con fósforo, muestra evidencias de frecuentes limitaciones a la producción en las áreas girasoleras de la Argentina. En segundo lugar, las respuestas alcanzables rondan, para quienes hacemos números para tomar decisiones empresariales, aproximadamente el 10%. La pregunta es ¿el 10% de qué?, porque para pensar en términos de rendimientos alcanzables tenemos que empezar por conocer el sitio. No es lo mismo el 10 % de un lote con pH 9 que un 10% de un lote profundo de pH 6, con 4% de materia orgánica y buena cobertura. No olvidemos que el rendimiento alcanzable se va recortando proporcionalmente por los factores que lo limitan.

En el caso del fósforo, es importante realizar análisis del suelo, y no dejarlo de lado aún si contamos con buenos niveles de análisis del suelo para siembras tempranas, con buenas coberturas y suelos consolidados, porque tenemos que ayudar a las raíces a colonizar el espacio.

Cuidemos también la toxicidad en la siembra. En cuanto al nitrógeno, no se analiza el suelo para tomar decisiones, sino que es un análisis integral, que empieza en el suelo, sigue por la planta y debe incorporar al manejo del cultivo. Es importante también pensar en fechas de siembra, antecesor y densidad de plantas logradas no sembradas. Y estar atentos a los nuevos desarrollos, como la incorporación del azufre y del boro a los sistemas actuales de producción. Hubo grandes cambios que nos obligan a estar atentos, como los promotores biológicos de crecimiento, ya que hay mucho interés en mejorar la condición inicial de crecimiento del cultivo en forma integral.