

Resumen de metas y actividades 2018

Programa Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional, 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.

Resumen de resultados – meta 1.1	
Número de plataformas experimentales	40
Número de módulos experimentales	896 en hubs en operación y 121 en hubs en desarrollo
Número de áreas de extensión	3,053 en hubs en operación y 67 en hubs en desarrollo
Número de estados en el área de influencia de los nodos de innovación	30
Eventos para la integración de productores al modelo de intensificación sustentable	456 eventos
Número de productores integrados al modelo de intensificación sustentable	10,869 productores

Meta 1.2 Diseño, co-desarrollo, 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.

Resumen de resultados – meta 1.2	
Número de nuevos diseños conceptuales de prototipos de maquinaria	15 bosquejos de diseños conceptuales
Ampliación de la red de herreros	1 nuevo integrante a la red de herreros, para sumar 18 integrantes con presencia en 7 estados: Estado de México, Sonora, CDMX, Zacatecas, Jalisco, Chiapas, Guanajuato
Número total de prototipos construidos con la red de herreros	17 equipos construidos
Fichas técnicas relativas a funcionalidades y características principales de prototipos e implementos	13 ensambles completos, interactivos en 3D 10 nuevas fichas técnicas
Planos de construcción de ensambles o componentes específicos	9 planos de construcción estandarizados de ensambles completas 7 planos de construcción estandarizados de componentes y accesorios específicos
Puntos de maquinaria	18
Evaluaciones agrotécnicas	7 evaluaciones agrotécnicas en campo
Herramientas de captura de información	Bitácora Electrónica MasAgro, Conservation Earth, MasAgro Móvil y GeoODK
Usuarios atendidos través de las herramientas de toma de decisión y acompañamiento técnico	3,950 usuarios atendidos en la BEM 5,860 usuarios atendidos en MasAgro Móvil 45,121 mensajes enviados a través de MasAgro Móvil 10,044 registros a través de la herramienta de GeoODK
Número de bitácoras registradas en la BEM	980 de módulos y 3,278 de áreas de extensión, ocupando una superficie de más de 11,000 has.

Número de categorías de materiales impresos y electrónicos producidos	9
Número de materiales audiovisuales creados	48 videos 18 galerías 14 podcasts
Número de usuarios en redes sociales	Facebook: 887 publicaciones con un total de 1,893,108 usuarios impactados Twitter: 784 publicaciones con un total de 468,306 usuarios impactados YouTube: 55 videos publicados y 2,337 usuarios suscritos al canal
Número de campañas realizadas en 2018	5
Número de suscriptores al boletín semanal de noticias	Más de 10,000 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.

Resumen de resultados – meta 1.3	
Número de entrenamientos en temas específicos	180
Número de técnicos capacitados en temas específicos	2,609
Formadores MasAgro	31 formadores y 6 coordinadores
Asistencia técnica brindada por formadores MasAgro	949 actores clave participando en el proceso formativo coordinado por los Formadores
Número de técnicos que participaron en 2018 en la formación de los cursos de <i>Técnico Certificado en Agricultura Sustentable</i>	155
Número de Técnicos Certificados graduados en 2018	11 graduados 32 que aprobaron y están en espera de la ceremonia
Número de Técnicos Certificados graduados (acumulado 2011-2018)	397
Cursos de actualización a Técnicos Certificados	8
Técnicos certificados graduados que asistieron a las capacitaciones impartidas	111

Meta 1.4: Científicos y técnicos de la cadena 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

Resumen de resultados – meta 1.4	
Número de plataformas donde se realizaron análisis de rentabilidad	26
Número de experimentos de componentes de tecnología en condiciones de riego	3
Número de experimentos de componentes de tecnología en condiciones de temporal	3
Publicaciones científicas en revistas internacionales con comité	3
Reportes resumiendo resultados de investigación	9
Artículos resumiendo resultados para el público en general	15 artículos sobre las plataformas de investigación en revista EnlACe 3 libros de resultados de investigación en plataformas
Presentaciones en conferencias científicas	2
Experimentos de Integración de diferentes tecnologías de sensores ópticos (GreenSeeker y/o SPAD) para el manejo de nitrógeno en el cultivo de maíz y validación de la tecnología del sensor GreenSeeker	27
Experimentos de contribución a la remediación de suelos ácidos	9
Experimentos de diferentes herramientas para la obtención de valores NDVI	17
Experimentos de generación de opciones de manejo de fertilidad	4
Experimentos de calibración y generación de nuevas áreas de operación de la herramienta GreenSat	11
Número de plataformas poscosecha	9
Categorías de tecnologías de almacenamiento hermético evaluadas	Silos metálicos herméticos, bolsas plásticas herméticas, y el uso de polvos inertes como cal estándar, cal micronizada y tierra diatomea

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.

Mejoramiento participativo de maíces nativos:

- Se realizó mejoramiento participativo en 14 municipios de la República Mexicana en tres estados: Oaxaca, Michoacán y Estado de México. Estos municipios representan siete regiones de trabajo: Valles Centrales, Sierra Sur, Costa, Sierra de Juárez y Mixteca Alta, en Oaxaca, Sureste del Estado de México y la Meseta Purépecha de Michoacán. En 2018 se superó la meta de localidades propuestas al principio del año en materia de mejoramiento participativo de maíz nativo. Se trabajó en 14 localidades con ensayos y/o viveros y en dos más únicamente con viveros (16 localidades en total).
- La capacitación de productores es de vital importancia para tener impacto en las comunidades de producción de maíz nativo de mayor marginación. En 2018, se impartieron 32 talleres y demostraciones de mejoramiento genético y prácticas agronómicas en localidades objetivo con la participación de más de 450 personas: estudiantes, técnicos, productores, entre otros. Algunos productores asistieron a múltiples capacitaciones, por lo que el número de productores individuales que participaron en 2018 fue de 400, de los cuales 35.5 % son mujeres productoras. Los productores que asistieron a las capacitaciones provienen de 75 localidades de 31 distintos municipios en cinco estados de la República Mexicana.
- En 2018 se realizó un curso de diseño de experimentos en campo de pequeños productores de maíz nativo para colaboradores de MasAgro. El curso fue diseñado para los científicos colaboradores y su equipo de técnicos para examinar métodos que mejoren el diseño de experimentos y su ejecución en condiciones muy difíciles de campos de pequeños productores que, en general, están en áreas de laderas, con suelos pobres y dispares y en terrenos muy fraccionados.

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

Competitividad del sector semillero:

- Los nuevos híbridos MasAgro poseen características que se adaptan a las condiciones de producción de los agricultores del temporal. Algunas de las características más apreciadas por el productor y por los compradores de maíz y que se constatan con las mayores ventas de estos materiales son su rusticidad, amplia área de adaptación, alto potencial de rendimiento, tolerancia a la mancha de asfalto, buena cobertura de mazorca, y la sanidad.
- Un indicador de éxito de lo anterior, es el crecimiento y expansión de las ventas de híbridos MasAgro. La venta de estos híbridos ha aumentado de manera constante desde el inicio del Programa MasAgro (2011) con una tasa promedio de crecimiento anual de más del 30%. Además, que en 2011 se vendían tan solo en 9 estados del país, y en 2018 los híbridos MasAgro se vendieron en 25 estados, 135 regiones oficiales y 480 municipios.
- El crecimiento de la participación de empresas semilleras en el consorcio de semilleros MasAgro es referencia de la penetración del proyecto en el sector semillero, tan solo en 2018 el consorcio estuvo conformado por un total de 62 compañías (10 más que en 2017).
- En 2018 el consorcio de semilleras MasAgro vendió más de un millón de bolsas con un 52% de germoplasma CIMMYT.
- Asimismo, MasAgro ha permitido el aumento del número de productos (híbridos finales) en el portafolio de las empresas nacionales y, por consiguiente, en el mercado mexicano.

Tecnología de producción, manejo agronómico, caracterización, producción, distribución, y calidad de semilla y grano de híbridos MasAgro:

- Las fichas técnicas con información sobre tecnología de producción de semilla de 15 híbridos MasAgro se pusieron a disposición de las compañías semilleras participantes en el Programa MasAgro.
- Se establecieron seis sitios para la investigación en la tecnología de producción de semillas con el objetivo de contar con mayor información para la producción de semilla MasAgro en distintas localidades y disminuir la aversión de los semilleros a la adopción de nuevos materiales competitivos.
- 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. Se logró desplegar una red de manejo agronómico de híbridos CIMMYT-MasAgro en 18 localidades de cinco estados de la República Mexicana (Guanajuato, Hidalgo, Oaxaca, Chiapas, y Campeche). Adicionalmente, se ofreció al agricultor información que le permite explotar el potencial de rendimiento de los híbridos MasAgro por medio de un manejo agronómico ajustado a las condiciones de su región (ensayos de fechas de siembra y densidades). Cabe destacar que esta red ha demostrado la fortaleza de la colaboración entre las semilleras MasAgro, ya que de cinco sitios de evaluación en 2016 pasó a 19 sitios (18 localidades, una misma localidad bajo riego y bajo temporal) en 2018.
- MasAgro Maíz produce la semilla inicial que requieren los semilleros de la Red MasAgro para incrementar y mantener las líneas (semilla original), la semilla básica y registrada para producir los híbridos MasAgro en el primer año de su liberación y también se produce y distribuye semilla precomercial para hacer promoción de los nuevos híbridos competitivos a través de parcelas demostrativas. En 2018 se han producido 25,718 kg de semilla de maíz y se

distribuyeron 11,297 kg (específicamente 6,381.67 de semilla básica y 4,915.34 de semilla precomercial) entre semilleras participantes y colaboradores de MasAgro Maíz.

- Se continuó impulsando la producción de semilla de calidad, por ello se caracterizaron un total de 33 variedades de maíz con fines de registro en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales del SNICS para la producción de semilla certificada de los semilleros MasAgro.
- En materia de calidad de grano, se realizó el análisis de 63 muestras recolectadas directamente de los semilleros MasAgro, además de completar el estudio de análisis y calidad de 26 híbridos MasAgro blancos. Adicionalmente, se inició un nuevo ciclo de evaluación de interacción ambiente y calidad de grano de 19 híbridos blancos y siete híbridos amarillos.

Capacitación, transferencia y promoción de híbridos principalmente para el sector semillero:

- En 2018, se organizaron 16 eventos de capacitación, transferencia y promoción de híbridos MasAgro con semilleros, mejoradores, estudiantes, productores, representantes del Gobierno Federal, entre otros:
 - Una capacitación en “Manejo de ensayos agronómicos para colaboradores de MasAgro Maíz”, dirigida al sector semillero nacional.
 - Una reunión o “Encuentro con semilleros y colaboradores de MasAgro Maíz” para la discusión de resultados de la Red Colaborativa de Evaluación de 2017, de la cual se seleccionan los nuevos híbridos a liberar del CIMMYT.
 - Tres días de campo para demostrar la tecnología de producción de los nuevos híbridos MasAgro de los tres ambientes agroecológicos de México: Valles Altos, trópico y subtropical.
 - Un día de campo para la observación de 12 híbridos MasAgro tropicales en etapa de llenado de grano o en verde para la adopción de los semilleros MasAgro.
 - Cuatro giras de campo por ensayos de manejo agronómico (densidades y fechas de siembra) en Guanajuato, Chiapas, Campeche e Hidalgo para impulsar el posicionamiento de híbridos MasAgro.
 - Cuatro días de campo (organizados por la Universidad Autónoma Chapingo) dirigidos a productores de localidades de Oaxaca y Guerrero para demostrar la competitividad de híbridos MasAgro.
 - Organización por la Universidad Autónoma Chapingo del “Cuarto Evento Regional sobre el Manejo Tecnológico en el Cultivo de Maíz”, donde se habló, entre otros aspectos, sobre los logros y trabajos realizados por MasAgro Maíz en Oaxaca.
 - Una visita de campo a las instalaciones de CIMMYT en Texcoco para estudiantes de la Universidad Autónoma Chapingo para recorrer diferentes módulos sobre la investigación que realiza CIMMYT bajo el programa MasAgro (mejoramiento genético, tecnología de dobles haploides, tecnología de producción y mejoramiento participativo de maíces nativos). Esta visita se realizó a solicitud de la Universidad Autónoma Chapingo, por lo que fue específicamente dirigida a sus estudiantes.
- Instituciones aliadas como la UACH, COLPOS, INIFAP y SNICS, participaron activamente en los eventos de MasAgro Maíz, lo que permitió elevar el nivel de las capacitaciones y los

recorridos de campo realizados. Asimismo, se diseñó, en colaboración con COLPOS, un programa para la formación en producción y procesamiento de semilla para relevo generacional en el sector privado y también en el sector público de investigación.

Estudios socioeconómicos:

- En 2018, se efectuaron dos análisis socio-económicos sobre semillas de maíz; entre los resultados, destacaron los puntos a continuación:
 - El factor clave en la adopción de híbridos de maíz es la disponibilidad y capacidad de un productor de vender su producción en el mercado. Un productor con poca disponibilidad o capacidad de vender no invertirá sus recursos en híbridos si la semilla nativa le satisface, o en algún otro componente del paquete tecnológico. Existen otros factores que también son de importancia para la adopción, como el riego en la parcela (cuando está disponible) o que el rendimiento del híbrido sea superior al promedio. Además, la probabilidad de adoptar es mayor cuando la altitud es menor, es decir, se puede tener un impacto con menor esfuerzo en el trópico y subtropical. Dado que los productores orientados al mercado de maíz son los que adoptan los híbridos y con ello aumentan su producción, se tienen que desarrollar las condiciones para que puedan acceder al mercado, principalmente se debe desarrollar la infraestructura de almacenamiento y las vías de comunicación.
 - El rendimiento promedio de las 26 zonas “*quick win*” o de rápido impacto es de 2.38 toneladas por hectárea. Es posible alcanzar rendimientos promedio de 5.52 toneladas por hectárea en 2024 en estas zonas si se aumenta el uso de semillas híbridas. La estrategia sí es aumentar el uso de semillas híbridas competitivas. En algunos casos sólo 1%, mientras que en zonas más desafiantes se debe aumentar este uso 15%. Sin embargo, el aumento del uso de híbridos deberá estar acompañado de otras políticas como el desarrollo de infraestructura de almacenamiento, por lo que todos los actores de la cadena de valor (autoridades, semilleros, etc.) deberán sumar esfuerzos para aumentar la productividad del maíz y disminuir las importaciones de grano.
- Adicionalmente, se realizaron tres estudios sobre la 1) competitividad de la producción de maíz Guanajuato; 2) cambio de rendimiento y competitividad en la producción de maíz conforme a las semillas y las prácticas recomendadas; y, 3) consumo de maíz de cadenas de maíz. Destacan los siguientes resultados:
 - El sistema de autoconsumo temporal-criollo, temporal-híbrido en Guanajuato es intensivo en trabajo, mientras que el de riego-híbrido es intensivo en insumos. A precios privados, es decir, aquellos que efectivamente desembolsó el productor, los cuatro sistemas fueron rentables. En los sistemas de autoconsumo, temporal-criollo, son importantes los apoyos a la producción y comercialización de maíz y los ingresos y rentabilidad son mayores con precios privados. Este estudio o análisis realizado en 2018, mostró, de forma general, que los sistemas autoconsumo y temporal-criollo no son competitivos sin las intervenciones del Estado, mientras que el temporal-híbridos y riego-híbridos sí lo son.
 - En lo referente al cambio en el rendimiento de maíz, el estudio demostró nuevamente que se logra principalmente por el uso de híbridos, seguido del uso de la labranza de conservación, aumento en la densidad de siembra y mejor fertilización. Los resultados respaldan las actividades que realiza MasAgro-Maíz para facilitar el acceso a híbridos

de medianos y pequeños productores. Por ejemplo, la conversión a semilla mejorada competitiva produce un incremento de 2.3. t/ha, el cambio de labranza.02 t/ha, aumento en densidad de siembra .01 t/ha y un aumento en cantidad de nitrógeno .01 t/ha (análisis a través de datos de la Bitácora Electrónica de MasAgro).

- Finalmente, se estimó el consumo de maíz amarillo. El volumen de maíz utilizado en la producción de carne de pollo, carne de cerdo y pollo en las zonas de intervención (zonas *quick win*) fue de entre 0.3 y 661,800 toneladas; la producción de carne de pollo y huevo son los principales consumidores. En conjunto, las 26 zonas prioritarias o *quick win* necesitarían 1.2 millones de toneladas de maíz para satisfacer su demanda de producción de carne de pollo, carne de cerdo y huevo, por lo que partiendo del supuesto que utilizarán únicamente maíz amarillo existiría un desbalance en las zonas de 900,000 toneladas de maíz, aunque, a nivel de zonas, cuatro zonas tendrían un superávit de maíz: Costa (Jalisco), Centro (Campeche), Soconusco (Chiapas) y Meseta Comiteca Tojolabal (Chiapas). El déficit de maíz amarillo a nivel nacional se traslada a un déficit en la mayoría de las zonas *quick win*, lo que vuelve a poner de manifiesto que, en algunas zonas, sería recomendable la conversión de maíz blanco a amarillo, principalmente en zonas altamente productoras de carne de pollo o cerdo y huevo.

Meta 2.3: Desarrollo y selección de materiales con alto potencial de rendimiento, calidad de grano, estables y/o adaptados a las condiciones ambientales de las regiones meta.

Nuevas y mejores semillas:

- Se identificaron 17 nuevos híbridos desarrollados en CIMMYT (nueve híbridos tropicales, cuatro subtropicales y cuatro de la región de los Valles Altos) como materiales competitivos y adaptados a las condiciones ambientales de las regiones meta.
- Los nuevos híbridos blancos identificados a través de las Redes Colaborativas de 2018 en 115 sitios a nivel nacional son: tropicales CLTHW16138, CLTHW16135, CLTHW16136, CLTHW16133 y CLTHW15141; subtropicales CSTHW17396 y CSTHW17405; y de los Valles Altos CHLHW16007, y CHLHW16013.
- Los nuevos híbridos amarillos identificados a través de las Redes Colaborativas de 2018 en 113 sitios a nivel nacional son: tropicales CLTHY16002, CLTHY16155, CLTHY16003 y CLTHY16031; subtropicales CSTHY17407 y CSTHY17411; y de los Valles Altos CHLHY16018 y CHLHY16016.
- Producto de la colaboración con la Universidad Autónoma de Chapingo se realizaron siete días de campo incluyendo recorridos por ensayos de las Redes Colaborativas de Evaluación de 2018.
- También se identificaron ambientes homogéneos e híbridos MasAgro estables con los datos de más de 100 sitios de las Redes Colaborativas de Evaluación de 2017.
- Se realizaron las fichas informativas de calidad de grano de 41 híbridos del CIMMYT, además de dos híbridos de semilleras MasAgro (SB-5002 de Berentsen y MSG-5A de Agrícola El Caudillo), genotipos provenientes de las Redes Colaborativas de Evaluación de 2017.
- 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 seleccionadas
Líneas segregantes	40,141	16,115
Líneas dobles haploides	5,975	3,176
Híbridos experimentales	1,011	176
Híbridos avanzados	524	127

- También se buscó reducir el efecto del cambio climático en el cultivo de maíz y, en 2018, se evaluaron 366 híbridos bajo condiciones de sequía y 370 híbridos bajo condiciones de estrés por sequía y calor combinado, lo que permitió identificar ocho líneas que muestran tolerancia a la sequía (CSL1668, CSL1661, CSL1619, CLWN871, CLWN879, CLWN829, CLYN752, y CLYN748) y nueve más con tolerancia a la combinación de calor y sequía (CSL1653, CSWL1798, CSWL1783, CSWL1794, CLYN1709, CLYN1703, CLYN631, CLYN815, y T15).
- Asimismo, se evaluaron 196 genotipos para determinar su resistencia a las principales enfermedades del maíz, como son mancha de asfalto, 83 genotipos tropicales (19 híbridos blancos, 17 híbridos amarillos, 23 entradas de líneas blancas y 24 amarillas); pudrición de tallo por fusarium, 31 genotipos subtropicales (22 híbridos blancos, y 9 híbridos amarillos); roya, 41 genotipos de los Valles Altos (23 híbridos de maíz blanco y 18 amarillos); y, curvularia, 41 genotipos tropicales (21 híbridos blancos y 20 amarillos). Los resultados demuestran genotipos con niveles de tolerancia a las principales enfermedades que afectan al maíz.
- Por otra parte, se produjeron 9,509 líneas dobles haploides (DH) y se completó el proceso de inducción haploide en 50 poblaciones.
- En materia de mejoramiento molecular y predicción genómica:
 - Se efectuó un estudio de predicción genómica en líneas DH tropicales y subtropicales no probadas en campo, donde los resultados mostraron que la selección genómica (GS, por sus siglas en inglés) es eficiente. Las líneas DH seleccionadas en función de las pruebas genómicas permiten omitir las pruebas en campo de materiales en etapa 1 y avanzar a las pruebas de la etapa 2 directamente, lo que tiene un impacto en la reducción en tiempo y costo de evaluaciones, además de que permite aumentar la intensidad de la selección y acelerar la ganancia genética por unidad de tiempo.
 - Se identificaron regiones genómicas que confieren la resistencia a las principales enfermedades del maíz (mancha de asfalto, pudrición de tallo y pudrición de mazorca) a través de un análisis de asociación del genoma completo (GWAS) en un panel de 256 líneas CML (líneas CIMMYT). La información generada por este estudio es de gran utilidad para comprender cómo reducir el impacto de estas importantes enfermedades del maíz mediante la selección de marcadores moleculares o la selección genómica.

- Finalmente, se realizaron pruebas de control y aseguramiento de calidad molecular a materiales MasAgro, para lo cual se colectaron más de 400 líneas y materiales F1 de los tres programas de mejoramiento y de la unidad de Sistemas de Semillas de MasAgro Maíz. La información de la matriz de similitud genética generada en estas pruebas se compartió con los mejoradores de MasAgro Maíz para continuar con la selección de padres para el desarrollo de nuevas líneas puras.

3. MasAgro Biodiversidad

Descubriendo la Diversidad Genética de las Semillas

i Objetivo: Recursos genéticos valiosos aprovechados mediante tecnologías de punta y fortalecimiento de capacidades, para acelerar la obtención y 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.

- Durante 2018, se genotipificaron en SAGA 3,084 muestras, entre materiales de premejoramiento, líneas dobles haploide (DH), poblaciones bajo selección genómica, líneas y maíces criollos y un extenso panel de líneas élite del CIMMYT, generando 747.52 millones de datos genotípicos (334.3 M *SNP* y 403.2 M *InSilico DArT*).
- Se hicieron análisis de GWAS (genome-wide association studies, o estudios de asociación del genoma completo) ambiental sobre respuesta a la precipitación pluvial para explorar e identificar regiones genómicas de maíces criollos valiosos para el mejoramiento del maíz. A continuación, se resumen los pasos para implementar y validar la efectividad del método GWAS ambiental:
 - Los análisis realizados utilizando el panel de genotipos de GWAS de Biodiversidad y los datos del sitio de colecta identificaron un rango de marcadores asociados significativamente con el historial de precipitación pluvial del sitio de colecta de las accesiones correspondientes.
 - Una región genética que mostró una interesante asociación significativa con precipitación se localizó en el cromosoma 1. Esta región contiene dos anotaciones de genes y el marcador más significativo, S1_281762683, se encontró en la región de codificación de un gen anotado con un modelo provisional de genes como un transportador oligopéptido (Zm00001d034035_T001), un transportador de glutatión.
 - Con el propósito de explorar los efectos del marcador S1_281762683 en la respuesta de la planta al estrés, se evaluaron los datos de los ensayos para sequía que se generaron en el panel GWAS de Biodiversidad, asignando los componentes de este panel a uno de tres

- grupos en base al genotipo S1_281762683. El promedio de rendimiento en estrés de sequía de estos grupos se determinó con los datos de los ensayos existentes.
- Se encontró una fuerte interacción entre genotipo (en el locus S1_281762683) y rendimiento en sequía apoyando el papel biológico en respuesta al déficit de agua de esa región genómica.
 - Se hizo un análisis de transcripción del gen Zm00001d034035_T001 utilizando datos disponibles al público que demostró un nivel mucho más alto de transcripción del gen en el tejido del meristemo floral que en el meristemo foliar. En condición de estrés de sequía, el nivel de transcripción del gen fue de aproximadamente 50% al observado en condiciones de buena humedad demostrando una clara respuesta ambiental en la transcripción de este gen.
- Con la finalidad de separar la variación adaptativa específica de interés de la estructura poblacional amplia y de la adaptación amplia, se exploró la combinación de GWAS ambiental con Eigen GWAS. Este último es un enfoque desarrollado para identificar regiones del genoma subyacentes en la diferenciación genética poblacional, en cualquier dato genético donde la estructura poblacional subyacente sea desconocida, o en donde el interés fuera evaluar la divergencia a lo largo de un gradiente.
 - En el EigenGWAS, los eigenvectores de PCA (análisis de componentes principales) son usados como el fenotipo en un modelo GWAS y, en este estudio, se emplearon 10 eigenvectores como fenotipos y, para resaltar las regiones bajo fuerte selección divergente, se corrieron análisis F_{ST} marcador por marcador.
 - Los análisis resaltaron tres diferentes clases de asociaciones: **i)** regiones fuertemente asociadas con un eigenvector pero no bajo selección a través de las poblaciones definidas; **ii)** regiones fuertemente seleccionadas en las poblaciones definidas pero no asociadas con un eigenvector; y, **iii)** regiones significativamente asociadas con un eigenvector y sujetas a fuerte selección a través de las poblaciones definidas.
 - Después de los análisis de EigenGWAS y F_{ST} , se hizo el GWAS ambiental usando los mismos conjuntos de datos genotípicos y ambientales del sitio de colecta. Estos análisis se realizaron sobre un amplio rango de variables ambientales.
 - La predicción genómica es utilizada en el sector de la iniciativa privada y en el mejoramiento comercial para acelerar la tasa de selección de germoplasma favorable en el mejoramiento. Un panel de “enfoco” o “entrenamiento,” con germoplasma representativo bien fenotipificado y genotipificado, se utiliza para desarrollar un modelo que se aplica a otros materiales ya genotipificados pero no fenotipificados. El enfoque es exitoso si se toman en cuenta las siguientes precauciones:
 - La población de enfoque o entrenamiento requiere de un extensivo fenotipificado a través de años y ambientes objetivo;
 - Las poblaciones de mejoramiento de entrenamiento deben estar emparentadas cercanamente;
 - Sólo se puede predecir el valor de algo en base a los alelos representados en la población de entrenamiento;

- A los alelos nuevos en la población de mejoramiento (no existentes en la población de entrenamiento) no se les asignan valores.
- En Biodiversidad, se está explorando la aplicación de la predicción genómica en un paradigma, pues la fenotipificación extensiva de todo el banco de germoplasma del CIMMYT no es una opción práctica y, siguiendo al GWAS ambiental, se quiere estimar si combinando los datos ambientales con datos genotípicos se pueden usar para predecir y clasificar los valores generales de las accesiones para, por ejemplo, respuesta a sequía.
 - Trabajando con Arcadio Valdés, estudiante de doctorado en la Universidad de Cornell, se investigó si entre el panel GWAS de Biodiversidad se puede predecir el ambiente del sitio de colecta de las accesiones a partir de un panel de entrenamiento compuesto de otros individuos del panel GWAS.
 - Mediante un modelo de Regresión Ridge Bayesiana, se encontró un buen nivel de predicciones genómicas y valores conocidos de 10 variables ambientales de los sitios de colecta de las accesiones.
- Puesto que el uso de la información de predicción genómica tendría potencial para enriquecer el conocimiento del “pasaporte” (los datos de colecta) de accesiones del banco de germoplasma del CIMMYT que carezcan de estos datos, se hizo un enfoque al análisis del potencial de predicción de fenotipo utilizando la extensa base de datos de floración como un conjunto de datos de validación. Cuando se incorporaron los datos genotípicos en GBLUPs de los valores ambientales y genotipo en la predicción, la correlación con los valores observados fue muy parecida a la obtenida con la predicción clásica en base al fenotipo.
- Este resultado abre la oportunidad de utilizar una combinación de predicciones en base al ambiente y a la genómica para identificar las accesiones de mayor potencial y evaluarlas para un objetivo de mejoramiento en particular (un objetivo que se pueda asociar con una variable ambiental, tal como el estrés por sequía, calor, o estrés por salinidad del suelo).
 - Se ha ampliado el uso de los datos ambientales para responder preguntas relacionadas a si es posible identificar materiales con tolerancia potencial a la salinidad utilizando datos sobre salinidad del suelo de HarvestChoice 2010. Se define salinidad fisiológica de un suelo, donde su conductividad eléctrica sobrepasa 0.45 S/m en un metro de la capa superior del suelo (S= Siemens, una unidad SI de conductividad eléctrica).
 - Para salinidad se identificaron 524 accesiones originarias de sitios de colecta situadas dentro de un segmento de C. 1km² (cercano a un km cuadrado), donde el valor del segmento (valor raster) para suelo salino de relevancia fisiológica fuera del 10% o más elevado; 345 son de México, 122 del Perú, 40 de Argentina, 8 de Marruecos, 5 de Chile, 2 de Pakistán y 2 de Bolivia. Este panel es el primero a nivel global que se conoce de criollos de maíz identificados por su potencial tolerancia a salinidad empleando datos ambientales.
- En 2018, se revisaron, “curaron” y cargaron datos en los reservorios y repositorios, y se liberaron de acuerdo a las reglas de protección intelectual (IP). A inicios de 2018, se liberaron datos del panel DArTseq GWAS y los mapas asociados a través de: Maize Germinate 3.4 data warehouse (<http://germinate.seedsofdiscovery.org/maize>) y se pusieron a disponibilidad de la comunidad

científica los datos de 37,584 SNP loci (75,168 loci) a través de 4,414 individuos en el panel GWAS (más de 165 millones de datos de marcadores y 331 alelos).

- Con el objetivo de liberar los archivos FASTQ, los archivos de primera secuencia, de los GbS del panel GWAS, e iniciar el proceso, se empezó a descargar el gran conjunto de archivos de la Universidad de Cornell, donde se hizo la secuenciación. En pocos meses ya se han descargado más de 17,000 archivos que comprenden más de 1.75 Tb de datos.
- Se revisaron, curaron y corrigieron los archivos individuales de frecuencias alélicas y los archivos asociados de metadatos añadiendo una declaración que le recuerda a las personas sus obligaciones por la licencia de datos, la cual se añadió en la parte superior de cada archivo de datos de frecuencias alélicas y otros archivos asociados.
- En 2018, se trabajó en tres artículos que involucraron la colaboración con científicos de México, Estados Unidos, China y Francia; dos se enviaron a la revista *Molecular Ecology*: “Divergence with gene flow is driven by local adaptation to temperature and soil phosphorus concentration in teosinte subspecies (*Zea mays parviglumis* and *Zea mays mexicana*)”, “Identifying loci with breeding potential in the global maize collection via EigenGWAS and EnvGWAS”, y un tercer artículo, “Environmental and population genomic analysis of large-scale maize common gardeners reveals the genetic basis of local adaptation in maize landraces” se encuentra como borrador.
- Se participó en varios eventos, entre ellos, PAG2018 (San Diego, California, E.U.), Big Data in Agriculture (Edimburgo, Reino Unido), Segundo Simposio Internacional de Genética y Fitomejoramiento (Rio de Janeiro, Brasil), Criollos-CIBIOGEM (CDMX), la 13a Asian Maize Conference and Expert Consultation (Ludhiana, India) y la GEM Cooperators de ASTA 2018 (Chicago, E.U.).
- Se establecieron los ensayos de maíz para estrés de sequía con más de 1,650 entradas incluyendo 277 maíces criollos en cuatro localidades, Tlaltizapán, Morelos (CIMMYT), Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca (UACH-Collantes), San Juan de Abajo, Nayarit (Semillas Moreno-Retis) y Los Mochis, Sinaloa (INIFAP-CAEVAF). Se empleó un diseño experimental aumentado modificado (Juan Burgueño, CIMMYT), con dos repeticiones en estrés de sequía y una repetición con riego normal por localidad. Se seleccionaron 106 maíces criollos y 152 cruzas de prueba de primer año y, de 120 entradas del segundo año, se avanzaron 12 (10%) para continuar su evaluación y posible liberación.
- En el verano de 2018, se establecieron los ensayos del programa de sequía con híbridos de cruzas de prueba en condiciones de siembra normal, incluyendo ambientes de temporal y de riego, en tres sitios del trópico, en Puebla y Chiapas con 240 entradas, y seis sitios del subtrópico, a través de la región del Bajío con 570 entradas. El diseño estadístico empleado en estos ensayos fue alfa-látice con dos repeticiones por localidad.
- Se establecieron tres ensayos con materiales de primer año contra la enfermedad del Complejo Mancha de Asfalto (CMDA), en cinco localidades: 1) Metztitlán, Hidalgo – UTSH; 2) Agua Fría, Puebla – CIMMYT; 3) Guadalupe Victoria y 4) Suchiapa – Corteva, en Chiapas; y 5) Villaflores - UACHiapas-Proase. Se han seleccionado para avance 16 materiales blancos y 31 amarillos.

- Los ensayos para tolerancia a calor se sembraron a principios de abril en Ciudad Obregón, Sonora (CIMMYT), Los Mochis, Sinaloa (INIFAP-CAEVAF) y Torreón, Coahuila (UAAAN-UL), con más de 550 entradas por sitio.
- Respecto a maíz para industria y usos especiales, el enfoque ha sido el desarrollo de híbridos de maíz con grano de color azul con alto contenido de antocianina en el grano. (Nota: se utiliza el término “azul”, para significar un color de grano que va desde azul claro-medio, hasta color morado o negro). Hasta la fecha, 32 criollos de grano de color forman parte de este estudio.
- Se sembraron los maíces azules en cuatro localidades de Sinaloa en cinco ensayos de rendimiento, con la colaboración de la Asociación de Agricultores de Río Fuerte Sur y la Fundación Produce, con más de 400 cruzas de prueba de maíces de grano azul por sitio, dos en Culiacán, uno en Guasave y otro en Ahome. Se detectaron materiales con rendimiento promedio superior a 8.5 t/ha, la línea base pues es el rendimiento indicado por los agricultores como el necesario para lograr rentabilidad económica. Se avanzaron 84 entradas (20%) para evaluarlas en los ensayos de la región del Bajío, en Jalisco, Aguascalientes y Morelos en 2019.
- Se creó un estudio en Dataverse para alojar y liberar los datos fenotípicos generados en 2016. Se compilaron datos fenotípicos crudos y analizados y se cargaron los archivos junto con un diccionario de datos para ayudar a interpretarlos. Se añadió también, en la parte superior de cada archivo, una declaración para recordarle a las personas que usan estos datos sus obligaciones sobre la licencia de uso de datos.
- En los viveros de Puerto Vallarta e Ixtlahuacán de los Membrillos, Jalisco, y de Agua Fría, Puebla, de maíz para sequía se obtuvieron 4,759 mazorcas individuales, 1,450 cruzas de prueba y 229 bulks (desgrane masal para incrementos y recombinaciones).
- En los materiales para calor se lograron 695 mazorcas individuales y 92 bulks, mientras que para el Complejo Mancha de Asfalto se obtuvieron 21 bulks y 180 cruzas de prueba.
- Respecto a los maíces azules, el esfuerzo de trabajo en viveros generó 4,902 mazorcas individuales, 350 bulks y 854 cruzas de prueba.
- Se avanzó con las dos poblaciones tropicales LT1 y LT2 bajo selección genómica calculando, a inicios de 2018, los GEBVs de un rango de caracteres e índices. Usando los datos genómicos, se seleccionaron entradas en base a los GEBVs para índices de desempeño bajo calor, sequía y condiciones de bajo nitrógeno. Se muestreó la semilla de las entradas seleccionadas y se registraron los entrecruzamientos realizados. Se formaron compuestos balanceados de estas entradas y se envió el material al vivero de PV para autofecundarlo; se completó el cuarto y último ciclo de selección por marcadores.
- Las dos poblaciones subtropicales ST1 y ST2 se sembraron para autofecundación en los viveros de invierno de PV. Se tomaron muestras de hoja de las plantas establecidas para aislar ADN y genotipificarlas. Los GEBVs para los índices de desempeño bajo calor, sequía y condiciones de bajo nitrógeno también se calcularon para estas entradas subtropicales y se hizo la selección en base a los valores de mejoramiento para completar un tercer ciclo de selección por marcadores.

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

- Se caracterizaron genóticamente con el método DArTseq 2,556 accesiones de trigo, que provinieron de accesiones del banco de germoplasma de CIMMYT y de materiales de premejoramiento generando más de 250 millones de datos.
- Para el análisis global de diversidad de trigo, se utilizaron los datos de más de 80,000 accesiones genotipificadas, de las cuales se identificaron más de 300 mil marcadores polimórficos de alta calidad. Cerca de 72% se alinean de forma única en los genomas de referencia y 50% están vinculados directamente a genes.
 - Mientras que en la mayoría de los estudios se utiliza solamente una referencia para alinear los marcadores, en Biodiversidad se alinean todos los marcadores con tres mapas de referencia: la última versión del genoma de referencia de trigo RefSeq IWGSC v1 (<https://urgi.versailles.inra.fr/download/iwgsc/>), el nuevo genoma de trigo duro (cv. Svevo) (<https://www.interomics.eu/durum-wheat-genome>) y el mapa consenso de DArT (www.diversityarrays.com).
 - Se dividió el estudio de diversidad global en tres grandes grupos, hexaploides (60,000 accesiones de siete especies), tetraploides (20,000 accesiones de diez especies) y parientes silvestres (4,206 accesiones de 30 especies).
 - Los estudios mostraron que en trigos hexaploides las líneas élite y los trigos sintéticos formaron grupos genéticamente distintos y muchas variedades criollas permanecen completamente inexploradas, lo que representa una gran reserva potencial de alelos nuevos para ser introducidos en programas de mejoramiento.
 - En los tetraploides, entre los resultados más destacados, se observó que en los programas de mejoramiento se tiene una representación disminuida de la diversidad alélica disponible, por lo tanto, este análisis ofrece una puerta de entrada para apuntar mejor y explorar germoplasma específico y diversidad genómica de relevancia para el mejoramiento.
 - Por lo que respecta a los parientes silvestres, los resultados mostraron una clara diferenciación de las especies a nivel del genoma y luego a nivel de subespecie, lo que demuestra el poder de la tecnología de marcadores moleculares en diferenciar material exótico.
- Se publicaron los datos genotípicos que cumplen con el período de liberación en la base de datos del proyecto MasAgro Biodiversidad, en el portal web seedsofdiscovery.org, y se encuentran a disposición de la comunidad científica conforme a las políticas de divulgación del proyecto quedando disponibles para su utilización en investigaciones e intercambio de conocimiento con científicos del CIMMYT.
- Está por concluirse el borrador del artículo científico “Diversity analysis of the world’s largest wheat germplasm collection(s) reveals key genetic drivers underpinning elite cultivars and their association with landraces and wild species” sobre el análisis de la diversidad global de trigo para enviar a publicación; el artículo “Harnessing genetic potential of wheat germplasm banks through impact-oriented-prebreeding for future food and nutritional security”, fue publicado en la revista científica Nature Scientific Reports.

- La participación en eventos científicos se realizó en diversos foros nacionales e internacionales, como en la PAG2018 (San Diego, EEUU), Día Internacional del trigo (Ciudad Obregón, CIMMYT), reunión Monogram (Norwich, Reino Unido), Science Week (CIMMYT, México), y en la reunión Borlaug Global Rust Initiative (Marrakech, Marruecos).
- En cuanto a evaluaciones fenotípicas, se sembraron más de 100 criollos de trigo en ambientes de riego, sequía, calor en Ciudad Obregón y en buenas condiciones en El Batán en la temporada inmediata. A partir de la evaluación fenotípica de los caracteres fisiológicos y del rendimiento de grano, se seleccionaron 15 materiales criollos; los tres mejores son: DGO95.5.26, MICH89.3.17 y DGO95.5.11.
- Se realizó la evaluación fenotípica de 320 materiales de premejoramiento avanzados (líneas F6 o más avanzadas) derivados de cruzamientos entre materiales élite y criollos, en tres diferentes condiciones, riego, estrés de sequía y estrés de calor en Ciudad Obregón, donde se pudo identificar 18 materiales para tolerancia a sequía y 11 genotipos para tolerancia a calor con ventaja en rendimiento sobre los testigos. Se identificó una línea para ambiente de sequía y calor, GID-8195138: INDIA-38/3/AT*TILA*2/PBW65//MURGA/4/BORL14.
- Varios de los genotipos de premejoramiento se han compartido con los fitomejoradores de trigo del INIFAP-Bajío e INIFAP-Ciénega, quienes evaluaron 100 materiales en tres diferentes localidades.
- La evaluación de materiales segregantes para seleccionar plantas tolerantes a calor se hizo en dos localidades, Ciudad Obregón, donde se seleccionaron plantas tolerantes a estrés de calor, y Toluca, donde se sembraron 306 líneas segregantes seleccionadas en calor, donde ahora se seleccionaron cerca de 75 plantas individuales tomando en cuenta su resistencia a roya amarilla y otras características agronómicas mediante selección en masa por población.

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

- Se impartieron siete talleres para el desarrollo de capacidades con la participación de 176 asistentes. Estos eventos se organizaron en colaboración con universidades, centros de investigación, asociaciones científicas y dependencias gubernamentales nacionales.
 - Tres talleres de la herramienta digital KDSmart se realizaron durante el año, dos en CIMMYT El Batán y uno en la Universidad de la Selva, en Ocosingo, Chiapas, con la asistencia de 55 participantes. En general todos los participantes manifestaron su conformidad con las funcionalidades de la plataforma y valoraron que sea gratuita y esté al alcance de todos.
 - Los talleres "Atlas Molecular, aprovechamiento de la diversidad genética y oportunidades de uso" y "Estudio de Asociación de Genoma Completo (GWAS, Genome-Wide Association Study)" se realizaron en un evento organizado por IPN-CIIDIR unidad

Guasave, Sinaloa, con motivo de la celebración de la semana nacional del medio ambiente. En estos talleres participaron 41 personas.

- Biodiversidad participó de manera activa en la organización, establecimiento y progreso del simposio “II Plant Breeding Symposium México 2018: Trascendencia del Mejoramiento Genético en la Agricultura: desafíos e innovaciones”, que se efectuó el 6 y 7 de septiembre en el CIMMYT. Este simposio forma parte de una serie de simposios internacionales diseñado por la empresa CORTEVA y estuvo liderado por estudiantes de COLPOS, Chapingo y UAAAN, registrando 146 estudiantes de 27 universidades y 38 investigadores nacionales e internacionales.
- Fue una experiencia enriquecedora para los estudiantes del COLPOS, la UAChapingo y la UAAAN, pues la complejidad de llevar a cabo un simposio internacional con recursos reducidos les brindó la experiencia necesaria para afrontar problemas similares en sus futuras actividades de investigación. Además, les permitió contactar, por sus propios medios, a investigadores de reconocimiento mundial, así como a colegas de todo el país para invitarlos a participar de este evento
- Durante este Simposio, se llevó a cabo el taller de "Fenotipificación, genotipificación y aprovechamiento de los Atlas Moleculares de Maíz y Trigo", un esfuerzo entre MasAgro-Biodiversidad y MasAgro-Trigo en que participaron 25 personas.
- Finalmente, el taller “Fenotipificación de trigo para la identificación de germoplasma con características pertinentes al cambio climático” contó con 55 participantes.
- Se publicó la convocatoria abierta para 2018 "Investigación colaborativa con recursos genéticos de maíz y trigo aprovechando los productos y resultados de MasAgro Biodiversidad” (<https://seedsofdiscovery.org/es/convocatoria-investigadores-2018>), invitando 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.
 - Se evaluaron nueve propuestas presentadas por investigadores mexicanos, de las cuales cinco fueron seleccionadas por el Comité Técnico de Evaluación para recibir los apoyos correspondientes, coaching, servicio de genotipificación, semilla de germoplasma, datos, herramientas de software, asesoría y capacitación en el análisis de la información genotípica, entre otros temas.
- Entre el 13 y el 14 de diciembre se mantuvo una reunión o taller con 10 profesores e investigadores representantes de seis universidades mexicanas en las instalaciones de CIMMYT, en El Batán, con varios objetivos, entre ellos: a) ofrecer apoyo de CIMMYT para agilizar el aprovechamiento de los productos de MasAgro Biodiversidad a corto, mediano y largo plazo; b) describir y discutir la utilidad de los productos de MasAgro Biodiversidad en el desarrollo de competencias de los egresados de sus programas educativos; y, c) compartir descripciones de las partes pertinentes de los currículos universitarios y elaborar visiones (para y por cada universidad) sobre cómo aprovechar estos productos.
 - La visión compartida en esta reunión fue que todo egresado de una carrera en Fitogenética o en uso de recursos genéticos debe haber conocer los temas abordados en la reunión y,


en el caso de estudiantes de posgrado, lograr varias competencias; hubo consenso general de que cada universidad explore la utilidad de los productos de Biodiversidad .

- En 2018, se publicó en el sitio web del proyecto la convocatoria para estudiantes de posgrado interesados en participar y tomar parte de las posibilidades que MasAgro Biodiversidad ofrece para apoyarlos en el desarrollo de sus tesis de maestría o doctorado (<http://seedsofdiscovery.org/es/convocatoria-a-estudiantes-masagro-biodiversidad-2018/>).
 - Tras ser evaluados por una mesa examinadora, se seleccionaron tres candidatos, uno de maestría y dos de doctorado, para formar parte del grupo de estudiantes.
- 11 estudiantes, ocho de doctorado y tres de maestría, realizaron investigación en temas con relevancia agrícola. Están inscritos en universidades mexicanas o extranjeras de primer nivel, como son el Colegio de Postgraduados (ColPos), Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Instituto Tecnológico de Roque (ITR), Universidad de Cornell, Universidad Estatal de Iowa y la Universidad de Texas A&M.
- El Dr. César Petroli, gerente de desarrollo de capacidades de MasAgro Biodiversidad, participó como conferencista en los siguientes eventos: “Magna Semana 2018 del Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Guanajuato” en Irapuato, Guanajuato; “Curso Regional de Capacitación en Mejoramiento Genético Enfocado a la Tolerancia de Diversos Tipos de Estrés Abióticos por Cultivos Agrícolas Obtenidos por Inducción de Mutaciones”, Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), en Ciudad Obregón, Sonora; “XXVII Congreso Nacional y VII Internacional de Fitogenética y de la Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.”, en Texcoco, Estado de México; y, en las conferencias realizadas como parte del 21 Aniversario de la Universidad Tecnológica de la Selva (UTecSelva), en Ocosingo, Chiapas.
- Se hicieron avances significativos en el desarrollo de herramientas de informática que permiten la generación y uso de datos y del conocimiento generado en MasAgro Biodiversidad y en colaboración con otras iniciativas similares.
 - Al inicio de 2018, se liberó una nueva versión de Germinate en ambiente de producción para facilitar el acceso a las nuevas características desarrolladas en el 2017. En un multiproyecto se definieron las necesidades de desarrollo de Germinate, las prioridades y su progreso en implementación mediante el uso de OpenProject, el cual permite elevar las necesidades de desarrollo y apoya reportando y enfocando la solución de “bugs” (fallos) y otros problemas encontrados en la versión de producción de Germinate.
 - Se añadieron por prioridades, 24 nuevas características a la versión en desarrollo de Germinate. Estas se pueden agrupar en cambios relacionados a la gestión de datos (licencia de datos, nuevas páginas, cuadros de base de datos más refinados, etc.), experiencia de usuario mejorada (características enfocadas en hacer descubrimientos, solicitudes, visualizaciones y exportaciones de datos relevantes más fáciles para los usuarios), y características relacionadas a la gestión de usuarios (gestión de grupos de usuarios y gestión del proceso de registro).
 - Aprovechando los comentarios de uso de los usuarios de KDSmart, se liberaron las versiones 2.0.79 to 3.0.29 que incluyen varias correcciones de errores y cambios para mantener la compatibilidad con las nuevas versiones de Android OS, incorporando la


- nueva base de datos KDSmart v3 que refuerza y expande el foco de operatividad con KDXplore.
- Se ha continuado la mejora de la herramienta KDXplore, liberando las versiones Beta 1.1.7 hasta 1.1.18. En combinación con la liberación de la versión 3 de la base de datos de KDSmart, la interface KDXchange de KDXplore se simplificó para facilitar la transferencia de ensayos y otros datos entre KDXplore y KDSmart en forma más amigable.
 - Se implementó una versión inicial de un curso de entrenamiento en línea de KDSmart en el “CIMMYT Learning Management System (LMS)”. Durante el año, el LMS y los cursos se han ido mejorando, culminando en el desarrollo del denominado “CIMMYT Academy learning site” y la liberación de un nuevo curso de KDSmart (<https://academy.cimmyt.org/>). El sistema rediseñado de aprendizaje (Learning System) les permite a los participantes aprender a cómo usar KDSmart a su propia velocidad y en un proceso paso a paso. Los participantes pueden salir y volver a entrar al curso y continuar donde lo dejaron.
 - Además de desarrollar el entrenamiento en línea, se trabajó en actualizar las páginas del catálogo de productos de Biodiversidad y del Atlas Molecular, se actualizó la información en el catálogo de productos incluyendo la lista de publicaciones y se actualizaron también ligas en las páginas del Atlas Molecular y del catálogo de productos a los casos de maíz y trigo que se encuentran en Germinate para asegurar el acceso a los visitantes.

4. MasAgro Trigo

Estrategia Internacional para Aumentar el Rendimiento del Trigo

 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.

-  94 líneas de trigo identificadas con características fisiológicas de potencial de rendimiento y/o resiliencia climática durante el ciclo OI 2017-2018.
- Tres líneas con características fisiológicas superaron el rendimiento potencial y/o tolerancia a condiciones de estrés abiótico (calor y/o sequía) de las variedades

locales en Sinaloa, Sonora, Baja California, Coahuila y Jalisco en la evaluación de INIFAP.

- 24 nuevas líneas superaron el rendimiento potencial y/o tolerancia a condiciones de estrés abiótico (calor y/o sequía) de las variedades locales en Guanajuato.
 - 50 nuevas líneas promisorias identificadas con alto rendimiento potencial y/o adaptabilidad al cambio climático se entregaron a INIFAP para su evaluación en seis localidades de México durante el ciclo OI 2018-2019.
 - 998 líneas avanzadas con resistencia a enfermedades y calidad de grano fueron identificadas y seleccionadas para conformar los nuevos viveros internacionales.
 - 1,092 líneas experimentales avanzadas fueron identificadas y seleccionadas por comportamiento agronómico y rendimiento para evaluarlas durante el ciclo OI 2018-2019 en Ciudad Obregón, Sonora (seis ambientes) y Roque, Guanajuato.
 - 22 artículos científicos, cuatro capítulos de libro y 17 participaciones en foros nacionales e internacionales durante el 2018.
-
- Se evaluaron 575 líneas repartidas en diferentes ambientes de interés (rendimiento potencial, sequía y calor) mediante el uso de fenotipado de alta precisión y plataformas de fenotipado aéreas durante el ciclo OI 2017-2018:
 - Se evaluaron, por primera vez, 150 líneas que conforman el ensayo HiBAP II (Segundo Panel de Asociación con Alta Biomasa, por sus siglas en inglés) bajo condiciones de rendimiento potencial. Se evaluaron casi 200 características agronómicas y fisiológicas. Se encontró variabilidad genética para la mayoría de las características y se identificaron 27 líneas de interés del ensayo HiBAP II sobresalientes por su alta biomasa, alto rendimiento, capacidad fuente x sumidero, resistencia a acame y/o densidad, que serán incorporadas en futuras cruza estratégicas. Además, se identificaron 22 líneas sobresalientes (alta biomasa, alto rendimiento, capacidad fuente x sumidero y/o fotosíntesis) procedentes de otros ensayos evaluados, incluyendo los evaluados en años anteriores de MasAgro-Trigo. En suma, se han identificado **49 líneas con características específicas de mayor rendimiento potencial.**
 - Con el fin de identificar líneas con mejor adaptabilidad al cambio climático, se evaluaron 600 líneas (425 líneas diferentes) repartidas en seis ensayos: tres ensayos bajo condiciones de sequía (Elite Pre Panel Sequía, Panel Sintéticos Sequía, CT Roots Sequía) y tres ensayos bajo condiciones de calor (Elite Pre Panel Calor, Panel Sintéticos Calor y CT Roots Calor). Se identificaron 29 líneas promisorias por presentar tolerancia a sequía y/o calor. Además, se identificaron 16 líneas procedentes de otros ensayos o de ensayos evaluados en años anteriores de MasAgro-Trigo en condiciones de calor y/o sequía. En suma, se identificaron **45 líneas con características específicas que les confieren mayor resiliencia climática.**

- Se realizaron 104 cruzas estratégicas repartidas en dos bloques de cruzamiento: 52 para ambientes de rendimiento potencial (CB WYCYT Y17-18) y 52 para condiciones de sequía y/o calor (CB SATYN SQ Y17-18). De las cruzas realizadas, **se obtuvo semilla de 97 familias que avanzaron a la generación F1, de las cuales 88 avanzarán a la generación F2** durante el 2018-2019.
- Con el fin de obtener nuevas líneas de trigo que acumulen caracteres de alto rendimiento potencial y/o resiliencia climática, **se programaron 128 cruzas estratégicas**, repartidas en 11 estrategias de cruza, que se realizarán el próximo ciclo OI 2018-2019 en Ciudad Obregón.
- **Continuó el avance de generación del material segregante en Ciudad Obregón (Sonora), Texcoco y Toluca (Estado de México)**. Durante el ciclo OI 2017-2018 avanzaron 213 familias/líneas en Ciudad Obregón (88 familias a la generación F2 y 125 familias/líneas a la generación F4). En Texcoco, se seleccionaron 87 familias/líneas que avanzarán a la generación F5 y 13 familias/líneas que avanzarán a la generación F4 durante el ciclo OI 2018-2019. En Toluca se seleccionaron 65 familias/líneas que avanzarán a la generación F4 durante el ciclo OI 2018-2019. Ambos avances de generación se llevarán a cabo durante el 2018 en Ciudad Obregón (OI), y, posteriormente, en Texcoco y Toluca (PV 2019)
- **Continuó la evaluación de los ensayos precandidatos y candidatos bajo condiciones de rendimiento potencial y/o sequía y/o calor en Ciudad Obregón (Sonora), Texcoco y Toluca (Estado de México)**. Durante el ciclo OI 2017-2018 avanzaron 160 familias/líneas del ensayo Cand 6° WYCYT y 100 familias/líneas del ensayo Cand. 9° SATYN en Ciudad Obregón. En el ciclo PV 2018, avanzaron en Toluca 32 familias/líneas del ensayo 6° WYCYT; en Texcoco avanzaron 14 familias/líneas del ensayo Pre-Cand 9° SATYN, 82 familias/líneas del ensayo Pre-Cand 7° WYCYT, 40 familias/líneas del ensayo Pre-Cand 11° SATYN y 49 familias/líneas del ensayo Pre-Cand 12° SATYN CAL. Como resultado, 382 líneas o familias continuarán el avance de generación en Ciudad Obregón durante el ciclo OI 2018-2019.
- **Se completaron las evaluaciones de los ensayos 5° WYCYT y 7° SATYN durante el ciclo OI 2017-2018 en seis localidades representativas de la producción del trigo en México** (Guanajuato, Sinaloa, Sonora, Baja California, Coahuila y Jalisco). Se identificaron tres líneas experimentales (dos líneas del 5° WYCYT y una línea del 7° SATYN) que superaron a las variedades testigos locales en todas las localidades, con la excepción de Guanajuato.
- **Se completaron las evaluaciones de los ensayos Cand. 5°WYCYT-MEX2017, Cand. 7°SATYN-INT2017 y CIMMYT CHECKS INT. 2017 durante el ciclo PV 2018 en Guanajuato**, donde se identificaron 24 líneas con rendimientos superiores a las variedades testigo que se utilizarán para evaluaciones posteriores.
- **Se conformaron los nuevos viveros 6° WYCYT (25 líneas + siete checks) y 8° SATYN (25 líneas + ocho checks)** con líneas promisorias identificadas con alto rendimiento potencial y/o adaptabilidad al cambio climático. Los nuevos viveros serán evaluados en colaboración con INIFAP en **seis localidades representativas de la producción de trigo en México** (Guanajuato, Sinaloa, Sonora, Baja California, Coahuila y Jalisco) durante el ciclo OI 2018-2019.

- **Se compartieron con INIFAP los viveros Cand. 6° WYCYT (160 líneas) y Cand. 8° SATYN (75 líneas)** que sirvieron de plataforma para la selección de los viveros internacionales 6° WYCYT y 8° SATYN **para ser evaluados en Roque, Guanajuato, durante el ciclo OI 2018-2019.**
- **Se compartieron con INIFAP cuatro viveros de material segregante** (12 líneas de F4BSAT+SYRWY 21, 24 líneas de F4 SATYNRWYLD, 12 líneas de F4 WYCYT YLD y 15 líneas de F4BWYC+SYNYL) que serán incorporados a la plataforma de evaluación y selección en **Roque, Guanajuato, durante el ciclo OI 2018-2019.**
- **Se identificaron 998 líneas sobresalientes que conformarán viveros internacionales** a partir de la **evaluación agronómica y de rendimiento de 1,092 líneas experimentales avanzadas evaluadas en seis ambientes diferentes** (riego completo en camas y en plano, sequía severa y moderada, y calor temprano y tardío en riego completo) durante el ciclo de cultivo OI 2017-2018 en el CENEB, Obregón, Sonora.
- Se evaluaron 1,647 líneas experimentales avanzadas por su resistencia a enfermedades (royas, septoriosis de hoja y fusariosis de espiga) y calidad industrial de grano durante el ciclo PV 2018 en Texcoco y Toluca. Con base en la información recopilada, **se seleccionaron 1,092 líneas experimentales avanzadas (1,170 incluyendo los testigos) que se evaluarán por su comportamiento agronómico y rendimiento** durante el ciclo OI 2018-2019 en seis ambientes diferentes en el CENEB, Ciudad Obregón. Además, esta selección también fue enviada al INIFAP para evaluación en Roque, Guanajuato durante el ciclo OI 2018-2019.
- Se difundieron los resultados obtenidos de las investigaciones de MasAgro-Trigo a través de la **participación en 17 foros nacionales e internacionales y de la elaboración de 26 textos científicos** (22 artículos y cuatro capítulos de libro).

Meta 4.2 Líneas de trigo identificadas con mayor rendimiento en las regiones agroecológicas relevantes del país.



- Ocho nuevos genotipos de trigos harineros y una línea de trigo duro superaron el rendimiento de los testigos entre 1% y 8% durante el ciclo OI 2017-2018 en campos de productores del Valle del Yaqui.
- 22 nuevos genotipos con interés para la cadena de valor del trigo fueron seleccionados para ser evaluados por productores en el Valle del Yaqui durante el ciclo OI 2018-2019.
- Inició la evaluación de 20 nuevos genotipos y dos variedades de temporal (Valles F2015 y Texcoco F2016) en el Hub Bajío de MasAgro-Productor durante el 2018.
- Inició la evaluación de 50 nuevos genotipos de harineros y 50 nuevos genotipos de duros en el Hub Valles Altos de MasAgro-Productor durante el 2018.
- 222 líneas sobresalientes de trigo seleccionadas serán evaluadas en el ciclo OI 2018-2019, de las cuales 18 son de especial interés para la cadena de valor y podrían ser candidatas a liberación.
- 1,170 genotipos (incluye líneas experimentales y testigos) fueron seleccionados por su resistencia a enfermedades y calidad de grano y fueron enviados al INIFAP

para evaluación por resistencia a enfermedades y calidad de grano en el ciclo OI 2018-2019 en diferentes ambientes.

- 235 genotipos seleccionados con base en caracteres relacionados a rendimiento potencial y estrés por calor y/o sequía fueron enviados al INIFAP para evaluación durante el ciclo OI 2018-2019.
- Se evaluó el comportamiento agronómico, rendimiento y calidad de grano de 24 genotipos (líneas experimentales y testigos) en campos de productores del **Valle del Yaqui** durante el ciclo OI 2017-2018. **Se identificaron ocho líneas de trigos harineros y una línea de trigo duro con interés para la cadena de valor de trigo** al haberse comportado mejor que los testigos y presentar entre 1% y 8% más de rendimiento. Además, se seleccionaron otros 27 genotipos (líneas experimentales y testigos) que se evaluarán en campos de agricultores de trigo del Valle del Yaqui durante el ciclo OI 2018-2019.
- Se inició la evaluación de rendimiento en condiciones de temporal de líneas experimentales y variedades de reciente liberación en la red de hubs de MasAgro-Productor. **Durante el ciclo de cultivo PV 2018 se evaluaron 20 genotipos** (líneas experimentales y testigos) del ensayo nacional de rendimiento para condiciones de temporal (22voERTHT) **en una localidad del Bajío** (El Aposento, San Felipe, Guanajuato). También se establecieron **dos parcelas de demostración con las variedades de temporal Valles F2015 y Texcoco F2106** en dos localidades del Bajío (El Aposento y El Sauz, San Felipe, Guanajuato).
- Se **envió semilla del Ensayo Nacional de Trigo de Riego en su modalidad Harineros (16voENTRI-Hari) y Duros (16voENTRI-Duros)**, cada uno conformado por 50 genotipos (líneas experimentales y testigos), **que se evaluarán por rendimiento, comportamiento agronómico y calidad visual de grano, entre otras variables, durante el ciclo OI 2018-2019** en una localidad del municipio de Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, la cual está incorporada a la red de colaboración del **Hub Valles Altos** de MasAgro-Productor.
- En colaboración con INIFAP, se completó la evaluación agronómica y fitopatológica de 1,395 líneas experimentales repartidas en cuatro viveros (PC-CIMMYT, CIMMYT Cand. 5° WYCYT MEX2017, CIMMYT Cand. 7° SATYN-INT2017, CIMMYT Checks Int. 2017) durante el ciclo de cultivo OI 2017-2018 en Roque, Guanajuato. Se completó también la evaluación agronómica y fitopatológica de 663 líneas experimentales repartidas en cuatro viveros (PC-CIMMYT, CAND 5° WYCYT, CAND 7° SATYN y CIMMYT Checks-Int. 2017) y tres ensayos (15vo ENTRI-Hari y 15vo ENTRI-Duros, 22vo ERTHT) durante el ciclo PV 2018 en nueve localidades de Tlaxcala, Estado de México y Oaxaca. Como resultado, se seleccionaron **222 líneas sobresalientes de trigo** (174 del PC-CIMMYT, 11 del 5° WYCYT, 19 del 15vo ENTRI-Hari, 12 del 15vo ENTRI-Duros y seis del 22vo ERTHT) que serán evaluadas en el ciclo OI 2018-2019, de las cuales **18 son de especial interés para la cadena de valor** y podrían ser candidatas a liberación (siete son de tipo harinero para condiciones de riego, cinco de tipo duro o cristalino para condiciones de riego y seis de tipo harinero para condiciones de temporal).
- Se **seleccionaron 1,170 genotipos** (vivero PC-CIMMYT, incluye nuevas líneas experimentales y testigos) que serán enviados al INIFAP para ser evaluados el ciclo de cultivo OI 2018-2019. Estas líneas fueron seleccionadas durante los ciclos de cultivo OI

2017-2018 y PV 2018 con base en características de resistencia a enfermedades y calidad industrial de grano. Adicionalmente, **se identificó un listado de 235 genotipos** (160 del vivero CAND 6° WYCYT y 75 del vivero CAND 8° SATYN) seleccionados durante 2017 y 2018 con base en caracteres relacionados a rendimiento potencial y estrés por calor y/o sequía que también serán enviados al INIFAP para evaluación durante el ciclo OI 2018-2019.

Meta 4.3 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.



- Una reunión con INIFAP, un panel de discusión y tres entrevistas con el sector privado se llevaron a cabo con el fin de generar una red inicial interinstitucional de actividades colaborativas en favor del fortalecimiento de la cadena de valor de trigo en México
 - Se identificaron estrategias para el fortalecimiento de la gobernanza de la cadena de valor del trigo en México.
 - Se obtuvieron 85.9 toneladas de semilla de trigo clasificada como semilla registrada o certificada de cinco variedades de trigos harineros y cinco variedades de trigos duros en campos productores de las regiones del Norte, Noroeste, Noreste y Altiplano de México durante el 2018.
 - Se iniciaron las actividades de multiplicación de semilla de 16 variedades de trigos harineros y duros en campos de productores del Noroeste, Noreste, El Bajío y Altiplano de México.
 - Se obtuvieron 1,050 kilogramos de semilla de categoría básica de las variedades Fuerte Mayo F2016 y Texcoco F2016 y 1,000 kilogramos de semilla original de las variedades Noreste F2018 y Río Bravo C2018.
-
- Se llevaron a cabo diversas actividades para generar una red inicial interinstitucional de actividades colaborativas en favor del **fortalecimiento de la cadena de valor de trigo en México**: reunión general de actividades colaborativas entre MasAgro-Trigo e INIFAP, realización de un panel de discusión en el 13 Simposio Internacional de Trigo y tres entrevistas realizadas a actores claves de la industria molinera (MUNSA Mills, CANIMOLT y Grupo Harinas de México).
 - Se completó una extensa revisión y análisis de datos históricos y variables determinantes de la cadena de valor de trigo y se preparó un **análisis FODA** (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) **sobre la cadena de valor de trigo en México**. A partir de este análisis, se identificaron estrategias para el fortalecimiento de la gobernanza de la cadena de valor de trigo, entre las que se encuentran: mapear las redes de innovación e investigación, instalar paneles anuales que cuenten con la participación de los representantes de todos los eslabones de la cadena, desarrollar capacidades institucionales en las asociaciones, federaciones y organizaciones de productores y procesadores, diseñar

fondos de financiamiento para la investigación y elaborar un catálogo de variedades de trigo en uso en el país, por mencionar algunas.

- Como resultado de las actividades de multiplicación de semilla realizadas durante el ciclo OI 2017-2018 en campos productores de las regiones del Norte, Noroeste, Noreste y Altiplano de México, **se obtuvieron 85.9 toneladas de semilla de trigo clasificada como semilla registrada o certificada** de cinco variedades de trigos harineros y cinco variedades de trigos duros.
- **Se iniciaron las actividades de multiplicación de semilla de 16 variedades de trigos harineros y duros** a realizarse durante el ciclo OI 2018-2019 en campos de productores del Noroeste, Noreste, El Bajío y Altiplano de México.
- **Se obtuvieron 1,050 kilogramos de semilla de categoría básica** de las variedades Fuerte Mayo F2016 y Texcoco F2016 y **1,000 kilogramos de semilla original de las variedades** Noreste F2018 y Río Bravo C2018 que, actualmente, se encuentran en proceso de registro ante el SNICS y serán liberadas una vez que se concedan los Títulos de Obtentor.

Meta 4.4 Capacidad científica aumentada mediante la selección y formación de científicos mexicanos con vínculos establecidos con la Alianza Internacional de Trigo.



- Un estudiante obtuvo el grado de Doctor por parte de la Universidad Austral de Chile en agosto de 2018, tres estudiantes de doctorado continuaron satisfactoriamente sus actividades de investigación y se incorporó una nueva estudiante de doctorado.
- Se realizó una capacitación a técnicos mexicanos para el fenotipado de trigo, con la participación de 51 técnicos mexicanos en las sesiones teóricas y 48 técnicos mexicanos en las sesiones prácticas.
- **Un estudiante obtuvo el grado de Doctor** de la Universidad Austral de Chile en agosto de 2018.
- **Tres estudiantes** que, con apoyo de MasAgro realizan sus estudios de doctorado en la Universidad Nottingham (Inglaterra), **continuaron satisfactoriamente sus actividades de investigación a lo largo de 2018**. Uno de los estudiantes se encuentra redactando la tesis y preparándose para su defensa, mientras que los otros dos concluyeron con éxito su primer año de estudios y, actualmente, se encuentran realizando las actividades de investigación y formación académica para el segundo año.
- En octubre **se incorporó una nueva estudiante de doctorado** a la Universidad de East Anglia (Norwich, Inglaterra) para realizar sus estudios en colaboración con CIMMYT y con el apoyo de MasAgro.
- Durante el 2018 los estudiantes de doctorado difundieron parte de los resultados obtenidos de las investigaciones de MasAgro-Trigo en distintos **foros de alcance nacional e internacional**.

- Los días 27 y 28 de **septiembre se realizó la cuarta edición del taller “Fenotipado de Trigo para la Identificación de Germoplasma con Características de Adaptación al Cambio Climático”**, con la participación de 51 técnicos mexicanos en las sesiones teóricas y 48 técnicos mexicanos en las sesiones prácticas.