

## Introducción

El Informe Final de Resultados 2012 de MasAgro refiere los principales resultados y avances alcanzados en la ejecución de las actividades planteadas en el Anexo Técnico 2012 del Acuerdo de Colaboración suscrito entre la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). En particular, el presente Informe describe el estado que guardan los compromisos acordados para cada línea de acción del programa Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional (MasAgro) en la Cláusula Quinta del referido Anexo.

## Presentación de resultados y avances 2012 por línea de acción

### 1. Desarrollo Sustentable con el Productor

#### 1.1 Hubs o nodos de innovación

MasAgro se comprometió a consolidar la operación de cinco hubs y a iniciar las actividades de tres más en 2012. En ambos casos, el programa alcanzó los objetivos planteados. Se consolidó la operación de los nodos Chiapas (meta 1.1.1), Maíz y Cultivos Asociados en Valles Altos (1.1.2), Cereal Grano Pequeño y Cultivos Asociados en Valles Altos (1.1.3), Bajío (1.1.4) y Pacífico Norte (1.1.5). De igual forma, se cumplió el compromiso de arrancar actividades de tres nodos nuevos, Pacífico Sur (1.1.6), Pacífico Centro (1.1.7) e Intermedio (1.1.8).

Como resultado, los ocho hubs de MasAgro cuentan con **46 plataformas experimentales** establecidas, entre ellas 25 que opera el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), y un total de **269 módulos demostrativos**, a los que se suman los **2,537 módulos** establecidos gracias a la alineación de la estrategia **PROMAF** al programa MasAgro. Comenzaron, a su vez, la planeación de plataformas adicionales y las actividades de capacitación de sus responsables.

El área de extensión total donde se practican técnicas agrícolas sustentables y se utilizan tecnologías MasAgro sumó **39,379 hectáreas** de impacto directo con adopción de tecnologías conectadas a los módulos. Adicionalmente, el programa sumó **37,459 hectáreas** gracias a la alineación con **PROMAF** al término del ejercicio 2012 (abril 2013). Estos avances se muestran en la Tabla 1 de la siguiente página. Por otra parte, se celebró un convenio para llevar a cabo un estudio de identificación y levantamiento de información para posibles zonas de impacto MasAgro.

Se ejecutó un plan de comunicación para hacer difusión de las técnicas productivas y tecnologías MasAgro entre productores y públicos de interés (1.1.9). Las actividades de divulgación se realizaron por medios impresos y electrónicos. Entre los canales más exitosos destacan la revista bimestral **EnIACe** que tira **18 mil ejemplares** por edición. Asimismo, en 2012 el boletín semanal EnIACe registró más de 3,500 suscriptores. Por su parte, la página web de esta línea de acción tuvo más de 60 mil visitantes. La comunicación a través de redes sociales se extendió a más de 900 seguidores en Facebook y a más de 500 en Twitter. Además, acordó un convenio para realizar múltiples presentaciones de la obra de teatro *Pa un campo con corazón... agricultura de conservación*.

## MasAgro: Informe Final de Resultados Anexo Técnico 2012

<b>Tabla 1 Hubs MasAgro</b>					
<b>Estados</b>	<b>Plataformas</b>	<b>Módulos MasAgro</b>	<b>Módulos PROMAF-MasAgro</b>	<b>Extensión*</b>	<b>Extensión PROMAF-MasAgro*</b>
Aguascalientes	1	0	29	0	187
Baja California	1	2	0	708	0
Baja California Sur	0	0	0	100	0
Campeche	1	2	24	10	353
Chiapas	2	20	146	682	1,444
Chihuahua	2	1	106	214	4675
Coahuila	0	0	32	0	361
Colima	0	0	41	0	580
Distrito Federal	0	3	0	3	0
Durango	2	0	475	0	8,932
Estado de México	5	17	102	183	638
Guanajuato	5	40	122	1,272	1,428
Guerrero	1	0	241	8,822	3,341
Hidalgo	3	35	32	2,993	259
Jalisco	1	17	167	54	4,421
Michoacán	3	26	64	6,428	833
Morelos	2	2	16	0	229
Nayarit	0	3	2	0	43
Nuevo León	0	0	43	0	487
Oaxaca	1	8	67	26	443
Puebla	3	11	282	1,205	2,015
Querétaro	2	24	30	60	371
Quintana Roo	0	0	13	0	252
San Luis Potosí	3	0	168	0	2,230
Sinaloa	1	6	0	300	0
Sonora	3	19	0	16,193	0
Tabasco	0	0	3	0	3
Tamaulipas	0	0	14	0	169
Tlaxcala	1	31	134	126	842
Veracruz	1	0	74	0	874
Yucatán	1	0	34	0	199
Zacatecas	1	2	76	0	1,852
<b>TOTAL</b>	<b>46</b>	<b>269</b>	<b>2,537</b>	<b>39,379</b>	<b>37,459</b>
* Hectáreas de impacto directo con adopción conectada a los módulos					

## MasAgro: Informe Final de Resultados Anexo Técnico 2012

---

En materia de acreditación de **Técnicos Certificados en Agricultura de Conservación**, MasAgro excedió las metas fijadas (1.1.10; 1.1.11; 1.1.12; y, 1.1.13). En 2012, CIMMYT graduó a **66 técnicos** que se sumaron a los 32 expertos de las generaciones 2010 y 2011. Por consiguiente, el programa ya cuenta con **98 técnicos certificados**. Cabe destacar que el programa cumplió con las metas de participación ya que el nodo Valles Altos tuvo 51 participantes; Pacífico Norte 61 participantes; Bajío 55 participantes y, finalmente, en Chiapas 45 aspirantes. Adicionalmente, MasAgro certificó a 10 técnicos en el uso del sensor GreenSeeker en el nodo Pacífico Norte.

Con la finalidad de fortalecer la capacidad de ofrecer asistencia técnica a los productores participantes de MasAgro y en respuesta a la demanda observada, se establecieron colaboraciones para ofrecer cursos y talleres adicionales. Se brindaron 23 entrenamientos, es decir, 13 entrenamientos adicionales a los planeados originalmente para satisfacer la demanda en materias clave para la adopción de tecnologías y prácticas agrícolas sustentables a 789 técnicos (1.1.14) provenientes de estrategias y programas locales alineados al Programa MasAgro. En cuanto a la capacitación de productores (1.1.15) se realizaron **114 días de campo** en módulos demostrativos de agricultura de conservación en los que participaron **6,839 productores**.

En el rubro de fertilidad integral, MasAgro estableció **38 experimentos** de calibración del sensor **GreenSeeker** (1.1.16; 1.1.17; 1.1.18; y, 1.1.19) es decir, 15 experimentos adicionales, que calcula el nivel de nitrógeno óptimo que requiere un cultivo. De esta manera, se llevaron a cabo 11 experimentos de calibración para maíz en Valles Altos; 4 más para maíz en Chiapas; 11 ensayos para cereales de grano pequeño (cebada, triticale y trigo) en el nodo Bajío; y, 12 ensayos para maíz, cereales de grano pequeño y cultivos asociados en los nuevos nodos MasAgro Pacífico Sur, Pacífico Centro e Intermedio. Cabe señalar que se identificaron a los productores para la implementación a escala comercial del uso del sensor GreenSeeker en Baja California Norte, Guanajuato, Michoacán, Sinaloa y Sonora (1.1.22) y se acordaron colaboraciones para su evaluación y monitoreo.

Adicionalmente, se realizaron 42 experimentos colaborativos para medir la falta de nutrientes (1.1.20) en cultivos de todos los hubs MasAgro, es decir, 34 experimentos más que los planeados para 2012. Se ejecutó, además, una estrategia integral para remediar la deficiencia de Zinc en el maíz (1.1.21) en los nodos donde la falta de este nutriente disminuye la productividad del grano. Asimismo, se realizaron las acciones comprometidas para reducir la acidez de los suelos de productores participantes en los estados de México, Chiapas y Querétaro (1.1.23).

Con base en una serie de estudios socioeconómicos (1.1.24), MasAgro realizó recomendaciones a los hubs en Bajío, Chiapas, Pacífico Norte y Valles Altos. Como resultado, los análisis comparativos (1.1.25) entre el desempeño de los sistemas de producción propuestos por MasAgro y los convencionales de los ciclos OI 2010-2011 y PV 2011 mostraron ahorros en costos de producción, así como ganancias en los promedios de rentabilidad y rendimiento de los módulos de productores participantes, como se muestra en la Tabla 2.

<b>Tabla 2. Rendimiento, costo variable y rentabilidad promedio de la agricultura de conservación comparada con la agricultura tradicional</b>			
Nodo	Rendimiento %	Costos Variables %	Rentabilidad %
<b>Bajío</b> Maíz – sorgo / Trigo – Cebada	+ 24 a 25	+ 6	+ 23 a 133
<b>Chiapas</b> Maíz y frijol	+ 18 a 22	+ 1	+ 20 a 119
<b>Pacífico Norte</b> Maíz, sorgo y soya	+ 0 a 13	— 16	+ 15 a 152
<b>Valles Altos</b> Maíz	+ 11	— 9	+ 8

La estrategia de desarrollo de hubs cumplió, a su vez, con la implementación de una estrategia para el manejo de rastrojo en Bajío, Chiapas y Valles Altos (1.1.26). Asimismo, se diseñaron los mapas de intervención que muestran las zonas prioritarias en cada nodo (1.1.27).

### 1.2 Agricultura de precisión y mecanización

Se desarrolló con éxito el protocolo de uso del nuevo satélite SPOT 6 en colaboración con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) para el servicio **GreenSat** de MasAgro que entró en operaciones a principios de 2013 (1.2.2). De esta manera, MasAgro incursionó en el uso de sensores remotos avanzados y brinda recomendaciones para la fertilización óptima de más **160 mil hectáreas de trigo** a productores participantes del nodo Pacífico Norte.

En cuanto a las acciones encaminadas al desarrollo y adopción de maquinaria inteligente para agricultura de conservación manufacturada en México, MasAgro rediseñó **13 prototipos de maquinaria** para diferentes escalas de operación agrícola (1.2.3). De igual forma, el componente identificó y consiguió la participación de talleres locales que tienen el potencial de fabricar maquinaria de precisión y mecanización inteligente de tales prototipos (1.2.1).

### 1.3 Fondo de investigación orientado al productor

El proyecto de mejoramiento de Triticale y multiplicación de semilla (1.3.1) produjo y distribuyó **55.2 toneladas de semilla Triticale Bicentenario TCL08** que liberó el Estado de México para comenzar su reproducción con fines comerciales.

Además como respuesta a las demandas específicas de los productores (1.3.3) se logró la instalación de 11 ensayos de poscosecha y se llevaron a cabo 15 eventos demostrativos de difusión y extensión con el propósito de dar a conocer las características y el uso y manejo de las tecnologías establecidas en dichos ensayos. Por otra parte, debido a la demanda del Sistema Producto Trigo para disminuir la incidencia de panza blanca y mejorar la calidad del grano de trigo, se llevó a cabo un proyecto en el que se utilizó la tecnología del sensor **SPAD (Medidor de Clorofila)** como diagnóstico para la fertilización nitrogenada.

### 1.4 Plataforma TIC

Los técnicos que promueven tecnologías y prácticas agronómicas sustentables de MasAgro ya cuentan con un sistema de **bitácoras** para recolectar información de campo en forma estandarizada que cerró el ejercicio 2012 con más de **12 mil registros** (1.4.1). El programa desarrolla la Bitácora Electrónica MasAgro (BEM) para agilizar y hacer aún más fácil la recolección y comparación de información en módulos demostrativos y áreas de extensión entre distintas instituciones.

Se concluyó el desarrollo de la plataforma integral de búsqueda y síntesis de información proveniente de diferentes fuentes de SAGARPA (1.4.2), herramienta fundamental para alinear las acciones de MasAgro con los programas de la Secretaría.

En este importante rubro, MasAgro desarrolla e introduce sistemas de comunicación e información para asistir la toma de decisiones de productores que no han tenido acceso a este tipo de servicios. A finales de 2012, se lanzó el programa piloto de **MasAgro Móvil** para enviar vía celular recomendaciones agronómicas e información climática específica para el nodo donde se encuentren los técnicos y productores suscritos al servicio (1.4.3). Además se firmó un convenio de trabajo para continuar la operación del servicio. El sistema también envía el precio de los granos básicos al usuario que lo requiera. Para contar con este servicio, el productor sólo paga el costo de envío de los mensajes de suscripción y de los que envíe posteriormente, para conocer el precio de los alimentos y del clima.

## 2. Descubriendo la Diversidad Genética de la Semilla

### 2.1 Caracterización molecular y premejoramiento de maíz

Las actividades relacionadas con este tema, buscan comprender y explotar el potencial de los recursos genéticos del maíz para proporcionar nuevas fuentes de genes valiosos e información genética relacionada a los programas de mejoramiento. De esta manera, podrán generarse nuevas variedades de maíz (híbridos, variedades de polinización libre y variedades nativas mejoradas) con mayor resistencia a los factores que afectan la productividad. Entre las labores realizadas destacan el análisis genético e identificación de genes que contribuyen a características importantes del cultivo; el diseño de estrategias de colaboración; el desarrollo de métodos de genotipificación y generación de datos genotípicos; la definición de herramientas y métodos para optimizar el pre-mejoramiento del maíz a partir de variedades criollas; la evaluación fenotípica directa de accesiones y de “mestizos” derivados de cruces de prueba en aspectos relevantes como productividad, usos culinarios y tolerancia a estrés; así como la multiplicación de semilla para una evaluación fenotípica amplia en campo.

MasAgro estudió las **relaciones genómicas** entre 4,736 plantas provenientes de **4,110 muestras de maíz** de la colección principal de CIMMYT para evaluar el enfoque de Asociación Amplia del Genoma (GWAS, en Inglés) y el de Selección Genómica para la explotación de germoplasma (GS). Durante 2012 se usaron datos genotípicos y fenotípicos para investigar las relaciones genómicas entre alelos y los caracteres altura de la planta, días a floración y resistencia al acame. (2.1.1)

Por otra parte, CIMMYT organizó reuniones consultivas el 15 y 16 de noviembre de 2012 a las que asistieron 36 investigadores nacionales de maíz. Los participantes acordaron una estrategia colaborativa para hacer análisis comparativos sobre la diversidad genética del maíz que se conservan en los bancos de

semillas en México (2.1.2). La estrategia define procedimientos y guía las acciones de caracterización genotípica que llevan a cabo los colaboradores de MasAgro en 2013.

MasAgro desarrolló un nuevo método de **genotipificación por secuenciación (GBS, en inglés)** que permite la identificación directa de heterocigotos y la determinación de la frecuencia de alelos a partir de muestras compuestas. Este avance permitirá obtener el genotipo de las accesiones y las huellas génicas a escala de la población con un costo treinta veces menor, lo que hace viable el estudio de todas las accesiones de maíz del CIMMYT y de los bancos de germoplasma de organizaciones mexicanas. Conocer la constitución genética una población, por ejemplo de una variedad nativa, permite seleccionar las accesiones más prometedoras y menos utilizadas para desarrollar materiales nuevos, y generar información que sea de utilidad para los mejoradores de maíz. El procedimiento se aplicó para generar los **perfiles genómicos de 7,133 muestras de ADN derivadas de 39,988 plantas** individuales (2.1.3). La nueva técnica GBS permitió a MasAgro generar el cuádruple de perfiles genómicos comprometidos en 2012.

A su vez, el componente realizó **simulaciones por computadora** para comparar la eficiencia de dos estrategias que utilizaron marcadores moleculares para el pre-mejoramiento de poblaciones biparentales (2.1.4). Los resultados confirmaron que la **selección genómica** supera otros métodos de pre-mejoramiento y mejoramiento en tiempo y costos. De hecho, la selección genómica permite mejorar todo el genoma y multiplica, por ende, las posibilidades de MasAgro de desarrollar semillas con los caracteres requeridos por los mejoradores.

MasAgro realizó ensayos de campo en todo el territorio mexicano con la finalidad de obtener datos de caracteres agronómicos prioritarios. La información obtenida de los ensayos sobre la reacción de las plantas a estrés y enfermedades complementa el análisis genético que se realiza utilizando la GBS. De esta manera, **se evaluaron 2,784 cruzas de prueba de accesiones únicas**, cifra 7% inferior a la propuesta en el Anexo Técnico 2012 (2.1.5). No obstante, se evaluaron más de 10 caracteres agronómicos en cada una de las cruzas de prueba; originalmente se propuso evaluar al menos 1 carácter. Los ensayos se realizaron en **4 mil parcelas de evaluación**, donde se probó tolerancia a sequía y bajo nitrógeno, pudrición de mazorca, proteína, almidón, aceite, color de grano, rendimiento, altura de la planta, número de mazorcas, floración masculina y femenina.

Con el objetivo de realizar la adecuada caracterización fenotípica de los **maíces mexicanos**, se regeneraron **224 accesiones**, es decir 12% más de la meta planteada (2.1.6). Se trata de las accesiones más representativas de las razas mexicanas que conserva el banco del CIMMYT. Como resultado, MasAgro cuenta con semilla suficiente para realizar diversas pruebas de campo en múltiples localidades. Esta reproducción también permitirá depositar semilla en el Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG) y en los centros regionales del INIFAP.

En 2012, se evaluaron **1,240 accesiones de maíces criollos de México** (colección núcleo de INIFAP), es decir, 620% más muestras de las comprometidas (2.1.7), gracias a la colaboración del INIFAP. La evaluación de estas accesiones de maíz hace que la colección sea de gran utilidad para investigadores y mejoradores dada sus características agronómicas. Los rasgos evaluados fueron, días a floración masculina, días a floración femenina, altura de planta, altura a la mazorca, acame de tallo, acame de raíz, mazorcas cosechadas, peso de campo, peso del grano, rendimiento de grano, hileras de la mazorca, longitud de la mazorca, diámetro de la mazorca e índice de grano.

### 2.2 Caracterización y premejoramiento de trigo

Esta tema tiene por objetivo canalizar nueva diversidad genética hacia los programas de trigo para poner a su disposición la materia prima para el desarrollo de variedades adaptadas a las necesidades de los productores. Las actividades específicas consisten en llevar a cabo la caracterización genotípica de líneas de trigo del banco de semillas; el mapeo genético de nuevos marcadores moleculares derivados de la GBS; el estudio de la diversidad contenida en bancos de germoplasma; la comparación de diferentes estrategias para la cruce efectiva de materiales; la caracterización fenotípica de líneas de trigo; la evaluación de líneas diversas por su adaptación a ambientes de México; y, el desarrollo de metodologías para facilitar el uso de los recursos genéticos y para la evaluación de enfermedades.

En 2012, a fin de canalizar nueva diversidad genética a los programas de mejoramiento de trigo, se aisló el **ADN de 26,085 accesiones** de trigo por lo que superó la meta trazada (2.2.1) para el objetivo. Asimismo, se **genotificaron 20,972 muestras de ADN**, lo que superó las expectativas iniciales de la meta en cuestión que contemplaba el análisis de 10 mil muestras.

De igual forma, MasAgro alcanzó el objetivo de realizar el mapeo genético de miles de marcadores moleculares tipo GBS (2.2.2). Con la información generada se pueden posicionar los marcadores moleculares en el genoma con el fin de identificar regiones genómicas que contienen factores genéticos de interés agronómico y acelerar el proceso de mejoramiento. También se avanzó en el **estudio de la diversidad genética del trigo** con el análisis de 8,586 trigos criollos de México, 3,303 de Irán y 2,275 trigos sintéticos que sumaron **14,164 accesiones** (2.2.3).

Por medio de simulaciones informáticas, se compararon diferentes estrategias para cruzar trigos de distintas variedades (2.2.4). El resultado de las comparaciones determinó que el mejor esquema de cruzamiento no es universal sino que debe elegirse basado en la importancia relativa de los caracteres élite y exótico de las líneas de trigo. Los modelos de simulación presentados son de mucha utilidad para los mejoradores porque les ayudan a definir la estrategia adecuada para recuperar el carácter élite o exótico conforme al objetivo del cruzamiento. Con procedimientos matemáticos el mejoramiento vegetal puede ser mucho más eficiente.

En materia de **caracterización fenotípica de trigo** (2.2.5), se evaluaron **62,725 accesiones** de trigo (51% más de lo previsto) para medir su tolerancia a sequía, calor, eficiencia de uso de fósforo, resistencia a enfermedades de la hoja y carbón parcial, resistencia a chinches, parámetros morfológicos y calidad de grano. Las pruebas se realizaron en más de **140 mil parcelas**, por lo que se duplicó la meta comprometida.

Adicionalmente se probó la adaptación de trigos a diferentes **ambientes agroecológicos de México**. Para tal efecto, se caracterizó un conjunto común de **1,320 líneas** de trigo en siete ambientes contrastantes del país (2.2.6). Las líneas seleccionadas en cada una de las localidades son de mucha utilidad para la zona de evaluación, ya sea por su uso directo o por su incorporación como progenitores a los programas de mejoramiento locales. El análisis de los datos de esta meta permitirá identificar líneas que cumplan con los requerimientos de fotoperiodo y vernalización óptima para cada localidad.

En forma paralela, se identificaron líneas de **trigos invernales** para ensayos de evaluación de tolerancia a sequía y a calor, y se llevó a cabo la multiplicación de semilla necesaria (2.2.7). Las líneas identificadas

incluyen trigos ancestrales de Irán y Turquía. Con base en el comportamiento agronómico de las líneas sembradas, se seleccionaron **560 líneas élite de trigo harinero**, **180 líneas élite de trigo duro** y líneas ancestrales de Turquía e Irán (5 mil trigos harineros y 300 duros) para una evaluación más exhaustiva.

Por otra parte, se establecieron protocolos para evaluar la nueva **enfermedad brusone** que afecta al trigo (2.2.8). Los protocolos son la base para el desarrollo de una estrategia efectiva, económica y segura para atacar la enfermedad. La estrategia contempla la identificación de germoplasma resistente y la caracterización paralela de secuencias genéticas clave asociadas con la resistencia a la enfermedad. Asimismo, se puso en marcha el método **Estrategia Enfocada en la Identificación de Germoplasma** (FIGS, en inglés) para predecir, con base en factores climáticos y geográficos, qué accesiones de trigo podrían ser resistentes a Brusone, *spot blotch* y chinches, o más eficientes en el uso de fósforo (2.2.9).

### 2.3 Establecimiento y operación de SAGA

En lo que respecta al desarrollo de capacidades para operar el **Servicio de Análisis Genético para la Agricultura (SAGA)**, MasAgro superó el objetivo de entrenar al menos a tres investigadores ya que, en 2012, siete personas fueron capacitadas en la compañía Diversity Arrays Technologies (DArT) en Canberra, Australia (2.3.1). Entre ellos figuran tres jóvenes mexicanos que cursan, actualmente, sus estudios de licenciatura y un egresado de ingeniería en biotecnología.

De esta manera, fue posible definir protocolos de definición de perfiles genómicos exitosos y replicables con el método GBS (2.3.2). En consecuencia, **SAGA inició operaciones a finales de 2012** y produjo los primeros datos el 10 de diciembre de 2012 (2.3.3). Los datos obtenidos coincidieron 99.9% con los datos obtenidos en DArT para las mismas muestras de ADN. Cabe señalar que las aplicaciones de esta tecnología permiten la obtención de perfiles genéticos para la identificación individual de variedades y pruebas de pureza genética, así como el análisis de diversidad dentro y entre poblaciones, aplicaciones que permiten definir las mejores estrategias para la recolección, conservación y aprovechamiento de los recursos genéticos.

Cabe resaltar también que en el segundo semestre de 2012 se decidió incrementar la capacidad de **SAGA** para procesar un alto volumen de muestras de manera rutinaria. Por lo tanto se adquirieron los consumibles necesarios para tal efecto, además de equipo de extracción de ADN a partir de material vegetal (liofilizador).

### 2.4 Soporte estadístico, informático y logístico

Se concluyó con éxito la segunda fase del estudio para determinar los requerimientos de infraestructura informática necesaria para divulgar los datos generados por este componente de MasAgro a través de un portal web (2.4.1). La evaluación concluyó que es necesario actualizar el software para obtener archivos de respaldo de manera más eficiente, comprar nuevos dispositivos de almacenamiento de datos, crear ambientes separados de servicios de cómputo (desarrollo y producción) y comprar nuevos servidores para uso en el ambiente de producción.

Por otra parte, se llevó a cabo la evaluación de la versión 1.9 de la herramienta **DataKapture** para la recolección de datos fenotípicos en campo (2.4.2). En esta evaluación participaron investigadores de



## MasAgro: Informe Final de Resultados Anexo Técnico 2012

---

INIFAP y CIMMYT. La calificación promedio asignada a la herramienta fue “buena” o “excelente” en todos los aspectos evaluados. La versión final del programa estará lista a finales de 2013.

La primera versión del **portal web** para búsquedas específicas de germoplasma, datos genéticos y fenotípicos en inglés y español se publicó en la dirección <http://seedsofdiscovery.org> (2.4.3). A finales de 2012 concluyó también el desarrollo de la aplicación **Curly Whirly** diseñada para visualizar información genotípica en un espacio tridimensional (2.4.4). Los investigadores de CIMMYT ya utilizan la herramienta para estudiar la diversidad genética y en 2013 se promoverá su utilización en la comunidad de científicos mexicana e internacional.

Finalmente, en 2012, se identificaron los proyectos AMAIZING (Francia), BREEDWHEAT (Francia), WHEAT LoLa (Reino Unido), TCap (Estados Unidos) y a la Universidad Agrícola del Punjab como las mejores oportunidades de colaboración para este componente de MasAgro (2.4.5). De esta manera, será posible establecer un esquema de colaboración que potencie el trabajo de conservación y mejoramiento de recursos genéticos.

### 3. Estrategia Internacional para Aumentar el Rendimiento de Maíz

#### 3.1 Transferencia de tecnología y capacitación al sector privado

En 2012, CIMMYT distribuyó **1,043 Kg de semilla parental de 13 híbridos de maíz a 14 empresas semilleras nacionales** (3.1.1). La semilla parental es suficiente para producir aproximadamente 150,000 Kg de semilla precomercial que podría sembrarse en las primeras 7 mil u 8 mil hectáreas de maíz MasAgro en México en 2014.

MasAgro ofreció **tres cursos de capacitación** a las compañías semilleras, uno en administración de empresas de semillas y dos en producción de semillas (3.1.2). En los cursos participaron 69 técnicos e investigadores de los sectores público (INIFAP y universidades agrícolas) y privado (empresas semilleras nacionales).

El portal del componente continúa en proceso de desarrollo y mejoramiento (3.1.3). Destaca la funcionalidad de la red colaborativa de evaluación de materiales que permite acceso a información sobre las distintas localidades de prueba y a los datos recolectados en cada una.

#### 3.2 Desarrollo de híbridos y variedades de maíz de alto rendimiento y adaptación a condiciones de temporal

Los programas de mejoramiento para las zonas de temporal del Trópico, Subtrópico y Valles Altos están en marcha, tienen intercambios frecuentes y una base de germoplasma importante para el desarrollo de productos (3.2.1). En el programa de **Trópicos**, se evaluaron 156 híbridos experimentales (136 blancos y 20 amarillos) en comparación con testigos locales y uno o dos testigos comerciales. Adicionalmente, 13 híbridos élite (6 blancos y 7 amarillos) tropicales fueron evaluados contra dos testigos comerciales en los ensayos 01AS y 02AS.

En el programa de **Subtrópicos**, se compararon 168 híbridos experimentales con testigos comerciales en dos ensayos de etapa 2. En el programa de **Valles Altos**, 17 híbridos elite (7 blancos y 10 amarillos)

tropicales fueron contrastados con híbridos comerciales. En todos los casos, los híbridos élite superiores serán evaluados en parcelas de validación y se iniciará su multiplicación y distribución a las empresas interesadas en su promoción.

Por otra parte, MasAgro fortaleció su red **colaborativa de evaluación** en el Trópico, Subtrópico y Valles Altos con un total de 30, 49 y 34 sitios o localidades, respectivamente (3.2.2). En la red de los Trópicos sobresalieron cinco híbridos blancos y tres amarillos.

En Subtrópicos, sobresalieron 4 híbridos blancos que desarrollaron las compañías ASPROS, CERES, FITOGEN y Global Seed Genetics. También destacaron dos híbridos blancos del INIFAP (H-377 y H-375) que comercializa PROSESO. En esta zona agroecológica se identificaron dos híbridos amarillos exitosos, uno de UNISEM y otro más de CIMMYT.

En la red de los Valles Altos fueron identificados 8 híbridos blancos con rendimiento y comportamiento agronómico superior al testigo comercial, dos de INIFAP, uno del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), cuatro de CIMMYT y uno de la compañía CERES. En el caso de los materiales amarillos se identificaron cinco híbridos con rendimiento y comportamiento agronómico superior al testigo comercial, cuatro de CIMMYT y uno más de la compañía Berentsen.

MasAgro estableció formalmente siete proyectos de colaboración para el desarrollo de maíces mejorados para las tres zonas agroecológicas de México con centros de investigación agrícola del sector público (3.2.3). De igual forma, el programa ofreció **cuatro cursos de capacitación para mejoramiento de maíz** (3.2.4): Curso de caracterización fenotípica para factores bióticos y abióticos; Día de campo programa de Valles Altos; Día de campo programa de Trópicos; y, Curso de tecnología de dobles haploides y mejoramiento de maíz. En los entrenamientos participaron 97 técnicos e investigadores de los sectores público y privado de México.

### 3.3 Desarrollo de herramientas y sistemas para acelerar, agregar valor y asistir en la generación de materiales mejorados

#### *Programa de fitopatología*

El área de patología de maíz de MasAgro identificó tres sitios para evaluar el complejo de la **mancha de asfalto (TSC)** en Córdoba, Veracruz, Santiago Etna y Zaachila, Oaxaca, y Cajales Guerrero (3.3.1), por lo que en el 2012 la red de evaluación fenotípica brindó **servicio de fenotipo en 9 localidades** (Texcoco-Estado de México, Agua Fría-Puebla, Tlaltizapán-Morelos, San Pedro Lagunillas-Nayarit), Córdoba-Veracruz-, Santiago Etna y Zaachila-Oaxaca, Cajales-Guerrero, y Celaya (Guanajuato)

Cabe resaltar que el equipo de patología de MasAgro preparó una hoja técnica para documentar el efecto de la mancha de asfalto y la metodología para su manejo adecuado, ya que en octubre de 2012, la enfermedad fungosa complejo de mancha de asfalto, afectó grandes extensiones sembradas con maíz en el estado de Oaxaca, ocasionando pérdidas de rendimiento entre 70-90% y destruyendo en su totalidad algunos cultivos.

Adicionalmente, 36 poblaciones F<sub>2</sub> que se generaron para mapeo de **mancha gris de la hoja (GLS)**, **P. sorghi** y **E. turcicum** avanzaron a familias F<sub>2:3</sub> y se multiplicó su semilla para evaluaciones posteriores.

Las poblaciones se utilizan para recolectar datos fenotípicos que servirán para crear marcadores ligados a genes de resistencia de caracteres importantes.

Se derivaron **1,000 líneas de dobles haploides (DH)** de progenitores con una combinación de **tolerancia a sequía y resistencia a pudrición de mazorca** y acumulación de **micotoxinas**. Las líneas se evalúan en condiciones de sequía y laboratorio donde se cuantifican las micotoxinas producidas por los hongos *F. verticillioides* y *A. flavus*. Las líneas DH que combinan tolerancia a sequía y resistencia a pudriciones de mazorca se pondrán a disposición de los programas de mejoramiento para que las prueben.

Los análisis de micotoxinas revelaron que, en general, las fumonisinas predominan mucho más en México que las aflatoxinas y DON. Sin embargo, en Valles Altos la micotoxina prevalente es DON. Los híbridos amarillos parecen ser más tolerantes a las micotoxinas que los blancos. Actualmente, se realizan análisis de una colección mucho más amplia y extensa de muestras representativas de híbridos blancos y amarillos para confirmar si esta es la tendencia.

### *Programa de fisiología*

En 2012, el fenotipo de estrés abiótico de maíz se ha llevado a cabo en Iguala, Guerrero, y Tlaltizapán, Morelos, para medir tolerancia a la sequía; en Ciudad Obregón, Sonora, para tolerancia a altas temperaturas, así como altas temperaturas combinadas con sequía; y, en Agua Fría, Puebla, y Tlaltizapán para tolerancia a deficiencia de nitrógeno (3.3.2).

Con la finalidad de aumentar la heredabilidad de los atributos medidos entre los experimentos, se estandarizaron los protocolos de fenotipo entre localidades. Estos protocolos estandarizados fueron utilizados para fenotipificar un total de **94 ensayos realizados en 15 mil parcelas**, aproximadamente 30 mil surcos de cinco metros, en condiciones óptimas, con deficiencia de nitrógeno, sequía, altas temperaturas y la combinación de altas temperaturas y sequía.

Para aumentar el potencial de rendimiento de ocho variedades tropicales, se aumentó la densidad de plantación de cinco plantas m<sup>2</sup> a 11 plantas m<sup>2</sup>. Como resultado, el rendimiento de granos por área aumentó de 8 t/ha a 14 t/ha. En el corto plazo, esta sencilla práctica agronómica es la herramienta más prometedora para aumentar el rendimiento de grano en condiciones óptimas.

### *Laboratorio de calidad de grano*

MasAgro desarrolló dos metodologías para monitorear el contenido de compuestos fenólicos y almidón resistente (3.3.3). Dichas metodologías permiten la evaluación en serie y con alta confiabilidad para los dos parámetros de calidad.

Además de las metodologías desarrolladas, MasAgro proporciona información sobre la calidad de grano para las industrias de masa-tortilla y harina nixtamalizada de los híbridos pre-comerciales evaluados en la red de la Estrategia Internacional para Aumentar el Rendimiento de Maíz. Esta caracterización es el resultado de un esfuerzo inter-institucional y de los parámetros de monitoreo definidos previamente

### *Laboratorio de biotecnología*

Con el propósito de identificar regiones genómicas que influyen en los caracteres de resistencia a enfermedades y tolerancia a sequía se utilizaron análisis de asociación de genoma completo (GWAS) (3.3.4). Con este método se identificaron **20 regiones genómicas** que contribuyen a elevar la **resistencia** a enfermedades como **tizón foliar por turcicum (TLB, en inglés)** y **mancha gris de la hoja (GLS, en inglés)**.

En forma paralela, se formaron dos poblaciones de fuentes multiparentales con tolerancia a factores adversos, cada una con entre 12 y 15 líneas progenitoras élite. De cada grupo se extrajeron, genotipificaron y fenotipificaron cruza de prueba de más de 1,000 familias. Las familias con un comportamiento superior se sembraron y recombinaron para reforzar su tolerancia a factores abióticos.

### *Tecnología de Dobles Haploides DH*

La tecnología de DH es una herramienta que ayuda a obtener rápidamente ganancias genéticas en los programas de mejoramiento de maíz porque permite el desarrollo rápido de líneas homocigotas, así como hacer una selección más eficiente de plantas. En 2012, MasAgro estableció un mecanismo para que sus colaboradores del componente de maíz tengan acceso a líneas inductoras de haploidía tropicalizadas. De esta manera, las compañías semilleras nacionales podrán tener sus propios sitios de producción de tecnologías DH (3.3.6). A su vez, el programa ofreció un servicio de producción de líneas DH a los colaboradores interesados en producir sus líneas. Adicionalmente, se ofreció un curso de tecnología DH los colaboradores del componente.

### *Herramientas bioinformática y de biometría*

El equipo de biometría del proyecto prestó servicio a los programas de mejoramiento de Valles Altos, Subtropicos y Trópicos en el **análisis** y cálculo de datos para **388 experimentos de híbridos** en distintas etapas del proceso de mejora (3.3.7). Los resultados para los tres programas de mejoramiento muestran que se obtuvieron resultados valiosos para los mejoradores en cuanto a la detección de híbridos de maíz muy productivos y competitivos con testigos comerciales para las zonas productivas de México.

### *Capacitación y colaboraciones*

Dado que el mejoramiento genético es un proceso que se basa en distintas disciplinas y herramientas para desarrollar híbridos y variedades superiores, MasAgro a finales de 2012 tenía establecidos seis convenios de colaboración en materia de calidad nutricional de maíz para alimentación humana con el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) en Querétaro, con el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) y con la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en el Distrito Federal y Querétaro. En forma complementaria, se pactaron colaboraciones en las áreas de calidad forrajera del maíz con el CINVESTAV – Irapuato, herramientas moleculares con INIFAP - CNRG, patología de maíz con la UNAM – DF y plagas postcosecha de maíz con el ITESM (3.3.8).

Además bajo el marco del Congreso Internacional de Nixtamalización, MasAgro ofreció cuatro cursos sobre calidad de grano, producción de harinas, métodos alternativos a la nixtamalización para producción de harinas y aditivos en la tortilla (3.3.9). El componente de maíz organizó también un curso de

caracterización fenotípica para factores bióticos y abióticos, y un curso de tecnología de dobles haploides y mejoramiento de maíz (3.3.10). En estas actividades participaron 52 técnicos e investigadores de los sectores público (INIFAP, institutos nacionales de investigación agrícola de Latinoamérica y universidades agrícolas mexicanas) y privado (compañías semilleras mexicanas).

Finalmente, en materia de capacitación este componente de MasAgro ofreció cuatro cursos sobre diseño experimental, análisis de datos y sistemas bioinformáticos (3.3.11). Participaron 54 representantes de 27 empresas semilleras, de cuatro universidades públicas, ICAMEX e INIFAP. De esta manera, MasAgro contribuyó a que el sector público y semillero de México adopten el **Fieldbook-IMIS** que permite incrementar la eficiencia de los programas de mejoramiento de maíz.

### 3.4 Focalización, evaluación de impactos, planificación de comercialización/mercadeo y análisis de políticas

MasAgro realizó dos estudios de análisis de la cadena de valor de maíz en el Estado de México en colaboración con el Colegio de Postgraduados (COLPOS), uno sobre maíz blanco, y otro sobre maíces azules y pozolero (3.4.1). Los resultados obtenidos indican que los problemas que enfrenta la industria en esta demarcación tienen que ver con el desabasto de maíz, los precios altos y la maquinaria obsoleta. Por consiguiente, MasAgro buscará que las compañías que participan en sus programas de desarrollo de híbridos y variedades de maíz de alto rendimiento intensifiquen la producción de semillas que respondan a las preferencias de los compradores de la industria de la masa y el nixtamal.

Por otra parte, MasAgro realizó un análisis del sector semillero para entender mejor su organización, estrategias de mercadeo y adopción de semilla mejorada (3.4.2). Además, los resultados mostraron que las zonas con mayor potencial de rendimiento y probabilidades de éxito para la **adopción de semilla mejorada** son las regiones del Trópico y los Valles Altos. Otro resultado relevante del trabajo realizado es que las **empresas mexicanas** tienen casi **20% de participación en el mercado** de semillas. Asimismo, se realizaron otros tres estudios de mercado de semillas mejoradas de maíz, que buscan resaltar la importancia de focalizar los beneficios de las semillas mejoradas en mercados específicos, en tres regiones agroecológicas de México en colaboración con INIFAP (3.4.3).

## **4. Estrategia Internacional para Aumentar el Rendimiento de Trigo**

### 4.1 Consolidación de la plataforma de fenotipado (MEXPLAT) para evaluar y seleccionar líneas de trigo con mayor potencialidad para incrementar el rendimiento

La **Plataforma Mexicana de Fenotipado (MEXPLAT)** opera de forma óptima y contribuye a todos los objetivos y entregables de investigación y entrenamiento, así como a la coordinación de los talleres y actividades de este componente de MasAgro (4.1.1). La MEXPLAT es una estación de investigación física donde expertos en mejoramiento vegetal, fisiología de cultivos, biología molecular y disciplinas afines caracterizan los límites actuales de trigos elite modernos en instalaciones de fenotipificación de última generación con el objetivo de seleccionar diferentes materiales que posean las características óptimas para aumentar el rendimiento. La variabilidad genética disponible a la que MEXPLAT tiene acceso se debe a que CIMMYT coordina la Red Internacional de Mejoramiento de Trigo (IWIN, en inglés) que colabora con todos los programas de trigo a nivel mundial. La MEXPLAT se beneficia de acceso a fuentes de genes de trigo de todo el mundo, y también hace recurso a las miles de variedades de

trigo conservadas en los bancos que colaboran con el componente Descubriendo la Diversidad Genética de la Semilla. Es por ello que es sumamente importante contar con una infraestructura como MEXPLAT, totalmente operativa, que permita evaluar esta amplia diversidad genética a la que MasAgro tiene acceso.

En 2012, la MEXPLAT fue sede del **segundo Taller Técnico del Consorcio Internacional de Trigo** (WYC, en inglés) en marzo de 2012 que contó con la participación de 69 expertos en mejoramiento de trigo de 11 países (4.1.2). La agenda de investigación del WYC que se lleva a cabo en la MEXPLAT y las principales zonas trigueras del mundo desarrolla cinco líneas complementarias de investigación para incrementar 50% el potencial de rendimiento de grano: (1) incrementar la capacidad y eficiencia fotosintética a nivel de dosel (incluye espigas); (2) optimizar la partición de asimilados al grano; (3) entender las bases fisiológicas de la resistencia al acame; (4) desarrollo de líneas de trigo de alto potencial de rendimiento combinando el uso integrado de germoplasma y características fisiológicas; y, (5) evaluar material de alto rendimiento en diferentes localidades mexicanas en colaboración con institutos mexicanos y en diferentes sitios ME1 a nivel internacional. En la reunión, los principales investigadores presentaron sus avances y, de igual forma, se establecieron y consolidaron las líneas de investigaciones del próximo año (4.1.2). Con estos talleres anuales se pretende dar un estrecho seguimiento a las líneas de investigación, establecer un diálogo directo entre los principales investigadores y abrir la posibilidad a que nuevos colaboradores participen en el WYC.

#### 4.2 Evaluación de germoplasma avanzado de trigo caracterizado por su respuesta fotosintética

En 2012, el componente desarrolló técnicas basadas en la medición de la radiación absorbida por las plantas (mediante el uso de un ceptómetro) así como análisis de la canopia mediante escáner o medidor de área foliar. Con estas herramientas puede determinarse la distribución angular de la hoja y la arquitectura de la canopia para mejorar la eficiencia en el uso de la radiación. Asimismo, se evaluaron diferentes técnicas espectrales (espectroradiómetros), de fluorescencia (fluorímetro) y mediciones para determinar la tasa fotosintética (medidor de intercambio de gases) para evaluar la capacidad y eficiencia fotosintética de diferentes variedades de alto rendimiento en invernaderos y en campo (4.2.1). MasAgro invirtió, a su vez, en métodos de selección de alto rendimiento y en el estudio de los aspectos fisiológicos y genéticos que contribuyen al rendimiento como resultado del proceso de **fotosíntesis en la espiga** (4.2.2). El programa cuantificó la diversidad genética de los cultivares élite de CIMMYT conforme a la fotosíntesis de la espiga y realizó la fenotipificación de una población de esos mismos cultivares para identificar marcadores moleculares relacionados con el proceso de interés. Se encontró además una correlación positiva entre tasa fotosintética a nivel de hoja y el rendimiento (4.2.1). Estos avances son de gran interés debido a que la existencia de variabilidad genética encontrada tanto a nivel de dosel como de espiga que demuestra que es posible incrementar el rendimiento al aumentar la eficiencia y capacidad fotosintética; además, es posible incorporar estas características en programas de mejoramiento como herramientas de selección; y, finalmente, pueden localizarse marcadores moleculares que ayuden a la selección de genotipos a gran escala.

### 4.3 Evaluación de germoplasma avanzado de trigo caracterizado por partición de asimilados y resistencia a acame

En 2012, se llevaron a cabo investigaciones en un panel de trigos élite de primavera del conjunto de **Germoplasma Principal de CIMMYT México (CIMCOG)** para lograr mejoras relacionadas con un **índice de cosecha (HI) alto y resistencia al acame** (4.3.1). Para conseguir este objetivo, MasAgro llevó a cabo diferentes experimentos en la plataforma MEXPLAT. En materia de partición de asimilados, destaca la realización de un análisis sobre las ventajas y desventajas de mejorar el proceso de partición de asimilados al grano y la partición a receptores alternativos como la lámina de la hoja, el tallo de la hoja y el tallo de la planta. A su vez, se desarrollaron líneas casi isogénicas para inhibir el gen *Tin1A* que tienen un proceso mejorado de partición de asimilados al grano en contextos de producción de trigos de primavera e invierno. También se desarrolló un protocolo de alto rendimiento para medir la partición de asimilados al grano. Como resultado se identificaron líneas de óptima removilización de asimilados al grano para índices de cosecha altos y estables. Además se determinaron los principios fisiológicos que establecen una óptima partición de asimilados. Estos parámetros son de gran utilidad para seleccionar nuevos genotipos que incorporen estas características.

Las acciones emprendidas para mejorar la **resistencia al acame** incluyeron la genotipificación de marcadores moleculares de última generación que influyen en la adaptación del panel CIMCOG. Éstos incluyen los genes de la Revolución Verde *Ppd1* (respuesta a la duración del día), *RHt1* (semienano) y segmentos de cromosomas de especies relacionadas como el centeno (*secale cereale*). Asimismo, se caracterizaron los patrones de desarrollo reproductivo del CIMCOG y se determinó su relación con la fertilidad de la espiga y el tamaño potencial del grano (4.3.1). También se evaluó el potencial genético de resistencia al acame del CIMCOG y se identificaron rasgos que requieren mejoramiento genético para incrementar la resistencia al acame, es decir esparcimiento de raíces y fuerza estructural del tallo. Finalmente, se desarrollaron protocolos de fenotipificación de rasgos de acame para duplicar el rendimiento y actualmente se trabaja con un nuevo ideotipo específico para resistencia al acame en las condiciones ambientales del norte de México. Los resultados obtenidos determinaron, a su vez, la dinámica de desarrollo del grano durante la fase de llenado de grano al definir los factores que determinan este proceso y permitir la identificación de diferentes genotipos que tienen la capacidad de incrementar el peso del grano. El resultado es particularmente importante porque confirma que si puede incrementarse la cantidad de asimilados en la planta (demostrado por los resultados obtenidos en 4.2.1 y 4.2.2) podría aumentarse el peso de los granos si se realizan las cruzas pertinentes. Todos estos resultados se han tenido en cuenta para elegir cuidadosamente los padres que formarán parte del próximo bloque de cruzamiento.

### 4.4 Desarrollo de métodos y mejoramiento para la obtención de nuevas variedades de trigo que acumulen características de potencial de rendimiento

El componente llevó a cabo pruebas de rendimiento en diferentes localidades de México y a nivel internacional en alianza con el INIFAP y con programas de investigación de trigo de más de 10 países. De esta manera, el conjunto del CIMCOG que se reunió a finales de 2010 en la MEXPLAT se evaluó, en 2012, **en 8 localidades de México y en 20 sitios internacionales** (4.4.1). La evaluación internacional del material CIMCOG ha permitido determinar qué genotipos tienen un mayor rendimiento en diferentes ambientes. En forma complementaria, la información recolectada en la MEXPLAT del mismo material permitirá conocer las características fisiológicas que determinan el rendimiento en diferentes ambientes.

Además, cuando los rendimientos sean superiores al control local, los programas nacionales tendrán acceso a un material mejorado que puede cruzarse con variedades locales y distribuirse, posteriormente, en diferentes regiones. De igual forma, se envió un nuevo panel de líneas élite de trigo de primavera (conocido como 1er WYCYT) caracterizadas por rasgos de potencial de rendimiento a programas nacionales de mejoramiento de trigo para evaluación en diferentes condiciones ambientales.

Por otra parte, se hizo una evaluación visual de las características de biomasa entre un total de 25 mil razas criollas y se multiplicaron los genotipos seleccionados por presentar una biomasa alta. También se realizaron **45 cruza**s en el programa de premejoramiento de potencial de rendimiento para combinar rasgos complementarios de potencial de rendimiento e incorporar niveles altos de biomasa de recursos genéticos (4.4.2). La selección de los genotipos incluidos en estas cruza se realizó con los datos obtenidos el ciclo 2010-2011 y el material se avanzó una generación en la MEXPLAT cuando se generó la semilla de la cruza.

#### 4.5 Capacitación científica a estudiantes de doctorado mexicanos en instituciones nacionales e internacionales

En el 2012 **seis científicos mexicanos** cursaron programas de **doctorado** en prestigiadas universidades de Australia, Chile, y Reino Unido con el apoyo de MasAgro (4.3.1). Sus investigaciones se alimentan de los datos recolectados en la MEXPLAT y se enfocan en áreas prioritarios de mejoramiento, como son incrementar la capacidad y eficiencia fotosintética de la planta, aumentar el tamaño y peso potencial de grano, optimizar la partición de asimilados al grano, incrementar la fertilidad de la espiga, y aumentar la resistencia del trigo al acame. MasAgro brindó, además, entrenamiento teórico - práctico en una amplia gama de métodos de investigación de campo y laboratorio a científicos mexicanos de nivel licenciatura en la MEXPLAT. Adicionalmente, hay que destacar que una estudiante de doctorado de MasAgro ganó un premio al mejor poster del congreso en Combio2012 que se llevó a cabo en Australia (4.5.1). A su vez, los resultados preliminares obtenidos por los estudiantes de doctorado se han presentado en diferentes ponencias internacionales.