

Resumen 2015 de las metas y actividades realizadas, resultados alcanzados e impactos logrados

Programa Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional, MasAgro

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT, 25 de febrero de 2015

El CIMMYT presenta, a continuación, una relación de las principales actividades de investigación, entrenamiento y transferencia de tecnologías para el desarrollo rural sustentable que el programa MasAgro realizó en 2015 a través de sus cuatro líneas de acción, MasAgro Productor, Maíz, Biodiversidad y Trigo. Las tecnologías implementadas por el Programa MasAgro cubren un área de impacto total de 246,482 ha en Otoño-Invierno (14-15), 970,419 en Primavera Verano 2015. Las parcelas de maíz que aplican tecnologías MasAgro obtienen un rendimiento promedio superior del 67% con respecto a los testigos de la región conforme un análisis de >1300 parcelas registradas en la BEM ya que el promedio de la región es de 2.39 Toneladas/Ha y el promedio de las parcelas participando en MasAgro de 4.0 Toneladas/Ha. Comparando solamente los testigos dentro cada parcela con el lado de la innovación se registró 21% de incremento en maíz. Las parcelas de maíz que aplican tecnologías MasAgro obtienen un ingreso promedio superior con respecto a los testigos considerados del 23%. En el caso del trigo se apreció una rentabilidad promedio del 4 hasta un 25% mayor que el testigo.

Estos resultados contribuyen a cumplir el objetivo principal del Programa consignado en el Anexo Técnico 2015, incrementar la rentabilidad y estabilidad de los rendimientos, aumentar los ingresos netos y hacer una gestión sustentable de los sistemas de maíz, trigo y cultivos asociados mediante la investigación colaborativa, el desarrollo y adopción de capacidades en germoplasma, tecnologías y prácticas agronómicas adecuadas en las diferentes zonas que producen granos básicos en México.

1. MasAgro Productor

Desarrollo Sustentable con el Productor



Objetivo: Buscar rendimientos más altos y estables, mayores ingresos netos para los productores y la adopción de una cultura de conservación de los recursos naturales mediante un esfuerzo de actores de la cadena productiva de maíz, trigo y cultivos asociados integrados para la innovación, difusión y adopción de soluciones sustentables en zonas agroecológicas seleccionadas.

Meta 1.1 Actores de la cadena productiva de las zonas agroecológicas clave orientadas a los sistemas de maíz, trigo y cultivos asociados innovando, codesarrollando, adaptando, difundiendo y adoptando soluciones MasAgro en sus respectivas áreas de influencia.

- En los 12 hubs MasAgro se establecieron 43 plataformas de investigación y 452 módulos demostrativos que desarrollaron, evaluaron, adaptaron y difundieron prácticas y tecnologías agronómicas sustentables.
- Se registraron 807 áreas de extensión donde los productores participantes han adoptado el modelo de intensificación sustentable y las tecnologías de MasAgro.
- Se realizaron 384 eventos con productores con la finalidad de informar, capacitar y difundir acerca de las prácticas agronómicas y oferta de tecnologías que propone MasAgro.

Meta 1.2 Diseño, codesarrollo, consolidación, validación y/o mejora continua de prototipos, instrumentos y herramientas de toma de decisión, acompañamiento técnico y divulgación a disposición de los actores de la cadena productiva de maíz, trigo y cultivos asociados.

- Se diseñaron 17 nuevos conceptos de prototipos y se desarrollaron 26 prototipos de herramientas e implementos para el manejo sustentable de los sistemas de producción de maíz, trigo y cultivos asociados.
- Se atendió a 8,725 usuarios a través de las distintas herramientas de toma de decisión y acompañamiento técnico.
- Se registró actividad en 4,009 bitácoras en el sistema Bitácora Electrónica MasAgro (BEM).
- Se enviaron 147,199 SMS a los 3,436 usuarios activos de MasAgro Móvil; se registró un crecimiento promedio mensual en el número de usuarios de 6.2 por ciento.
- Se enviaron 50 boletines semanales del informativo EnLACe a más de 6,500 suscriptores; más de 11,300 personas se contabilizaron como seguidores del Programa en las redes sociales.
- Se imprimieron y distribuyeron más de 150 mil materiales (revistas, historietas, infografías, hojas de resultados y carteles, entre otros); las campañas de comunicación específicas alcanzaron un impacto estimado de más de 4 millones de personas.

Meta 1.3 Actores clave de la cadena productiva de los sistemas de producción de maíz, trigo y cultivos asociados desarrollan capacidades y certifican sus competencias.

- Se realizaron 183 eventos de capacitación en los hubs, con 2,102 participantes y un número estimado de 17 mil productores beneficiados.
- 43 formadores MasAgro capacitaron a 434 prestadores de servicios profesionales y realizaron 75 sesiones de capacitación para técnicos de estrategias y programas públicos alineados a MasAgro que cubren una superficie estimada de asistencia técnica de 486,929 hectáreas.
- Se impartieron 58 entrenamientos en temas específicos a 1,576 técnicos, 22 por ciento son mujeres.
- 46 técnicos se certificaron en Agricultura Sustentable y 55 más recibieron formación; el número total acumulado de Técnicos Certificados asciende a 294.

Meta 1.4 Científicos y técnicos desarrollan y evalúan tecnologías sustentables para optimizar la gestión de los recursos naturales, insumos productivos y la eficiencia en el manejo de los sistemas de producción de maíz, trigo y cultivos asociados.

- Se elaboraron cuatro materiales científicos relativos a los efectos de la Agricultura de Conservación y se publicaron tres artículos científicos en revistas internacionales de reconocido prestigio.
- Se realizaron análisis de rentabilidad en 15 plataformas de investigación y evaluaciones de propiedades físicas del suelo en 14 plataformas.
- Se condujeron 44 experimentos de fertilidad integral de suelo y 13 experimentos para remediar la acidez del suelo en los diferentes nodos de MasAgro.
- El aumento del rendimiento en parcelas seleccionadas tratadas con cal se multiplicó hasta por 4.5.
- Las tecnologías de sensores ópticos ayudaron a ahorrar hasta \$5,459 por hectárea.
- Se evaluaron cinco tecnologías de almacenamiento de grano en 25 ensayos de manejo poscosecha con productores participantes.
- Se evaluaron más de 126 líneas avanzadas de triticale y se escogieron cuatro líneas para liberación comercial.

2. MasAgro **Maíz**

Estrategia Internacional para Aumentar el Rendimiento del Maíz



Objetivo: Busca rendimientos más altos a través de investigación colaborativa en material genético y tecnología disponibles para el desarrollo de híbridos con potencial de rendimiento y estabilidad dirigido al sector semillero nacional, y mejoramiento participativo de maíces nativos.

Meta 2.1 Los productores de autoconsumo participan en el mejoramiento de sus maíces nativos utilizando mejores prácticas para incrementar su productividad con el acompañamiento de MasAgro.

- Se establecieron 16 ensayos de mejoramiento participativo de maíces nativos en seis localidades de cinco municipios oaxaqueños.
- Se impartieron 25 eventos de capacitación en los que participaron 576 productores de más de 60 localidades oaxaqueñas.
- Los mejores maíces sembrados con las prácticas agronómicas recomendadas por agrónomos expertos rindieron 44 por ciento más, en promedio, que los maíces cultivados regularmente, con prácticas convencionales, en cada comunidad participante.

Meta 2.2 Fomento de un sector semillero nacional de maíz organizado y fortalecido, potenciando la producción de semilla mejorada de alta calidad.

- 48 compañías semilleras mexicanas, pequeñas y medianas, participaron en MasAgro Maíz. En conjunto, produjeron 1.2 millones de bolsas de maíz híbrido. Las bolsas son de 60 mil semillas o de 20 Kg.
- Las compañías semilleras participantes aumentaron 44 por ciento las ventas de semilla híbrida MasAgro, es decir semilla desarrollada por completo en CIMMYT, de 2014 a 2015.
- Las compañías participantes comercializaron 26 híbridos MasAgro bajo 100 nombres comerciales diferentes en 19 estados, 78 regiones y 257 municipios de México.
- Se comprobó un incremento en la conversión a híbridos en municipios con potencial de 3.5%
- Se impartieron seis eventos de capacitación a representantes de compañías semilleras y colaboradores de la cadena de valor de maíz.
- Las fichas técnicas, o tecnología de producción, de 22 híbridos MasAgro se pusieron a disposición de las compañías semilleras participantes.
- Se produjeron 10,027 Kg de semilla básica y 20,196 Kg de semilla precomercial de híbridos MasAgro.
- Se caracterizaron 66 variedades de MasAgro, 28 tropicales, 28 de Valles Altos y 10 subtropicales, para que los semilleros puedan comercializar semilla certificada en el corto plazo

Meta 2.3 Híbridos de maíz con alto potencial de rendimiento y calidad de grano, estables y adaptados a las condiciones ambientales de las regiones meta.

- Se identificaron 11 híbridos nuevos que destacaron por su competitividad en la red nacional conformada por 113 sitios de evaluación. El mejor híbrido para la región tropical rindió 7.4 t/ha, el mejor híbrido subtropical 8.3 t/ha, mientras que la mejor combinación híbrida para Valles Altos produjo 6.9 t/ha.
- Dos híbridos MasAgro destacaron por su calidad de procesamiento para la industria nixtamalizada.
- Se evaluaron líneas y se seleccionaron los materiales más destacados en las diferentes etapas de mejoramiento, como se muestra en la tabla a continuación:

Fase o proceso de mejoramiento	Líneas evaluadas	Líneas seleccionadas
Segregantes	20,638	8,959
Dobles haploides	3,009	1,355
Híbridos experimentales	1,011	47
Híbridos avanzados	384	37

- Se identificaron dos líneas híbridas tolerantes a sequía de entre 184 híbridos y dos líneas más tolerantes a la combinación de calor y sequía de entre 177 híbridos evaluados. Se identificaron cuatro líneas tolerantes a una combinación de factores adversos, deficiencia de nitrógeno, calor y

sequía, y cuatro líneas más que son tolerantes a la combinación de sequía y deficiencia de nitrógeno.

- Se evaluó la resistencia de 230 híbridos a enfermedades: 61 híbridos tropicales por resistencia al Complejo Mancha de Asfalto; 126 híbridos subtropicales por pudrición de tallo por Fusarium; y 43 de Valles altos por roya común. Se seleccionaron 27 híbridos por tener resistencia a alguna de estas enfermedades.
- Se produjeron 5,145 líneas dobles haploides y se completó el proceso de inducción haploide en 33 poblaciones.
- Se mapeó el QTL (locus de carácter cuantitativo) que confiere resistencia al Complejo Mancha de Asfalto.
- Se identificaron 10 QTL significativos para ubicar la resistencia a Tizón Norteño en el ADN de líneas resistentes de maíz.
- Se identificaron ambientes homogéneos y genotipos o líneas de maíz estables con los datos de más de 100 sitios de las redes de evaluación de 2014.
- Se identificaron oportunidades de mercado en las cadenas de valor de producción animal (carne de cerdo, aves, leche, huevo y alimentos balanceados) y de harina de maíz nixtamalizado para los productores de grano y semilla de MasAgro.
- Se comprobó que los factores que más contribuyen a incrementar el rendimiento de los productores en campo son la densidad de siembra, cantidad de nitrógeno y fósforo, nivel tecnológico medio y alto, labranza mínima, semilla híbrida y riego.

3. MasAgro **Biodiversidad**

Descubriendo la Diversidad Genética de las Semillas



Objetivo: Busca mayor aprovechamiento de recursos genéticos valiosos mediante tecnologías de punta y desarrollo de capacidades para acelerar el desarrollo de variedades de maíz y trigo de alto rendimiento, estables y tolerantes al cambio climático.

Meta 3.1 Potencial genético identificado para caracteres prioritarios del maíz en México.

- Avanzó la conformación del atlas molecular del maíz mediante la genotipificación de 4,610 muestras de ADN; se identificaron 616,967 SNP (polimorfismos de nucleótido único).
- Inició el análisis global de la diversidad genética del maíz en el conjunto de datos genotípicos más grande del mundo que va a permitir identificar alelos de interés y accesiones para el mejoramiento del maíz.
- Se conformaron cuatro colecciones núcleo a partir del análisis de datos genotípicos de 17,353 accesiones del Banco Internacional de Germoplasma. Se dio prioridad a caracteres genéticos de sequía, calor y raza tuxpeño de clasificación primaria y secundaria; se evaluaron 1,390 accesiones y 1,062 se catalogaron como raza tuxpeño primaria.

- Se desarrollaron huellas de selección genómica con el índice de aridez de 9,954 accesiones genotipificadas en 2014 y 1,268,348 marcadores moleculares (se reportan asociaciones del gen ZmCCT sobre la floración y la introgresión INV4m con altitud).
- Se liberaron al público más de 2 mil millones de datos genotípicos revisados y cargados al reservorio Dataverse tras cumplirse el período de reserva de dos.
- Se publicaron dos artículos científicos en BMC Genómica y PlosOne con la información obtenida de los análisis genéticos.
- Se evaluaron 426 accesiones de ambientes tropicales y subtropicales en tres sitios con estrés inducido por sequía.
- Se evaluaron 188 accesiones de Valles Altos pero la lluvia durante la floración impidió evaluar la tolerancia al estrés climático de interés.
- Se confirmó un nivel de resistencia alto al Complejo Mancha de Asfalto de las accesiones OAXA280 y GUAT153 que se utilizan para desarrollar germoplasma puente y se identificaron diez materiales más para detectar genes de resistencia.
- Las accesiones OAXA26 y NAYA191 se utilizan para mejorar maíces azules (contenido de antocianinas en el grano); se identificaron diez accesiones más que se utilizarán como donadores.
- Se cargaron más de 870,000 datos fenotípicos de los ensayos de maíz a la base de datos y al repositorio de archivos para ponerlos a disposición de la comunidad científica a través del portal de MasAgro Biodiversidad; se cumplió el plazo de dos años de reserva antes de su publicación.
- Se hicieron análisis de asociación de genoma completo (GWAS) que combinaron datos genotípicos y fenotípicos de caracteres de pudrición de mazorca, resistencia a Fusarium Verticillioides y CMDA, altura de planta y floración.
- Se obtuvieron 1,517 retrocruzas subtropicales de prueba para evaluar su tolerancia a sequía. Se implementó el método cruce de prueba de planta individual o IPT para seleccionar 54 accesiones tropicales donadoras para hacer el avance generacional de accesiones tolerantes a sequía en 2016.
- Se formaron y evaluaron 800 cruces de prueba de dos poblaciones subtropicales y dos tropicales para desarrollar líneas adaptadas a suelos con bajo nitrógeno y tolerantes a calor.
- Se autofecundaron las plantas y se extrajo ADN de dos poblaciones de selección genómica de Valles Altos para hacer el primer ciclo de selección con base en marcadores moleculares pero la tormenta de granizo registrada en julio impidió concluir el proceso. Se reanudará el ciclo de selección por marcadores moleculares cuando se confirme la viabilidad de germinación de la semilla obtenida.
- Se cargaron los datos genealógicos de las actividades de premejoramiento de maíz a la base de datos y al repositorio de archivos para publicarlos a través del sitio web.

Meta 3.2 Potencial genético identificado para caracteres prioritarios del trigo en México.

- Se genotipificaron 5,324 accesiones de trigo (se incluyeron accesiones, materiales pre-mejorados y parientes silvestres) de las que se obtuvieron cerca de 300 millones de datos genotípicos para el atlas molecular del trigo.
- Comenzó el análisis global de la diversidad genética de la mayoría de accesiones de trigo y parientes silvestres caracterizados genéticamente desde el comienzo del proyecto (más de 55 mil accesiones que han generado más de 35 mil millones de datos).
- Se cargaron más de 2,600 millones de datos genotípicos de trigo a la base de datos y al repositorio de archivos para ponerlos a disposición del público a través del sitio web tras cumplirse el período de reserva de dos años.
- Se evaluó la colección núcleo de 1,100 trigos criollos mexicanos. La accesión criolla PUB94.16.65 destacó por tener 15 por ciento de ventaja en rendimiento en condiciones de sequía (200 mm de agua); la accesión OAX93.25.1 sobresalió por su tolerancia al calor. Además, se evaluaron tres poblaciones, más de 500 familias de plantas, derivadas de cruzamientos en más de 9,500 parcelas de prueba.
- Se hizo una evaluación fenotípica de criollos harineros mexicanos e iraníes en invernadero, donde se hicieron inoculaciones artificiales para identificar regiones genómicas nuevas asociadas a resistencia a Mancha Amarilla, y en el laboratorio, donde se hicieron pruebas de alto contenido de zinc en el grano. Con los resultados de un análisis GWAS, se encontraron regiones de interés en el gen 4B para resistencia a Mancha Amarilla y se identificaron ocho accesiones resistentes a dicha enfermedad. Se identificaron asociaciones genómicas en los cromosomas 3B y 4^a para alto contenido de zinc y se seleccionaron cinco materiales con alto contenido de zinc y hierro.
- Se cargaron cerca de 650 mil datos fenotípicos revisados a la base de datos para publicarlos en el portal tras cumplirse el período de reserva de dos años.
- Se hizo una evaluación fenotípica de 200 poblaciones por su tolerancia a sequía y calor, y se escogieron 5,028 plantas mediante el método de selección de una sola semilla (SDD). Posteriormente, se evaluó el desempeño agronómico y la resistencia a enfermedades de estas plantas. Se seleccionaron 500 líneas que ahora están en campos de investigadores mexicanos como material de premejoramiento.

Meta 3.3 Capacidad científica aumentada en los investigadores que contribuyen al fitomejoramiento en México.

- Se impartieron tres talleres de capacitación en el uso técnicas y tecnologías de evaluación fenotípica y análisis genético del maíz y del trigo en los que participaron 62 investigadores. Los materiales de los talleres y videos de las conferencias se pusieron a disposición de la comunidad académica a través del repositorio Dataverse del proyecto.
- Se establecieron esquemas de colaboración con profesores e investigadores de seis instituciones de enseñanza superior mexicanas para colaborar en la formación de fitomejoradores de maíz y de trigo.

- 12 estudiantes mexicanos hicieron prácticas profesionales y participaron en las actividades de investigación de MasAgro Biodiversidad.
- Se añadieron funciones que optimizan los procesos de visualización y selección de datos fenotípicos en el programa Germiante.
- Se mejoraron las herramientas de agrupamiento y depuración de datos del programa CurlyWhirly que se utiliza para navegar los atlas moleculares del maíz y del trigo.
- Se hicieron varias modificaciones para mejorar el desempeño y la capacidad del programa Flapjack, en respuesta al considerable incremento de conjuntos de datos SNP de alta densidad que genera el programa.

MasAgro Trigo

Estrategia Internacional para Aumentar el Rendimiento del Trigo



Objetivo: Busca capacidades fortalecidas en investigadores mexicanos que aprovechan el germoplasma de trigo y conocimientos desarrollados a partir de investigaciones fisiológicas para incrementar el rendimiento potencial y adaptabilidad al cambio climático como base para el desarrollo de variedades mejoradas aprovechando los vínculos establecidos con la Alianza Internacional de Trigo y atrayendo inversiones internacionales del sector público – privado.

Meta 4.1 Recursos genéticos superiores identificados para producir nuevas líneas de trigo con mayor potencial de rendimiento y/o resiliencia climática aprovechando los vínculos establecidos con la Alianza Internacional de Trigo y atrayendo inversiones internacionales del sector público privado.

- Se evaluaron más de 100 características agronómicas y fisiológicas de 60 líneas de alto potencial de rendimiento del Conjunto Principal de Germoplasma de CIMMYT (CIMCOG II) con herramientas de fenotipado de alta precisión.
- Se identificaron 11 líneas destacadas por su eficiencia fotosintética, proceso de generación de biomasa y fertilidad de la espiga que se incorporaron en el bloque de cruzamientos de rendimiento potencial para llevar a cabo cruza estratégicas.
- Se analizaron datos de tres años de evaluación del panel CIMCOG I y se identificaron cinco líneas sobresalientes por características específicas; algunas se seleccionaron por su resistencia al acame.
- Con el uso de plataformas de fenotipado aéreas equipadas con sensores remotos se identificaron cinco líneas destacadas por su rendimiento en condiciones de sequía y siete líneas sobresalientes por su desempeño en condiciones de calor de entre más de 600 líneas evaluadas en ensayos de campo.

- Se realizaron 122 cruzas estratégicas de líneas de trigo con caracteres de interés por su potencial de rendimiento en cuatro ensayos bajo diferentes condiciones hídricas y climáticas: 59 cruzas bajo condiciones de riego para rendimiento potencial, 24 cruzas para condiciones de sequía y 39 para condiciones de calor.
- Se seleccionaron 16 características agronómicas y fisiológicas de interés, de entre más de 160 características evaluadas, y se programaron 98 cruzas estratégicas a realizar durante 2016 con el objetivo de obtener plantas que acumulen caracteres genéticos de alto rendimiento potencial y adaptación a estreses.
- Las líneas en proceso de mejoramiento del vivero 2° SATYN rindieron 40 por ciento más que los controles en condiciones de calor.
- En colaboración con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se evaluaron 28 líneas de alto potencial de rendimiento del ensayo 4° SATYN en Celaya, Guanajuato, Tepatitlán, Jalisco, Los Mochis, Sinaloa, Ciudad Obregón, Sonora y Mexicali, Baja California; se identificaron dos líneas de interés por sus características combinadas de rendimiento y biomasa.
- Se evaluaron 1,460 líneas mejoradas para identificar tres líneas de trigo harinero y dos líneas de trigo cristalino que cumplen con las necesidades de la cadena de valor de trigo en México; se identificaron 41 líneas que reúnen las cuatro características de interés: Potencial de rendimiento y estabilidad; tolerancia a estrés hídrico y calor; resistencia a las tres royas; y, calidad de procesamiento industrial.
- Se produjo semilla básica de cinco variedades de trigo de alto potencial de rendimiento y resiliencia climática, Maya S2007 (1,348 Kg), Alondra F2014 (1,553 Kg), Nana (1,800 Kg), Altiplano (1,800 Kg) y Tlaxcala (1,300 Kg), que está disponible para las compañías semilleras o productores interesados.
- Se solicitó el registro de 11 líneas candidatas a variedades al Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS); cuatro son para El Bajío, tres para el Altiplano y cuatro más para el Noroeste de México.

Meta 4.2 Capacidad científica aumentada mediante la selección, formación y reincorporación de científicos mexicanos con vínculos establecidos y colaboración internacional con el sector público – privado.

- Se firmaron seis convenios de colaboración con las universidades Austral de Chile, Nottingham, John Innes Center, Nacional de Australia y Cambridge para acompañar los estudios de doctorado en mejoramiento de trigo de nueve estudiantes mexicanos.
- Se identificó una proteína que produce un impacto positivo en el tamaño del grano del trigo y, por consiguiente, en el rendimiento final, en colaboración con la Universidad Austral de Chile.

- Tres estudiantes, Alma Carolina Amado, Viridiana Silva y Eliseo Trujillo concluyeron sus estudios de doctorado; dos estudiantes de doctorado más hicieron grandes avances en 2015, por lo que se espera que finalicen sus estudios en el primer semestre de 2016.