

Resumen 2016 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 2016 a través de sus cuatro líneas de acción, MasAgro Productor, Maíz, Biodiversidad y Trigo. Estos resultados contribuyen a cumplir el objetivo principal del Programa consignado en el Anexo Técnico 2016: Incremento en los rendimientos y su estabilidad, mayores ingresos netos y gestión sustentable de los sistemas de maíz, trigo y cultivos asociados mediante la investigación colaborativa y el desarrollo de capacidades en germoplasma, tecnologías y prácticas agronómicas adecuadas y la promoción de su adopción en zonas atendidas por MasAgro.

1. MasAgro Productor

Desarrollo Sustentable con el Productor

i 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, co-desarrollando, adaptando, difundiendo y adoptando soluciones MasAgro en sus respectivas áreas de influencia.

Resultados Meta 1.1	
Indicador	Resultado
Número de plataformas experimentales	41
Número de módulos experimentales	622
Número de áreas de extensión	2,565 en hubs en operación y 115 en hubs en desarrollo
Número de estados en el área de influencia	30

de los nodos de innovación	
Eventos para la integración de productores al modelo de intensificación sustentable	433 eventos
Número de productores integrados al modelo de intensificación sustentable (<i>i.e. participantes en capacitaciones a productores en los hubs</i>)	9,783

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.

Resultados Meta 1.2	
Indicador	Resultado
Número de nuevos diseños conceptuales de prototipos de maquinaria	19 diseños conceptuales y 3D
Ampliación de la red de herreros	5 nuevos integrantes a la red de herreros con presencia en 5 estados de la República
Número total de prototipos construidos con la red de herreros	30 equipos construidos
Fichas técnicas relativas a funcionalidades y características principales de prototipos e implementos	4 nuevas fichas técnicas
Planos de construcción de ensambles o componentes específicos	17 planos de construcción estandarizados
Puntos de maquinaria	8 nuevos puntos de maquinaria que se suman a 14 previos, para un total de 22 puntos de maquinaria operativos 270 salidas de equipos registradas
Evaluaciones agrotécnicas	7 evaluaciones agrotécnicas
Número de herramientas de captura de información	Bitácora Electrónica MasAgro, Sistema OTRS, Formstack y GeoODK
Usuarios atendidos través de las herramientas de toma de decisión y acompañamiento técnico	735 de BEM. 1,540 de MasAgro Móvil, 600 de GEOODK, dando un total de 2,875

Número de bitácoras registradas en la BEM	638 de módulos y 2,718 de áreas de extensión, dando un total de 3,356
Número de categorías de materiales impresos y electrónicos producidos	11
Número de materiales audiovisuales creados	12
Número de usuarios en redes sociales	4,259 seguidores en Twitter, 16,809 seguidores en Facebook, 380,615 vistas en YouTube
Número de campañas realizadas en 2016	6
Número de suscriptores al boletín semanal de noticias	Más de 6,200 suscriptores

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

Resultados Meta 1.3	
Indicador	Resultado
Número de entrenamientos en temas específicos	206
Número de técnicos capacitados en temas específicos	5,010
Formadores MasAgro	22 Formadores MasAgro (atendieron a 243 prestadores de servicios profesionales)
Asistencia técnica brindada por formadores MasAgro	10,333 productores en una superficie de 19,361 ha.
Capacitaciones realizadas por los formadores MasAgro	9 capacitaciones (7 presenciales y 2 videoconferencias) en las que se contó con la participación de 910 asistentes
Número de técnicos que participaron en 2016 en la formación de los cursos de <i>Técnico Certificado en Agricultura Sustentable</i>	107
Número de Técnicos Certificados graduados en 2016	20
Número de Técnicos Certificados graduados	310

(acumulado 2011-2016)	
Cursos de actualización a Técnicos Certificados	8
Técnicos certificados graduados que asistieron a las capacitaciones impartidas	101

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.

Resultados Meta 1.4	
Indicador	Resultado
Número de plataformas donde se realizaron análisis de rentabilidad	14
Número de experimentos de componentes de tecnología en condiciones de riego	2
Número de experimentos de componentes de tecnología en condiciones de temporal	3
Publicaciones científicas en revistas internacionales con comité	6 artículos
Reportes resumiendo resultados de investigación	3
Artículos resumiendo resultados para el público en general	1 libro
Experimentos de calibración del uso de sensores ópticos para el manejo de nitrógeno establecidos	24
Experimentos de validación del uso de sensores ópticos o franja rica establecidos	11
Experimentos de contribución a la remediación de suelos ácidos y en suelos alcalinos	10
Experimentos de diferentes herramientas para la obtención de valores NDVI	8
Experimentos de generación de opciones de manejo de fertilidad	16

Experimentos de calibración y generación de nuevas áreas de operación de la herramienta GreenSat	8
Número de plataformas poscosecha	7
Categorías de tecnologías de almacenamiento hermético evaluadas	4 (silo metálico, bolsa plástica, lona flexible y combinaciones mixtas con otros plásticos)

2. MasAgro **Maíz**

Estrategia Internacional para Aumentar el Rendimiento del Maíz

i Objetivo: Buscar 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 sembraron 24 ensayos y seis viveros con impacto en nueve comunidades oaxaqueñas, entre ellas tres que lo hicieron por primera vez, La Trinidad Ixtlán, San Isidro Zegache y Jazmín Morelos.
- Se impartieron 28 eventos de capacitación en los que participaron 410 productores de más de 45 localidades oaxaqueñas.
- En la actualidad hay más de 60 chefs que compran maíz nativo de los productores oaxaqueños por lo que exportación de maíz mexicano a Estados Unidos ha crecido notoriamente.

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

- Las ventas de híbridos del consorcio de semillas de MasAgro Maíz crecieron 70 por ciento entre 2011 y 2016.
- Del total de ventas de semilla de 2016 (1,119,459 bolsas) de las empresas que han participado en el consorcio MasAgro, 542,102 bolsas (48.4%) contienen germoplasma CIMMYT.
- Se registró un incremento del 22.2 por ciento en la utilización de híbridos MasAgro en el portafolio de los semilleros participantes en 2016 respecto a 2015.
- La proyección de ventas de híbridos 100 por ciento desarrollados en CIMMYT para 2017 es de un 32 por ciento más respecto a 2016.

- En 2016, se comprobó la siembra comercial en 30 municipios del sureste de México donde la mayoría de los productores manifestó estar satisfecho con el desempeño de los híbridos MasAgro y los volvería a usar.
- En 2016, se ha lanzado una nueva red de investigación en manejo agronómico de 15 híbridos MasAgro con el propósito de ampliar el conocimiento sobre fechas y densidades óptimas de siembra de híbridos que se comercializan del CIMMYT, lo que permitirá elaborar mejores fichas técnicas y ofrecer al agricultor información que permita explotar el potencial de rendimiento de los híbridos por medio de un manejo agronómico adecuado para las condiciones de su región.
- Las fichas técnicas o tecnología de producción de 15 híbridos MasAgro se pusieron a disposición de las compañías semilleras participantes.
- Se establecieron más de 20 ensayos de tecnología de producción de semilla que podrán permitir a los colaboradores complementar información técnica para la producción de semilla de 23 híbridos.
- En materia de calidad de grano, se realizaron fichas informativas para híbridos de la oferta MasAgro. El híbrido CLTHW11003 se recomienda para la industria de la harina nixtamalizada y los híbridos CHLHW09035, CHLHW02517, CHLHW09029, y CLTHW11002 para la industria de la masa - tortilla.
- Se produjeron 9.06 toneladas de semilla básica y 41.82 toneladas de semilla precomercial de híbridos MasAgro.
- Se distribuyeron 23.07 toneladas de semilla MasAgro entre semilleras participantes y colaboradores de MasAgro Maíz.
- CIMMYT registró 36 variedades en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), por lo que los semilleros mexicanos ya pueden solicitar la certificación de las semillas ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).
- Se caracterizaron 25 variedades tropicales de MasAgro en el primer ciclo agrícola de 2016 y 27 más en el segundo ciclo agrícola (9 de Valles Altos, 2 subtropicales, y 16 tropicales) para su posterior registro en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV).
- Las sinergias logradas entre MasAgro-Maíz, MasAgro-Productor y la Red de Semilleros MasAgro permitieron superar los objetivos establecidos y maximizar el uso de recursos, por ello se lograron establecer más de 50 parcelas demostrativas de híbridos MasAgro en el sureste de México.
- Se organizaron 29 eventos (dos en coordinación con MasAgro Productor) de capacitación, transferencia y promoción de híbridos MasAgro en los que participaron semilleros, mejoradores e industriales.

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 15 híbridos, de los cuales 12 son nuevos híbridos MasAgro, que destacaron por su competitividad en la red nacional de 145 sitios de evaluación. Los mejores híbridos blancos

fueron: subtropical CSTHW16004 8.62 t/ha, tropical CLTHW15002 7.8 t/ha, y Valles Altos CHLHW12007 7.7 t/ha.

- Del mismo modo, se identificaron seis nuevos híbridos amarillos competitivos, el mejor subtropical fue CSTHY16005 de 8.3 t/ha (Pioneer P2844 8.3 t/ha); y el tropical CLTHY15031 con 7.73 t/ha (Pioneer P30F35 t/ha7.16).
- Se identificaron ambientes homogéneos e híbridos MasAgro estables con datos de más de 100 sitios de las redes colaborativas de evaluación de 2015.
- Se evaluaron líneas e híbridos 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	Materiales evaluados	Materiales seleccionados
Líneas Segregantes	28,831	15,275
Líneas Dobles haploides	3,718	1,563
Híbridos experimentales	989	71
Híbridos avanzados	567	101

- También se buscó reducir el efecto del cambio climático en el cultivo de maíz y se identificaron 10 líneas que muestran tolerancia a la sequía y 16 líneas tolerantes a la combinación de calor y sequía tras evaluar 150 híbridos bajo condiciones de sequía y 164 bajo estrés por calor y sequía combinados.
- Se evaluaron 163 híbridos por su resistencia a enfermedades (36 híbridos por resistencia a Mancha de Asfalto, 86 híbridos por resistencia a pudrición de tallo por Fusarium y 41 híbridos por resistencia a roya común) y se identificaron materiales de alto rendimiento y con resistencia.
- Se produjeron 3,289 líneas dobles haploides y se completó el proceso de inducción haploide en 23 poblaciones.
- En materia de mejoramiento molecular, se mapearon con éxito los QTLs de resistencia a dos de las enfermedades más importantes que afectan a la agricultura mexicana, Mancha de Asfalto y Turcicum:
 - Se mapeó el QTL qRtsc8-1, un QTL de resistencia a Mancha de Asfalto, dentro de una ventana de 644,000 pb en el cromosoma 8 usando un programa de retrocruza para mapeo fino.

- Se desarrolló un nuevo ensayo KASP SNP de alto rendimiento para un QTL altamente significativo para la resistencia al *Turicum*.
- Se comprobó la efectividad de una estrategia de selección genómica denominada "GS+GBS+DH" (GS= selección genómica, GBS= genotipificación por secuenciación y DH= líneas dobles haploides) para seleccionar líneas DH no probadas (no fenotipificadas); los resultados indicaron que la estrategia representa un enfoque prometedor para reducir el tiempo del ciclo de mejoramiento del maíz, reducir el costo de fenotipificación de cruzas de prueba, aumentar la intensidad de selección y acelerar la ganancia genética por unidad de tiempo.
- Se organizaron 14 días de campo con recorridos en ensayos de las redes colaborativas de evaluación y tres capacitaciones (incluyendo una capacitación a estudiantes con un enfoque especial sobre el acondicionamiento de semilla de maíz y una capacitación a productores sobre los efectos del control de malezas en el rendimiento de maíz) en colaboración con la Universidad Autónoma Chapingo y del INIFAP.
- Se observó que, de acuerdo al consumo de maíz en el sureste de México, las tres cadenas donde se debe impulsar la integración de los productores que siembran híbridos MasAgro son: alimentación animal (principalmente la avícola), harina de maíz nixtamalizado y masa - tortilla.
- Los resultados económicos de la producción de maíz calculados con los datos de la BEM (Bitácora Electrónica de MasAgro) muestran una serie de indicadores que respaldan el impacto del proyecto MasAgro: la producción con híbridos tiene mayor rendimiento, ingreso y margen, así como menor costo de producción por tonelada en comparación con la producción con variedades mejoradas y semilla del productor. Los híbridos son fundamentales para alcanzar una producción eficiente, competitiva y rentable de maíz en las zonas de temporal. Además, las prácticas MasAgro de fertilización adecuada, control de malezas, labranza e integración en los mercados de maíz también funcionan, junto con los híbridos, en el aumento del rendimiento.

3. MasAgro **Biodiversidad**

Descubriendo la Diversidad Genética de las Semillas

i Objetivo: Busca recursos genéticos valiosos aprovechados mediante tecnologías de punta y desarrollo de capacidades, para acelerar el desarrollo (la obtención) 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.

- Se genotipificaron en SAGA 3,760 muestras de materiales de premejoramiento, accesiones de maíz nativo y accesiones de *Tripsacum*, un pariente silvestre del maíz, de donde se obtuvieron 801.2 millones de datos genotípicos (207.2 m *SNP* y 594.0 m *InSilico DArT*).
- Se hizo una evaluación de la diversidad genotípica y clasificación ambiental de 15,384 accesiones de maíz de áreas de temporal encontrando regiones en el cromosoma 9 relacionadas con

precipitación pluvial; en la selección de accesiones para ambientes con suelos ácidos se encontró una región significativa en el cromosoma 4.

- Con base en el análisis de diversidad se definieron seis agrupamientos: 1) accesiones mexicanas de diversa adaptación; 2) materiales tropicales (ambiente húmedo); 3) México Valles Altos (ambiente seco); 4) Argentina, Chile y Uruguay (ambiente húmedo); 5) Brasil, Argentina y Paraguay; y 6) Valles Altos de Perú, Ecuador y Bolivia (ambiente seco).
- Se publicó información de dos conjuntos de datos genotípicos: 1) en Dataverse marcadores de alta densidad para 555 líneas élite de CIMMYT con más de 10 millones de datos para descarga; 2) en Germinate *calls* genotípicos de más de 40 mil marcadores de accesiones utilizadas como parentales en el panel Estudio de Asociación Genómica Amplia (GWAS). En suma, se incluyeron más de dos millones de datos en los dos conjuntos de datos.
- Los datos genotípicos exportados pueden visualizarse y analizarse de inmediato con herramientas como *Flapjack*.
- En esta meta se trabajaron varios artículos científicos con diferentes tópicos: 1) uso de selección genómica en premejoramiento de maíz (publicado), 2) desarrollo de control de calidad con métodos de genotipificación (publicado), 3) la identificación del valor de la variación alélica en maíz nativo (aceptado), 4) la variación alélica en tiempo de floración (aceptado), y 5) aprovechamiento del banco de germoplasma para complejo Mancha de Asfalto (CMDA, en revisión).
- Se participó en diversos eventos científicos, entre ellos Plant and Animal Genome Meeting, Maize Genetics Conference, 3er Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, COP13, 61ª Reunión Anual del PCCMCA, 2º Simposio Internacional de Riego de la UAS-INIFAP Valle del Fuerte, 6a semana cultural en la UAAAN y Reunión de la American Seed Trade Association .
- Se evaluaron más de 1,300 cruzas de prueba con el material subtropical por resistencia a sequía en cinco ambientes en la costa del Pacífico (cuatro sitios efectivos). El híbrido testigo fue (CML246/CML311//CML376). 68 líneas avanzaron para pruebas de segundo año.
- Se hizo un ensayo de rendimiento con 105 cruzas de prueba de líneas con resistencia al CMDA con materiales provenientes de las accesiones OAXA280 y GUAT153. 30 líneas avanzaron para pruebas de segundo año.
- Más de 1,000 líneas RC1S1 y S2 con resistencia a CMDA se evaluaron *per se* en Chiapas, donde se encontró, además, la enfermedad foliar por *Turicum*; se seleccionaron las mejores 238 entradas para evaluación de segundo año.
- Se analizaron los parentales de las retrocruzas realizadas para medir la asociación marcador-carácter de resistencia al CMDA. Se encontraron algunas asociaciones no significativas. En otra población sí se han encontrado asociaciones en el cromosoma 2 y en el cromosoma 9.
- Se publicaron dos conjuntos de datos fenotípicos sobre la tolerancia o resistencia al CMDA en Dataverse.

- Las evaluaciones efectuadas en 2016 permitieron recabar más de 198 mil datos fenotípicos para permitir tanto el avance de los materiales más promisorios como poder hacer, en su momento, la relación marcador - característica.
- En cuanto al desarrollo de poblaciones subtropicales para resistencia a sequía, se obtuvieron 174 RC1S2 de 68 líneas avanzadas RC1S1 para lograr 522 cruzas de prueba que se evaluarán en 2017 en ensayos de sequía/riego.
- Un nuevo grupo de poblaciones para sequía que incluyó 111 líneas RC1S1 avanzó en endogamia. Se seleccionaron 294 mazorcas RC1S2 que se llevaron a Puerto Vallarta 2017A para formar cruzas de prueba que se evaluarán en el ciclo 2017B.
- Las poblaciones tropicales para sequía que se encuentran en varias etapas de avance se manejaron en Agua Fría, Puebla. Se formó la crusa de maíces nativos tolerantes con la línea CML549, y se cosecharon 932 mazorcas F1. Un grupo de materiales se retrocruzaron hacia CML549 y se obtuvieron 1,419 mazorcas RC1. Se autofecundaron los materiales que se encuentran en etapa más avanzada y se cosecharon 1,773 mazorcas RC1S1.
- Se enviaron líneas tropicales avanzadas RC1S2 al vivero de Guadalajara con las que se formaron 622 cruzas de prueba que se evalúan para sequía en el ciclo 2017A.
- La cosecha al final del ciclo 2016B en Agua Fría fue de 434 mazorcas RC1 (que se sembraron para avance a RC1S1) y 1,814 líneas RC1S1 (a guardar en cuarto frío hasta el ciclo 2017B, para formar cruzas de prueba).
- El avance de poblaciones con resistencia al CMDA se llevó a cabo en 2016A y 2016B en Agua Fría y en Puerto Vallarta 2017A. Del material más avanzado se cosecharon 294 mazorcas RC1S2 y 105 cruzas de prueba de los mejores materiales con el probador CLRCW100/CLRCW96.
- Se cosecharon 1,041 nuevas líneas para ser evaluadas *per se* en 2016B. Además, se cosechó un grupo de 816 mazorcas de RC nuevas y avanzadas para evaluarse en 2017B.
- Se sembraron 294 líneas RC1S2 en Agua Fría para incremento y caracterización en el ciclo 2016B para su posible diseminación después de ser evaluadas.
- Sobre las siembras de diciembre 2016 (2017A), se sembraron 238 líneas RC1S1 provenientes de las evaluaciones de Chiapas para avanzarlas a RC1S2. Se establecieron 30 líneas avanzadas para formar cruzas de prueba con tres probadores y evaluar en 2017B.
- Las poblaciones tropicales bajo selección genómica se evaluaron en estrés de sequía en 2016A. Los datos obtenidos sumados a los de tolerancia a calor y bajo contenido de nitrógeno del suelo permitieron rediseñar el modelo de predicción. Se seleccionaron los mejores 12 materiales de cada población para sembrarlos en el vivero de Guadalajara, recombinarlos y autofecundarlos posteriormente.
- En suma, se manejan nueve poblaciones de premejoramiento en Agua Fría y 67 poblaciones en Puerto Vallarta.

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

- Se genotipificaron 3,500 muestras de trigo que produjeron más de 300 millones de datos genotípicos.
- Con las más de 55 mil muestras analizadas se analiza la diversidad global del trigo y se agrupa por niveles de genoma: 1) diploide o trigo silvestre (5948 materiales), 2) trigos duros, y 3) trigos harineros.
- Se publicaron datos genotípicos y fenotípicos de trigo en Dataverse, conforme a la política de divulgación del proyecto.
- Se trabaja en un borrador de artículo científico sobre la diversidad global del trigo que está en proceso de revisión.
- Se presentaron los resultados de las actividades sobre trigo en la reunión de PAG 2016 (San Diego, California, E.U.), CIMMYT Día de Campo (Ciudad Obregón), 1er Simposio Oikos ITESM (Ciudad de México), 1st International Agrobiodiversity Congress (Nueva Delhi, India) y el International Phenotyping Symposium (CIMMYT, Texcoco).
- Se evaluó una población segregante RIL desarrollada del criollo mexicano (JAL95.4.3) y la línea élite del CIMMYT (KACHU #1/KIRITATI//KACHU) que permitió la selección preliminar de varios genotipos promisorios en ambiente de calor.
- Se identificaron materiales promisorios (IWA 8600849; GID 187998) de la colección núcleo de criollos iraníes evaluada en condiciones de sequía y calor.
- El análisis GWAS realizado con la colección de criollos mexicanos reveló dos regiones genómicas, una en el cromosoma 1A asociada al incremento en peso de mil granos en condiciones de calor y otra en el cromosoma 7D asociada al incremento de biomasa en estrés de sequía.
- De la evaluación de cuatro poblaciones segregantes en estrés de calor se seleccionaron nueve materiales para proseguir su evaluación en parcelas de tamaño más grande para incrementar su semilla y la precisión de la evaluación.
- Se obtuvieron datos de criollos mexicanos con tolerancia a sequía y se incrementó su semilla en Texcoco en el ciclo de verano de 2016.
- Se han distribuido 470 líneas para ensayos de rendimiento en El Bajío y 270 para ensayos de Carbón Parcial en Ciudad Obregón para seleccionar las líneas de mejor desempeño en el ciclo 2016/2017.
- El esfuerzo de evaluación fenotípica en trigo ha sido capitalizado al obtenerse aproximadamente 9,400 mil datos que sirvieron para avanzar materiales y definir la relación marcador-característica.
- Los materiales de premejoramiento se manejaron en las estaciones del CIMMYT de Ciudad Obregón y Texcoco, donde se evaluaron para selección en condiciones de sequía y calor, además de riego normal.
- Se evaluaron bajo condiciones de calor cruza de trigos exóticos con líneas élite y se seleccionaron varios materiales que manifestaron un desempeño excelente en condiciones de calor.

- Se compartieron 560 líneas avanzadas de premejoramiento entre los fitomejoradores de trigo del INIFAP y se evaluaron en seis localidades donde se seleccionaron 72 genotipos promisorios.
- Se elaboró el borrador del artículo “An integrated pre-breeding approaches to accelerate climate smart wheat cultivar development” en proceso de revisión.
- En total, se manejaron las colecciones núcleo de criollos harineros de México (>1,100 entradas), la de criollos de Irán (>470) y se seleccionaron líneas provenientes de la metodología de avanzar una sola semilla sin selección (>260).

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

- Se organizaron cinco eventos de fortalecimiento de capacidades: 1) Taller “Aprovechamiento de los Atlas Moleculares de Maíz y Trigo” participando 23 investigadores (7 mujeres y 16 hombres); 2) Taller “Fenotipificación de trigo para la identificación de germoplasma con características pertinentes al cambio climático”, con 20 investigadores participantes (8 mujeres y 12 hombres); 3) Simposio “Aprovechamiento de la biodiversidad para la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible” asistiendo 23 científicos y estudiantes de licenciatura y posgrado (15 mujeres); 4) El curso KDSmart v2.0.61, al que asistieron 14 técnicos e investigadores (4 mujeres y 10 hombres); 5) Participación en la sesión satélite “Harnessing Biodiversity for Food Security and Sustainable Development”, organizada por MasAgro Biodiversidad durante el Primer Congreso Internacional de Agrobiodiversidad en Nueva Delhi, India, donde tres estudiantes de posgrado auspiciados por MasAgro Biodiversidad, expresaron sus aportaciones a los objetivos y destacaron los beneficios que reciben al colaborar en el proyecto; 6) Por invitación de la SAGARPA, MasAgro Biodiversidad organizó el simposio titulado “Conservación y uso de la diversidad genética de maíz a partir de la caracterización molecular”, llevado a cabo dentro de la COP13.
- Los materiales de capacitación y archivos de muestra desarrollados para el taller “KDSmart v2.0.61” se complementaron con videos demostrativos y se pusieron a disposición de la comunidad académica nacional e internacional a través del repositorio Dataverse del proyecto. Adicionalmente, los materiales se prepararon para desplegarlos en la plataforma de capacitación “Moodle” de CIMMYT. Estos materiales incluyen el plan de formación, videos demostrativos, conjuntos de datos de prueba utilizados en las demostraciones, evaluaciones de aprendizaje y manuales.
- Se publicó la convocatoria abierta “Investigación colaborativa con recursos genéticos de maíz y trigo aprovechando los productos y resultados de MasAgro Biodiversidad” para invitar a investigadores mexicanos a aprovechar las herramientas, germoplasma y conocimientos generados por el proyecto con el propósito de impulsar sus proyectos de investigación y generación de tecnología, recibiendo asesoría personalizada (coaching) de parte de científicos de MasAgro y apoyo financiero. El Comité Técnico de Evaluación seleccionó seis de las 11

propuestas recibidas que recibirán coaching, servicio de genotipificación, semilla de germoplasma, datos, herramientas de software, análisis de calidad de semilla y forraje y otros.

- Se realizaron visitas y se acordaron acciones con funcionarios y profesores investigadores del Instituto Tecnológico de Sonora (Doctorado en Ciencias especialidad en Biotecnología) (ITSON), Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Programa de Doctorado en Recursos Fitogenéticos para Zonas Áridas) (UAAAN), Universidad Autónoma de Nuevo León (Posgrado de la Facultad de Agronomía) (UANL), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (División Académica de Ciencias Agropecuarias) (UJAT), la Sociedad Mexicana de Fitogenética (SOMEFI) y el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa del Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR-IPN).
- Los estudiantes Gustavo Germán Vilchis y Cynthia Ortiz Robles concluyeron satisfactoriamente sus estudios de maestría.
- Siete estudiantes de doctorado, cuatro de maestría, una de licenciatura y una en estancia doctoral realizaron investigación en temas relevantes y con el apoyo de MasAgro Biodiversidad.
- Se publicó un artículo de difusión titulado “Nueva Plataforma Educativa En Línea Ofrece Capacitación para Todos”.
- Se participó en los siguientes eventos: A) Conferencista magistral en la celebración del 93 aniversario de la UAAAN. Saltillo, Coahuila; B) Ponente en el Primer Simposio de Biotecnología en Plantas de Zonas Áridas. UAAAN; C) Evaluador del XLIV Ciclo de seminarios de posgrado, FAUANL, Escobedo, Nuevo León; D) Instructor en el XXVI Congreso Nacional y VI Internacional de Fitogenética. UJAT y SOMEFI. Villahermosa, Tabasco; E) Asistente al 3rd. Biotechnology Summit. Cd. Obregón, Sonora; F) Ponente en el “1st International Agrobiodiversity Congress”. Nueva Delhi, India; G) Ponente en el simposio “Conservation and Use of Genetic Diversity of Maize from the Molecular Characterization”. 13th Conference of the Parts (COP13). United Nations Conference on Biodiversity. Cancún, Quintana Roo.
- La interfaz del portal del proyecto MasAgro Biodiversidad www.seedsofdiscovery.org e modificó y reforzó para dar información actualizada sobre los productos y servicios disponibles para la comunidad de MasAgro Biodiversidad y otras iniciativas similares.
- Las actualizaciones empezaron en el sitio web de MasAgro Biodiversidad en enero de 2016, iniciando con la adición de la nueva página de home para publicar artículos sobre MasAgro Biodiversidad, así como eventos por ocurrir y actividades de desarrollo de capacidades.
- La información en la página web de MasAgro Biodiversidad se actualizó para reflejar los progresos, éxitos y logros, la primera actualización significativa desde que se lanzó la página de MasAgro Biodiversidad en 2012.
- Se desarrolló una sección de medios de comunicación para alojar los videos e infografías y *papers* tanto en inglés como en español.
- Los efectos de las actualizaciones al sitio web fueron: 1) el porcentaje de rebote (porcentaje de usuarios que dejan la página de inmediato), se ha reducido 50 por ciento, de 81 por ciento en 2015 a un 31 por ciento en 2016; 2) las visitas de página se han incrementado 92 por ciento, de

8,299 en 2015 a 15,991 en 2016; 3) hay un incremento de 54.7 por ciento en usuarios del sitio web de México, de 1,307 usuarios en 2015 a 2,191 usuarios en 2016 (38 por ciento de las visitas son de México); 4) muchos usuarios nuevos fueron atraídos a la página web mediante las ligas a relatos individuales en la nueva página de home.

- Las páginas de maíz y de trigo Germinate se han actualizado dos veces en 2016 para poner a disposición de los usuarios las nuevas herramientas y características de estos recursos. Cada nueva liberación tiene una cantidad sustancial de cambios incluyendo 80 mejoras realizadas a (<https://ics.hutton.ac.uk/new-in-germinate-3-3-2/>) la versión más reciente, Germinate 3.3.2, liberada en noviembre.
- Varias de estas características le han hecho más fácil a los usuarios el encontrar, visualizar y extraer los datos del proyecto; por ejemplo, una interfaz de búsqueda completamente nueva permite a los usuarios obtener varios tipos de datos a través de múltiples conjuntos de datos y los resultados se pueden filtrar.
- Las herramientas de visualización fenotípica también se han mejorado y los usuarios pueden ahora ver una matriz de cinco diferentes características simultáneamente y pueden poner un código de color a los datos por conjunto o por tratamiento.
- Las mejoras a búsquedas geográficas en Germinate hacen más fácil obtener información sobre accesiones de las regiones deseadas, tal como la búsqueda en base a polígonos que permite a los usuarios seleccionar sitios de colecta o germoplasma colectado de sitios específicos dentro de un área de forma irregular.
- Se probó la funcionalidad de la herramienta de captura de datos KDSmart para aportar retroalimentación. En respuesta, se ha mejorado la interfaz de usuario, se ha añadido una visión general de los ensayos y funciones de autoavance y además se han implementado opciones multilingües (incluyendo español) desarrollando la aplicación a la versión 2.0.63 disponible desde inicios del 2016.
- Se le han hecho cambios significativos y se agregaron funcionalidades enteramente nuevas a KDXplore. Se han hecho actualizaciones relevantes al “plug” de manejo de ensayos con opciones extendidas y mejoradas de “curado” o validación de datos y manejo de características.
- Se le ha desarrollado a KDXplore un “plug-in” enteramente nuevo para el diseño de ensayos.
- En la interfaz de diseño de ensayo manual en KDXplore los usuarios definen el número de surcos que tiene la parcela, las repeticiones por localidad y el porcentaje de controles espaciales deseados.
- También en KDXplore se pueden definir parámetros de anidamiento, por ejemplo, anidar dentro de una repetición por madurez o por altura de planta.
- Una vez que se ha definido un diseño y sus parámetros manualmente, los usuarios de KDXplore pueden mover el diseño a un campo virtual. Las dimensiones del campo se pueden alterar para que coincida al campo real y el largo y ancho de las repeticiones puede variar. En modo manual los testigos espaciales y las aleatorizaciones de las parcelas de prueba se pueden conducir y en

todos los formatos de diseños se pueden indicar los bordos y características físicas tales como caminos y canales de riego.

- Cuando ya se está satisfecho con el diseño del ensayo en KDXplore, los archivos que detallan todos los datos de entrada y las coordenadas X y Y se pueden exportar a un archivo “csv” para seguir el proceso. Se pueden grabar archivos de los mapas de campo para visualizar posteriormente el ensayo.

4. MasAgro Trigo

Estrategia Internacional para Aumentar el Rendimiento del Trigo

i Objetivo: Busca capacidades fortalecidas en investigadores mexicanos que aprovechan los vínculos establecidos con la Alianza Internacional de Trigo para desarrollar y poner a disposición líneas de trigo con mayor potencial de rendimiento, adaptabilidad al cambio climático, resistencia a enfermedades, calidad de grano, con base en los requerimientos de la cadena de valor.

Meta 4.1 Líneas de trigo con mayor potencial de rendimiento, resiliencia climática, resistencia a enfermedades y/o calidad de grano, identificadas aprovechando los vínculos establecidos con la Alianza Internacional de Trigo.

- Durante el ciclo 2015/2016 se evaluaron 745 líneas repartidas en diferentes ambientes de interés.
- Se evaluaron 150 líneas del ensayo HiBAP (Panel de alta biomasa, por sus siglas en inglés) bajo condiciones de rendimiento potencial mediante el uso de fenotipado de alta precisión. Se encontró variabilidad genética para la mayoría de características evaluadas (se evaluaron más de 170 características agronómicas y fisiológicas) como rendimiento, componentes de rendimiento, partición de asimilados, fertilidad de espiga y fotosíntesis. Se identificaron 20 líneas de interés en base a eficiencia fotosintética (biomasa por día, eficiencia en el uso de la radiación, capacidad fotosintética), partición de asimilados y fertilidad de la espiga y se incorporaron en el bloque de cruza de rendimiento potencial (CB WYCYT Y17) a realizar durante el 2017.
- Se evaluaron 595 líneas de los ensayos Panel Harineros y Panel Duros bajo condiciones de sequía y calor mediante el uso de plataformas de fenotipado aéreas para identificar líneas con mejor adaptabilidad tolerancia a condiciones de sequía y/o calor. Se identificaron 21 líneas de interés para las cruza estratégicas seleccionadas por su tolerancia a sequía y 16 por su tolerancia a calor. Estas líneas fueron incorporadas en el bloque de cruzamiento de Sequía (CB SATYNSQ Y17) y Calor (CB SATYNCAL Y17) a realizar durante el ciclo OI 2016/2017.
- Se realizaron 103 cruza repartidas en tres bloques de cruzamiento (CB WYCYT Y16, CB SATYNSQ Y16 y CB SATYNCAL Y16) superando las 80 que se programaron inicialmente. De esta forma, se realizaron 51 cruza para ambientes de rendimiento potencial, 28 cruza para condiciones de sequía y 24 para condiciones de calor. Del total de cruza realizadas (103), se

obtuvo descendencia en la F1 de 101 y se llevó a cabo el avance de generación a F2 donde continuaron 76 que provenían de cruzas simples y cuatro derivadas de retrocruzas.

- Para 2017 se programaron 114 cruzas a realizar en los tres bloques de cruzamientos: rendimiento potencial (42 cruzas en CB WYCYT Y17), sequía (41 en CB SATYNSQ Y17) y calor (31 en CB SATYNCal Y17). Estas cruzas darán como resultado final la creación de nuevas líneas de trigo con un alto potencial para incrementar el rendimiento y/o mayor adaptabilidad al cambio climático.
- Continuó con el avance de generación en Ciudad Obregón, Texcoco y Toluca. De esta forma, se seleccionaron 75 familias de las F1 derivadas de las cruzas realizadas durante 2016 para avanzar la generación F2 durante el ciclo OI 2016/17. Del material avanzado de las cruzas realizadas durante el 2015 se seleccionaron 51 familias para avanzar a la generación F4. De igual manera, continuó el avance de generación del material avanzado procedente de las cruzas realizadas durante el 2013 (11 familias) y el 2014 (38 familias). De las cruzas realizadas el 2012 se seleccionaron 94 entradas para formar parte del ensayo Candidatos 5° WYCYT del cual se seleccionarán las líneas que conforman el 5° WYCYT que será entregado a INIFAP para evaluación nacional durante el ciclo OI 2017-2018.
- En colaboración con INIFAP, se evaluaron 122 nuevas líneas derivadas de cruzas estratégicas incluidas en los ensayos 1er SATYT, 5to SATYN y 3er WYCYT en cinco localidades representativas de la producción de trigo en México: Celaya, Guanajuato; Tepatitlán, Jalisco; Los Mochis, Sinaloa; Ciudad Obregón, Sonora y Mexicali, Baja California. Se identificaron un total de 15 líneas de interés que poseen características de rendimiento potencial favorables de biomasa, rendimiento, índice de cosecha y peso de mil granos. Además, durante 2016 se preparó y envió la semilla de los nuevos viveros (4to WYCYT y 6to SATYN) con 55 líneas promisorias (incluyendo checks) con alto potencial de rendimiento o adaptabilidad al cambio climático para evaluarlas en cinco localidades representativas de la producción del trigo en México durante el ciclo OI 2016/17 en colaboración con INIFAP.
- En esta actividad se evaluaron 24 líneas en seis campos de productores de trigo del Valle del Yaqui, en Sonora gracias a la colaboración CIMMYT-INIFAP-Productores. Los ensayos contaron con 16 líneas experimentales (ocho de trigo harinero y ocho de trigo duro) con potencial a liberarse como variedades (seleccionadas por rendimiento en el ciclo OI 2014-2015) y ocho variedades que se usaron como controles o “checks”. Se evaluaron características de rendimiento, componentes de rendimiento y calidad de grano. Dentro de las 16 líneas experimentales evaluadas, se identificaron cuatro líneas de interés (líneas 8, 18, 19 y 23) con potencial para ser candidatas a liberación como variedades.
- Se evaluaron las 1,092 líneas seleccionadas durante el 2015 por calidad de grano y resistencia a enfermedades en un total de cinco ambientes, entre las cuales se seleccionaron 677 líneas experimentales con base en su comportamiento agronómico, fenológico y su potencial de rendimiento a través de los diferentes ambientes. Esta selección de líneas fue enviada al INIFAP

para ser evaluadas en ensayos nacionales que incluyen los ambientes principales de las zonas más importantes de producción de trigo en México.

- Se evaluaron 1,384 líneas avanzadas para rendimiento, resistencia a enfermedades y calidad de grano. Entre estas líneas se seleccionaron las mejores 1,092 líneas (mismo número que el año anterior) que se evaluarán durante el ciclo 2016-2017 en diferentes ensayos antes de ser distribuidas a distintos colaboradores. La selección de estas 1,092 líneas fue realizada con base en datos agronómicos y fenológicos, potencial de rendimiento, resistencia a enfermedades prevalentes en los ambientes mexicanos de producción de trigo (royas, septoria y fusarium) y calidad industrial del grano.
- En estas actividades participaron los científicos mexicanos repatriados, los doctores Francisco J. Piñera y Alma Carolina Rivera.

Meta 4.2 Cadena de valor de trigo fortalecida mediante la colaboración entre la investigación estratégica en trigo y actores clave de la industria semillera para la multiplicación de nuevas variedades.

- Durante 2016 se logró completar el proceso de registro y pre-multiplicación de seis nuevas variedades para las diferentes regiones productoras de trigo en México y que llevan por nombre Bacorehuis F2015, Conatrigo F2015, Conasist C2015, Barobampo C2015, Valles F2015 y Don Carlos M2015. Se cosecharon más de cuatro toneladas de semilla básica de estas variedades en el campo experimental del INIFAP en Texcoco de todas las nuevas variedades seleccionadas y se pusieron a disposición de diversos productores de semillas de trigo de México. Se seleccionaron cinco productores de semilla con capacidad técnica, infraestructura y capacidad de distribución en zonas productoras de trigo clave para México que se involucran en la multiplicación de semilla certificada en gran escala de nueve variedades de reciente liberación, entre las que figuran las seis variedades de reciente registro pre-multiplicadas por el INIFAP y tres variedades más con registro no mayor a tres años.
- Se ha elaborado un informe que contiene un análisis de la cadena de valor de trigo en México identificando aspectos a mejorar en el proceso de multiplicación de semillas y áreas de actuación con el objetivo de incrementar la producción de trigo en México.
- Se estableció un convenio con la Universidad de Florida (UFL) para la creación de un modelo de productividad de trigo en México para determinar los efectos del cambio climático en México a mediano plazo. Este modelo muestra la disminución de entre un 20 y un 30 por ciento en los rendimientos para trigo de temporal.

Meta 4.3 Capacidad científica aumentada mediante la selección y formación de científicos mexicanos con vínculos establecidos con la Alianza Internacional de Trigo.

- Se firmaron cuatro convenios de colaboración (que engloban a los cuatro estudiantes de doctorado) con la Universidad Austral de Chile, The University of Nottingham, University of

Texas A&M, y University of Cambridge para la continuación de los estudios de doctorado. La continuación en la capacitación científica de los cuatro estudiantes mexicanos abre las puertas a una nueva generación de mexicanos con un alto nivel de formación en investigaciones de trigo que pueden incorporarse en centros de investigación con impacto en México. De esta forma se pretende contribuir a reforzar las investigaciones de trigo en México para obtener nuevas variedades de trigo más productivas y con mayor resiliencia al cambio climático que contribuyan a mantener la seguridad alimentaria del país.

- No se consiguió la incorporación del nuevo estudiante de doctorado debido a que el candidato elegido no obtuvo la beca CONACYT para poder completar sus estudios en el extranjero.
- Durante 2016 dos estudiantes, Francisco Javier Piñera y Oscar González, han dado por finalizados sus estudios de doctorado en sus respectivas universidades.
- Adicionalmente, dos estudiantes de doctorado han presentado un avance considerable en la escritura de sus tesis doctorales y se espera que se titulen en 2017.
- Continuaron las actividades de investigación con la Universidad Austral de Chile con éxito identificando una proteína que tiene un gran impacto en el tamaño potencial del grano y, por lo tanto, en la determinación del rendimiento final.
- Continuó la difusión en foros nacionales e internacionales de los resultados obtenidos de las investigaciones de MasAgro-Trigo dando visibilidad internacional a la comunidad científica de los logros alcanzados hasta el momento.
- Francisco Javier Piñera y Alma Carolina Rivera, estudiantes graduados de MasAgro Trigo, se incorporaron al CIMMYT para trabajar como consultores científicos para continuar sus investigaciones en trigo tanto en MasAgro Trigo como en un proyecto de la Alianza Internacional de Rendimiento de Trigo (IWYP).
- Se ofreció capacitación a 20 técnicos mexicanos, cinco fueron patrocinados por MasAgro Trigo para realizar el curso teórico-práctico que se impartió en técnicas de fenotipado de alta precisión y aéreas.