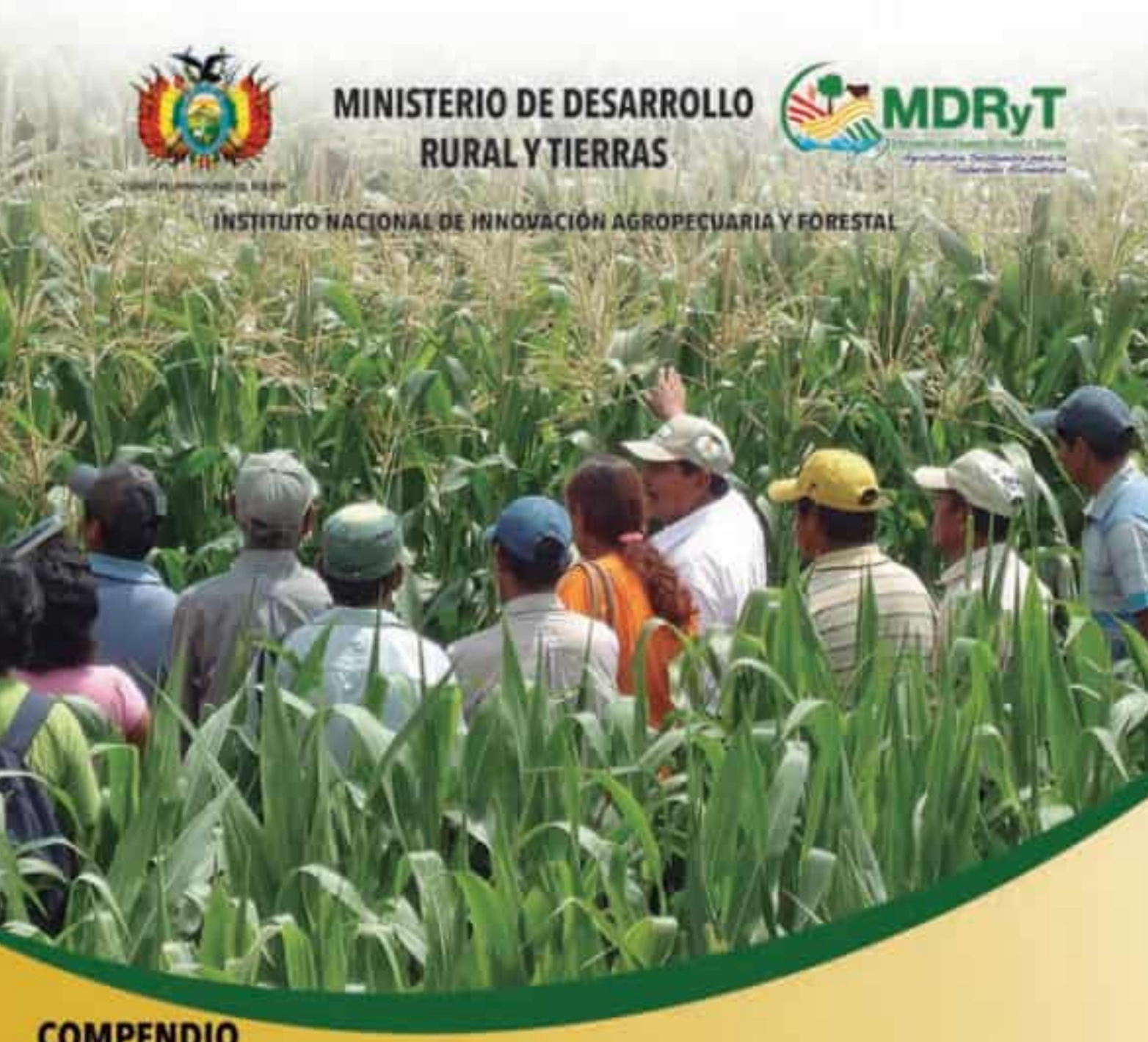
MINISTERIO DE DESARROLLO RURAL Y TIERRAS

MDRyT

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA Y FORESTAL



COMPENDIO

XXI Reunión Latinoamericana DE MAÍZ

Santa Cruz, 29 al 31 de octubre del 2015

DIRECCIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
PROGRAMA NACIONAL DE MAÍZ

INIAF

COMPENDIO

XXI REUNIÓN LATINOAMERICANA

de MAÍZ

29 a 31 octubre 2015

Santa Cruz, Bolivia

DIRECCION NACIONAL DE INVESTIGACIÓN

PROGRAMA NACIONAL DE MAÍZ

PRIMERA IMPRESIÓN 1000 EJEMPLARES
Diseño e Impresión: IMPRESIONES MASTER s.r.l.
ISBN: 978-99974-56-25-0
Depósito legal: 4-1-554-15 P.O.
Key title: COMPENDIO DE XXI REUNIÓN LATINOAMERICANA DE MAÍZ
© Copyright: 2015

Unidad de Comunicación INIAF

Los editores han sido cuidadosos de reproducir los artículos publicados en esta revista. Pero las ideas y opiniones de los artículos son de entera responsabilidad de los autores. Se permite la reproducción total o parcial por cualquier medio de los artículos de la presente Revista, con la debida autorización y cite de la fuente respectiva, se agradecerá el envío de un ejemplar.

DIRECCIÓN OFICINA CENTRAL: Calle Batallón Colorados No. Piso 16. Edificio El Cóndor. La Paz-Bolivia
Esta publicación cuenta con el apoyo del Banco Mundial en Bolivia

XXI Reunión Latinoamericana de Maíz

INSTITUCIONES ORGANIZADORAS

- Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, MDRyT
- Viceministerio de Desarrollo Rural y Agropecuario, VDRA
- Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, INIAF
- Dirección Nacional de Investigación
- Programa Nacional de Maíz del INIAF
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA
- Facultad de Ciencias agrícolas de la UAGRM de Santa Cruz
- Instituto de Investigaciones Agrícolas "El Vallecito" UAGRM de Santa Cruz
- Centro Internacional de ,Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT
- Centro de Investigación Agrícola Tropical de Santa Cruz (CIAT)
- PROYECTAGRO
- KOPIA Bolivia Center

COMITÉ CIENTÍFICO

- Ph.D. Bonifacio Mostacedo, Director del Instituto de Investigaciones "El Vallecito" UAGRM
- Ph.D. Juan Risi, Representante del IICA en Bolivia
- Ph.D. Luís Narro, Mentor Internacional del Programa Nacional de Maíz del INIAF
- Ph.D. Félix San Vicente, Coordinador de la Red Global para Latinoamérica, CIMMYT, México
- Ing. MSc. Pura Paz, PROYECTAGRO
- Ph.D. Tito Claure, Coordinador Programa Nacional de Maíz del INIAF

COORDINACIÓN GENERAL

- Ing. MSc. Carlos Osinaga Romero, Director General Ejecutivo del INIAF
- Ing. Hernán Meneses Sanabria, Director Nacional de Investigación del INIAF
- Ig. MSc. Gonzalo Herbas Meneses, Responsable Regional INIAF Chaco
- Ing. MSc. Rolando Cuellar, Responsable del INIAF Santa Cruz
- Ing. Carlos Marino, Profesional II en Agronomía del PN-Maíz del INIAF
- Ing. Daniel Saldaño, Profesional II en Agronomía del PN-Maíz del INIAF
- Lic. Jacqueline Fabiola Barrero, Comunicadora, INIAF Santa Cruz.

COMITÉ DE EDICIÓN DE LA MEMORIA

- Ing. Alvaro Otondo Maldonado, Responsable Unidad de Recursos Genéticos-DNI-INIAF
- Ing. Juan José Vicente, Profesional en Recursos Genéticos-DNI-INIAF

Contenido

XXI Reunión Latinoamericana de Maíz 3

Agradecimientos 6

Presentación 7

Objetivos de la XXI Reunión Latinoamericana de Maíz 8

PRESENTACIONES MAGISTRALES

Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal - INIAF 10

El rol de la innovación en la agricultura y el desarrollo sostenible 16

El proyecto Seeds of Discovery del CIMMYT 22

Mecanización del cultivo del maíz XXI Reunión Latinoamericana del Maíz 24

Mejoramiento poblacional del maíz amiláceo en la sierra del Perú. Implicancias en la conservación de la biodiversidad y utilización sostenible 27

Maíz híbrido, autofecundación y haploidía en la era pre-genómica 37

Challenges of a public maize breeding program in the "genomics era": the case of the Brazilian Maize Breeding Program from Embrapa (Brazilian Agriculture Research Corporation) 43

MINI CURSOS

Manejo eficiente de nitrógeno en maíz usando sensores remotos 55

Banco de germoplasma de maíz (*Zea mays)* de Bolivia manejado por el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, en Grin-Global 57

PRESENTACIONES ORALES

Desarrollo de maíz biofortificado en América Latina: avances y retos 64

Control de calidad en mejoramiento y productos alimenticios de maiz biofortificado 68

Análisis y proyecciones del rendimiento promedio de maíz amarillo duro en Ecuador y sus implicaciones para el mejoramiento genético en el INIAP 74

Generación de un híbrido simple de maíz para el trópico seco del litoral ecuatoriano 79

Corpoica Altillanura: primer híbrido de maíz amarillo (QPM) para la altillanura plana colombiana 84

Corpoica QPM Altillanura: descripción varietal de las lineas parentales constitutivas 90

Herramientas moleculares útiles para la conservación, el mejoramiento genético y la producción del maíz en Bolivia 94

Identificación de material segregante de maíz QPM del CIFP a través del uso de tres marcadores SSR: PHI112, UMC1066 y PHI057, para la identificación del gene *Opaco-2*..... 102

Calidad nutricional de poblaciones locales de maíz de la provincia de Misiones, Argentina..... 108

Mejoramiento de la calidad proteínica del endospermo del maíz para zonas bajas, intermedias y de valle 115

Mejoramiento integral de la producción de maíz morado en la zona alto andina..... 120

Mejoramiento integral de la producción de maíz morado en la zona alto andina..... 123

Evaluación agronómica y agroindustrial de dos variedades sintéticas de maíz morado *(Zea Mays L.)* desarrolladas para la zona central de la sierra ecuatoriana..... 129

Diversidad fenotípica del maíz en la sierra baja y media del Perú 134

Estabilidad fenotipica de siete variedades de maiz *(Zea mays L.)* en cuatro localidades del departamento de Cochabamba 140

Mejoramiento participativo del maíz blanco Quispicanchi con pequeños productores de Quispicanchi - Cusco, Perú..... 146

Evaluación de cuatro compuestos intra-raciales conformados en base a accesiones componentes de la misma raza de maíz..... 155

Cultivo de anteras en maíz para la obtención de plantas doble haploides..... 161

Selección familiar de medios hermanos en la variedad de maíz Waltaco para tolerancia a *Fusarium sp. (Chaqui Onghoy)* en el valle alto de Cochabamba..... 165

El uso del sistema de labranza cero y riego por goteo en la producción de maíz amarillo duro..... 170

Bolsas plásticas: control de la calidad de los granos almacenados..... 175

PRESENTACIÓN DE PANELES

Avances de investigación y proyecciones del Programa Nacional de Maíz del INIAF..... 182

Una semilla de maíz es la protagonista de un cuento sobre Conservación de los Recursos Genéticos 187

Generación de Híbridos para el Chaco y Trópico Boliviano. 191

Anexo..... 197

Agradecimientos a:

Ing. Marcelo Amaya Encinas	Director Nacional de Asistencia Técnica
Ing. Eddy Barreta Pinto	Responsable del SNIAF
Ing. Gonzalo Herbas Meneses	Responsable Regional INIAF Chaco
KOPIA	Bolivia Center
Ing. Victor Guerra	COFISAGRO de Santa Cruz
H. Félix Flores	Gobierno Municipal de la provincia Luís Vaca Guzmán
Ing. Carolina Limachi	Técnico del Municipio Villa Vaca Guzman
H. Victor Hugo Rojas	Gobierno Municipal de Sagrado Corazón
Ing. Cinthia Mamani	Gobierno Municipal de San Pedro
Lic. Fabiola Barrero Orrellano	Comunicadora de Asistencia Técnica

Presentación

La demanda de maíz en el mundo en los últimos años se incrementó de forma acelerada, el año 1995 fue de 558 millones de toneladas (mll t) y el año 2014 fue de 1,007 (mll t); es decir en los últimos 20 años se ha duplicado. Las razones para este cambio son el crecimiento de la población, los cambios de hábitos de consumo principalmente en países de alta densidad poblacional en el Asia y la producción de etanol en USA a partir del grano de maíz. Por esta razón es necesario todo tipo de esfuerzos orientados a la producción de maíz que incluya políticas, tecnología y acciones tanto de productores como de consumidores (Narro, 2015).

Actualmente a nivel mundial los principales productores de maíz son Estados Unidos y China; en Latinoamérica destacan; Brasil y Argentina. En el caso de Bolivia, el cultivo de maíz se constituye en uno de los cereales más importantes de la actividad agrícola y de la alimentación humana, las 400.000 hectáreas y las 750.000 toneladas de maíz que se producen anualmente generan alrededor de 150 millones de dólares y aproximadamente 100.000 empleos directos e indirectos.

En ese sentido el Gobierno Boliviano ha priorizado una serie de complejos productivos entre los cuales se encuentra el maíz, no solo para impulsar su producción primaria, sino también para promover el desarrollo industrial y su comercialización tanto en el mercado nacional como internacional, a través de diferentes ministerios.

Con estos antecedentes la XXI Reunión dio inicio con la presentación de las conferencias magistrales a cargo de profesionales internacionales, paralelamente se desarrollaron dos minicursos que se orientaron al cambio climático a través del uso eficiente de nitrógeno y Banco de Germoplasma en Bolivia. Por otra es importante destacar las exposiciones orales que abordaron diferentes temáticas como ser; mejoramiento genético, la biotecnología, calidad nutricional y el uso del sistema de labranza cero. Paralelamente se llevó a cabo una reunión con profesionales bolivianos para conformar la Red Nacional de Maíz y el Comité Nacional de Maíz, comité que quedó a cargo del SNIAF (Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal) por su rol aglutinante y de interacción. Entre otras actividades desarrolladas en el marco del evento, se expusieron paneles con trabajos científicos y stands con diferentes áreas temáticas relacionadas al maíz.

El segundo día del evento se realizó el acto de clausura a cargo del Ing. Carlos Osinaga Romero, Director General Ejecutivo del INIAF, el mismo que destacó la participación y aporte y de los expositores.

Finalmente, el tercer día se complementaron las exposiciones orales, complementando con una visita de campo y prácticas del uso del Greensecker en el Instituto de Investigaciones Agrícolas "El Vallecito", de la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno de Santa Cruz. Para concluir el evento se consenso entre los investigadores de maíz que la próxima Reunión Latinoamericana 2017 se realizará en Ecuador.

Objetivos de la XXI Reunión Latinoamericana de Maíz

Tito Claure Iriarte
Coordinador Programa Nacional de Maiz
tclaure@hotmail.com
Yacuiba, Bolivia

En 1995 Bolivia fue sede de la III Reunión Latinoamericana y la XVI de la Zona Andina de Investigadores de Maíz, organizada por el Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani (CIFP), con el apoyo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), el Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA), el Centro de Investigación de Agricultura Tropical (CIAT) y la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno de Santa Cruz, el evento se realizó en las ciudades de Cochabamba y Santa Cruz, del 20 al 24 de noviembre. Posteriormente y la última la XX Reunión Latinoamericana de maíz fue realizada del 11 al 14 de octubre 2004 en Lima, Perú.

Actualmente, el Programa Nacional de Maíz del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), ha coordinado con el Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (MDRyT) y decidido ser la sede de la XXI Reunión Latinoamericana de Maíz, a realizarse entre el 29 al 31 de octubre de 2015 en la ciudad de Santa Cruz-Bolivia, con la presentación de conferencias magistrales, mini cursos y posters científicos, dirigidos a un auditorio de más de 300 personas entre investigadores internacionales, nacionales, productores y estudiantes.

Objetivo de la XXI Reunión Latinoamericana de Maíz en Bolivia

- Difundir información científica del cultivo de maíz en Latinoamérica para el mejoramiento del sector.
- Integrar los esfuerzos científicos de los países de Latinoamérica.
- Mejorar la comunicación entre el sector científico y empresarial
- Resaltar la importancia económica y social de la innovación agropecuaria.

Agradecimientos

Agradezco al Director General Ejecutivo del INIAF, a las Direcciones Nacionales y al personal técnico del Programa Nacional de maíz, por la organización y apoyo por la realización de la presente reunión y a todos los investigadores internacionales, nacionales, productores y estudiantes, por la participación y presentación de tan importantes trabajos de investigación en los ejes temáticos; de germoplasma donde se evalúan accesiones con características especiales en el CIMMYT, Bolivia y otros países vecinos que muestran la gran variabilidad de accesiones como base para los trabajos de mejoramiento genético. La investigación sobre manejo eficiente de nitrógeno en maíz usando sensores remotos, tecnología utilizada por el CIMMYT mediante el sensor activo denominado Greenseeker que permite determinar la adición o no de nitrógeno al cultivo; las herramientas modernas, como la tecnología de dobles haploides que permite acortar el tiempo para formar híbridos y la selección genómica para la formación de maíces biofortificados ricos en pro vitamina A y Zinc, los científicos del CIMMYT señalan que aumentar el contenido de micronutrientes mediante la biofortificación ayudará a combatir el hambre oculta y, al mismo tiempo, a fomentar la saludad humana y el incremento económico. También quiero destacar la contribución importante de los investigadores latinoamericanos por su contribución en la investigación para la seguridad alimentaria.

Presentaciones Magistrales

Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal - INIAF

Ing. Ms.C. Carlos Osinaga Romero
Director General Ejecutivo del INIAF
coriniaf@gmail.com
La Paz, Bolivia

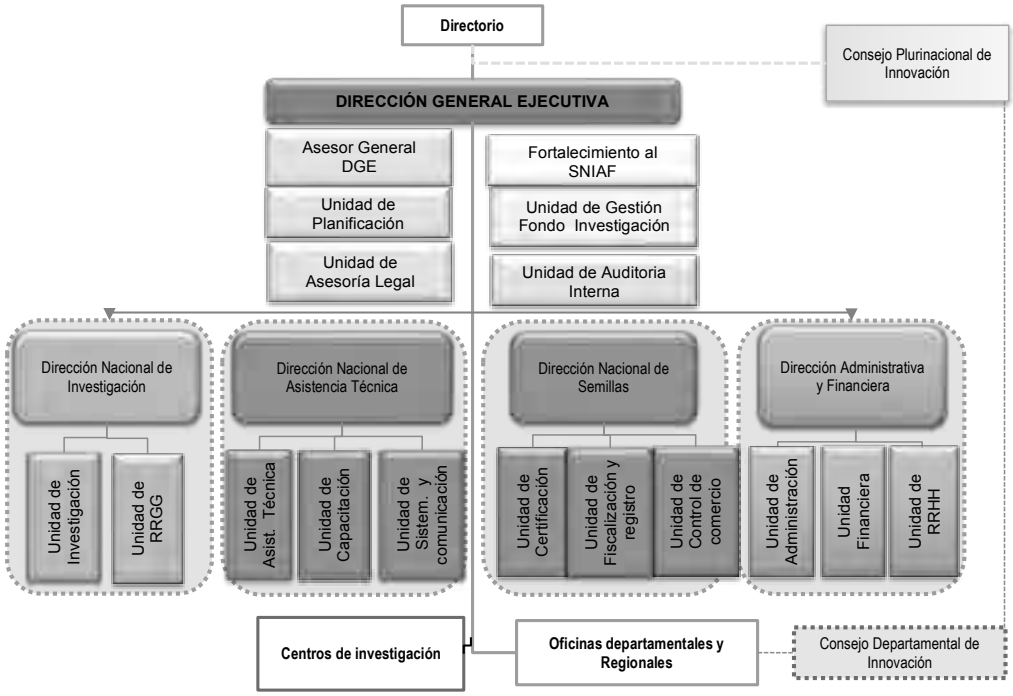
Antecedentes

El Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), fue creado mediante D.S. No 29611 de 25 de junio de 2008, es una institución pública bajo tuición del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (MDRyT), asimismo el Decreto Supremo N° 2454 de 15 de diciembre de 2015 define las funciones del INIAF, como la autoridad competente y rectora del Sistema de Innovación Agropecuaria y Forestal (SNIAF), que tiene los roles de regular y ejecutar la investigación, extensión, asistencia técnica, transferencia de tecnología agropecuaria, acuícola y forestal, la gestión de los recursos genéticos de la agrobiodiversidad y los servicios de certificación de semillas, con la finalidad de contribuir a la seguridad y soberanía alimentaria, en el marco del diálogo de saberes, la participación social.

Estructura Organizacional

La estructura organizacional del INIAF responde a un nivel superior conformado por los miembros del Directorio, que es la máxima instancia resolutiva y normativa que garantiza el cumplimiento de los objetivos de la institución. En el nivel nacional del INIAF cuenta con tres Direcciones Técnicas sustantivas y la Dirección Administrativa Financiera como área de apoyo, con sus diferentes unidades, oficinas a nivel departamental, regional y centros experimentales.

Figura 1: Estructura Organizacional del INIAF



Subproyectos del INIAF

A nivel nacional el INIAF interviene de manera directa en los 9 departamentos, cuenta con 66 subproyectos, bajo la modalidad de ejecución directa y aliados estratégicos. Del total de subproyectos, 16 corresponden a la Dirección Nacional de Investigación, 25 al Fondo de Investigación y 25 a la Dirección Nacional de Asistencia Técnica.

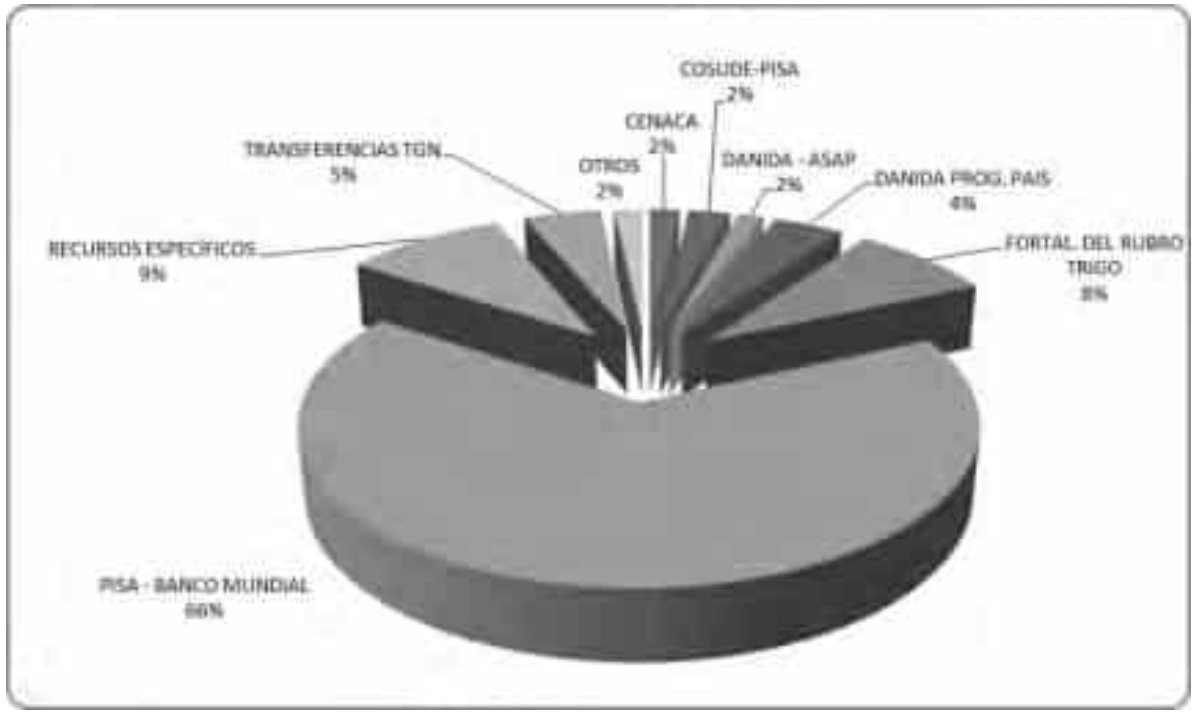
Cuadro 1: Areas de Intervención

Departamento	Fondo de Investigación	DNAT (AP)	DNI	Total General
Beni	3	1	1	5
Chuquisaca	2		3	5
Cochabamba	4	8	5	17
La Paz	5	5	1	11
Oruro	4	1		5
Pando		1		1
Potosí	1	1	1	3
Santa Cruz	4	2	4	10
Tarija	2	6	1	9
Total General	25	25	16	66

Presupuesto y Fuentes de Financiamiento (%)

El presupuesto de la gestión 2015 es de Bs.-192.907.101,71 de diferentes fuentes como PISA - Banco Mundial, DANIDA, TGN, Recursos Específicos, COSUDE-PISA, CENACA, entre otras fuentes de financiamiento y cooperación.

Gráfico 2: Presupuesto INIAF 2015



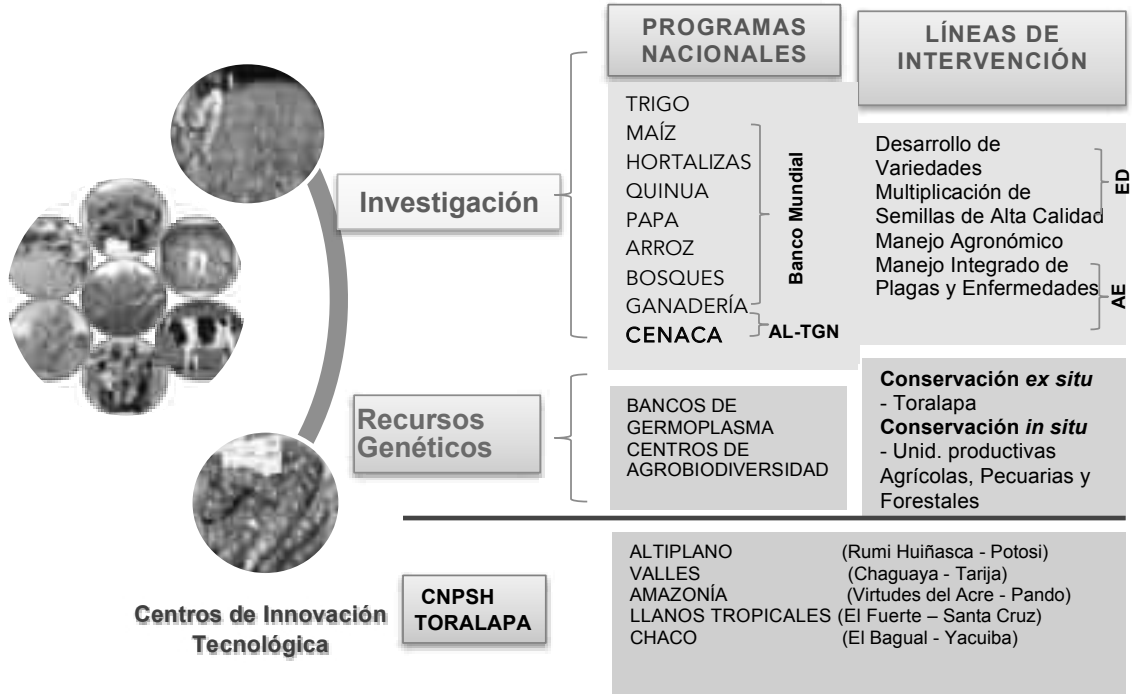
FUENTE: SISPOA 2015

Dirección Nacional de Investigación (DNI)

Es la instancia encargada de generar y promover la investigación aplicada, adaptativa y básica y desarrollo tecnológico moderno e incorporar los saberes locales y conocimientos ancestrales, así como la gestión de los recursos genéticos para contribuir en el mejoramiento de la productividad agropecuaria y forestal.

Entre los resultados destacados de la Dirección Nacional de Investigación, se pueden mencionar la obtención de cuatro variedades de trigo y dos híbridos de maíz, con rendimientos promedio superiores a 2 y 7 toneladas por hectárea, respectivamente. En lo referido a la gestión de los recursos genéticos del país, se incrementó a 16.565 accesiones de recursos genéticos de la agrobiodiversidad, conservadas efectivamente por el INIAF, una (1) colección de camélidos sudamericanos conservados en la modalidad *in vivo ex situ* y 2048 accesiones de raíces y tubérculos, forestales y pasifloras conservadas *in vitro*. Asimismo se cuentan con 32 centros de agrobiodiversidad para la conservación *in situ* de los recursos genéticos de la agrobiodiversidad.

Figura 3: Estructura de la Dirección Nacional de Investigación

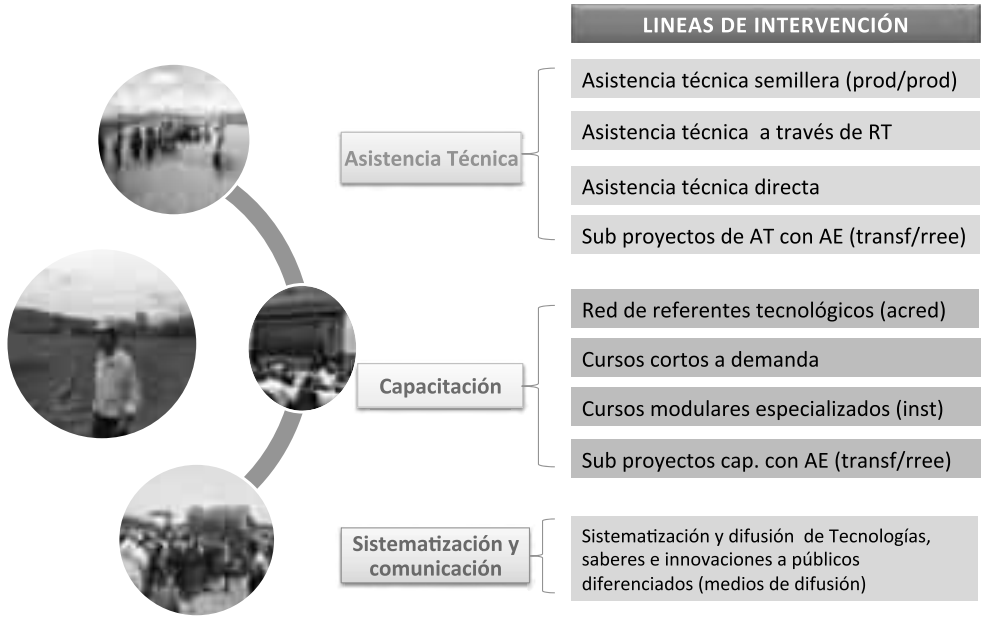


Dirección Nacional de Asistencia Técnica (DNAT)

Tiene como objetivo promover el fortalecimiento de capacidades de productores, promotores y técnicos a través de la asistencia técnica, capacitación y sistematizacón e información sobre la base de alianzas con los actores del Sistema. La estrategia de intervención del INIAF se enfoca en el aprovechamiento de las capacidades de los actores locales institucionales involucrados en desarrollo agrícola, pecuario y forestal.

Por su parte la Dirección Nacional de Asistencia Técnica, desarrolla eventos de capacitación directa alcanzando a beneficiar a la fecha 4.608 productores. Es importante señalar la ejecución de 25 subproyectos con aliados estratégicos y que benefician directamente a 18.596 productores.

Figura 4: Estructura de la Dirección Nacional de Asistencia Técnica

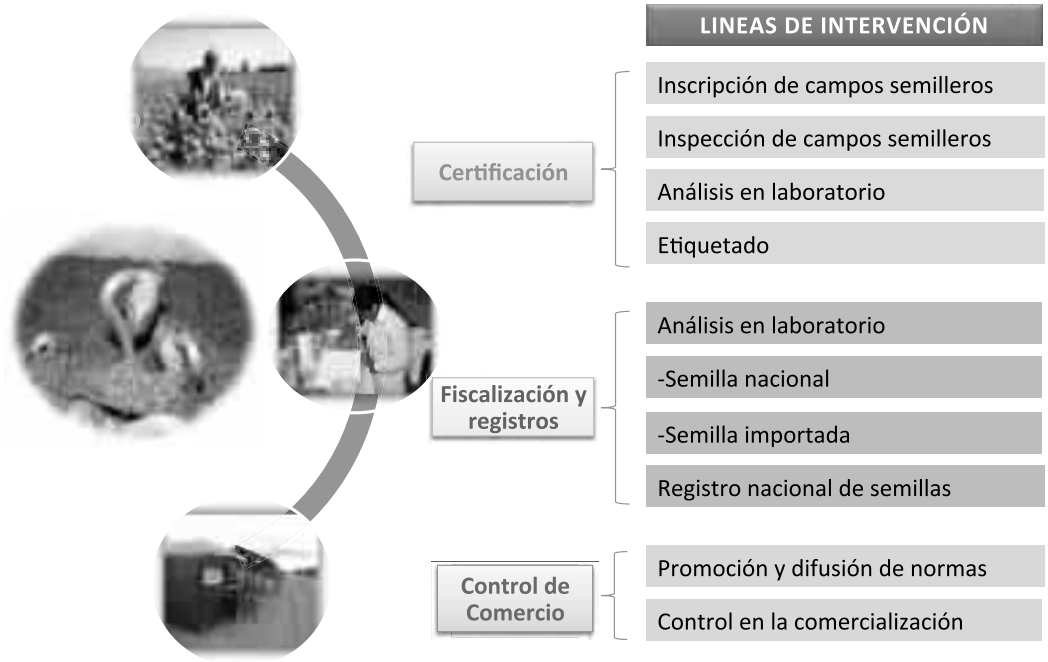


Dirección Nacional de Semillas (DISEM)

El objetivo es fortalecer, consolidar y optimizar las capacidades técnicas y operativas de los servicios de fiscalización y registro de semillas, en el marco del cumplimiento de normativas vigentes de forma adecuada y oportuna.

La Dirección Nacional de Semillas, certificó 115.517 toneladas en el 2014 en los nueve departamentos del país, por un valor estimado de 128.769.016 dólares americanos, superando en un 24% a lo planificado. Con relación a la superficie comercial sembrada en el país, se tienen reportadas 3.135.234 ha., de las cuales el 54% fue con semilla certificada por el INIAF.

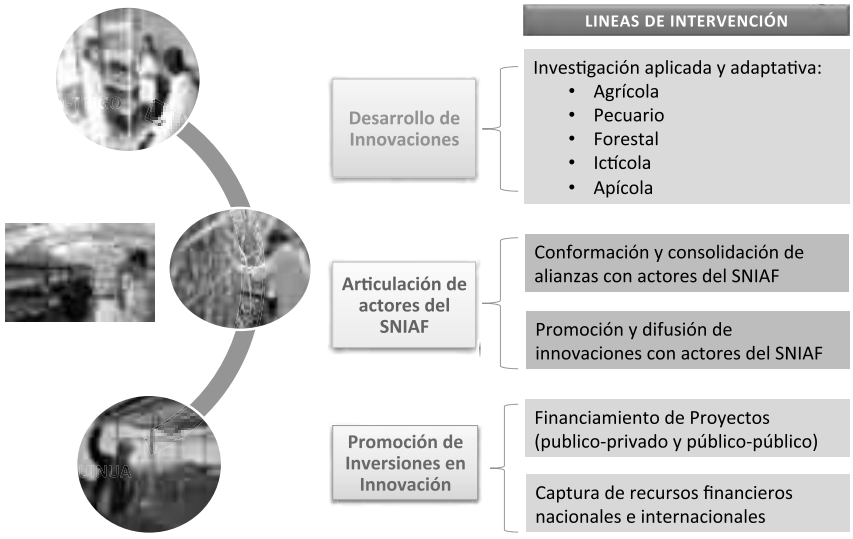
Figura 5: Estructura de la Dirección Nacional de Semillas



Fondo de Investigación

El objetivo es promover la investigación en rubros priorizados a nivel departamental y/o regional, para atender las demandas emergentes de pequeños y medianos productores, contribuyendo al desarrollo de innovaciones agrícolas, pecuarias y forestales, mediante el financiamiento de subproyectos de investigación aplicada, y adaptativa, ejecutados por aliados estratégicos dentro del marco del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (SNIAF).

Figura 6: Unidad de Gestión del Fondo de Investigación



Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal - SNIAF

El objetivo es promover la interacción y participación de los diversos actores de la investigación e innovación del sector, a través de la promoción de supproyectos colaborativos. Para lograr este objetivo se fortalecieron las capacidades del INIAF para gestionar y articular el SNIAF y se estableció el Fondo de Investigación.

Figura 7: Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal

Fondo de Investigación

El INIAF viene publicando material científico, trabajos de investigación, memorias de congresos científcos en diferentes rubros, manuales técnicos y normativa de consulta libre en la web (www.iniaf.gob.bo) como material impreso de distribución gratuita

Figura 8: Sistematización, producción y difusión de publicaciones

El rol de la innovación en la agricultura y el desarrollo sostenible

Juan Risi Carbone
Representante del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) en Bolivia

Resumen

La innovación está asociada con cambio, y es un proceso de transformación. En la era de la productividad y de la competitividad, la innovación está en el centro de las tareas de cualquier sector productivo. El potencial agropecuario de la región solo se ejercitará plenamente cuando las revoluciones de las TICs, biotecnológica y nanotecnológica y otras tecnologías, sean aprovechadas por los distintos actores. Una acción de corto plazo que debieran tomar los países, para promover la innovación en la agricultura es incrementar significativamente la inversión en investigación y desarrollo. En esta perspectiva, el fortalecimiento de los INIAs, la renovación y actualización de los cuadros de científicos y la modernización de la infraestructura, son fundamentales para poder mejorar la productividad y competitividad en la agricultura. La generación de los mecanismos idóneos para aprovechar los avances tecnológicos que ocurren en el mundo, como el establecimiento de alianzas, la implementación de mecanismos de vigilancia tecnológica y el desarrollo de mecanismos de integración regional y un ejemplo de ello podrían ser los Programas Cooperativos entre países o PROCIs, promovidos por el IICA. Un elemento relevante de la innovación en la agricultura está constituido por la investigación técnico científica. Actores protagónicos de los Sistemas Nacionales de Innovación Agroalimentaria son aquellos que generan investigación. Estos por cierto incluyen a los INIAs, las universidades, los centros de investigación, al sector privado y a las organizaciones de productores.

Palabras Clave: Innovación, Tecnología Agricultura, Sistemas

1. Introducción

Vivimos en la era de la innovación y esta no es ajena a la agricultura. En términos amplios, la innovación está asociada a los conceptos de cambiar, explorar, inventar, reinventar, crear, arriesgar y gestionar oportunidades. La innovación es un proceso transformador, que amplía la frontera de posibilidades de un determinado sector y en este caso nos enfocaremos en la agricultura. Las innovaciones son la fuerza que impulsa el crecimiento de los países en forma continua y una de las estrategias fundamentales de las empresas, sociedades y regiones para construir ventajas competitivas. Desde una perspectiva de las empresas, existen varios ámbitos potenciales para la innovación (productos, procesos, estrategias comerciales y diseño organizacional) y dos fuentes privilegiadas de ella: los desarrollos tecnológicos y los mercados.

Los nuevos gustos y exigencias de los consumidores, la segmentación de las demandas de los distintos grupos de la sociedad y el surgimiento a nivel mundial de nuevos sectores con mayor poder adquisitivo, son un impulso permanente de la innovación. También lo son las nuevas formas de hacer las cosas que ofrecen los avances tecnológicos impulsados por las revoluciones de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs), la biotecnología y la nanotecnología y que son favorecidas y estimuladas por la globalización. Un aspecto cada vez más importante de las tecnologías como fuente de innovaciones agroalimentarias es el representado por las crecientes y múltiples convergencias entre las tecnologías "info", "bio", "nano", geomática y otras ciencias emergentes.

Es así que "innovación" significa cambiar, explorar, generar valor, reinventar. A nivel mundial la transfor-

mación de la agricultura es cada vez más tangible. Las revoluciones tecnológicas están cambiando la forma de "hacer" agricultura, de promover la modernización sectorial y de medir el desempeño agropecuario. La innovación en la agricultura se desarrolla en mejores términos y expresa sus mayores potenciales de transformación a través de los sistemas nacionales de innovación agroalimentarios. También es posible hablar de sistemas regionales y hemisféricos de innovación, los cuales se ocupan de la globalización e integración tecnológica. En términos simples, tales sistemas de innovación pueden definirse como el conjunto de actores, interacciones y políticas tendientes a la creación y difusión de tecnologías e innovaciones que mejoren la productividad, la competitividad, la sustentabilidad y la equidad de las empresas y cadenas agroalimentarias. Esta conceptualización considera uno de los rasgos más característicos de la innovación, su naturaleza interactiva (IAASTD, 2009).

2. Los Sistemas Nacionales de Innovación Agroalimentaria (SNIA)

Un elemento relevante de la innovación en la agricultura está constituido por la investigación técnico – científica. Actores protagónicos de los Sistemas Nacionales de Innovación Agroalimentaria son aquellos que generan investigación. Estos por cierto incluyen a los Institutos Nacionales de Investigación en Agricultura (INIAs), las universidades, los centros de investigación, al sector privado y a las organizaciones de productores. El desarrollo de los SNIA es el marco en el cual debiera darse el reposicionamiento de la investigación agrícola, la modernización de los INIAs, y la convergencia e interacción de los distintos actores (OCDE, 2013).

Existe innovación, como proceso transformador de ideas creativas en aplicaciones que gran valor, cuando:

- Hay apropiación social.
- El conocimiento es llevado al mercado.
- Los nuevos desarrollos o cambios se traducen en: pensamientos o conceptos; productos o servicios; procesos; organizaciones; y técnicas o formas de hacer algo de manera distinta. Con el objetivo de crear cambios positivos que cumplen necesidades o metas de grupos de personas.

Según OCDE (2013), aunque la innovación puede ser pública y privada, dado el componente de riesgo que implica innovar, así como la necesidad de otorgar protección a la propiedad intelectual de los productos y procesos generados por la innovación, la política pública tiene un rol insustituible en desencadenar y/o fortalecer los procesos de innovación. La evidencia mundial muestra que los mercados de innovaciones presentan, importantes imperfecciones o fallas de mercado. En términos amplios, la política pública desempeña tres grandes roles:

a) disminuir o eliminar las barreras de entrada (por ejemplo, las representadas por los altos riesgos);
b) otorgar los marcos regulatorios de protección de la propiedad intelectual adecuada y
c) promover, en conjunto con el sector privado, el desarrollo de una cultura de la innovación y del emprendimiento.

3. El Rol de la Innovación en la Agricultura de las Américas

Los procesos de innovación ofrecen múltiples oportunidades y opciones para cambiar la forma en que se practica la agricultura, sobre todo desde una perspectiva ambiental y de la inclusión social. Es imprescindible incorporar más inteligencia y conocimientos a la producción y elaboración de los productos agropecuarios, a los procesos productivos, a las estrategias comerciales y a los diseños organizacionales. Sin embargo, no debemos dejar de lado el conocimiento de los agricultores y sus costumres. La innovación y la gestión del conocimiento tienen en estas tareas un rol preponderante. La economía agrícola de los países de las Américas, no obstante las altas tasas de crecimiento de los últimos años, crece menos que la economía en su conjunto. La brecha de productividad de la tierra se está incrementando al interior de los países y entre países del continente. En varios cultivos, como en algunos países, se ha entrado en una fase de disminución de la productividad de la tierra y en otros casos como los países del Caribe a una caída de ella. Es importante tener presente que las innovaciones no son neutras desde una perspectiva ambiental y de la equidad. Las innovaciones pueden inducir crecimiento productivo sustentable ambientalmente o generar deterioro y degradación de los recursos naturales. De similar modo, las innovaciones pueden generar inclusión

productiva o rezagos e incluso exclusión de amplios grupos de productores (IICA, 2012).

Estamos hablando, entonces, de propuestas propositivas, innovaciones integradoras, de aquellas que promueven un uso sustentable y responsable de los recursos naturales y de la inclusión social. Un muy buen ejemplo de esto último son los conceptos de las buenas prácticas agrícolas, las buenas prácticas del uso de las energías, el bienestar animal y de la responsabilidad social empresarial. Incorporando innovaciones se puede llegar a generar más y mejores alimentos y productos agrícolas no–alimentarios con la misma cantidad y calidad de recursos productivos (productividad). Desarrollando tecnologías más empáticas con el ambiente y buenas prácticas culturales podemos obtener una agricultura más sustentable (sustentabilidad). Innovaciones que puedan ser trasferidas más eficiente y rápidamente a los distintos actores de las cadenas productivas pueden ayudar a que las brechas tecnológicas entre los distintos grupos de productores disminuyan y se logre que el bienestar generado a partir de aquellas, sea aprovechado por grupos cada vez más amplios de productores agropecuarios, entre ellos los pequeños y medianos buscando de esta manera la inclusividad (IICA, 2012).

Todos estos aspectos facilitan que los productos agropecuarios puedan tener la calidad y los estándares necesarios para incorporarse y fortalecer su presencia en los distintos mercados, tanto nacionales como internacionales mejorando de esta manera su competitividad. En la época del conocimiento es muy difícil imaginar que se atiendan algunos de los principales retos de la agricultura sin incluir innovación. Es así que en el caso del cambio climático, no se pueden dejar de lado las exigencias que imponen la mitigación y la adaptación a este. En esta perspectiva, el mejoramiento de la eficiencia del riego y la reducción de la huella del agua, la creación de nuevas variedades de cultivos, el mejoramiento genético de las especies forestales, el manejo de suelos y de las épocas de siembra, el control de plagas y enfermedades de animales y vegetales, son ámbitos de la adaptación al cambio climático que requieren nuevas tecnologías y prácticas culturales que suponen un amplio espacio para el ejercicio de la innovación. Del mismo modo ocurre, con la mitigación a través de la innovación en los ámbitos de la medición y reducción de la huella de carbono y los necesarios desarrollos, transferencias y adopción de buenas prácticas agrícolas, ganaderas y de usos de la energía.

Otro aspecto importante a considerar es la seguridad alimentaria y en la demanda de producir más y mejores alimentos para los 7000 millones de personas que habitan actualmente la tierra y los 9000 millones que la poblarán el año 2050. Se requiere de una Nueva Revolución Agrícola, muy distinta en sus desafíos y en su paradigma tecnológico y organizacional, de lo que fue la revolución verde de los años 60s y 70s del siglo pasado. El núcleo del desafío tecnológico de la nueva agricultura es producir más y mejores alimentos y otros productos agrícolas no alimentarios a través de procesos productivos que generen menos gases efecto invernadero, usen más eficientemente el agua, ocupen básicamente la misma superficie de tierra, den respuesta a nuevos estrés bióticos y abióticos provocados por el cambio climático y estén sometidos a una mayor vigilancia de la sociedad en relación a las tecnologías utilizadas. Todas éstas son restricciones y exigencias a la producción prácticamente inexistentes en la época de la revolución verde.

En cada uno de estos aspectos, las innovaciones tienen un rol central e indiscutible. El desafío es, cómo desencadenar y/o fortalecer procesos intensivos y permanentes de innovación, de desencadenar círculos virtuosos de innovación. Un tema relevante a tener presente al respecto es la diversidad de actores que hacen parte de la agricultura y cómo se promueve la innovación en todos ellos. Parece del todo evidente, en esta perspectiva, que el nivel de sofisticación y envergadura de las innovaciones es muy diferente si se trata de la pequeña, mediana o gran agricultura. Igualmente es distinto si se consideran los actores agroindustriales. Muchas veces en el caso de la pequeña o mediana agricultura, las innovaciones más relevantes están asociadas al acceso y adaptación de tecnologías ya probadas; la incorporación de nuevas formas de hacer sus agronegocios, como es la agricultura de contrato; o mejoras en sus formas de realizar el manejo de sus predios (Banco Mundial 2007).

Actualmente diversos actores están impulsando y promoviendo políticas de tercera generación. Un primer aspecto es tener una política adecuada, con los recursos públicos y privados necesarios. Un segundo elemento relevante es disponer de los climas de libertad económica y de negocios que permitan expresar el espíritu emprendedor de los inversionistas y se constituyan en la base del desarrollo de una cultura de la innovación y del emprendimiento. Un tercer tema es la generación de los mecanismos idóneos para aprovechar los avances tecnológicos y las innovaciones que ocurren en el mundo, como el establecimiento de alianzas, la implementación de mecanismos de vigilancia tecnológica y el desarrollo y/o fortalecimiento de mecanismos de integración regional y un ejemplo de ello podrían ser los Programas Cooperativos entre países o PROCIs, promovidos por el IICA. Un cuarto tema es el desarrollo de sistemas nacionales de innovación agroalimentaria, con una gobernanza clara y una suficiente articulación con los sistemas de innovación nacionales. Si el desarrollo de la biotecnología, de las TICs, de la nanotecnología, de la bioeconomía en general y de otras ciencias emergentes tiene y tendrán más amplias e insospechadas aplicaciones en el desarrollo innovador de la agricultura en las décadas que vienen, la convergencia entre ellas no hará más que multiplicar tales aplicaciones y capacidades (IICA 2010b).

Baste con mirar, por ejemplo, lo que está ocurriendo en la actualidad con la bioinformática y los incipientes usos de la nanotecnología en la agricultura de precisión, a lo que se junta el uso de cultivos genéticamente modificados. A estas convergencias tecnológicas se sumarán otras nuevas, pues no cabe duda que estamos en las etapas tempranas de esta tendencia. Una acción de corto plazo que debieran tomar los países, sin demora, para promover la innovación en la agricultura es incrementar significativamente la inversión en investigación y desarrollo. En esta perspectiva, el fortalecimiento de los INIAs, la renovación y actualización de los cuadros de científicos, la modernización de la infraestructura de laboratorios, son fundamentales para poder mejorar la productividad y competitividad de las cadenas agroalimentarias. Las innovaciones tecnológicas requieren de importantes inversiones de capital y en talento humano. En este desafío, las alianzas entre los sectores público y privado debieran ser promovidas por los ministerios de agricultura en tareas específicas que reditúen en ganancias económicas y en el fortalecimiento de los procesos de innovación (Banco Mundial 2007).

4. El IICA y su apoyo a la innovación en la agricultura

El IICA tiene ya 73 años de fundado y en gran parte de su vida institucional ha ofrecido cooperación técnica en los temas relativos a la tecnología e innovación para la agricultura y ha apoyado activamente la estructuración de un Sistema Hemisférico de Tecnología e Innovación. El IICA ha impulsado el desarrollo de los programas colaborativos de integración tecnología como son los PROCIs, ejerce la Secretaría Técnica de FORAGRO y es socio activo del Fondo de Tecnología Agropecuaria FONTAGRO. Igualmente ha acompañado el desarrollo de los INIAs y ahora de los Sistemas Nacionales de Innovación Agroalimentarios. A la luz de las notables oportunidades que está experimentando la agricultura y la industria agroalimentaria de la región, y de los enormes desafíos que éstas tienen por delante, el IICA está asumiendo que la forma de apoyar las agriculturas de nuestro continente y el Sistema Hemisférico de Tecnología e Innovación, debe fortalecerse y actualizarse. El IICA está buscando, en conjunto con los países, potenciar el papel de la innovación en la agricultura asistiendo a los países en la formulación de sus estrategias y políticas; en la modernización de la institucionalidad; en el desarrollo de las capacidades nacionales; en la gestión y difusión del conocimiento; y apoyando la formulación e implementación de proyectos de inversión orientados al fomento de la innovación. También está buscando apoyar a los países en la movilización de recursos externos para contribuir hacer posible tal innovación, sobre todo en el ámbito de la modernización institucional. En el marco de su Plan Estratégico 2010 - 2020 y de los Planes de Mediano Plazo 2010 – 2014 y 2014 ‘2018, para asumir su compromiso con la innovación, el IICA está enfatizando su quehacer en el campo de la innovación institucional. Los notables cambios de la agricultura exigen proporcionales cambios en las instituciones nacionales, entendidas éstas como reglas, normas, regulaciones.

La innovación en las instituciones es, por lo tanto, un ámbito importante del desarrollo agroalimentario (IICA 2010a, IICA 2010b, IICA 2014).

En esta perspectiva el IICA, que también está en proceso de cambios y modernización, está promoviendo regulaciones que protejan adecuadamente las tecnologías, productos, procesos y recursos fitogenéticos a través de la gestión de la propiedad intelectual; está impulsando la armonización de normativas en el ámbito de la bioseguridad y de la producción orgánica; y está propiciando acercamientos efectivos y el desarrollo de agendas comunes entre los distintos actores de los sistemas nacionales de innovación agroalimentaria (centros de investigación, universidades y la iniciativa privada, entre otros). En el campo de la innovación en las organizaciones y los negocios, los distintos actores de los sistemas nacionales de innovación agroalimentaria están intentando adecuarse a estos tiempos de mayor incertidumbre y de mayores oportunidades y desafíos. En este contexto, el IICA está apoyando el desarrollo de redes y de alianzas que permitan el acceso a tales actores al conocimiento de frontera y de buenas prácticas en sus más distintos ámbitos; está propiciando el desarrollo de la gestión del conocimiento a través de distintos mecanismos; y está apoyando el desarrollo de nuevas formas de asociatividad de los productores y entre los distintos actores de las cadenas agroalimentarias. Del mismo modo promueve diferentes modalidades de fomento al emprendimiento, aspecto central en el desarrollo de procesos sostenibles de innovación (IICA 2014).

Una muy relevante fuente de los procesos de innovación en las cadenas agroalimentarias son los desarrollos tecnológicos y la investigación. En esta perspectiva, el IICA está promoviendo, para los países que lo demanden, el desarrollo seguro de la biotecnología asistiendo a los ministerios de agricultura en el desarrollo de la normatividad para los protocolos de bioseguridad, así como en los nuevos usos de los productos biotecnológicos agropecuarios; está apoyando el desarrollo y aplicación de tecnologías y de buenas prácticas para mitigar y adaptar las agriculturas del hemisferio al cambio climático; está impulsando la diversificación productiva para avanzar en la seguridad alimentaria; está promoviendo la articulación de los sistemas de extensión; está apoyando el desarrollo de los sistemas nacionales de innovación agroalimentaria y la modernización de los INIAs; y está acompañando el fortalecimiento y la renovación de FORAGRO, FONTAGRO y de los PROCIs (IICA 2010a, IICA 2014).

Cruzando los tres grandes campos señalados, el IICA busca desarrollar mecanismos que fomenten acciones orientadas a mejorar el uso de las tecnologías de información y conocimiento (TICs), por ejemplo, en la extensión para la agricultura (e-extensión), en la modernización de la institucionalidad pública; en el desarrollo de mercados agrícolas inteligentes; en la gestión de redes; en la gestión de la propiedad intelectual; en el desarrollo de observatorios de buenas prácticas de innovaciones; en el mejoramiento de los distintos ámbitos de la gestión de los agro negocios , etc. El constante desarrollo de procesos de innovación se sustentará cada vez más en las distintas revoluciones tecnológicas en curso y muy fundamentalmente en la convergencia entre ellas. Los análisis prospectivos son esenciales para que la región pueda estar en mejores condiciones para aprovechar estas nuevas oportunidades de innovación. Este es un aspecto que el IICA fortalecerá en los próximos años (IICA 2014).

5. Conclusiones finales

a) El mundo se apresta a una Nueva Revolución Agrícola, la cual será tecnológica y organizacional. Esta nueva revolución se sustenta en un nuevo paradigma tecnológico y en las nuevas demandas que vienen de los mercados y de las cadenas agroalimentarias. Tal revolución está transformando lo que hemos entendido por agricultura y la forma de practicarla, al tiempo que genera nuevos productos, servicios y riqueza.
b) En la era de la productividad y de la competitividad, la innovación está en el centro de las tareas de cualquier sector productivo. El potencial agropecuario y alimentario de la región solo se ejercitará plenamente cuando las revoluciones de las TICs, biotecnológica y nanotecnológica y otras tecnologías emergentes, sean aprovechadas por los distintos actores sectoriales.
c) Los desafíos de mitigación y adaptación al cambio climático, así como de la seguridad alimentaria, exigen desencadenar y/o fortalecer amplios e intensivos procesos de innovación. En este contexto se debe impulsar el desarrollo de una cultura de la in-

novación y del emprendimiento y el tránsito desde los sistemas nacionales de investigación agrícola a los sistemas nacionales de innovación agroalimentarios. En este proceso se debe fortalecer el conjunto de actores de tales sistemas, con especial atención a los INIAs.

d) En la sociedad del riesgo, un ámbito esencial de innovación es la gestión de los riesgos de distinta naturaleza. La agricultura del siglo XXI está siendo cada vez más una agricultura de los seguros y de las coberturas.

e) El IICA ha acopiado conocimiento (experiencias de éxito y fracasos en la innovación tecnológica y la transferencia) y tiene fortalezas para impulsar la innovación en la agricultura y en los territorios rurales, en tal sentido orienta su accionar en el apoyo al desencadenamiento y / o fortalecimiento de procesos autosustentables de innovación. El IICA puede también ayudar a identificar los espacios de oportunidades para la competencia leal en los mercados agropecuarios, para permitir focalizar las acciones de los países y definir mejor las tecnologías que deben desarrollarse.

f) Los mecanismos regionales de integración tecnológica que ha impulsado el IICA, también tienen un rol importante en la promoción de la innovación y en el acompañamiento de los ministerios de agricultura para implementarla.

g) Los gobiernos deberán invertir más recursos económicos en los institutos de investigación, en reconstituir los sistemas de extensión bajo nuevos enfoques y en la preparación de capital humano de excelencia para afrontar los actuales déficits de innovación en el sector agroalimentario. Es cierto que parte de la inversión en innovación (principalmente aquella vinculada a la investigación) tiene retornos en el mediano plazo, pero otra no necesariamente. En cualquier caso el desafío de una mayor inversión debe abordarse hoy; los enormes desafíos y notables oportunidades de las agriculturas del Hemisferio así lo requieren.

Bibliografía

- Banco Mundial. 2007. Enhancing Agricultural Innovation: How to go Beyond the Strengthening of Research Systems. Washington DC. Disponible en: openknowledge.worldbank.org/handle/
- 1098/7184 License: CCBY3.0IGO
- IAASTD (International Assesment of Agricultural Knowledge Science and Technology for Development). 2009. Synthesis report with executive summary: A synthesis of the global and sub-global IAASTD reports. Disponible en http://www.unep.org/dewa/agassessment/reports/
- IIASTD/EN/Agriculture%20at%20a%20Crossroads_Synthesis%20Report(English).pdf
- IICA. 2010a. Plan Ejecutivo 2010 – 2020. San José, Costa Rica
- IICA. 2010b. Plan de Mediano Plazo 2010 – 2014. San José, Costa Rica
- IICA. 2012. Situación y Desempeño de la Agricultura en América Latina y el Caribe desde la Perspectiva Tecnológica. San José, Costa Rica.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). 2013. Agricultural Innovation Systems: A Framework for Analysing the Role of the Governmemnt. OECD Publishing. Disponible en http://dx.doi.org/10.1787/9789264200593-en

El proyecto Seeds of Discovery del CIMMYT

Terrense Luke Molnar
Proyecto MAS AGRO, México
t.molnar@cgiar.org

Aunque hay más de 27 mil accesiones en el Banco Internacional de Germoplasma de maíz del CIMMYT, solo unas pocas de ellas son las que se utilizan por los fitomejoradores, y entre las muchas razones por las que se da este caso se tiene lo siguiente: 1) efectos negativos de ligamiento; 2) no quieren romper los bloques de ligamiento favorables; 3) problemas de adaptación, raíz débil, plantas muy altas y posición muy alta de la mazorca, bajo rendimiento en los ambientes objetivo; y 4) falta de información de los materiales que se encuentran en los diferentes Bancos de Germoplasma (BG). Con esto, uno de los objetivos del Proyecto Seeds of Discovery (SeeD), conocido en México como MasAgro – Biodiversidad (MAB), es cerrar la brecha que existe entre los BG y los programas de mejoramiento, lo cual se está consiguiendo mediante: A) la caracterización de los recursos genéticos que se encuentran en los BG, y B) el descubrimiento de alelos valiosos en el germoplasma caracterizado. Todos los datos genotípicos y fenotípicos, así como material genético para mejoramiento (líneas) se liberarán para uso público sin costo. El proyecto SeeD tiene también un componente de trigo, un componente molecular y un componente de desarrollo de capacitación aunque solamente nos enfocaremos en este escrito al componente maíz fenotípico y pre-mejoramiento. Este proyecto está siendo financiado principalmente por el Gobierno de México a través del CIMMYT-CGIAR.

Actualmente se está trabajando en cuatro áreas de gran importancia para México y el mundo, las cuales son:

1) Sequia durante la época de floración:

Se han evaluado más de 600 accesiones subtropicales y tropicales por dos años y tres localidades para rendimiento y respuesta al estrés de sequía a la floración. Ya se tienen poblaciones de retrocruzamientos (RC) de las mejores entradas subtropicales con líneas élite del CIMMYT (CML) y se van a evaluar 1,460 cruzas de prueba individuales de estas retrocruzas en cinco localidades en este Invierno 2015/16 tanto en riego como en sequía. Las mejores RC se cruzarán con otros probadores en el verano del 2016 y se tendrán en un segundo año de evaluación en el invierno 2016/17. En seguida, las mejores entradas de esta segunda evaluación se van a liberar como líneas en el verano del 2017. Las retrocruzas tropicales se probarán por primera vez como cruzas de prueba en el invierno del 2016/17, avanzandos las mejores entradas a un Segundo año de evaluación, con la eventual liberación de líneas en el verano del 2018.

2) Complejo Mancha de Asfalto (CMDA):

Se han evaluado unas mil accesiones para resistencia al CMDA, con las que se desarrollaron retrocruzas con líneas CML, teniendo actualmente más de 800 líneas en evaluación *per se* en dos localidades de México y dos de Guatemala. Las mejores RC de estas evaluaciones se van a cruzar con un probador en este invierno 2015/16, para evaluarlas de nueva cuenta para Resistencia al CMDA en el verano del 2016. Se van a liberar las mejores líneas a fines del año 2016.

3) Complejo necrosis letal del maíz (CNLM):

Se hizo una evaluación en invernadero confinado de mil accesiones inoculadas artificialmente con los virus MCMV (Virus del mosaico moteado del maíz) y SCMV (Virus del mosaico de la caña de azúcar). Estos son los dos virus componentes del CNLM. Se están formando poblaciones de mejoramiento con las mejores 30 entradas y se planea iniciar las evaluaciones de campo de estos materiales en el otoño del 2016 en Kenia, esperando liberar materiales con

nuevas fuentes de resistencia al CNLM a fines del 2017.

4) Maíz azul con alto contenido de antocianina:

Se evaluaron todas las accesiones del BG con color de grano azul o negro por su contenido de antocianinas. De ellas, siete accesiones subtropicales y tres de los Valles Altos con los más altos contenidos de antocianinas se cruzaron con líneas CML y se tienen en desarrollo poblaciones de mejoramiento provenientes de estas cruzas.

Por favor contacte al Dr. Terry Molnar t.molnar@cgiar.org *para recibir mayor información de estos trabajos o de otros aspectos del Proyecto MasAgro Biodiversidad (Seeds of Discovery).*

Este trabajo se hizo posible por el financiamiento del Gobierno de México, a través de la SAGARPA, del CGIAR, y donativos de DuPont-Pioneer y Kellogs.

Colaboradores

CIMMYT: Dra. Martha Willcox, Dra. Sarah Hearne, Dr. Juan Burgueño, Dr. Sam Traschel, Dr. Kai Sonder, Dr. Felix San Vicente, Dr. Mike Olsen, Dr. Charles Chen, Dr. Dan Jeffers, Dra. Monica Mezzalama, Dra. Denise Costich, Dra. Natalia Palacios.

INIFAP: Dr. Victor Vidal, Dr. Noel Gomez, Ing. Ernesto Sifuentes.

Mecanización del cultivo del maíz XXI Reunión Latinoamericana del Maíz

Ing. Agr. José Peiretti - INTA EEA Salta - Republica Argentina
peiretti.jose@inta.gob.ar

Las sembradoras de siembra directa

En los últimos años la evolución experimentada por estas máquinas en el mundo ha resultado ser de las más significativas, dentro del conjunto que compone la máquina agrícola. Cambiaron sus características técnicas y se modificaron las funciones que cumplen en el proceso productivo de los cultivos.

Además, el lugar que ocupa la sembradora en el equipo de maquinarias, es fundamentalmente diferente al que ocupaba en otras épocas, cuando inmediatamente luego del tractor se consideraban las herramientas de labranza. Hoy la sembradora ha ganado posiciones, y en muchos casos, se la considera y evalúa dentro de los primeros puestos en el conjunto de máquinas de la empresa agropecuaria.

A pesar de la relevancia que han tomado estas máquinas, queda aún un importante tema pendiente por solucionar en nuestro medio como es el de incrementar la eficiencia del equipo de siembra y bajar sus costos operativos. Este objetivo está íntimamente relacionado no solamente con la tecnología del equipo sino con la capacitación de la persona que la opera habitualmente. Ésta publicación intenta colaborar con ellos en un actual panorama de permanente cambios y avances tecnológicos en la maquinaria agrícola.

El proceso de siembra

Puede definirse la sembradora como una máquina que distribuye semilla en forma regular sobre toda la superficie o en líneas equidistantes a una profundidad uniforme, ofreciendo las mejores condiciones posibles de germinación para obtener un cultivo.

Después de la siembra las semillas deben sobrevivir con sus propias reservas hasta que, tras la germinación, los cotiledones emergen al exterior, la radícula se inserte en la tierra y, ya como plántula, puede realizar fotosíntesis. No todos los granos sembrados llegan a transformarse en plántulas y es por ello que la cantidad de semilla usada debe ser superior al número de plantas deseadas. La diferencia entre las semillas sembradas y las plántulas logradas es lo que llamamos eficiencia de siembra y expresamos este valor como un porcentaje.

Los factores básicos que determinan la eficiencia de siembra, además del correcto trabajo de la sembradora son varios, los más importantes son el poder germinativo y la energía germinativa de la semilla (determinados en laboratorio), el tipo y estado del suelo en cuanto a fertilidad y grado de humedad; también el clima que, principalmente a través de las precipitaciones y la temperatura, juega otro factor fundamental para el logro de las plántulas.

Existen otros factores que es preciso considerar como lo son enfermedades, plagas, características propias de la especie e incluso la variedad a sembrar, la forma de cultivo y el método de recolección.

Resumiendo, en la siembra intervienen cuatro factores: suelo, clima, semilla y equipo sembrador. La correcta preparación del suelo, semilla de alta calidad y la elección y regulación del equipo de siembra reúnen, en su conjunto, el paquete tecnológico necesario para realizar una implantación exitosa.

Una buena siembra comienza con la excelente preparación del suelo que, independientemente del tipo de labranza ya sea convencional, reducida o labranza cero, debe:

- Proveer buena humedad superficial para asegurar una germinación rápida y uniforme.
- Presentar una superficie del suelo apropiada, que facilite la infiltración del agua de lluvia e impida el planchado que afecta la emergencia de la plántula.
- Permitir a la sembradora colocar la semilla de manera uniforme y a una misma profundidad.

- Estar libre de malezas anuales y perennes, tanto para evitar la competencia con el cultivo por luz,
- Agua y nutrientes, como para facilitar las posteriores operaciones de cosecha.

Cualquiera sea el sistema que se utilice, éste debe lograr un ambiente adecuado para la germinación, emergencia rápida y buen crecimiento, primer paso para lograr al éxito del cultivo.

El cuerpo de siembra en la sembradora, es el conjunto de componentes que debe cumplir la tarea de distribuir la semilla, generar el surco, colocar la semilla adecuadamente, apretarla para que entre en contacto con el suelo y taparla adecuadamente. En las sembradoras de siembra directa, hay un componente más, que se encuentra en primera posición y que es el encargado de generar la micro labranza sobre la línea de siembra y que es la cuchilla rastrojera. Este componente es lo que diferencia a una sembradora tradicional de una sembradora de siembra directa.

Cuchillas rastrojeras o de microlabranza

Es el primer órgano activo a analizar dentro del tren de siembra. Su elección dependerá de las condiciones y tipos de suelo en donde se requiera trabajar. Es preferible utilizar cuchillas rastrojeras que produzcan una buena microlabranza de manera que faciliten el trabajo de los abresurcos y ruedas tapadoras. Como regla general, se podría recomendar, para el 70% de los casos, las cuchillas de ondulaciones tangenciales tipo turbo o siembra directa. Si la sembradora a adquirir pretende ser usada en distintas partes del país, situación usual en contratistas, se deberá pensar en optar por cuchillas rizadas (rippled o bubble). Dichas cuchillas permiten trabajar en suelos más pesados y con un mayor contenido de humedad subsuperficial, condiciones en las que las cuchillas de ondulaciones tangenciales se empastarían.

Es importante lograr una buena micro labranza superficial del suelo con las cuchillas rastrojeras. Esta micro labranza permitirá cortar la capilaridad ascendente de la humedad del suelo dándole a las semillas mejor captación de humedad (mayor agua útil) y una emergencia más acelerada y uniforme.

Por lo tanto, las cuchillas a seleccionar deberán ser de pocas ondulaciones, así se obtendrá un mejor corte del rastrojo, un mejor trabajo de los abre surcos (menor desgaste y mejor uniformidad de siembra) y una mayor micro labranza.

Por otro lado, controlar que la cuchilla rastrojera nunca trabaje a más de 1 cm por debajo de la profundidad de siembra. Caso contrario se estará cortando la capilaridad muy por debajo de las semillas e impedirá su contacto inmediato con la humedad del suelo. Además, se generarán grandes variaciones en la profundidad de siembra con la consecuente caída en el número de plantas logradas y des uniformidad en la emergencia. Tener en cuenta que la cuchilla no debería nunca ser usada para des compactar el suelo. Si ese problema existe deberá ser solucionado mediante el uso de técnicas apropiadas.

En cuanto al diámetro, acorde con la tendencia, es preferible seleccionar el mayor que la sembradora admita, entre 17 y 19 pulgadas, no solo para aumentar la vida útil (hasta 15") sino también, para mejorar el ángulo de corte del rastrojo y reducir el esfuerzo de rodadura de la cuchilla. Un aditamento que ayuda al trabajo de la cuchilla en situaciones difíciles de trabajo, como ser un alto volumen de rastrojo y suelo con alta adherencia, son los flejes contenedores al costado de la cuchilla. Estos, por un lado, funcionan como tenedor de rastrojo favoreciendo el corte, y por el otro, evitan que el suelo se levante al traccionar la cuchilla contra el suelo.

En el caso de ser necesario trabajar con humedad de suelo muy por encima de lo normal, será necesario levantar las cuchillas para evitar atoramiento y roturas agresivas en el suelo. En caso de ser necesarias, por ejemplo por alta presencia de rastrojo o por costra superficial del suelo, se podrá utilizar las mismas cuchillas turbo ubicadas de manera invertida. De esa manera realizarán un trabajo aceptable con el rastrojo y, debido a la posición de las ondulaciones, se autolimpiarán al traccionar en el suelo sin llegar a atorarse y/o a generar roturas agresivas del suelo.

Cosecha mecánica del cultivo de maíz

El punto principal a tener en cuenta es el trabajo del cabezal maicero. Dentro del mismo, una correcta

separación de las placas espigadoras, no separadas de mas, será fundamental para evitar que la base de las espigas toquen los rolos espigadores y se aumenten las perdidas por cabezal. De la misma forma, placas espigadoras demasiado cerradas, provocan el corte de las plantas y el aumento de las perdidas por cola de la maquina cosechadora. Tres puntos importantes cuando se controla el trabajo de una maquina cosechadora de maíz: Las pérdidas provocadas por una excesiva separación de las placas espigadoras, siempre hay que buscarlas en la línea del surco, escondidas entre la chala del maíz, ya que en general no están desparramadas en el entresurco. Segundo punto: cuando vemos trabajar a una cosechadora, por su cola tiene que salir solo marlo y chala. Si sale restos de planta entera, como por ejemplo caña, eso es síntoma de una mala regulación del cabezal. A su vez, lo que sale por la cola de la cosechadora, tiene que estar lo más intacto posible, es decir: los marlos tienen que salir sin granos adheridos, pero enteros. Ultimo punto: en el surco tiene que quedar el tallo del maíz, adherido al suelo y lo más entero posible. Si encontramos tocones cortados o plantas arrancadas, estos son síntomas de mala regulación del cabezal maicero y de la velocidad de avance de la maquina.

Para disminuir pérdidas durante la cosecha de maíz, el cultivo debe presentar uniformidad de diámetro de tallo y espiga, tener una caña sin daño de insectos y enfermedades, ausencia de vuelco, y en lo posible, una uniforme maduración. Esto último afecta más a la calidad de trilla, y por ende, a la calidad de grano entregado a la tolva de la cosechadora.

Todos estos factores, tienen que ver con la genética y el manejo del cultivo principalmente en la implantación donde es imprescindible disponer de una sembradora bien equipada y regulada; por lo tanto, en este informe se profundizarán los aspectos de manejo que condicionan la eficiente implantación (emergencia temporal y espacial uniforme).

Una vez maduro el cultivo, y con la cosechadora en el lote, la tarea de lograr trabajar por debajo de las tolerancias de pérdidas, es sencilla, si se cuenta con un buen cultivo, un buen cabezal y un excelente operario concientizado y capacitado para poner a punto del cultivo las regulaciones de altura del cabezal, posicionamiento de los puntones alzadores, velocidad del cabezal y su coordinación con la de avance de la cosechadora, apertura de las chapas cubre rolo (chapas espigadoras), etc.

También se deberá adoptar la velocidad de trilla y apertura de cóncavo, de acuerdo al diámetro de espiga y al grado de susceptibilidad al daño mecánico (genética y humedad de grano); en una máquina convencional queda limpiar y acondicionar los sacapajas, regular la apertura del zarandón y zaranda, como también, la velocidad del viento a las condiciones del cultivo, rendimiento, humedad, cantidad de material no grano y peso específico del grano.

Todo eso se debe conocer y regular en una cosechadora para acondicionar la regulación a la situación particular del lote.

Mejoramiento poblacional del maíz amiláceo en la sierra del Perú. Implicancias en la conservación de la biodiversidad y utilización sostenible

Ricardo Sevilla
Universidad Nacional Agraria La Molina
rsevillapanizo@gmail.com

Resumen

El mejoramiento del maíz en las tierras alto-andinas del Perú está orientado a la conservación de la diversidad y a la selección para aumentar la frecuencia de genes favorables responsables de la adaptación de las variedades a las condiciones limitantes de las regiones donde se cultiva el maíz, para mejorar la productividad y otros caracteres adaptativos. La selección se hizo con tres métodos de mejoramiento genético: masal (SM), mazorca-hilera modificada (SMH), y recurrente de líneas per se (LPS). Siete poblaciones se mejoraron con SM, ocho con SMH y una con LPS. La respuesta a la SM varió con la variedad o población: las variedades de la raza Cuzco Gigante no respondieron a la selección por falta de variancia genética aditiva. La respuesta de las otras poblaciones varió de 1.1 % por ciclo, en PMS-635 a 7.82 % por ciclo en la variedad Terciopelo. La SMH generó mayores ganancias: 9,45 % por ciclo en 8 ciclos en la variedad PMC-561; 6.1 % en cuatro ciclos de la variedad PMS-636 y 10.71 % por ciclo en 13 ciclos en la variedad PMD-638. En los casos en que no hubo ganancia por selección del rendimiento, se mejoró la precocidad y bajó la altura de la mazorca respondiendo a la selección por productividad en condiciones de Sierra alta. Las mayores ganancias se obtuvieron con la selección de líneas per se; un ciclo de LPS en la variedad Morocho Ayacuchano produjo un sintético que superó a la población original en 11.67 %. Los resultados mostraron la eficiencia de la selección poblacional, pero es necesario asegurar suficiente variancia genética en las poblaciones y usar técnicas que controlen la endocría y la recombinación en poblaciones muy heterogéneas. Los resultados nos han orientado a mejorar y conservar la diversidad a la vez y a la utilización sostenible de la diversidad de los cultivos.

Palabras claves

Caracteres adaptativos, selección masal, selección mazorca-hilera modificada, selección de líneas per se, endocría, recombinación, conservación de la diversidad, utilización sostenible.

Introducción

En el Perú, el maíz amiláceo se destina para alimentación humana. Desde muy temprano en el mejoramiento del maíz en la Sierra, donde están las tierras más altas del Perú, fue evidente la imposibilidad de usar híbridos para mejorar el rendimiento y otros caracteres adaptativos. Sin embargo, la heterosis de las cruzas entre razas es notable (Sevilla *et al.*, 1997), así como dentro de las razas (Cerrate y Sevilla, 1973 y Borbor, 1992). Sin embargo el germoplasma foráneo no puede usarse libremente porque los genes que le dan valor a las razas peruanas están en frecuencia muy alta en la Sierra del Perú y cualquier cruzamiento reduce la frecuencia con mucha dificultad de recuperar la calidad del grano.

En muchos países hay experiencias exitosas de selección poblacional para mejorar el rendimiento, principalmente con los métodos de selección masal y mazorca hilera modificada (Lonnquist, 1964). En los casos de selección masal, Hallauer y Miranda en 1981, consolidaron los resultados que permitieron concluir que solo en dos casos la ganancia fue mayor de 10%; todos los demás 17 casos mostraron una ganancia por ciclo menor de 5 %, aproximadamente la mitad de los casos mostraron una ganancia menor de 3%. En la selección mazorca-hilera, que es básicamente selección en base a familias de medios

hermanos, los resultados son mejores: Webel y Lonnquist (1967), 9.94% en cuatro ciclos de selección en la variedad Hays Golden; Paterniani (1967), 13.6% en tres ciclos de selección de la variedad Paulista Dentada; Romero-Franco (1968), 10.3% por ciclo en el Compuesto Tuxpeño durante tres ciclos; Darrah *et al.* (1972), obtuvieron una ganancia durante cuatro ciclos de selección de 8% en el Sintético Kitale II, 38 % en la variedad Ecuador 573 y 23 % en el Compuesto Kitale. Sevilla (1975) logró una ganancia de 9.45 % por ciclo en ocho ciclos de la variedad PMC-561. Hallauer y Miranda (1981) citan seis casos más con resultados menores. Experiencias anteriores con la selección recurrente basada en el comportamiento de líneas S1 per se, otro método de mejoramiento poblacional que se reporta en esta investigación, dan resultados contradictorios, desde 38.7% por ciclo hasta – 0.1 % (Hallauer y Miranda (1981), debido a que la efectividad de la selección de líneas per se depende de muchos factores de manera que los casos no pueden compararse con facilidad. Estos resultados son relevantes a la investigación porque el objetivo es mejorar el rendimiento y otros caracteres agronómicos simultáneamente de muchas variedades nativas y poblaciones en proceso de mejorar para elevar el nivel de productividad de la diversidad del maíz en la Sierra del Perú.

Materiales y Métodos

En el lapso de aproximadamente 50 años, desde el año 1960 hasta la década del 2000 se desarrolló el mejoramiento del maíz amiláceo en cuatro departamentos de la Sierra del Perú: Cusco (2,800 a 3,300 msnm); Ayacucho, de 2,400 a 3,000 msnm; Ancash, de 2,300 a 3,200 msnm; Junín, de 3,200 a 3,400 msnm. La orientación racial (Grobman *et al.*, 1961) predominó en la formación de poblaciones. En el Cusco se seleccionaron las variedades Blanco Urubamba y Amarillo Calca pertenecientes a la raza Cuzco Gigante (Sevilla y Quevedo, 1973); en Ayacucho se seleccionó la variedad Morocho Ayacuchano de la raza Morocho (Sevilla, 1988); en Ancash, las variedades Amarillo de Ancash, PMS-635 y Terciopelo pertenecientes a las razas Ancashino y Huayleño (Sevilla y Cerrate, 1976); en Junín, la raza San Gerónimo o PMV-662 (Sevilla y Fukusaki, 1971) y con la cruza de Blanco Urubamba por San Gerónimo se formó la variedad PMS-636 que se seleccionó con la misma metodología junto a dos variedades tolerantes al frío con una relativamente alta proporción de la misma raza San Gerónimo: Población C y Compuesto Choclero Precoz (Gamarra, 2004). Alfonso Cerrate y Hugo Sánchez formaron una serie de compuestos de la serie PMC-560 juntando todo el germoplasma parecido de varias razas nativas peruanas, los resultados del PMC-561 se presentan en este informe. En Caraz, Ancash se formó el compuesto

PMC-581 de maíz Morado (raza Kculli) y en Jauja se cruzó todo el germoplasma de la raza Chullpi, por la raza relacionada Patcho, de la Sierra de Ancash.

Las variedades desarrolladas en Jauja a 3,350 msnm dentro del proyecto de Mejoramiento de Maíz para Tolerancia al Frío, fueron descritas por Sevilla (2005). Cinco grupos germoplásmicos dieron lugar a cinco de las variedades que se seleccionaron poblacionalmente y cuyos resultados se muestran en este informe: PMS-636, Compuesto Choclero Precoz y Población C Tolerante al frío (Gamarra, 2004); PMD-638 (De la Cruz) y PMC-584, variedad formada con germoplasma peruano y foráneo (Lobe, 2000). La selección mazorca-hilera se aplicó cuando era necesario mejorar varios caracteres a la vez: entre familias para rendimiento y dentro de familias para mejorar el aspecto, la sanidad de la mazorca y los caracteres de evasión al frío (Evaristo, 1995).

El primer caso de selección masal aplicado en la variedad San Gerónimo o PMV-662 se hizo estratificando los ambientes como la diseño Gardner en 1961. Cuando se calculó el componente de la variancia fenotípica controlada por la variación entre estratos o ambientes (Sevilla y Fukusaki, 1971), resultó ser tan pequeño, 3.5%, que se cambió la técnica del control del error para aumentar la heredabilidad del rendimiento, adoptando la selección solo de plantas con competencia completa; la mejor planta dentro de una hilera de 10 plantas competitivas para tener una intensidad de selección del 10%. La selección mazorca-hilera modificada se aplicó como la diseño Lonnquist en 1964, excepto que en lugar de sembrar en diferentes localidades las repeticiones del experimento de familias de medios hermanos se sembraron en algunos casos, dos repeticiones primero en siembra normal y dos en siembra tardía (la interacción genotipo x época de

siembra es mayor a la interacción genotipo x localidad). En todos los casos se trató de seleccionar por rendimiento el 20 % de familias y dentro de esas familias se seleccionó por aspecto y sanidad de la mazorca, aproximadamente con un 25 % de intensidad de selección.

La respuesta a la selección por rendimiento se evaluó comparando los ciclos en experimentos con más de seis repeticiones. En todos los casos se guardó semilla de las poblaciones seleccionadas para probar los ciclos. En tres de los casos reportados se compararon por lo menos tres ciclos en los últimos ciclos de selección dentro del experimento de familias, replicando dentro de cada repetición, varias parcelas con semilla de la población polinizadora o macho de tres ciclos anteriores. En varios casos, se regeneró semilla de los ciclos con más de 200 cruzamientos planta a planta para uniformizar el poder germinativo de la semilla de los ciclos. Se usó el coeficiente de regresión lineal del rendimiento de la población (variable dependiente) sobre el ciclo de selección (variable independiente) y la ganancia se expresa en porcentaje por ciclo, siendo el ciclo 0 (CO) el 100 %. En PMV-584 que es una variedad choclera tipo Cusco, el rendimiento no fue el carácter principal; la selección fue para adaptación a zonas más altas y para mantener las características de la mazorca. Para probar la efectividad de la selección de líneas per se de Morocho Ayacuchano, se seleccionó per se las mejores líneas S1 en una generación, con la que se formó un sintético que se probó comparativamente con la población original en 13 diferentes localidades.

Resultados y Discusión

Se presentan por separado siete casos de selección masal (SM), ocho de selección mazorca-hilera modificada (SMH) y uno de selección de progenies de líneas per se (LPS). En el cuadro 1 se muestra la ganancia por ciclo, el número de ciclos y la intensidad de selección para rendimiento de los siete casos de selección masal y ocho casos de SMH . Los tres primeros casos realizados en Cusco, con dos de las variedades más productivas de la Sierra pertenecientes a la raza Cuzco Gigante: Blanco Urubamba y Amarillo Calca, no mostraron ninguna ganancia en cinco y cuatro ciclos respectivamente y un compuesto similar al Blanco Urubamba pero mucho más variable, PMC-561, mostró una ganancia de 3.8 % por ciclo en tres ciclos de selección. Salhuana y colaboradores en 1975 analizaron la variancia genética de la variedad Blanco Urubamba, concluyendo que la variancia aditiva del rendimiento y largo de la mazorca fue 0; casi toda la variancia fue no aditiva. La falta de variancia aditiva fue la causa principal de la falta de ganancia del rendimiento. Esa respuesta podría haber cambiado la estrategia del mejoramiento del maíz en la Sierra si antes Sevilla y Fukusaki (1971) no hubieran mostrado una ganancia considerable en cuatro ciclos de selección de la variedad PMV-662: 5.3 % por ciclo. En 1976, Sevilla y Cerrate publicaron los resultados de la selección masal aplicada en tres variedades de la Sierra de Ancash. La variedad Amarillo de Ancash se seleccionó durante 5 ciclos con una ganancia de selección por ciclo de 6.74 %; 4 ciclos de Terciopelo produjo una ganancia de 7.82 % por ciclo. Sin embargo el sintético PMS-635 derivado de Amarillo de Ancash, mostró una ganancia por ciclo de 1.1 %; el sintético se formó recombinando las mejores once líneas S1 de la variedad Amarillo de Ancash seleccionadas por habilidad combinatoria general.

Cuadro 1. Número de ciclos, intensidad de selección (IS) y Ganancia de selección (GS), de siete casos de Selección Masal y ocho casos de Selección Mazorca-hilera

Selección Masal				Selección mazorca-hilera				
Variedad	**Ciclos**	**IS**	**GS (%)**	**Variedad**	**Ciclos**	**ISF**	**ISM**	**GS (%)**
Blanco Urubamba	5	0.25	0	PMC-561	8	0.25	0.22	9.45
Amarillo Calca	4	0.25	0	PMS-636	4	0.20	0.25	6.1
PMC-561	3	0.25	3.8	Choclero Precoz	4	0.20	0.125	0.9
PMV-662	4	0.05	5.3	Pob C	3	0.18	0.175	0
Amarillo Ancash	5	0.10	6.7	PMD-638	13	0.28	0.18	10.7
PMS-635	3	0.10	1.1	PMV-581	4	0.25	0.20	18.4
Terciopelo	4	0.10	7.8	PMC-584	8	0.20	0.20	0
				Chullpi	5	0.20	0.20	5.25

ISF = intensidad de selección familiar; ISM = intensidad de selección aspecto de mazorca

Ocho ciclos de selección en la variedad PMC-561, mostraron una ganancia por ciclo de 9.45 %; cuando se probaron los ciclos en una siembra tardía (Diciembre) la ganancia por ciclos fue 11.24 %. Gamarra (2004), probó en tres localidades de la sierra alta la efectividad de la SMH aplicada en tres poblaciones, en el Valle del Mantaro a 3,3000 msnm. Encontró una ganancia positiva solo en PMS-636, una variedad formada después de dos ciclos de selección recurrente de líneas per se en condiciones de tierras frías (6.1 % por ciclo en cuatro ciclos de selección); las otras dos poblaciones, Compuesto Choclero Precoz y Población C, tenían muy amplia base genética. Sin embargo, las tres poblaciones se hicieron más precoces y las plantas más bajas aunque no fueron seleccionadas para esas características, o sea fue una respuesta indirecta. Los resultados de la SMH de esas tres poblaciones coinciden con lo mostrado por Stojsin y Kannenberg (1994), cuando analizaron una serie de caracteres para estimar la respuesta indirecta a la selección.

La selección es poco efectiva cuando los alelos que gobiernan caracteres adaptativos están en baja frecuencia. La probabilidad de que alelos con baja frecuencia se puedan perder en poblaciones pequeñas es muy alta (Simmonds y Smartt, 1999). De acuerdo a Edwards (2008), es necesario desarrollar mejores métodos de selección para reducir la depresión de endocría. Sin embargo, Márquez-Sánchez (1998) estimó que la endocría en la selección masal y la selección mazorca hilera es muy baja, menos de 7%.

La SMH en PMD-638 durante 13 ciclos resultó en un rendimiento superior en 128 % a la población original: 10.71 % por ciclo. Además del rendimiento se mejoraron otras características como el aspecto de la mazorca disminuyendo el % de mazorcas dañadas por heladas. La ganancia de selección no fue homogénea a través de los ciclos; en los primeros ciclos la ganancia fue negativa debido posiblemente a la importancia que se dio a la selección por aspecto y sanidad de la mazorca. En la selección del PMV-584 se puso atención preferente a las mazorcas que tenías 8 hileras como las mazorcas de la raza Cuzco Gigante. Se empezó la selección con un número muy bajo de familias que tenían mazorcas de 8 hileras (Pazo, 1999); se consiguió un aumento considerable en el segundo ciclo hasta 36.7% (Lobe 2000) y 56.7% en el tercer ciclo (Cerrate, 1999). Todavía no se evalúa la ganancia de selección para rendimiento, pero el incremento de la productividad de la población seleccionada a través de los años es una evidencia del mejoramiento de la adaptabilidad de la variedad a condiciones de Sierra Alta. El rendimiento de la población en la cosecha de Mayo de 1996 fue 6,993 kg/ha; en 1997 rindió 9,455 kg/ha y en 1998, 10,820 kg/ha.

La variedad Morocho Ayacuchano se mejoró seleccionando las líneas per se de primera generación de autofecundación. El sintético formado recombinando las mejores líneas se comparó con la variedad original en 13 localidades. El promedio de Morocho Ayacuchano fue 4.2 kg/ha y el del Sintético fue 4.69 kg/ha, 11.7 % superior.

Según Wardyn y colaboradores (2009), la selección recurrente de progenies endocriadas, que se suponía, en base a razones netamente teóricas, que era superior a métodos más simples como la selección masal y la selección recurrente de familias de medios hermanos, no ha demostrado en la práctica ser superior. Sobre-dominancia, epistasis y equilibrio de ligamiento pueden cambiar las predicciones. Cockerham y Matzinger (citados por Lamkey en 1992), encontraron que la selección de progenies de S1 y S2 fue superior a la selección de familias de hermanos completos. El efecto de la endocría en las líneas se ha exagerado porque en el mejoramiento de la habilidad combinatoria para formación de los híbridos las líneas con bajo nivel de endocría están expuestas a deriva genética cada vez que se aumenta la línea o se usa en la formación de los híbridos (Stojsin y Kannenberg, 1994); la superioridad de la SMH sobre la selección de líneas se debe posiblemente a los valores altos de depresión de endocría de éstas. Superado el efecto de la endocría, la selección de líneas per se es uno de los métodos más eficientes de selección (Weyhrich *et al*., 1998).

Conservación de la diversidad y utilización sostenible

Los resultados pueden orientar al mejoramiento y conservación de la diversidad a la vez y a la utilización sostenible de la diversidad de los cultivos. La diversidad del maíz se clasifica en razas; conservar toda la diversidad del maíz en una región significa conservar todas las razas de esa región y además conservar todos los alelos de por lo menos los caracteres adaptativos o sea los caracteres responsables de la adaptación a la región, aquellos que permiten a las poblaciones soportar todas las limitaciones propias del clima y suelo así como de los patógenos y otro factores limitantes bióticos de la región. Hasta ahora se puede concluir, por supuesto con muchas dudas y algunas excepciones, que 50 años después que terminó la publicación de la primera aproximación de la clasificación en Latina-América, las razas no se han perdido y siguen teniendo vigencia. Sin embargo, los factores que contribuyeron a ese caso notable de la conservación de la diversidad están desapareciendo o por lo menos se están debilitando: las culturas conservacionistas de Latinoamérica que habitan principalmente en áreas rurales, la acelerada urbanización acompañada del cambio de la dieta de los citadinos que consumen más productos elaborados y menos granos y productos nativos y la pérdida, aún en las áreas rurales, de los gustos y sabores propios de las especies propias de la región.

Antes de planear la conservación de la diversidad y su utilización sostenible debemos responde algunas preguntas: ¿Es suficiente la conservación ex situ o sea en bancos de germoplasma donde las semillas se conserven el mayor tiempo posible en condiciones controladas?; ¿Cuáles son los métodos más efectivos para mejorar las poblaciones conservando a la vez la diversidad de las especies?; ¿Cuáles son los métodos que erosionan menos la diversidad de la especie en una región?; ¿Qué se pierde cuando toda la diversidad cultivada de la especie se separa en compuestos raciales?; ¿Los compuestos raciales pueden servir como productos del pre-mejoramiento?; ¿Pueden coexistir en la misma región las razas nativas junto con los cultivares mejorados que gozan de demanda estable y mercados seguros?; ¿Cuál es el valor real de las razas nativas; podemos mejorar la demanda?; ¿Las variedades o razas nativas estarán más o menos expuestas a las amenazas del cambio climático?; ¿Pueden ser las razas nativas un componente importante del desarrollo?

Si la conservación de la diversidad de una especie significa la conservación de todas las variedades, incluyendo las mejoradas y las razas nativas de una región, es necesario mejorar toda la diversidad en su conjunto con métodos de mejoramiento recurrentes, evitando el cambio de la frecuencia de alelos de todos los genes responsables de otros caracteres, excepto los que condicionan el rendimiento. La conservación de la variabilidad genética de los caracteres adaptativos requiere que no haya un efecto indirecto de la selección por rendimiento que disminuya la frecuencia de los caracteres adaptativos y que si están correlacionados, la correlación sea positiva, en el sentido de que el aumento de rendimiento conlleve también el mejoramiento de los caracteres adaptativos. Stopsin y Kennenberg (1994) revisaron la literatura con relación a los métodos de selección recurrente, concluyendo que el método de selección mazorca-hilera modificada es superior a la selección basado en el comportamiento de las líneas per se, cuando se aplica una alta intensidad de

selección. Analizando los efectos indirectos de selección mostraron que no hubo ningún cambio en altura de planta, altura de mazorca y número de ramas de la panoja, pero si en número de días a la floración que disminuyó a medida que avanzaba la selección por rendimiento. También Darrah *et al.* (citados por Hallauer y Miranda, 1981), mostraron evidencias de la superioridad de la selección mazorca-hilera sobre la selección de líneas per se, por los altos valores de depresión de endocría de las poblaciones donde se extrajeron las líneas. Se puede presentar deriva genética, o sea el cambio al azar de frecuencias génicas en poblaciones pequeñas. Cuando la frecuencia de genes favorables es baja, la deriva genética puede impedir el avance de selección, resultando en depresión de endocría.

La deriva genética puede ser controlada recombinando un gran número de líneas en cada ciclo de selección. Márquez-Sánchez (1992) propuso muestrear más plantas de cada parental para disminuir la depresión de endocría; a mayor número de plantas por variedad que intervienen en el compuesto será mayor el rendimiento del compuesto debido a la menor depresión de endocría. Posiblemente sea este factor una de las ventajas de la selección mazorca-hilera porque la selección para caracteres generalmente de mayor heredabilidad que el rendimiento se hace dentro de la parcela con una intensidad de selección más bien baja, o sea muestreando bien la progenie de la familia de medios hermanos, generalmente seleccionadas por rendimiento. San Vicente y Sánchez (comunicación personal) estimaron la depresión de endocría antes y después de aplicar selección recurrente recíproca de hermanos completos. La endocría resultó en reducción del rendimiento, altura de planta y mazorca y un aumento significativo en días a la floración. Márquez-Sánchez y Sahagún-Castellanos (1994), sugieren una modificación para estimar la variancia genética en familias de medios hermanos, cruzando una planta hembra con 8 o más plantas del macho. Como eso se parece a la selección mazorca-hilera modificada en el sentido de que las familias que se prueban son progenies de una misma mazorca, podemos concluir que la estimación de la variancia aditiva es más precisa o sea es más utilizable que en el caso de familias obtenidas cruzando varias hembras por un macho.

La pregunta de cuantos padres dan el mayor rendimiento en poblaciones compuestas es contestada por Kutka y Smith (2007) quienes revisaron la literatura al respecto. Además ellos analizaron datos publicados de siete dialélicos con líneas y 14 con poblaciones, concluyendo que para sintéticos el de mayor rendimiento se obtiene con la recombinación de 5 a 8 líneas superiores y para compuestos la recombinación de 3 a 7 poblaciones. Esos valores son muy bajos y supuestamente serán afectados por la endocría en el proceso de continuar con la selección de esos sintéticos y compuestos a la luz de los resultados mostrados en esta investigación, donde los casos negativos o con ganancias muy bajas han estado generalmente asociados a baja o nula variancia genética aditiva (casos de las variedades de Cuzco Gigante: Blanco Urubamba y Amarillo Calca), o a la formación de sintéticos o compuestos con pocos progenitores, caso de PMS-635. En los casos de Población C, PMC-584 y Choclero Precoz, que también mostraron baja ganancia de selección, la razón fue la muy baja intensidad de selección por rendimiento, porque la prioridad fue por tolerancia al frío, adaptación a zonas alto-andinas y mantenimiento del tipo andino de mazorca y grano.

Hay la idea de que las poblaciones más diversas están mejor armadas para explorar los recurso ecológicos, o sea se adaptan más a condiciones más diversas incluyendo las limitantes de clima y suelo. Sevilla y colaboradores en 1980 demostraron que en condiciones marginales de la Sierra del Perú los compuestos respondían positivamente a la fertilización mientras que la respuesta de las variedades nativas fue casi nula.

La formación de compuestos es una práctica rutinaria aún en países donde el mejoramiento genético de plantas está muy avanzado (Kutka y Smith, 2007). Rincón y Ruiz (comunicación personal), mostraron la utilidad de los compuestos en el mejoramiento de las variedades nativas de maíz en México. El éxito de los compuestos está en la efectividad en que se recombinan los genes favorables. La máxima recombinación se consigue cuando los alelos aportados por diferentes progenitores están en equilibrio o sea cuando la fase de acoplamiento y repulsión se forman en igual frecuencia. Cualquier nivel de endocría que promueva la homocigosis tiende a fijar la com-

binación original de ligamientos (Simmonds y Smartt, 1999), o sea la endocría evita la recombinación. Por lo tanto los métodos que reducen la endocría son los que promueven también la recombinación.

Vencovsky *et al.* (1973) y Hallauer y Miranda (1981), presentan fórmulas que permiten predecir el valor promedio de un carácter cuantitativo en un compuesto formado por n progenitores. Tanto el rendimiento per se de los progenitores como la F1 de todos los posibles cruces son importantes. Sin embargo esas estimaciones suponen que el efecto de la epistasis es nulo, situación que ya no es posible suponer por últimas evidencias, la más notable, la de Dudley (2007) que explica el efecto de la ganancia de selección a largo plazo para contenido de aceite y proteína en maíz a la existencia de epistasis inter alélica. Esa situación cambia el concepto de la efectividad de los métodos de mejoramiento; no solo la aditividad debe ser considerada en el mejoramiento poblacional, también la epistasis o sea la interacción inter-alélica. O sea hay que considerar a los métodos que promueven la mayor recombinación posible porque eso conlleva a la formación de nuevas combinaciones de genes que se pueden mantener en el proceso de selección.

La limitación de los compuestos raciales podría estar en el uso de la heterosis. La heterosis es un fenómeno tan demostrado que no necesita más evidencias. Pero la heterosis se usa generalmente en híbridos de alta productividad que aprovechan al máximo el mejoramiento de las condiciones ambientales y tecnológicas propias de la agricultura moderna lo que ha impedido la conclusión que, como en el caso de la mula, la heterosis es más pronunciada bajo estrés (Troyer, 2006), o sea para adaptar las poblaciones a condiciones limitantes, la heterosis puede ser una buena estrategia. Se puede aumentar el rendimiento debido a heterosis en dos modos: más diversidad genética aumenta el área de adaptación de los híbridos y aumenta la heterocigosidad porque poblaciones de áreas geográficas distintas tienden a tener frecuencias génicas distintas, aumentando la heterosis por la mayor diferencia en frecuencias génicas de los progenitores de los híbridos o compuestos. Pero no se puede generalizar el hecho de que a mayor distancia geográfica de los parentales hay mayor heterosis; recientemente von Brocke *et al.* (2003) mostraron, usando marcadores AFLP en razas de milo (Pennisetum glaucum), que la variación entre poblaciones de una misma raza fue mayor que entre muestras de diferentes regiones. Es obvio que se necesita más investigación al respecto; se espera que la organización de la diversidad del maíz en compuestos raciales facilite las estrategias para usar al máximo la heterosis para darle a los nuevos cultivares la defensa contra todas las limitaciones que enfrentan las variedades de maíz en Latinoamérica.

¿Cuáles son los métodos que erosionan menos la diversidad de la especie en una región?. La mejor respuesta a esa pregunta viene de los proyectos de conservación in-situ que se están realizando en México, Perú y otros países. En el Perú la experiencia es contundente en demostrar que las variedades mejoradas de papa, oca y otros tubérculos y raíces nativas no desplazan a las nativas sino que permanecen en la mezclas de variedades como un elemento más de la diversidad. Sin embargo en áreas con menos fortalezas culturales hay siempre esa amenaza que depende de la calidad de las variedades mejoradas; se supone que a medida que mejoren las variedades mejoradas, será menor la posibilidad de conservar a las nativas. Los resultados de Xiu-Qiang Huang y colaboradores (2007) proporcionan una respuesta parcial a la pregunta. Los resultados de sus investigaciones muestran que el mejoramiento de plantas no ha resultado en la pérdida del número de alelos pero sí en cambio de frecuencia de los alelos. Queda todavía contestar a la pregunta de si esos cambios en frecuencia de alelos resultarán en la pérdida de alelos o sea la disminución de la variabilidad genética y consecuentemente la disminución de la diversidad genética.

Antes de discutir la mejor estrategia de conservación y utilización paralela de la diversidad del maíz es necesario precisar algunos conceptos sobre el verdadero valor de la diversidad. El maíz se originó en México y casi todo Latinoamérica es un centro de diversidad (Goodman y Brown, 1988). En los centros de origen o diversificación de las especies, el número de alelos o formas distintas de los genes es mayor; además los caracteres, sobre todo los adaptativos son muy variables. Los caracteres de valor de las especies son gobernados por uno o varios

genes, pero generalmente un solo alelo de cada gen es el responsable del mayor valor; por esa razón los alelos responsables de los caracteres de valor generalmente están en baja frecuencia. La mejor manera de captar esos alelos es colectando muestras representativas de semilla de los agricultores que son los que conservan las variedades nativas. Ya se hizo eso en Latinoamérica y se clasificó toda la diversidad captada en esa forma y casi todos los países mantienen todavía las razas clasificadas en la década de 1950. En esa época no estaba bien definida la técnica de colección por lo que se supone que no se logró captar toda la diversidad. Pero se hicieron más muestras de semilla que las necesarias, por lo que si se juntan todas en un compuesto lo más probable es que se tenga todos los alelos de todos los caracteres adaptativos y de valor. Actualmente la forma de hacer la colección está mejor definida genética y estadísticamente (Marshall y Brown, 1975; Crossa, 1989; Brown y Marshall, 1995; Crossa y Venkovsky, 1999): el tamaño de la muestra depende principalmente del alelo que se encuentra en menor frecuencia; en la práctica una muestra de 100 individuos puede captar alelos que se encuentran en una frecuencia de 5%. Es materialmente imposible durante la colección captar todos los genotipos posibles que se encuentran en las variedades. Según Marshall y Brown (1983), el reto es definir un procedimiento de muestreo que capte la mayor variación genética útil con un limitado número de muestras.

El beneficio más obvio e inmediato del compuesto racial es que cancela la endocría que se supone es muy alta en la semilla del agricultor, por lo menos en las razas nativas de áreas de agricultores pequeños. Sin embargo los compuestos raciales tienen que ser recombinados mucho más que los sintéticos o poblaciones avanzadas donde los alelos buenos están en alta frecuencia. El equilibrio de ligamiento en poblaciones antiguas junta alelos buenos de un gen con alelos malos de otro gen, lo que la selección recurrente tiene que ir solucionando progresivamente. Para eso se necesita un método que maximice la recombinación. En la primera etapa debe ser un método de selección poblacional para, aumentar la frecuencia de alelos favorables, juntar en sectores cromosómicos ligados los alelos buenos de caracteres adaptativos, homogenizar los caracteres de valor y evitar la endocría. Progenitores con esas características son los que pueden sacar máximo provecho a la heterosis para lo que será necesario definir los patrones heteróticos para lograr la máxima productividad manteniendo homocigotas los caracteres de valor y los alelos de genes responsables de caracteres adaptativos en alta frecuencia.

Una primera conclusión sobre lo que mantienen los bancos de germoplasma es que las muestras de semilla, como se colectaron de los agricultores, tienen un nivel alto de endocría, porque en general los agricultores usan pocos progenitores para pasar de una generación a la siguiente y porque generalmente se colectaron muestras pequeñas. Por lo tanto, para que el germoplasma guardado en los bancos tenga algún valor, debe recombinarse las muestras de la misma raza dentro de una región. Aun así los alelos deseables estarán en baja frecuencia por lo que será necesario seleccionarlos para tener los alelos buenos en acoplamiento, aumentando por asociación la intensidad de selección. La principal fortaleza requerida del método de mejoramiento es que permita la máxima recombinación. Las evidencias experimentales que favorecen a la selección mazorca hilera modificada como uno de los métodos más eficientes, junto con el requerimiento de que debe ser uno que maximice la recombinación, lo recomiendan para los fines de mejorar y conservar a la vez la diversidad. Sin embargo hay que tomar en cuenta que si se quiere mejorar a la vez toda la diversidad será necesario hacer participar a los agricultores en el mejoramiento de sus propias razas; el mejoramiento participativo es incompatible con el uso de registros y el control de la polinización (sin embargo el despanojamiento sí es una técnica fácilmente aplicada por el agricultor). El no usar repeticiones disminuye la heredabilidad de las características deseables y por lo tanto la ganancia de selección para rendimiento será más lenta a través de generaciones; posiblemente se pierda también estabilidad a través de localidades si no se controla la interacción genotipo por ambientes. Sin embargo cuando el compuesto esté más recombinado y la selección haya aumentado la frecuencia de alelos favorables el método se hará más efectivo. Los compuestos raciales pueden coexistir con las variedades mejoradas porque se seleccionarán para los caracteres de valor, mientras

las variedades mejoradas tienen otras características. Todo lo que hay que hacer es detectar los caracteres de valor y mantenerlos en condición homicigota. Más bien serán un producto del pre-mejoramiento que beneficiará a los mejoradores que dispondrán de una fuente adaptada y con alta frecuencia de genes que gobiernan los caracteres de valor.

Conclusiones

Los resultados indican que el pre-mejoramiento de las poblaciones en las primeras etapas de un programa, puede ser muy beneficioso, sobre todo cuando hay que mejorar y conservar a la vez muchas poblaciones en condiciones de alta biodiversidad. Los resultados mostraron la eficiencia de la selección poblacional, pero es necesario asegurar suficiente variancia genética en las poblaciones y usar técnicas que controlen la endocría y la recombinación en poblaciones muy heterogéneas. Esas conclusiones servirán para implementar la conservación *in situ* de las razas nativas, su mejoramiento y utilización.

Literatura Citada

- Borbor M. 1992. Evaluación de componentes de rendimiento y características morfológicas de Compuestos Raciales de Maíz en la Sierra del Perú. Tesis Mag. Scientiae. UNA La Molina. Lima, Perú.
- Brown A.H. y D.R. Marshall 1995. A basic sampling strategy: Theory and Practice: En: Collecting Plant Genetics Diversity. Technical guidelins. Eds: L. Guarino, R. Ramanatha Rao y R. Reid. Pag: 75-91. CAB Int.
- Cerrate A. y R. Sevilla. 1973. Heterosis intra-racial evaluada en compuestos de maíces peruanos. .V Reunión de Maiceros de la Zona Andina. Cochabamba, Bolivia.
- Crossa J. 1989. Methodologies for estimating the sample size required for genetic conservation of outbreeding crops. Theo. Appl. Gen 77: 153-161
- Darrah L.L., S.A. Eberhart, y L.H. Penny. 1972. A maize breeding methods study in Kenya. Crop Science 12: 605-608.
- Dudley J.W. 2007 From means to QTL: The Illinois long-term selection experiment as a case study in Quantitative Genetics. En: International Plant Breeding Symposium. Honoting John W. Dudley. Eds: B. Albrecht, R. Bernardo, E. Brent Godshalk, K. R. Lamkey y R. Ortiz. Pags 21-31. CSSA. Madison, WI, USA.
- De la Cruz M. Adaptación de una variedad heterogénea de maíz a las condiciones de Sierra Alta del Perú, usando la Selección mazorca-hilera modificada. Tesis Mag. Scientiae. UNA La Molina. Lima, Perú. (en prensa).
- Edwards J.W. 2008. Predicted genetic gain and inbreeding depression with general inbreeding levels in selection candidates and offspring. Crop Science 48: 2086-2096.
- Evaristo J. 1995. Características morfológicas de la mazorca de maíz asociadas a la tolerancia al frío en germoplasma peruano y foráneo. Tesis Mag. Scientiae. UNA La Molina. Lima, Perú.
- Gamarra G. 2004. Ganancia genética por selección mazorca-hilera modificada en tres poblaciones de maíz amiláceo. Tesis Mag. Scientiae. UNA La Molina. Lima, Perú.
- Gardner C.O. 1961. An evaluation of effects of mass selection and seed irradiation with thermal neutrons on yield of corn. Crop Science 1: 241-245.
- Goodman M. y W. Brown. 1988. Races of Corn. En: Corn and Corn Improvement. Agronomy monograph N° 18. (3ª edición). ASA, CSSA, SSSA. Madison WI. USA.
- Grobman A., W. Salhuana y R. Sevilla en colaboración con P.C. Mangelsdorf. 1961. Nat. Ac. of Science, Nat. Res. Council. Pub. 915. Washinton D.C. USA.
- Hallauer A.R. y J.B. Miranda. 1981. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa State University Press. Ames, Iowa. USA.
- Kutka F.J. y M.E. Smith. 2007. How many parents give the highest yield in Predicted Synthetic and Composite Populations of Maize? Crop Science 45: 1905-1913.
- Lamkey K.R. 1992. Fifty years of Recurrent Selection in the Iowa Stiff Stalk Synthetic Maize population. Maydica 37: 19-28.
- Lobe J. 2000. Efectividad de la Selección mazorca-hilera modificada en una variedad choclera de la Sierra del Perú. Tesis Ing Agrónomo. UNA La Molina. Lima, Perú.
- Lonnquist J.H. 1964. A modification of the Ear-to-Row procedure for the improvement of Maize populations. Crop Science 4: 227-228.
- Márquez-Sánchez F. 1992. On the yield prediction of composite varieties of maize. Maydica 37: 271-274.
- Marshall D.R. y A.H. Brown 1975. Optimal sampling strategies in genetic conservation. En: Crop Genetic Resources for today and tomorrow. Eds. O.H.

Frankel y J. G. Hawkes. IBP. N° 2 Pag 53-80. Cambridge Uni. Press. Cambridge, Londres. U.K.
- Paterniani E. 1967. Selection among and within half-sib-families in a Brazilian population of Maize. Crop Science 7: 212-216.
- Pazo J. 1999. Selección en la variedad PMC-584 para rendimiento, calidad choclera y adaptación a las condiciones de Sierra Alta. Tesis Ing Agrónomo. UNA La Molina. Lima, Perú.
- Romero-Franco J. 1968. Selección mazorca por hilera en maíz. Informe de la Secretaría de Recursos Naturales. Honduras.
- Salhuana W. S. Quevedo y R. Sevilla. 1975. Estimación de variancias genéticas en la variedad de maíz Blanco Urubamba. Inf. Del Maíz. N° Ext. De Investigación. Vol I: 29-31.
- Sevilla R. y G. Fukusaki, 1971. Evaluación de cuatro ciclos de Selección Masal en una variedad de maíz de la Sierra del Perú. Primer Congreso Nacional de Investigadores Agrícolas y Pecuarios del Perú (CONIAP I). Lima, Perú.
- Sevilla R. 1988. Interacción genotipo x localidad en la formación de poblaciones básicas
- Simmonds N.W. y J. Smartt. 1999. Principles of Crop Improvement. Blackwell Sc. Ltd.
- Stojsin y Kannenberg, 1994. Genetic changes associated with different methods of recurrent selection in five maize populations. I. Directed selected traits. Crop Science 34: 1466-1472.
- Troyer A. F. Adaptedness and Heterosis in Corn and Mule Hybrids. 2006. Crop Science 46: 528-543.
- Vencovsky R., J. Zinsly, N. Vello, y C.R. Godoi. 1973. Predicáo de média de um caráter quantitativo em compostos de variedades e cruzamentos de compostos. Fitotecnia Latinoamericana 8: 25-28.
- Vom Brocke K., A. Christinck, E. Weltzien, T. Presterl y H.H. Geiger. 2003. Farmers´ Seed Systems and management practices determine Pearl Millet Genetic Diversity Patterns in Semiarid regions in India. Crop Science: 43; 1680-1689.

Maíz híbrido, autofecundación y haploidía en la era pre-genómica

Luis A. Narro León, Alba L. Arcos.
CIMMYT/CIAT AA 6713, Cali, Colombia. L.narro@cgiar.org

I. Introducción

La demanda de maíz en el mundo se está incrementando en forma acelerada, el año 1995 fue de 558 millones de toneladas (mll t) y el año 2014 fue de 1,007 (mll t); es decir en los últimos 20 años prácticamente se ha duplicado la demanda de maíz. Las razones para este cambio son el crecimiento de la población, los cambios de hábitos de consumo principalmente en países de alta densidad poblacional en el Asia y la producción de etanol en USA a partir del grano de maíz. Por esta razón es necesario todo tipo de esfuerzos orientados a la producción de maíz que incluya políticas, tecnología y acciones tanto de productores como de consumidores.

Desde el punto de vista tecnológico, para tener mayor producción de maíz se requiere mejora en la parte agronómica (manejo del cultivo) y uso de semilla mejorada (genética), particularmente maíz híbrido, en los países con mayor productividad en el mundo. Tanto la agronomía como la genética contribuyen en partes iguales a la producción de maíz, aunque el potencial de rendimiento está dado por la parte genética.

Los principios para la producción de maíz híbrido fueron descritos hace más de un siglo por East (1908) y Shull (1908). La conclusión de Shull de que una variedad de libre polinización esta compuesta de muchas plantas híbridas que al ser autofecundadas muestran sus componentes individuales no fue cuestionada (Shull, 1908) pero el concepto de que la autofecundación seguida por la hibridación fuera un método para incrementar la productividad del maíz no fue totalmente aceptado (Hallauer *et al.*, 1988). La correcta interpretación de los métodos de mejoramiento de maíz basado en la producción de líneas y luego el cruzamiento de éstas para la formación de híbridos para la explotación de la heterosis ha sido acreditada a Shull (Hallauer y Miranda, 1988). Para la producción de líneas, Shull propuso realizar tantas autofecundaciones como fuera posible de las plantas de una variedad hasta llegar al estado de homocigosis (líneas puras), luego hacer los cruzamientos entre estas líneas para determinar el cruzamiento (híbrido) superior con base en evaluaciones de campo.

Hay que tener en cuenta que la baja productividad de líneas parentales de los primeros híbridos identificados hace un siglo en USA fue la razón por la que la que el precio de la semilla de maíz híbrido fuera muy alto y no fuera aceptada por los agricultores. Esta preocupación fue aliviada por Jones (1918) quien sugirió el uso de dos híbridos simples para producir semilla comercial de una nueva versión de híbrido denominada híbrido doble; en vez de utilizar dos líneas para producir semilla comercial de híbrido simple.

II. Maíz híbrido

La producción de híbridos inter-varietales de maíz fue reportada desde fines del siglo XIX (Beal, 1880; Richey, 1922 citados por Hallauer y Miranda, 1988). Sin embargo, la siembra comercial de maíz híbrido empezó en los Estados Unidos por los años de 1930 cuando Jones (1918, 1919) sugirió el uso de semilla de híbridos dobles con la finalidad de abaratar el costo de semilla. La cantidad de semilla comercial del híbrido doble está determinada por la capacidad de producción del híbrido simple ya que la semilla de híbrido doble está dada por la producción del progenitor femenino (híbrido simple) en el proceso de producción de semilla; por lo tanto, el precio de la semilla comercial sería menor ya que el rendimiento de un híbrido simple es mayor que el rendimiento de una línea (la semilla comercial del híbrido simple).

Para 1935 aproximadamente 3% del área maicera en USA estaba sembrada con maíz híbrido, para 1943 esta área fue del 60% y para 1960 el 100% del

área estaba sembrada con híbridos dobles. La siembra de híbridos simples empezó por los años1960 y para fines de los 80s, el 85% del área estaba sembrada con semilla de híbrido simple, al finalizar el siglo XX el 100% del área estaba sembrado con este tipo de semilla (Hallauer *et al*., 1988).

Con relación a rendimiento de grano, hasta 1935, época en la que se sembraba variedades de libre polinización, éste era alrededor de 2 t/ha, luego un incremento considerable por el uso de semilla híbrida y mejores prácticas agronómicas; para 1960, el rendimiento de grano fue de 3.4 t/ha, para el año 2000 de 8.6 t/ha y para el 2009 de 10.3 t/ha (Russell, 1986; Troyer, 2006; FAOSTAT, 2014).

En China, la siembra de maíz híbrido doble empezó por la década de los 60s, a inicios de los 90s se empezó a sembrar híbridos simples y a la fecha casi todo el área está sembrada con híbrido simple excepto en algunas áreas tradicionales donde el maíz se consume en forma directa. En la década de los 60s el rendimiento promedio era menor a 2 t/ha, con la siembra de híbridos dobles el rendimiento se incrementó a 4 t/ha, con la siembra de híbridos simples el rendimiento promedio es de 6 t/ha, actualmente (De-quan and Shi-huang, 1994, Shi-huang *et al*., 2011; FAOSTAT, 2014).

En Sudamérica hay gran variación en el uso de semilla híbrida de acuerdo a los países. Venezuela es el país donde tradicionalmente se siembra maíz híbrido en el 96% del área (Alezone, comunicación personal). En Brasil el área sembrada con híbrido simple es 58.1%, con híbrido triple 16.5%, con híbrido doble 9.4% y con variedad de libre polinización (VLP) 16% (Parentoni 2014, comunicación personal). En Bolivia el uso de semilla híbrida varía con el área geográfica, en el trópico el 90% del área se siembra con semilla híbrida y el 10% con VLP; en el Chaco en el 60% del área se siembra VLP e híbrido en el 40% restante; en los valles el 100% del área se siembra con VLP (Claure, comunicación personal). En todos los países de Sudamérica el rendimiento se ha incrementado en los últimos 50 años (1961-2010). En Venezuela el rendimiento pasó de 1.08 t/ha a 4.4 t/ha; en Brasil de 1.3 a 4.4 t/ha; en Bolivia de 1.2 a 3.3 t/ha; en Argentina de 1.8 a 7.8 t/ha. Claramente el uso de semilla de maíz híbrido es el factor que motiva incrementos en el rendimiento tanto por el efecto per se la heterosis en los híbridos como por el acompañamiento agronómico necesario para permitir que el híbrido exprese su potencial de rendimiento.

Para la formación de un híbrido se requiere de 2, 3 o 4 líneas según se trate de un híbrido simple, triple o doble, respectivamente. Con más de 4 líneas (alrededor de 10, generalmente) el cultivar toma el nombre de sintético. El agricultor siembra comercialmente híbridos o sintéticos no siembra líneas, las líneas son los componentes de los híbridos y sintéticos.

Aunque se puede utilizar líneas con diferente grado de endogamia para la formación de híbridos o sintéticos, la tendencia es la utilización de líneas puras. Una línea pura es aquella uniforme, completamente homocigota, que se consigue por medio de la autofecundación continua por 8 o más generaciones.

III. Autofecundación

La autofecundación consiste en la unión de gametos masculinos y femeninos de una misma planta para formar un nuevo individuo; como consecuencia se incrementará la proporción de alelos al estado homocigota en relación con la generación anterior. Cuando se empieza el proceso de autofecundación de un híbrido simple de maíz (F_1), es decir de un individuo 100% heterocigota (S_0), después de una autofecundación (S_1) se obtiene 50% de homocigosis y 50% de heterocigosis; de tal forma que una línea S_8 (después de 8 autofecundaciones) posee el 99.9% de homocigosis y una línea S_{15}, 99.99% de homocigosis. En todo caso, por este método siempre se tendrá una heterocigosidad residual cuyo valor real dependerá del individuo (línea), ya que este valor es un promedio de todos los individuos para un nivel de homocigosis determinado.

En un programa de mejoramiento utilizando el método de pedigrí se debe considerar el tamaño de la población F_2 a ser muestreada y el número de poblaciones F_2 que se deben manejar. Para definir el tamaño de población se debe considerar el número de genes que gobiernan la característica de interés y el número de individuos que se debe disponer para recuperar aquel individuo de interés. Si el carácter está gobernado solo por un par de genes, el tamaño de la F_2 para obtener un individuo completamente

homocigota es 4; si la característica está gobernada por 4 pares de genes, el tamaño de la población F_2 sería 256; la fórmula general es (4^n). Para determinar el número de individuos necesario para encontrar aquel con las características deseadas hay que tener en cuenta el número de genes que gobierna la característica para una probabilidad determinada. Por ejemplo cuando la característica está gobernada por un par de genes el número de plantas requerido es de 8 con un 95% de probabilidades y 16 para 99% de probabilidad; para 4 pares de genes estos números serían 588 y 1475, respectivamente (Hallauer, 1987). Es decir, el número de plantas requeridos es aproximadamente el doble o 4 veces el tamaño de la F_2 para un número determinado de pares de genes para 95% y 99% de probabilidad, respectivamente. Para calcular el número exacto de individuos requeridos se puede aplicar la fórmula desarrollada por Muller y presentada por Hallauer (1987). El otro aspecto colateral es el reconocimiento o identificación de los individuos de interés en el campo para lo que hay que tener en cuenta la influencia del ambiente.

Es obvio que en la práctica el número de alelos diferentes entre dos progenitores que se utilizarán para iniciar un programa de selección de pedigree es mucho mayor y por lo tanto será necesario definir un adecuado tamaño de la población para tener éxito en el programa de selección. Bauman (1981) reportado por Hallauer *et al.*, 1988, indica que el tamaño adecuado de población en un programa de pedigrí debería ser 500 S_1, 180 S_2, 80 S_3, 40 S_4. Estos son número que pueden servir de referencia en un programa ya que el tamaño de población dependerá de los objetivos y recursos disponibles y el número de poblaciones que se manejarán en el programa.

El número de poblaciones a trabajar es otro problema a resolver; las opciones son muestrear intensamente una población o menos intensamente más de una población, considerando que características cuantitativas de importancia agronómica están gobernados por muchos genes. Por ejemplo si una característica está gobernada por 20 pares de genes, es prácticamente imposible tener una población para recuperar genotipos con todos las características deseables que se requiera. Por esta razón, se recomienda disponer con poblaciones F_2 que contengan suficiente variabilidad con alelos favorables que puedan ser identificados en las futuras generaciones de autofecundación. Por lo tanto, es recomendable trabajar con más de una población; Bauman reportado por Hallauer (1987) indica que la mayoría de mejoradores en USA utilizan 4-5 poblaciones. Para decidir sobre el número de poblaciones F_2 y el número de individuos en cada F_2, para un número limitado de recursos en un programa de mejoramiento, se debe considerar el mínimo riesgo de excluir genotipos superiores así como la posibilidad de obtener las mayores ganancias por selección. Por ejemplo si se dispone con recursos para evaluar 2000 familias Baker (1984) citado por Bernardo (2003) predijo que la máxima respuesta a la selección se obtendría desarrollando de 50 a 100 poblaciones con 20 a 40 familias cada una. Bernardo (2003) estudió el número de progenies a ser evaluadas para un carácter cuantitativo y encontró que más importante que el número y tamaño de la población, es la identificación de los mejores progenitores que darán origen a las poblaciones, esto se puede hacer calculando el valor reproductivo de una línea con datos de campo de la evaluación de las líneas (Bernardo, 2002). Para el caso de dobles haploides se ha obtenido que es mejor la utilización de pocos cruces entre las mejores líneas parentales previamente seleccionadas (Wegenast *et al.*, 2008).

Los trabajos de autofecundación en maíz para la obtención de líneas y producción de híbridos se iniciaron los primeros años del siglo XX (Shull 1908, 1909, 1910) en los Estados Unidos, partiendo de variedades de libre polinización (VLP) como el germoplasma base; para 1920, cerca de 1000 VLP disponibles en los Estados Unidos fueron utilizadas como fuente para la obtención de líneas (Troyer, 1999, 2006). La autofecundación continua de estas VLP por el método de pedigrí dio origen a varias líneas; sin embargo pronto se observó que el muestreo sucesivo de la misma población no daba como resultado líneas superiores y por lo tanto fue necesario buscar otras alternativas. Una opción fue el uso de la selección recurrente en determinadas poblaciones de tal forma de generar nuevos genotipos en el proceso de recombinación de las progenies seleccionadas y por lo tanto incrementar la frecuencia de genes superiores en cada ciclo de selección y desarrollar nuevas fuentes de obtención de líneas. Es decir, se puede

autofecundar a las progenies seleccionadas en cada ciclo para generar líneas que podrían ser utilizadas como progenitores de híbridos comerciales.

Otra alternativa fue la utilización de poblaciones F_2 formadas por el cruzamiento entre dos líneas cuyas características agronómicas se puedan complementar y utilizar el método de selección pedigrí para la generación de líneas. Aunque el uso de cruzamiento entre dos líneas (híbrido simple) ha sido el método más frecuente para iniciar un programa de mejoramiento basado en pedigrí, también se ha utilizado poblaciones de amplia o estrecha base genética o poblaciones formadas por el cruzamiento entre líneas elite que podrían estar o no emparentadas (Hallauer *et al.*, 1988).

Para 1936, el 97.7% de la líneas liberadas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos fueron derivadas de VLP; es decir solo el 2.3% de la líneas fueron derivadas como líneas recicladas, generadas por cruzamiento entre líneas; para 1960 este porcentaje se incrementó a 50% y desde ésta época hasta los 80's prácticamente todas las líneas son originadas por reciclaje (Jenkins, 1978); es decir el cruzamiento entre líneas con características agronómicas complementarias. Sin embargo, el objetivo de un programa de mejoramiento de maíz no debería ser encontrar la mejor línea pura solamente, sino además encontrar y mantener la mejor combinación híbrida, como fue elocuentemente descrito por Shull (1909).

IV. Haploidía

Las plantas haploides poseen un solo juego de cromosomas que provienen de uno de los progenitores, en el caso de maíz en los actuales programas de mejoramiento, generalmente proviene el progenitor femenino.

La primera planta haploide de maíz fue descrita por Stadler y Randolph en 1929 (Randolph, 1932). El primer intento de utilizar haploides en maíz fue a finales de 1940, cuando Chase (1947, 1951) reportó una tasa de inducción espontánea en maíz del 0.1% y sugirió que la duplicación espontánea de éstos haploides podrían ser utilizados como una alternativa para producir líneas puras en un programa de mejoramiento de maíz. Sin embargo, la baja frecuencia de individuos haploides representa una limitante para un programa de mejoramiento. Posteriormente Coe (1959) describió una línea de maíz que lo denominó Stock 6 que provocaba una frecuencia de haploides del 2.3%. Tasas de inducción de 3 a más del 10 % fueron reportadas posteriormente (Lashermes and Beckert, 1988; Sarkar *et al.*, 1994; Shatskaya *et al.*, 1994; Chalik, 1999, Prigge *et al.*, 2011) utilizando stock 6 como progenitor de nuevos inductores. Estos inductores de haploidía poseen un marcador de color en base a antocianina, denominado *R1-Navajo (R1nj)* que se expresa en algunas partes del grano como el scutellun del embrión y la aleurona del endosperma y sirven para la identificación de granos haploides (Nanda and Chase, 1966).

Los programas de mejoramiento de maíz en el mundo vienen reemplazando, después de 100 años, el proceso de autofecundación para la producción de líneas por el método basado en la utilización de haploides. A diferencia del método de autofecundación en el que se incrementa la homocigosis progresivamente en cada generación de autofecundación, con el sistema de haploidía se genera líneas 100% homocigotas después de una sola generación que se puede cumplir en un año; por lo tanto se tiene una ganancia considerable de tiempo. En CIMMYT-Colombia, la evaluación inicial de inductores de haploidía se hizo el año 2006, cuando se solicita a USDA (*United States Department of Agriculture*) los inductores *ig1R1-nj A158. ig1R1-nj w23, y Stock6 R1-nj B1P11* que desafortunadamente no mostraron buena adaptación en las condiciones de Palmira, Colombia, siendo el principal problema el daño por enfermedades foliares. Simultáneamente en CIMMYT-México se inició los trabajos orientados a la generación y utilización de haploides en maíz utilizando como fuentes de inducción de haploidía germoplasma de la Universidad de Hohenheim, Alemania.

Aunque se puede generar haploides en maíz con métodos *in vitro* o in vivo, el método más utilizado es in vivo. En este método se hace un cruzamiento entre el donante y el inductor. Los Inductores de haploidía (inductor) son plantas diploides (2n) que tienen la capacidad de inducir haploidía cuando son cruzados con plantas del donante que también son diploides (2n). Aunque el inductor y el donante pueden ser progenitores masculinos o femeninos, generalmente el inductor actúa como progenitor masculino.

El progenitor femenino (donante) es generalmente una planta S_0 o S_1 de un híbrido simple; es decir las plantas F_1 o la autofecundación de éstas (F_2). Es recomendable utilizar como donantes híbridos simples tanto por la mayor tasa de inducción que se obtiene como por el mayor número de plantas haploides que se generan Prigge *et al.*, (2011). El efecto del donante tiene una influencia significativa en la frecuencia de haploides a obtener (Eder and Chalyk, 2002). Este marcador no funciona si el genoma del donante es homocigoto para el gen *R1* en presencia de genes dominantes de pigmentación *A1 o A2 y C2*. Según Geiger (2009) un grano resultante de la inducción de haploidía tiene una coloración purpura o roja en la aleurona (tejido del endospermo triploide) y el escutelo no coloreado. Por lo tanto un grano normal F1 tiene pigmentación en ambos (aleurona y escutelo). Si únicamente la célula del huevo es fertilizada pero no las células centrales, el grano tiene una coloración en el embrión (diploide) y no se forma el endospermo (Geiger y Gordillo, 2009).

En el proceso de generación de haploides, el progenitor masculino (inductor) produce los granos de polen que polinizarán a las plantas del progenitor donante. Los granos de polen se desarrollan dentro del pistilo de estas plantas pero no producirán una fertilización normal y por lo tanto se formarán granos de maíz cuyo embrión y endosperma no serán diploides o triploides, respectivamente, como en una fecundación normal. Más bien, los granos de maíz en cada mazorca de la planta donante tendrán embriones haploides y no haploides y endosperma diploide y triploide que será necesarios diferenciar. Un embrión haploide porta solamente los alelos del donante (progenitor femenino) ya que el progenitor masculino no aporta alelos al embrión de las plantas doble haploides, al no haber una fecundación normal. Los granos que contienen embrión haploide (n) y endospermo triploide (3n), son los granos de interés y por lo tanto deben ser identificados y seleccionados; éstos granos tienen embrión no coloreado y tienen una capacidad de germinación similar a la de los granos con embrión diploide (Coe y Sarkar, 1964) (Prasanna, *et al.*, 2013). Prigge *et al.*, 2012 menciona dos hipótesis para explicar los mecanismos genéticos de la haploidía que es respaldada por diferentes investigadores:

- Falta de fertilización de la célula huevo y posterior partenogénesis para producir una célula haploide (Sarkar and Coe, 1966; Chalyk, *et al.* 2003; Barret *et al.* 2008).
- Fertilización normal seguida por la eliminación de los cromosomas del inductor (Fisher, 2004; Zhang *et al.* 2008; Li *et al.* 2009).

Menciona también la sugerencia de Kato (1997) de la heterofertilización como la causa de la generación de haploides.

Los inductores que viene utilizando CIMMYT se denominan líneas inductoras de haploidía tropicalizadas (LIHT) y se han desarrollado por un trabajo colaborativo entre el CIMMYT y la Universidad de Hohenheim, Alemania. Para la obtención de estas LIHT se debe poner en contacto con el Programa Global de Maíz del CIMMYT.

Generados los granos haploides, aquellos seleccionados son puestos a germinar en una cámara de incubación por 72 horas a una temperatura alrededor de 25 a 30°C. Cuando las plántulas han germinado se hace un corte en el coleóptilo a fin de facilitar la penetración de colchicina y se los sumerge por 12 horas en tanques especiales que contienen una solución con 0.04 de colchicina y 0.5% DMSO (DimetilSulfóxido). Luego del tratamiento con colchicina solo el 40 a 80% de las supuestas plantas haploides lograrán establecerse en el campo luego de realizarse el trasplante correspondiente (Prasanna, *et al.*; 2013). Las plántulas así obtenidas se denominan plantas D0; éstas son cultivadas en el campo hasta la polinización en que son autofecundadas y los granos así obtenidos constituyen los granos D1 que corresponden a las líneas DH generadas.

Luego de haberse generado las líneas doble haploides, el proceso siguiente para la identificación de buenas combinaciones híbridas, es decir la determinación de la habilidad combinatoria general y específica de las líneas doble haploides es parecido al que se usa en el mejoramiento tradicional (Arcos, 2014).

La tecnología de doble haploides en maíz acorta el tiempo para generar líneas y consecuentemente es una herramienta para incrementar las ganancias por selección. La tecnología está disponible aunque es necesario conocer las bases genéticas que determinan la inducción de haploides maternos, el efecto de

la interacción entre genes del inductor y del donante que faciliten la identificación de individuos haploides ya que hay genes en el donante que inhiben la expresión de color. Esto es particularmente importante cuando se utiliza el marcador R1-nj en germoplasma de maíz tropical ya que dificultan la identificación de granos haploides, aunque el uso de marcadores moleculares puede ser una ayuda para diferenciar germoplasma con inhibición del color por la antocianina (Chaikam, *et al.* 2014). Por esta razón otras ayudas de selección como el uso del gen que determina plantas sin lígula (Neuffer *et al.* 1997) o la determinación de la cantidad de aceite en el grano (Melchinger *et al.* 2015). Si la inducción de haploidía fuera un carácter genético gobernado por uno o pocos genes mayores y varios genes modificadores como indica Allard (citado por Prigge et el., 2012) y si se haría una introgresión de QTLs relevantes en la expresión de haploidía en genotipos donantes agronómicamente superiores se podría incrementar la eficiencia para la obtención de líneas haploides aunque la evaluación fenotípica de los inductores será necesario considerarlo en los ambientes donde se realizará el trabajo (Prigge *et al.*, 2012).

Prasanna *et al.* (2013) hacen un compendio de las ventajas para la utilización de doble haploides en maíz que incluyen acortar el tiempo para obtener líneas puras, simplificar la logística en incrementar la eficiencia en los programas de mejoramiento, mayor eficiencia en el mantenimiento de líneas y registro de cultivares.

Referencias

- Arcos, A.L. 2014. Comparación entre híbridos de maíz formados por líneas doble haploides y líneas autofecundadas con probadores de diferente base genética. Universidad Nacional de Colombia. Tesis Doctora en Ciencias Agropecuarias.
- Bernardo, R. 2002. Breeding for quantitative traits in plants. Stemma Press, Woolbury, Minnesota. 369 pg.
- Clalik, S.T. 1999. Use of maternal haploids for improving maize inbred lines. Maize Gen. Coop. Newsletter 73:54-56.
- Eder, J. and S.T. Chalyk. 2002. In vivo haploid induction in maize. TAG. 104:703-708.
- Geiger, H. H. 2009. Doubled haploids. *In* Handbook of Maize pp. 641-657. Springer New York.
- Hallauer, A.R. 1987. Breeding Systems. CRC Handbook of Plant Science in Agriculture. Pag 61-87.
- Jenkins, M.T. 1978. Maize breeding during the development and early years of hybrid maize. P. 13-28. In D.B. Walden (ed.) Maize breeding and genetics. John Wiley and Sons, New York.
- Jones D.F. 1919. Inbreeding in corn improvement. Breeders Gaz. 75:111-112.
- Lashermes P., M. Beckert. 1988. Genetic control of maternal haploidy in maize (*Zea mays* L.) and selection of haploid inducing lines. Theor. Appl. Cenet. 76:405-410.
- Melchinger, A.E., W. Schipparck, X. Mi, and V. Mirdita. 2015. Oil content is superior to oil mass for identification of haploid seeds in maize produced with high-oil inducers. Crop Sci. 55:188-195.
- Nanda, D.K. and S.S. Chase. 1966. An embryo marker for detecting monoploids of maize (*Zea mays* L.). Crop Sci. 6: 213-215.
- Neuffer, M. G., E. H. Coe, and A. R. Wessler, 1997 Mutants of Maize. CSHL Press, New York.
- Prasanna, B.B., V. Chaikam y J. Mahuku (editores). 2013. Tecnología de dobles haploides en el mejoramiento de maíz: Teoría y práctica. México, D.F.: CIMMYT.
- Prigge, V., X Xu, L Li, R. Babu, S. Chen, G Atlin and A.E. Melchinger. 2012. New insights into genetics of in vivo induction of maternal haploids, the backbone of doubled haploid technology in maize. Genetics 90: 781-793.
- Randolph, L.F. 1932. Some effects of high temperature on polyploidy and other variations in maize. Genetics 18:222-229.
- Russell, W.A. 1986. Contribution of breeding to maize improvement in the United States, 1920s – 1980s. Iowa State Journal od Research. V61:5-34.
- Sarkar, K.R., A. Pandey, P. Gayen, J.P. Mandan, R. Kumar, J.K.S. Sachan. 1994. Stabilization of high haploid inducer lines. Maize Gen. Coop. Newsletter 68:177-188.
- Shull, G.H. 1908. The composition of a field of maize. Am. Breeders' Assoc. Rep. 4:296-301.
- Troyer, A.F. 1999. Background of U.S. hybrid corn. Crop Sci. 39:601-626.
- Wegenast, T., F.H. Longin, H.F. Utz, A.E. Melchinger. 2008. Hybrid maize breeding with double haploids. IV. Number versus size of crosses and importance of parental selection in two-stage selection for testcross performance. TAG 117:251-260.

Challenges of a public maize breeding program in the "genomics era": the case of the Brazilian Maize Breeding Program from Embrapa (Brazilian Agriculture Research Corporation)

Sidney Netto Parentoni, Lauro Jose Moreira Guimarães, Paulo Evaristo de Oliveira Guimarães, Claudia Teixeira Guimarães, Jane Rodrigues de Assis Machado, Walter Fernandes Meirelles, Roberto dos Santos Trindade, Adelmo Resende da Silva, Vera Maria de Carvalho Alves, Sylvia Morais de Souza, Jurandir Vieira Magalhães, Maria Marta Pastina*
* Researchers at Embrapa Maize and Sorghum Research Center

Abstract:

The goal of the presentation was to cover three major points:

1) The achievements and challenges of a public maize breeding program such as the one conducted at Brazilian Maize and Sorghum Research Center in this "genomic era"

2) To discuss some lessons learned from a long term maize breeding program conducted in temperate environments (USA) and also some results in breeding for drought stress by private sector and by public institutes like CIMMYT and Embrapa, using a "genome wide selection" approach;

3) To discuss some results of a molecular work in selecting maize for acid soils (aluminum tolerance and phosphorus use efficiency) conducted by Embrapa´s research group

1) Major issues and challenges of a National Maize Breeding Program in Brazil

The Brazilian Agriculture Research Corporation (Embrapa), founded in 1973, strives to overcome barriers that limited the production of food, fiber, and fuel in the country. Embrapa's mission is: "*to provide solutions for research, development and innovation for sustainability of agriculture for the benefit of Brazilian society*". After substantial investment, Brazilian agriculture is now highly efficient and sustainable, having transformed the country from a basic food importer to one of the world's largest food producers and exporters.

Embrapa Maize and Sorghum Research Center (CNPMS) is one of the 47 research centers of Embrapa. It headquarter is located in the Central part of Brazil (Sete Lagoas, Minas Gerais State), where the maize breeding activities have been conducted. This research station has 2.000 ha of land with close to 500 ha been used in research and 120 ha under irrigation. The research center has a team of 340 employees with 75 research scientists (almost all of them with a PhD degree), in areas like genetics and breeding of maize and sorghum, production systems, molecular biology, plant physiology, plant nutrition, phytopathology, entomology, biological control, bioinformatics, seed production, socio-economics and others. CNPMS has facilities for phenotypic evaluation and also molecular biology facilities including areas like marker assisted selection (MAS), double haploids, bioinformatics, maize tissue culture and plant transformation. Besides sites at its headquarters, the CNPMS maize breeding program has areas of evaluation of Intermediate Trials in five other Embrapa Units (located in states of Paraná, Goiás, Mato Grosso, Tocantins and Rio Grande do Sul) and six other sites. It has an Elite trial network evaluation of final materials whith more than 40 trial locations in the country, which are run in collaboration with private and public partners. The research program also has screening sites in Brazil for a number of maize diseases (*Puccinia polyssora*, *Puccinia sorghi*, white spot -phaeospheria, gray leaf spot, diplodea, antracnosis, SCMV, etc.). It has established standard techniques

to evaluate genetic materials for Al tolerance (nutrient solution assays), for P efficiency (both field trials and root morphology assays) and has also screening sites for drought and heat tolerance located in Janaúba and Teresina.

Embrapa Maize and Sorghum Research Center (CNPMS) has been working in developing improved germplasm (mainly tropical) for Brazilian conditions in the past four decades. This program, at first, made a large-scale introduction of improved germplasm in Brazil, derived mainly from CIMMYT-International Maize and Wheat Improvement Center, and also improved materials from other regions such as Suwan in Thailand and from a number of other institutes in Brazil such as University of São Paulo (ESALQ-USP), Campinas Research Institute (IAC), Rio Grande do Sul Agricultural Institute (FEPAGRO) and others. The introduced genotypes were crossed with local adapted materials from Brazil (which at that time had tall and late maturity plant type), and as a consequence of this process, about 50 new improved varieties were created and each of them was subjected to several cycles of recurrent selection to increase their adaptation to the different country ecosystems. These original genetic sources generate by Embrapa were widely distributed. From 1980 to the 90s, about twelve thousand seed samples of these genotypes were distributed to public and private institutions in the country and abroad, and contributed to form the basis of the cultivated maize germplasm in Brazil.

In the late 70s and mid-80s, a hybrid breeding program was initiated at CNPMS. At that time, the private sector of maize seed established in the country became increasingly modern and efficient, and started to invest more in their own breeding programs. However, it also began to emerge a new segment of small and medium companies that decided to invest in seed business and to seek partnership with Embrapa. During that time, CNPMS released it´s first double cross hybrid (BRS 201). This cultivar achieved 19% of the maize growing area in the country a few years after its release. These public-private partnerships were efficient in the 80s and 90s due to three main factors: a) the existence in Embrapa of an innovative breeding program that enabled the generation of hybrids and varieties with the following traits: short stature, high yield, high seed producibility (which increased its economic attractiveness to private sector seed production), cultivars adapted to the various regions of the country (including areas of acid soils of the Brazilian Cerrado); b) the implementation of a sector of basic seed production at Embrapa which could, at that time, combined the production of large volumes of parental seeds with an efficient quality control of the seed business generated by these franchisees, and also provide technical and managerial assistance to a large number of small seed companies that were being established in the country; c) the implementation of an innovative model of public-private partnership with clear rules that gave legal and negotiating support to these new partnership arrangements.

This licensing model of public maize genetics to the private sector in the country began to show signs of exhaustion in the mid-90s due to the following factors: a) the competition among licensed companies, which produced the same cultivar; b) companies that had just started their own breeding programs wants to have exclusivity of products and use their own brand in cultivars name, which legally could not be implemented at that time due to public sector rules; c) the initiation of breeding programs in several companies, which started to seek technological partnerships to access inbred lines developed in the public sector, a model which the public sector has failed to implement in that moment; d) the vertical integration of cultivars generation processes started by large companies, involving commercialization, marketing, technical assistance, inputs supply and in some cases, purchase of production, reducing the market space for small and medium companies; e) the release of new maize cultivars with higher yield potential (initially three way crosses , and later, single cross hybrids) by private companies with their own breeding program (which gave support to the actions described above). For the farmers, seed becomes one item in a complex package of inputs supply, services, credit, and commercialization guarantees.

Another important event in Brazilian maize seed market was the liberation of transgenic maize which was approved in Brazil in 2008/2009. In 2015, it occupied more than 85% of the country cultivated

area with improved maize seed. Biotechnology and transgenesis have shown great value as complementary technological tools for cultivar development, which can add to these cultivars specific characteristics that would be difficult to obtain using conventional breeding. In the case of maize, the genetic modifications known as "first generation GMO" have focused on insect resistance and herbicide tolerance traits. In different situations, questions have been raised related to the possible negative impacts of transgenic crops to human health or its environmental risks. However, to date, there is no scientific evidence of these risks in the genetic modified technology (GMO) released for commercial use in the country. Instead, its high rate of adoption in Brazil indicates that this technology has contributed to some important demands of the farmers: technologies that reduce risk (e.g., control of fall armyworm using Bt technology) and an increase in operational convenience (e.g. larger and easier to do herbicide spraying period, as in RR technology). As a negative aspect of GMO adoption in the country it can be list the following: a) an increase in the seed market concentration; b) a reduction in the use of Integrated Pest Management (IPM) practices due to the expectation that GMO would control all insect problems; the use of glifosate resistance in different crops like soybean, maize and cotton has increased the appearance of resistant weed ecotypes and also create the need to spread other chemicals to control the remain of the previous herbicide resistant crop. Another issue is the changes that the adoption of GMO technologies have brought to the arrangement of breeding programs from companies that can´t directly have access to these technologies was another fact towards increasing market concentration and so far, the consequences in the medium and long term that this technology may bring to the country are still being analyzed (Parentoni *et al.*, 2013).

Embrapa´s maize breeding program has been dealing with the issue of transgenics in the following aspects: a) license traits from different owners to be used in hybrids released by it´s own breeding program; b) developing high yielding conventional materials to be cultivated in areas that are not using transgenics (ex. lower cost seed market segments, areas of refugee, small local seed companies that wants public materials as source of cultivars, etc); c) started private-public partnerships to develop new GMO events with public-private intellectual properties rights (IP).

In any scenario related to the access to transgenic technology, the ultimate goal of a breeding program should be to remain competitive in terms of genetics. This includes meeting the needs of the farmer in productivity, cycle (which in Brazil tends to be more earlier in different crops, since the farmer evaluates the profitability of the whole system and not of each crop individually), resistance to pests and diseases (in a world that will value more and more the so called "green agriculture" with less use of chemicals to control these problems), yield stability, adaptation to target environments, tolerance to abiotic stresses (drought, high temperatures, aluminum tolerance), nutrients use efficiency (phosphorus as a main target), etc. A number of innovations have occurred in maize breeding programs worldwide and if Brazilian program wants to remain competitive it must accompany these advances even if on a smaller scale (the idea is not to mimic the multinationals large breeding programs, but using innovative techniques in a scale compatible with the size of the company where the program is held). Some of these innovations are: a) use of double-haploid as tools to obtain inbred lines; b) use of marker assisted selection for various reasons such as allocation of lines into heterotic groups, to check the seed purity, or for genetic introgression of different characteristics in elite genotypes; c) use of new methods like Genome Wide Selection involving markers, phenotyping and new biometric models to maximize selection gains; d) use of bioinformatics tools to handle large datasets with phenotypic and genotypic information. The increased use of markers/genotyping in breeding programs can be done either with in-house structures or by contracting another company's service, especially from other countries. This second option seems to be the faster and less expensive one in the case of National programs like the one in Brazil.

In terms of finished cultivars, in the past 35 years, Embrapa maize breeding program has released close to 30 hybrids and 20 OPVs. These materials have been produced and commercialized by seed companies in

Brazil in a "franchising system". In 2014 this program licenses an area of basic seed close to 1.400 ha for 10 seed companies. In 2013/2014 these companies were responsible for 2% of Brazilian seed market. It should be pointed out that one of the goals of a public maize breeding program such this is to allow the existence of small seed companies which target markers not reached by the large seed companies. Although the maize seed market of the country program share is small at this moment, Embrapa´s participation in the lower cost seed market segments such as the ones of double cross hybrids and OPVs is quite significant (14% and 66% respectively in 2013/2014). This fact has important implications in terms of social impacts mainly in the segment of small farmers and family agriculture which depends on genetic materials produced by the public sector.

Currently, Embrapa seeks for new models of public-private partnerships in the areas of genetic resources and maize cultivars. The focus is to meet the needs of different types of customers ranging from companies that do not have their own breeding program, small and medium companies with their own breeding programs, and even larger companies, which can also transfer to the farmers the benefits achieved by public research. In this sense, new business models are currently being structured, such as: a) models that give exclusivity and allows the use of its own brand to private companies that want to have access to cultivars produced by the public sector, b) inbred lines licensing models as inputs to obtain jointly public-private hybrids c) "innovation assets", which can be: lines as sources of resistance to biotic or abiotic stresses; markers/Quantitative Trait Loci identified in sources of resistance to these stresses; genes/knowledge associated with inheritance of these characteristics; methods of screening and phenotyping for specific characteristics; available mapping populations (e.g. Recombinant Inbred Lines-RILs, association panels, etc) for use in joint programs of genetics/physiology studies of specific characteristics. These advances will only be possible if the public sector will be able to operationalize it in an easy implementation structure of partnerships, within the legal framework to which public sector is subjected in the country.

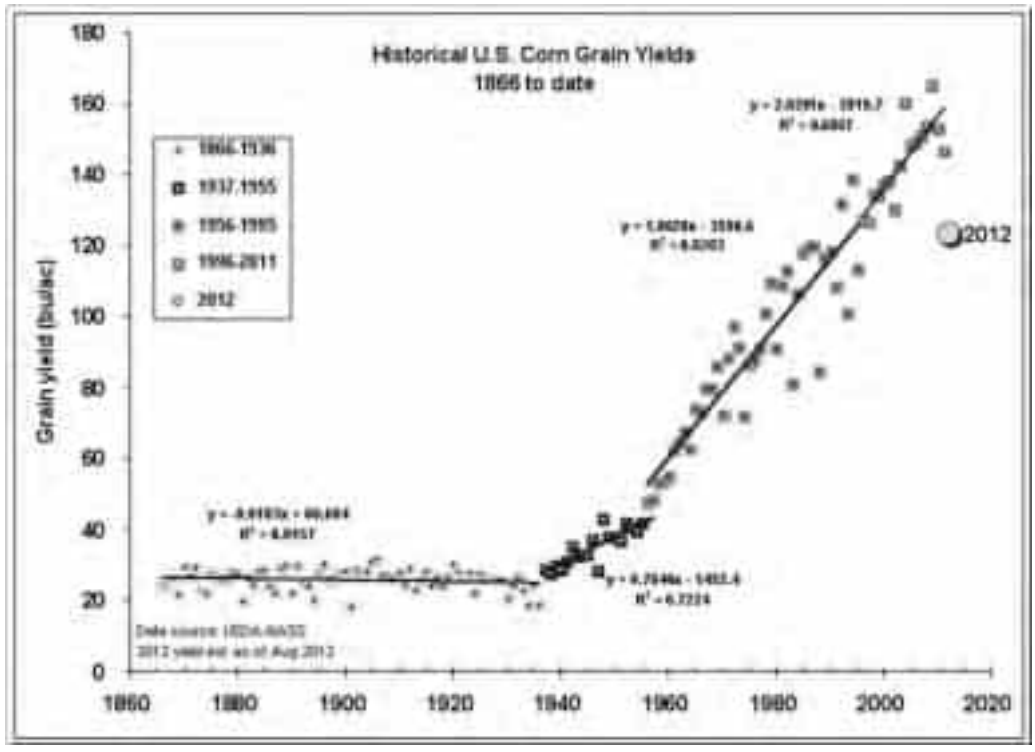
The most important innovation in terms of maize production system in Brazil was the increase observed in the so called "second crop". The Brazilian second cropping season called "*safrinha*" can be defined as a crop rotation is to first plant a crop of rain-fed such as soybean, and then after this crop is harvested, a second crop of maize, sorghum, cotton or wheat is planted. "*Safrinha"* can also be defined as a farming strategy whereby the farmer takes advantage of a long tropical growing season to produce two crops in the same area during a single growing season, thereby maximizing revenue per hectare. In the 2014/15 growing season, Brazil had a maize area of 15.4 million ha and produced a maize crop of 80.2 million tons (CONAB 2015). In this context, the second crop occupied an area of 9.3 million ha and yielded 49.3 million tons, which corresponds to 60% of the maize growing area and 61% of the country maize crop. In the past ten years, it has been observed a continuous trend in increasing the Brazilian maize growing area as a second crop after a summer soybean crop, and a slight decrease (or stability) in the maize summer growing area. This fact increases the chance of a crop failure, mainly due to the risk of drought stress in the second crop late plantings. This fact makes the development of more drought tolerant cultivars a very important breeding target for the country. In this regard, Embrapa´s has dealing with selection for drought tolerance in maize for more than six years now. In this context, is important to look at examples of long term selection in maize conducted in temperate areas, and also to verify the gains by using "genome wide selection strategies" for drought tolerance, as it has been done by CIMMYT and partners, in order to better understand some of the issues related to selection for drought stress in maize.

2) Lessons learned from a long term maize breeding program conducted in temperate environments (USA) and some results in breeding for drought stress by private sector and public sector using "genome wide selection"

The gains from selection of maize over almost 120 years have been summarized by Duvick 2005, and updated by others (Figure 1). It is clear that a tremendous change in grain yield had been ob-

served in the US by moving from open pollinated varieties (OPVs) to hybrids and within these, from double crosses to single crosses hybrids. Gains in the biotechnology era followed more or less the same trend observed in the single cross era. In a number of years with yields below the expected mean from the regression line, the yield reductions were caused mainly by drought stress. A major example of this was 2012, when the US experienced one of the most severe droughts during the growing season.

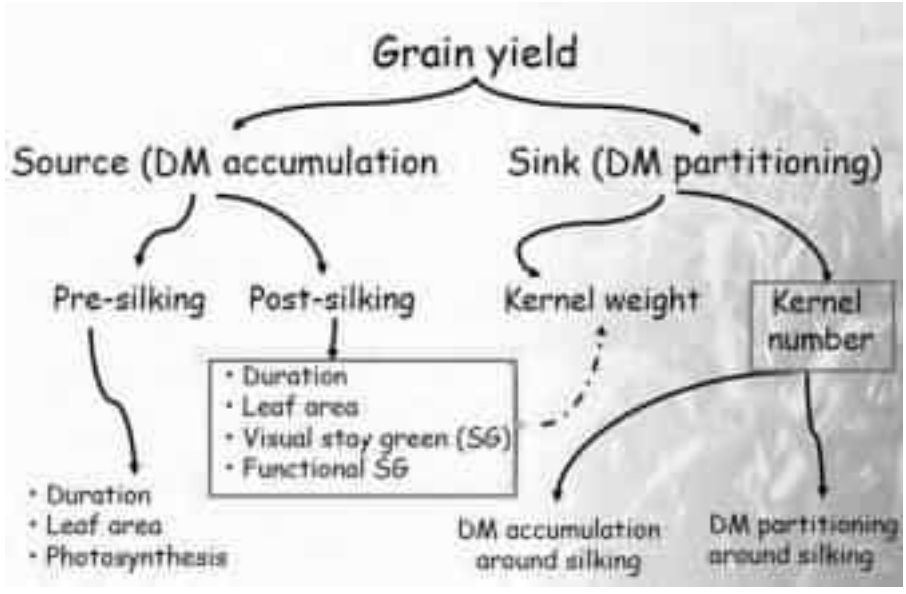
Figure 1 – Historical U.S. Corn Grain Yields (bushels/acre) from 1866 to 2012. Yield gains are shown for open pollinated varieties era (1866-1936); double cross/three way hybrids era (1937-1955), single cross hybrids era (1956-1995) and biotechnology era (after 1996). Year 2012 corresponds to a severe drought crop season. Data adapted by Robert Nielsen-Purdue University.



One of the most interesting conclusion from Duvick´s 2005 paper were related to yield under different plant densities. Hybrids from 1930 to 2000 era were evaluated under three plant densities (10, 30 and 79 thousand plants/ha). The data shown that yield potential "per plant" had almost not increased in 70 years of hybrid maize breeding (differences among hybrids developed across different eras were small at low density – 10.000 pl/ha). Although, a large difference across era hybrids was observed under high plant density of 79.000 pl/ha. The data clear indicates that the main change in the new hybrids was due to their ability to stand more plants per area and not due to its capacity of having higher yield per plant. This has a major implication for example, when we think about "selection in pots under phenotyping platforms". It should be expected that the selections for "yield per plant" done in these phenotyping platforms, would probably, not been as effective as field selection under stress when this selection is made based on "yield per area" and not "yield per plant";

More detailed physiological information about the "era hybrids" study was supplied by Tolenaar *et al.*, 2006 (Figure 2). The authors studied changes in source dry matter accumulation (leaf area duration, leaf area angle and stay green) and in sink dry matter partitioning (kernel weight and kernel number).

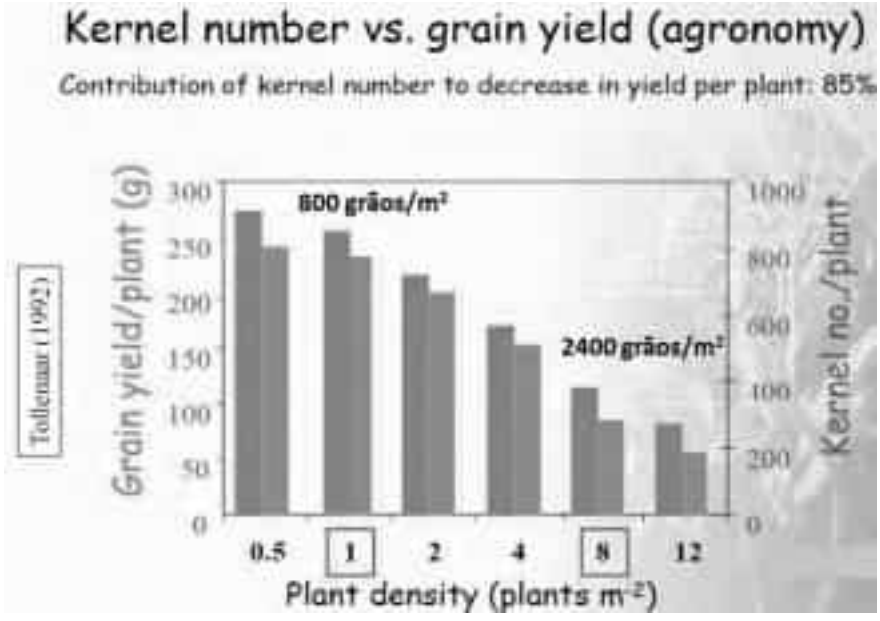
Figure 2 – Grain yield components in source and sink components of maize plant s (from Tolenaar *et al.* 2006)



Duvick 2005 had shown that newer hybrids "stay-green", also called delayed leaf senescence or resistance to premature death from unidentified causes, consistently improves in successively newer hybrids which, according to Tolenaar *et al.* 2006, increases the source dry matter accumulation. The authors also shown that canopy architecture of Corn Belt hybrids has changed as leaf angle had increased from the 1930s to 2000s. Newer hybrids had more erect leaves which allow lower leaves to receive more light due to less shadow by the more erect upper leaves.

Tolenaar *et al.* 2006 found that maximum leaf area per plant has remained quite stable in US hybrids since 1930. Although, they report that leaf area index (LAI) has increased in newer hybrids crops due to its higher plant density.

Figure 3 – Number of grains per area is the major factor underlying higher grain yields under higher plant densities.



The relationship between plant density and grain number per square meter is shown by Tollenaar, 1992 (Figure 3). It can be seen that at 10.000 pl/ha (or 1 pl/m^2) each plant produces close to 800 kernels/plant, or 800 kernels/m^2. When plant density is increased until 80.000 pl/ha (or 8 pl/m^2), kernel number per plant is reduced to 300 kernels/pl but kernel number per square meter goes up to 2.400 kernels/m^2 (300 kernel/pl x 8 pl/m^2). Data shown that kernel number per square meters increase three times when we move from 10 to 80 thousand plants/ha. This is the major reason for the increase in yield under higher plant densities and emphasizes the importance of field evaluation conditions in maize selection.

Duvick 2005 also shown that on average, the newer the hybrid, the greater was its drought tolerance. The relationship between drought tolerance and plant density was investigated in a large private maize breeding program focus on the development of superior drought tolerant hybrids (Gafney *et al.*, 2015). The authors evaluated 14 hybrids from the Pioneer ACQUAmax line of drought tolerant hybrids and 19 commercial checks not directly selected for drought tolerance. These materials were tested in 14 US environments in three years under drought stress. These hybrids were evaluated at six plant densities (ranging from 20 to 70 thousand plants/ha). As shown in Figure 4, significant differences between the groups of the 14 drought tolerant hybrids and the 19 commercial checks evaluated in 14 drought environments could only be seen at plant densities higher than 40 thousand pl/ha. This study gives a strong evidence of the relationship between drought stress and plant density stress.

Figure 4 – Results from the study of Gafney *et al.*, 2015 showing that differences between 14 drought tolerant hybrids from the Pioneer line ACQUAmax and 19 commercial checks was only seen at plant densities equal or higher than 40 thousand pl/ha.

Yield performance of Optimum® AQUAmax® hybrids (14 hybrids) across three years (2010, 2011 and 2012), compared to non-AQUAmax commercial hybrids (19 hybrids) across a range of plant populations in water-limited environments.

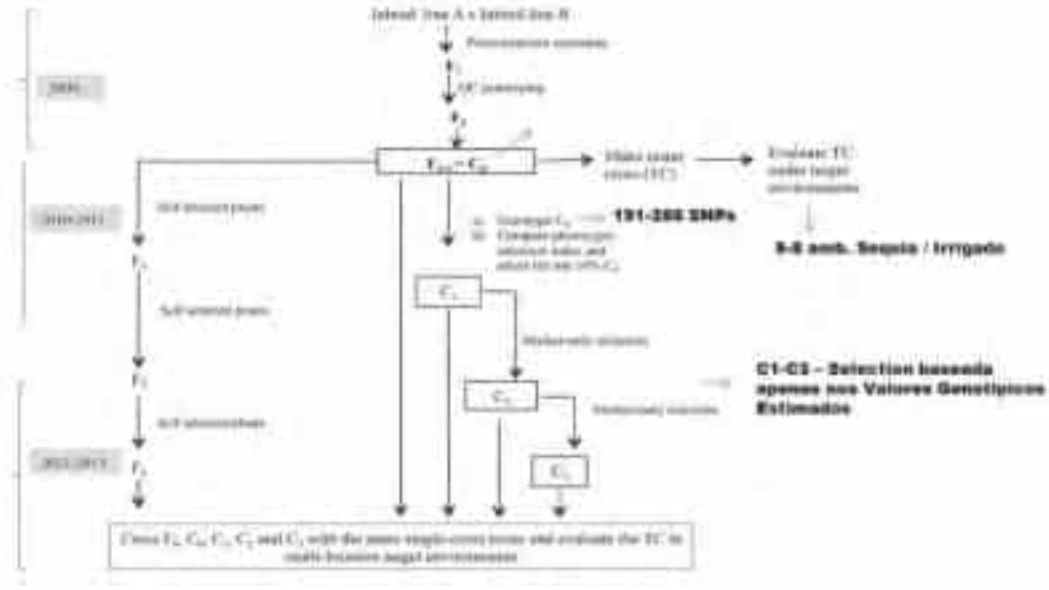
Plant population	AQUAmax	Non-AQUAmax	Difference	Difference %	Pvalue
Plants ha^{-1}	*Mg ha*$^{-1}$				
19,768	4.60	4.66	-0.06	-1.2	0.585
29,652	5.21	5.11	0.10	2.0	0.205
39,536	5.67	5.44	0.23	4.3	0.001
49,420	5.99	5.65	0.34	6.0	0.000
59,304	6.16	5.72	0.43	7.8	0.000
69,188	6.18	5.68	0.50	8.8	0.000

Large maize breeding programs for drought tolerance have been develop in a number of institutions. Some examples in private sector are the research lines called ACQUAmax from Pioneer and Agrisure Artesian from Syngenta. Both research lines have been developed using Conventional Breeding associated with Marker Assistance Selection schemes. Monsanto has a genetic modified (GMO) approach and developed the research line called Genuity DroughtGard. A large long term breeding program to develop drought tolerant materials has been conducted by CIMMYT in programs like WEMA (Water Efficient Maize for Africa). This effort allows the release of a number of drought resistant hybrids and OPVs which have been planted in Africa and Asia. Embrapa has set up a network of six Research Centers to select drought tolerant materials in maize, sorghum, wheat and rice. Four drought screening sites have been stablished in Brazil for these breeding activities and a number of genetic materials contrasting for drought tolerance have been identified in these crops. Com-

plex mixed models have been used by Embrapa´s research group to estimate genetic parameter and correlation between traits under drought and irrigated environments (Dias *et al.*, 2016). A total of 310 maize hybrids were evaluated under eight droughts and irrigated environments. High levels of genotype x environment interaction were observed among these two types of environments for the traits grain yield, ears per plant and anther silk interval, indicating that it would be difficult to do selections across conditions for this group of traits.

Recently a number of papers in the use of Genome Wide Selection for maize drought tolerance have been published by CIMMYT´s group. This data are important to show the research community, the power of this selection approach, since private companies in general do not published this type of data. Beyene *et al.*, 2015 used the breeding scheme showed on Figure 5 to do Genome Wide Selection in 8 biparental maize populations. Four cycles of selection (Co, C1, C2 and C3) were obtained. In each of the 8 populations, the Co were evaluated in 5 to 8 environments under drought and irrigated conditions and were genotyped with 191 to 286 single nucleotide polymorphism markers (SNPs). Selection from C1 to C3 was based only on marker value (no field evaluation was done). The four selection cycles from each of the 8 biparental populations were evaluated under 4 drought stress environments. The authors reported an average gain per cycle for grain yield of 9.4%, which shown that the GWS method is a powerful tool for select maize for drought tolerance.

Figure 5 – Schematic summary of the various steps followed by the Genome Wide Selection approach in maize to select drought tolerance materials, done by CIMMYT, as part of the work reported by Beyene *et al.*, 2015.



3) **Use of molecular tools at Embrapa Maize and Sorghum to find genes associated with aluminum tolerance and phosphorus use efficiency in maize and its use in maize breeding programs**

Over 50% of the world's potentially arable lands consist of acid soils, where aluminum (Al) toxicity and phosphorus (P) deficiency are major limiting factors for maize production. Embrapa Maize and Sorghum Research Center (CNPMS) has been working in this area for more than 30 years and had generate a number of genetic materials adapted to these abiotic stresses (Parentoni *et al.*, 2010). These soil problems are particularly important for low input agricultural systems, which includes a large portion of small farmers in developing countries.

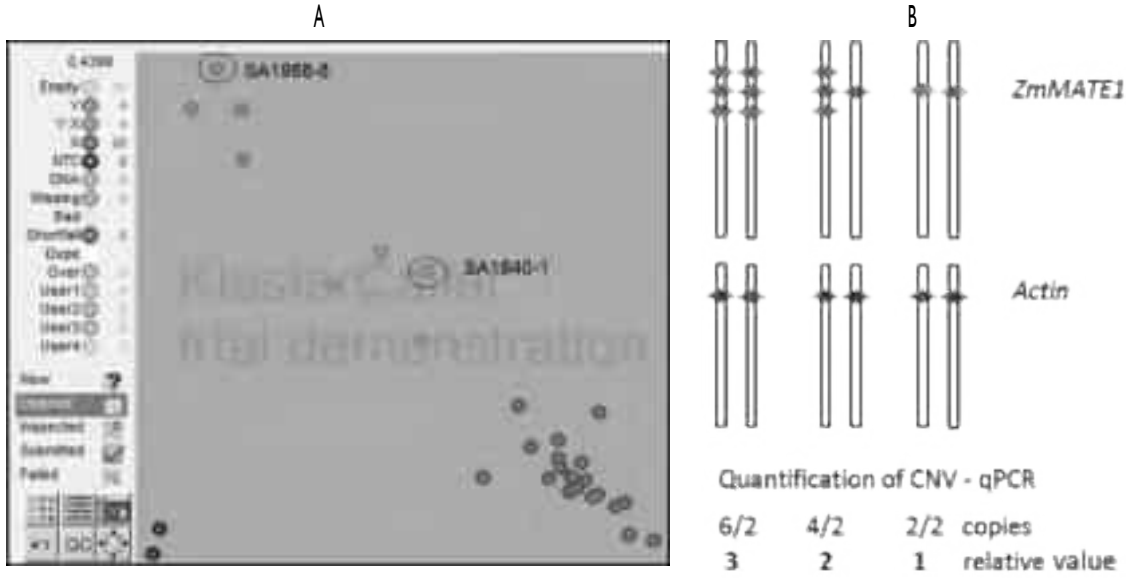
Great amount of genetic information has been gathered for these traits as part of the work done by the Embrapa´s research group, such as: Al tolerance is a quantitatively inherited trait in maize (Mag-

navaca *et al.*, 1987; Ninamango Cárdenas *et al.*, 2003) a crop that displays considerable variation for this trait, as well a highly complex genome organization. This research also allows to identify in a maize RIL population, one major QTL which explained from 16 to 30% of the Al tolerance in maize. It was shown that this major QTL co-localized with the ZmMATE1 gene (Maron *et al.*, 2010; Guimaraes *et al.*, 2014), a maize homolog of the SbMATE (sorghum bicolor mate gene), a member of the multidrug and toxic compound extrusion (MATE) family responsible for Al tolerance in sorghum (Magalhaes *et al.*, 2007). ZmMATE1 encodes a membrane transporter responsible for Al-activated citrate exudation in root apices of Al-tolerant maize lines, which is highly expressed in root apex and upregulated by Al exposure (Maron *et al.*, 2010). Recently, it was found that three copies of the ZmMATE1 were associated with high expression of this gene (Maron *et al.*, 2013). The CNPMS research group validate this Al tolerant gene in the field and shown that single cross-hybrids carrying it showed up to 20% advantage in yield in acid soil containing 30% of Al toxicity, compared to their isogenic hybrids (Vasconcellos *et al.*, in preparation).

One sustainable solution to improve maize yield on acid soils is the development of genetic materials tolerant to Al toxicity and efficient on P utilization. Conventional breeding for these traits is a difficult and slow process which points out to the need of using molecular tools to help in this process.

Based on our previous results it was found that, the superior allele of ZmMATE1 conferring Al tolerance in maize is rare, is highly expressed in root tips and is organized in three copies, which are features difficult to be used in conventional breeding strategies. In this regard, a SNP located ~2.5 kb upstream to the start codon of ZmMATE1 was identified. This SNP was converted into a KASp. based marker, which was highly associated with the superior allele of ZmMATE1 and easily differentiated the SNP (T/C), in homozygosity and in heterozygosity. This strategy was used at CNPMS to find in a set of acid soil tolerant lines developed by CIMMYT´s maize breeding program, the ones having three copies of this gene. A single inbred from this CIMMYT´s germplasm (SA 1988-8) was found to have three copies of this gene, showing the value of this approach to help maize breeding programs worldwide to find superior genotypes for this trait (Figure 6).

Figure 6. Genotyping using KASp. assay for a SNP (T/C) associated to ZmMATE1. A) KASp. marker genotyped with the KlusterCaller software highlighting the SA1988-8 line from CIMMYT in red carrying TT alleles (other read dotes are inbreds from Embrapa known to have three copies of this allele), and the CIMMYT line SA1940-1 heterozygous (TC) in green. The blue dots are the lines without TT alleles and the black dots are the controls for PCR assay without DNA.



This SNP based on a KASp. assay has been used at Embrapa for marker-assisted introgression of this allele to improve Al tolerance in Brazilian elite maize lines. In addition to molecular breeding, this marker can be used for allele mining. A wide diversity group of 332 maize lines from Brazil, Kenya and CIMMYT was genotyped with this marker and also evaluated for copy-number variation and expression pattern of ZmMATE1. Three Kenyan maize lines were identified as carrying the superior allele of ZmMATE1. These lines were derived from crosses between Kenyan germplasm and the Brazilian superior Al tolerant source, the inbred line Cateto Al237. These materials were obtained from a joint project between Embrapa, Kari and Moi University in Kenya. Another collaborative effort in identified superior Al tolerant sources was conducted in collaboration between Embrapa and CIMMYT. It was possible to identify that one line from CIMMYT, SA1988-8, carried the superior allele in homozygozity, whereas another inbred line SA1940-1 presented the allele in heterozygosity.

In the case of phosphorus efficiency breeding programs, it is important to consider that P has low mobility in the soil and this fact leads to the point that modifications in root morphology are important strategies to maximize soil exploitation under phosphorus deficient environments.

Gamuyao *et al.,* 2012 at IRRI (International Rice Research Center) found that the protein kinase Pstol1 from traditional rice conferred tolerance of phosphorus deficiency by changing root morphology in this crop. In the same way that was done for the Al tolerant gene (originally identified in sorghum), homologues of the rice Pstol1 gene have been searched in maize by the CNPMS research group. Initially, two multiple interval models to map QTLs related to root traits, biomass accumulation and P content in a maize RIL population were conducted. Some of the genomic regions significantly associated with the target traits were coincident with QTLs for root morphology traits and grain yield previously mapped, whereas others harbored maize candidate genes to be homologues of the rice Pstol1 (called ZmPSTOL). The maize homologues identified in these studies shared more than 55% of amino acid sequence identity and a conserved serine/threonine kinase domain with rice PSTOL1 (Azevedo *et al.*, 2015). Additionally, four ZmPSTOL candidate genes co-localized with QTLs for root morphology, biomass accumulation and/or P content were preferentially expressed in roots of the parental lines that contributed the alleles enhancing the respective phenotypes. Some of these QTLs were also associated with yield performance in other studies, indicating that they could be good targets for marker-assisted selection to improve P-use efficiency in maize.

The use of molecular tools can increase the efficiency of maize breeding programs for aluminum tolerance and phosphorus use efficiency as the ones conducted by Embrapa. These long term breeding program to adapt plants to abiotic stresses are a task typically faced by public sector which later on can supply elite materials with these traits for private breeding programs. These findings have also been shared with a number of research institutes worldwide.

References

Azevedo GC, Cheavegatti-Gianotto A, Negri BF, Hufnagel B, Silva LDE, Magalhaes JV, Garcia AAF, Lana UGP, De Sousa SM, Guimaraes CT (2015) Multiple interval QTL mapping and searching for PSTOL1 homologs associated with root morphology, biomass accumulation and phosphorus content in maize seedlings under low-P. Bmc Plant Biology 15

Beyene Y, Semagn K, Mugo S, Tarekegne A, Babu R, Meisel B, Sehabiague P, Makumbi D, Magorokosho C, Oikeh S, Gakunga J, Vargas M, Olsen M, Prasanna BM, Banzinger M, Crossa J. 2015. Genetic gains in grain yield through genomic selection in eight bi-parental maize populations under drought stress. Crop Sci. (55) 154–163.

CONAB 2015. Acompanhamento da safra brasileira de grãos N9 nono levantamento Junho 2015 http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_11_09_00_38_boletim_graos_junho_2015.pdf

Dias KL, Gezan SA, Guimarães CT, Parentoni SN, Guimarães PEO, Carneiro NP, Portugal AF, Bastos EA, Cardoso MJ, Anoni CO, Magalhães JV, de Souza JC, Guimarães LJM, Pastina MM. 2016. Understand-

ing drought tolerance in maize by fitting multi-trait and multi-environment complex mixed models (In preparation).

Duvick, D.N, 2005 Genetic Progress in yield of United States Maize (*Zea mays* L.). Maydica 50: 193-202.

Gamuyao R, Chin JH, Tanaka JP, Pesaresi P, Catausan S, Chery D, Loedin IS, Mendoza EMT, Wissuwa M, Heuer S. 2012. The protein kinase Pstol1 from traditional rice confers tolerance of phosphorus deficiency. Nature (488) 535-539.

Guimaraes CT, Simoes CC, Pastina MM, Maron LG, Magalhaes JV, Vasconcellos RCC, Guimaraes LJM, Lana UGP, Tinoco CFS, Noda RW, Jardim-Belicuas SN, Kochian LV, Alves VMC, Parentoni SN. Genetic dissection of Al tolerance QTLs in the maize genome by high density SNP scan. BMC Genomics 2014, 15:153.

Magalhaes JV, Liu J, Guimaraes CT, Lana UGP, Alves VMC, Wang YH, Schaffert RE, Hoekenga OA, Pineros MA, Shaff JE, Klein PE, Carneiro NP, Coelho CM, Trick HN, Kochian LV. 2007. A gene in the multidrug and toxic compound extrusion (MATE) family confers aluminum tolerance in sorghum. Nature Genetics 39: 1156-1161.

Magnavaca R, Graminer CD, Clark, RB: Inheritance of aluminum tolerance in maize. In Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition. Edited by Gabeiman HW, Lougnmam BC. Dordrecht: Martinus Nijhoff; 1987:201-212.

Maron LG, Piñeros MA, Guimarães CT, Magalhaes JV, Pleiman JF, Mao C, Belicuas SNJ, Kochian LV. 2010. Two functionally distinct members of the MATE (multidrug and toxic compound extrusion) family of transporters potentially underlie two major Al tolerance QTL in maize. Plant Journal 61: 728-740.

Maron LM, Guimarães CT, Kirst M, Albert PS, Birchler JA, *et al.* (2013). Aluminium tolerance in maize is associated with higher MATE1 gene copy number. Proc Natl Acad Sci U S A 110: 5241-5246.

Ninamango-Cárdenas FE, Guimaraes CT, Martins PR, Parentoni SN, Carneiro NP, Lopes MA, Moro JR, Paiva E. 2003. Mapping QTLs for aluminum tolerance in maize. Euphytica 130: 223-232.

Parentoni SN, Souza Junior CL, Alves VMC, Gama EEG, Coelho AM, Oliveira AC, Guimarães PEO, Guimarães CT, Vasconcelos MJV, Pacheco CAP, Meirelles WF, Magalhães JV, Moreira, LJ, Silva AR, Mendes FF, Schaffert RE. 2010. Inheritance and breeding strategies for phosphorus efficiency in tropical maize (*Zea mays* L.). Maydica (55) 1-15.

Parentoni SN, Miranda RA, Garcia JC. 2013. Implications on the introduction of transgenics in Brazilian maize breeding programs. Crop Breeding and Applied Biotechnology 13: 9-22.

Gaffney J, Schussler J, Loffler C, Weiguo C, Paskiewicz S, Messina C, Groeteke J, Keaschall J, Cooper M. 2015. Industry-scale evaluation of maize hybrids selected for increased yield in drought-stress conditions of the US Corn Belt. Crop Science (55) 1608-1618.

Gamuyao R, Chin JH, Tanaka JP, Pesaresi P, Catausan S, Chery D, Loedin IS, Mendoza EMT, Wissuwa M, Heuer S. 2012. The protein kinase Pstol1 from traditional rice confers tolerance of phosphorus deficiency. Nature (488) 535-539.

Vasconcellos R, Mendes FF, Guimaraes LJM, Nauta B, Barros BA, Magalhaes JV, Guimaraes CT. A major Al tolerance QTL improves maize yield stability in acid soils (In preparation).

Tollenaar, M, 1992. Is low plant density a stress in maize? Maydica 37, n.2, p.305-311.

Tollenaar, M; Lee, E.A, 2006. Dissection of physiological processes underlying grain yield in maize by examining genetic improvement and heterosis. Maydica 51: 399-408.

Mini Cursos

Manejo eficiente de nitrógeno en maíz usando sensores remotos

Argemiro Moreno Berrocal
Luis Narro León

El nitrógeno, es el elemento que más necesitan los cereales, y en especial el maíz. Este elemento, además de ser costoso, se requiere en grandes cantidades, y la eficiencia agronómica es baja porque se lixivia o volatiliza, lo cual va en contra del medio ambiente, al convertirse en un factor de contaminación. Por tanto, buscar opciones tecnológicas que permitan mejorar la eficiencia agronómica, es importante porque se aumenta la productividad del cultivo, se reducen costos por este elemento y se minimiza la contaminación ambiental.

Una de las posibilidades tecnológicas que desde hace varios años ha desarrollado CIMMYT para el cultivo del trigo, es el uso de índices reflectivos como el NDVI, mediante el sensor activo denominado Greenseeker™, mediante un algoritmo con base en datos experimentales para una zona productora determinada, tomando como referencia una franja del cultivo la cual no tendrá deficiencia de nitrógeno (Franja rica), de tal manera que el valor de NDVI de la franja rica junto con la del resto del cultivo, son suficientes para determinar si se necesita aplicar nitrógeno y cuánto se debe aplicar; incluso antes de que haya síntomas visuales de deficiencia.

Al considerar que en condiciones tropicales, los suelos tienen un alto grado de heterogeneidad, en muchos casos no es fácil decidir la parte del lote para ubicar la franja rica, se pensó en la opción de tomar suficientes valores de NDVI georreferenciados en todo el lote, de tal manera que se pueda elaborar un mapa de contornos, para elegir la zona con mayor valor de NDVI como si fuera la franja rica. Luego, con ese dato se ejecuta el algoritmo y se ajusta la dosis a aplicar para las demás zonas o áreas del lote con menores valaores de NDVI que necesiten aplicación de nitrógeno, con base en los resultados del algoritmo que se tenga para la zona de producción.

Con base en lo anterior, se presentaron resultados preliminares de esta nueva opción, donde se mostró la posible efectividad en maíz, sin necesidad de usar la franja rica, tal como se recomienda hasta el momento. Los resultados preliminares muestran que en la segunda lectura con el sensor, el mapa de contornos mostró mayor uniformidad del lote, con relación a la primera lectura que sirvió de base para ajustar las dosis de nitrógeno en todo el cultivo, Figura 1. Aún falta tomar los datos de producción, para corroborar la efectividad de esta propuesta metodológica, la cual se piensa será muy útil para los pequeños productores que siembran áreas manejables con el Greenseeker de bolsillo (Hand Held Crop Sensor) de Trimble.

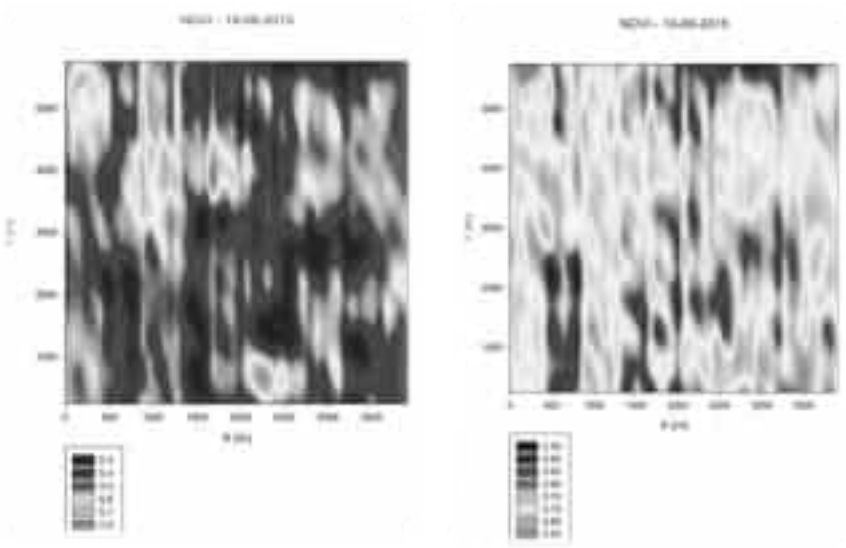


Figura 1. Mapas de contorno de NDVI de dos lecturas con 21 días de diferencia. Estación experimental La Catalina, Pereira, Risaralda, Colombia.

Banco de germoplasma de maíz *(Zea mays)* de Bolivia manejado por el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, en Grin-Global

Edwin Edgar Iquize Villca y Alfonso Blanco Padilla
Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal.
Programa Nacional de Recursos Genéticos.
(e_iquize_v@hotmail.com; ablanco03@yahoo.com)

Resumen

Con el objetivo de visualizar la documentación del *Zea mays* (Maíz) del Banco Nacional de Germoplasma de Bolivia administrado por el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal "INIAF". El INIAF genero un Plan implementación del sistema de manejo de información de los recursos genéticos administrados por el INIAF-Bolivia, inicialmente se plasmó en Microsoft Excel y Access para luego utilizar el Sistema de documentación GRIN-Global. La información histórica generada por el Centro de Investigación Fitoecogenéticas de Pairumani CIFP y posteriormente por INIAF ésta dispuesta en el GRIN-Global, la misma refleja la variabilidad de los Recursos Genéticos donde incluye al Maíz. La Base de datos vía interfaz Web presenta facilidad para acceder a información de procedencia, caracterización, con salidas de estadística descriptiva, así mismo puede visualizarse la ubicación en un mapa, almacena fotografías además de realizar solicitudes. También presenta el Modulo Curador para los Responsables o Conservadores de los Recursos Genéticos. Nótese *Zea mays* presenta 1583 Accesiones registradas y 1581 inventariada con semilla. En base a 55 descriptores, desde Accesiones con 2 hasta 30 descriptores. La base de datos actualmente se implementa con datos paso a paso en base a las actividades concernientes a la conservación.

Palabras claves: Documentación, GRIN-Global, Recursos Genéticos, Base de datos.

1. Introducción

Obsérvese en el manejo de los Recursos Genéticos se considera cuatro pilares o áreas (Conservación, Documentación, Promoción del Uso e Investigación), donde cada una de ellas presenta una serie de actividades y con ellas una serie de variables, todas ellas relacionadas por el código de la Accesión. En ese sentido, la Base de Datos de estos recursos genéticos tiene gran relevancia en la Documentación además de generar información resumida (estadística descriptiva) que permite al Responsable o Curador del Banco tomar decisiones referidas a actividades de conservación (Engels y Visser 2007; Iquize, 2013).

La documentación de los Recursos Genéticos de Bolivia se inició desde 1963 (Cardozo, 1994) en base a las colectas inicialmente de tubérculos y la conservación realizadas por notables investigadores. El Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal INIAF en Julio del 2010 recibió el Recurso Genético de *Zea mays* (Maíz) y con ello una base de dato en Microsoft Excel por el Centro de Investigación Fitoecogenéticas de Pairumani CIFP. Por otra parte el INIAF incluyo accesiones colectadas y caracterizadas material genético procedentes del Chaco Boliviano por el Programa Nacional Maíz liderizada por el Dr Tito Claure.

Bajo estos antecedentes el presente reporte tiene el objetivo de visualizar la información del Recurso Genético *Zea mays* (Maíz) de Bolivia administrado por el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal a través de la Interfaz Web.

2. Resultados

2.1. Implementación de la base de datos

Primera fase

Luego de la generación de Plan implementación del sistema de manejo de información de los recursos genéticos administrados por el INIAF-Bolivia

(Iquize, 2013) se implementó en formato Microsoft Excel con datos de los Bancos de Germoplasma Granos Altoandinos; Cereales y Leguminosas (incluye Maíz); Forestales; y Hortalizas, así mismo en Microsoft Access la de Tubérculos y Raíces Andinas. La estructura de las Bases de datos presenta cuatro pilares o áreas, estas son: Conservación, Documentación, Uso e Investigación. Cada una de ellas expresa una serie de variables, todas ellas relacionadas por el código de la Accesión. Así mismo, la base de datos además de generar información resumida (estadística descriptiva e inferencial) le permite al Responsable o Curador del Banco tomar decisiones referidas a actividades. Estas bases de datos contiene: Tapa o inicio; Índices, Datos, Tablas y figuras con estadística descriptiva; todas ellas ligadas y cuando se incluya nuevas observaciones o Accesiones en la tabla de datos las consultas podrán ser actualizadas fácilmente (Iquize, 2013; Ruiz, 2009).

Segunda fase

El Plan de Implementación de Programa Nacional de Recursos Genéticos (INIAF, 2013), presenta en uno de los Subproyectos: Fortalecer los procesos de conservación Ex Situ de recursos genéticos de la agrobiodiversidad, forestales, acuícolas, y microorganismos relacionados con los ciclos de vida del suelo - planta; con objetivo general de Fortalecer los procesos de conservación ex situ de Recursos Genéticos de la Agrobiodiversidad; y objetivo específico Implementar un sistema nacional especializado de documentación y registro de datos de origen (datos de pasaporte), colecta, caracterización y evaluación de colecciones.

En ese sentido se procedió trabajar con el GRIN-Global versión 1.8.33 del 2014 (GRIN-Global, 2013) (patrocinada por Global Crop Diversity Trust, Bioversity International y USDA) debido a la versatilidad, amplitud del Sistema y por su disponibilidad (Blanco e Iquize, 2014). Permite al público en general acceder a los datos a través de la Web (www.iniaf.gob.bo activa desde septiembre 2014) (Figura 1) y los Curadores también tienen la herramienta del Módulo Curador (Figura 2). También almacena fotografías.

Figura 1. Página Web del Banco de Germoplasma de Bolivia mostrando la búsqueda de Maíz y detalles de una accesión.

Figura 2. Ventana del Módulo Curador (Curator Tool), con descriptores introducidos para el cultivo de Maíz

La alimentación con datos de los Recursos Genéticos de Bolivia en el GRIN-Global se realiza paso a paso y en especial por la dinámica de las actividades que conlleva el manejo de los Recursos Genéticos dentro el INIAF (Painting, *et al*., 1993; Engels y Visser, 2007), por lo cual la alimentación de datos en el GRIN-Global continúa (Franco, 2015; INIAF, 2015).

2.2. Maíz en el GRIN-Global

La caracterización fue realizada con 55 descriptores en el Germoplasma del Maíz, a 662 Accesiones del total registradas. En el GRIN-Global, tiene el Sufijo "CR" de Cereales. Nótese, la caracterización realizada por el anterior Administrador Centro de Investigación Fitoecogenéticas de Pairumani CIFP en cierta proporción difieren a las realizadas por el Programa Nacional Maíz-INIAF. Este resultado registra accesiones caracterizadas como mínimo y máximo de 3.64 a 54.55 % del total de descriptores (Cuadro 1).

Cuadro 1. Procedencia, registro, inventario de semilla y caracterización de las accesiones de la colección de *Zea mays* en el GRIN-Global

	Accesiones			Caracterización de descriptores (%)			
País	Registro	Inventario semilla	N	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Bolivia	1569	1565	662	37.62	12.63	3.64	54.55
Brazil	1	1	-	-	-	-	-
(en blanco)	13	11	1	36.36	-	36.36	36.36
Total	1583	1577	663	37.62	12.62	3.64	54.55

2.3. Consultas de un o más descriptores del maíz en la Interfaz Web

La base de datos esta accesible en www.iniaf.gob.bo o http://200.87.120.158/gringlobal/search.aspx. En Descriptors (Figura 3) seleccionar el cultivo MAIZ y se obtiene la lista codificada de los descriptores. Ubicando el cursor del mouse visualiza el nombre del descriptor (1), luego presionar en Ir (2), se obtiene una vista para seleccionar. Se consideró Peso de grano sin mazorca mayor o igual a 879.4 g (3), como ejemplo y presionar en Búsqueda (4). Posteriormente genera una vista con los máximos valores, las mismas pueden ser inspeccionadas en detalle.

Figura 3. Consulta del Descriptor peso de grano sin mazorca de maíz en la interfaz Web de la Base de datos de Recursos Genéticos de Bolivia Grin-Global.

Este criterio, también puede realizarse para dos o más descriptores.

3. Conclusiones

El Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal INIAF, viene documentando la información de los Recursos Genéticos en base a la información generada por los anteriores operadores como el Centro de Investigación Fitoecogenéticas de Pairumani CIFP y el propio INIAF referido al Maíz.

La base de datos se viene alimentando al GRIN-Global. También se posee en formato Microsoft Excel. El manejo de la información se complementa el GRIN-Global, los programas Microsoft Excel y Access.

La variabilidad de Accesiones del cultivo Maíz se visualizan una riqueza en Bolivia.

Existen retos especialmente en la caracterización y uso del Banco Nacional de Germoplasma de Bolivia como País.

4. Literatura citada

- Blanco, A; Iquize, E. 2014. Avances en la implementación del sistema de documentación Grin-Global en el Banco Nacional de Recursos Genéticos de Bolivia. In: I Congreso Nacional de Recursos Genéticos de Bolivia (Depósito Legal: 3-1-301-14-PO e ISBN: 978-99974-43-98-4) (Agosto 2014)
- Engels, J.M.M. y Visser, L. (eds.). 2007. Guía para el manejo eficaz de un banco de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma No. 6. Bioversity International, Roma, Italia.
- Franco, T. 2015. Estado del manejo de la información en los Bancos de Germoplasma administrados por el INIAF, EE Toralapa, Cochabamba, Bolivia. Consultoría. Global Crop Diversity Trust e INIAF. Septiembre 2015.
- GRIN-Global. 2015. GRIN-Global Curator Tool v 1.9.6.41. User Guide. En PDF http://www.ars-grin.gov/npgs/gringlobal/docs/gg_curator_tool_user_guide_2015jun10.pdf. (Acceso Agosto 2015).
- INIAF. 2010. Plan Estratégico Institucional 2011-2015. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. Estado Plurinacional de Bolivia. La Paz, Bolivia. pp 38-39.
- INIAF. 2013. Plan de Implementación de Programa Nacional de Recursos Genéticos PIP PN RRGG. Propuesta Técnica Fortalecer los procesos de conservación Ex Situ de recursos genéticos de la agrobiodiversidad, forestales, acuícolas, y microorganismos relacionados con los ciclos de vida del suelo - planta. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. Estado Plurinacional de Bolivia. La Paz, Bolivia.
- INIAF. 2015. Curso-taller del manejo del módulo curador, sitio web y la Base de datos del Banco Nacional de Germoplasma de Bolivia. Realizado en 15 al 18 de septiembre del 2015 en Cochabamba-Bolivia. Facilitadores Alarcón, C; Blanco, A; Iquize, E. MDRyT, VDRA e INIAF.
- Iquize, E. 2013. Plan implementación del sistema de manejo de información de los recursos genéticos administrados por el INIAF-Bolivia. Revista Científica de Investigación *Info*INIAF. Número 1, Volumen 1. INIAF. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. Estado Plurinacional de Bolivia. La Paz, Bolivia. ISSN 2308-250X. DL: 4-3-16-13 P.O. pp 37-48.
- Painting, K; Perry, M; Denning, R; Ayad, W. 1993. Guía para la Documentación de Recursos Genéticos. Traducido por Adriana Alercia. Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos IBPGR, Roma, Italia.
- Ruiz, H. 2009. Excel avanzado Macros y programación VBA. Editora Macro EIRL. Lima. Perú, ISBN 978-612-4034-26-8

Presentaciones Orales

Desarrollo de maíz biofortificado en América Latina: avances y retos

Félix San Vicente, Natalia Palacios, Thanda Dhliwayo y Luis Narro.
Programa Global de Maíz. CIMMYT.

Introducción

Numerosas poblaciones que padecen deficiencia de micronutrientes incluyen cereales o tubérculos en sus dietas, los cuales aportan cantidades apropiadas de proteína y energía, pero no cantidades suficientes de micronutrientes como Vitamina A, C, ácido fólico, hierro y zinc. Entonces, de qué manera se puede impulsar la seguridad nutricional en este contexto. Diversificar las dietas de manera que incluyan distintos alimentos tiene que ser una prioridad, aunque no siempre constituye una opción para las personas de bajos recursos económicos o que tiene un acceso muy limitado a otros alimentos. Por ello, es importante buscar otras opciones que garanticen un suministro de micronutrientes esenciales o que ayuden a la gente a entender la importancia de tener una dieta apropiada: educación nutricional, suplementación y fortificación.

La biofortificación-el mejoramiento convencional y el trabajo de laboratorio para aumentar el contenido de micronutrientes en el grano de cultivos-forma parte de las actividades del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) destinadas a combatir la desnutrición. El primer paso está relacionado con el mejoramiento del maíz para aumentar el contenido de micronutrientes a un nivel que produzca un impacto significativo en la nutrición humana. El segundo paso consiste en asegurar la biodisponibilidad de los nutrientes adicionales-la proporción de un nutriente que nuestro organismo absorbe de los alimentos y que utiliza para las funciones corporales normales-. Por último, los agricultores deben estar dispuestos a sembrar variedades biofortificadas y los consumidores a usar el grano en sus preparaciones.

En el CIMMYT se está utilizando este proceso para aumentar el contenido de provitamina A y zinc en el maíz. Aumentar el contenido de micronutrientes mediante la biofortificacion ayudara a combatir el hambre oculta y, al mismo tiempo, a fomentar la salud humana y el crecimiento económico.

El maíz es un componente fundamental de la dieta humana en el norte de América Latina. En algunos países como México, Guatemala, Honduras, El Salvador, y Nicaragua, el consumo promedio anual supera 80 kg por persona. El maíz es principalmente cultivado en condiciones de temporal o secano y los rendimientos son bajos. El incremento del rendimiento en maíz, en condiciones de temporal, es crítico para la seguridad alimentaria de los pobres en la región. El programa global de maíz del CIMMYT, en colaboración con siete países (México, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Panamá, y Colombia) de la región, mantiene una red de evaluación de cultivares mejorados con alto contenido de zinc. El propósito de esta red es identificar cultivares de amplia adaptación regional y promover su multiplicación y adopción por agricultores.

Materiales y Métodos

Durante 2014, fueron evaluados un total de 28 híbridos y 8 variedades en al menos 14 localidades a través de la región. En general, los experimentos incluyeron parcelas de dos surcos de 5 m y tres repeticiones. Las localidades de evaluación fueron representativas de los campos de agricultores durante la época de lluvias. Adicionalmente, fueron utilizadas dos localidades con estrés de sequía controlado, en las estaciones (Tlaltizapan e Iguala) y una localidad con alta densidad de plantas (Tlaltizapan) en México. Los datos registrados incluyeron rendimiento de grano ajustado al 14% de humedad y otras características agronómicas relevantes (acame de tallo y raíz, aspecto de mazorca, y pudrición de mazorca, entre otras). Adicionalmente, se realizaron análisis

de laboratorio de contenido de Zn en grano. Para efectos de comparación y selección de materiales sobresalientes, en los ensayos fueron incluidos al menos dos testigos comerciales. El análisis combinado de la varianza a través de localidades, para estas variables, permite seleccionar los híbridos y variedades superiores que pasan a la siguiente etapa de mejoramiento.

Resultados y discusión

El rendimiento promedio por localidad vario entre 10.0 t ha-1 (alta densidad de plantas) y 2.9 t ha-1 (estrés de sequía intermedio). En todos los experimentos, al menos el 20% de los materiales experimentales presentaron rendimientos superiores al mejor testigo comercial y características agronómicas deseables. En el caso del ensayo 05, correspondiente a híbridos QPM con alto Zn, destacan los tratamientos o entradas 10, 12, 13, 14, 15 y 16; ya que presentaron rendimiento superior a la media general y al mejor testigo comercial. Además, en estos híbridos el contenido de Zn fue de al menos 34 ppm (Cuadro 1). En el caso del ensayo 06, correspondiente a híbridos de endospermo normal y alto Zn, destacan los tratamientos o entradas 5, 6 y 10; ya que presentaron rendimiento superior a la media general y al mejor testigo comercial. Además, en estos híbridos el contenido de Zn fue de al menos 29 ppm (Cuadro 2). Por último, en el caso de las variedades con alto Zn, fueron sobresalientes las variedades: S13LTWQHZNHGAB02, S13LTWQHZNHGAB03, S13LTWQHZNHGAB04, y S13LTWNHZNHGAB03; ya que presentaron rendimiento superior a la media general. Además, en estas variedades el contenido de Zn fue de al menos 30 ppm (Cuadro 3).

Los híbridos y variedades mencionados fueron seleccionados como candidatas para evaluación extensiva y promoción en la región. La red de evaluación de maíz en América Latina ha permitido la identificación de híbridos y variedades de amplia adaptación con el potencial de duplicar los rendimientos, si la semilla y los fertilizantes están disponibles oportunamente a los pequeños agricultores. Algunos de estos cultivares se encuentran en etapa de validación y promoción en varios países de la región. La participación del sector privado en la multiplicación y comercialización de la semilla mejorada será crucial en el logro del propósito.

Cuadro 1. Ensayo 05: Evaluación de 18 Híbridos Avanzados Blancos QHZN en 14 localidades en México y Centro América 2014.

Entrada	RG	FF	AM/AP	pMCOB	pPM	AspM	pAch	Zn mg/kg
10	5.81	59.0	0.47	1.6	11.8	2.4	3.9	36.9
13	5.72	58.5	0.48	2.3	11.6	2.5	4.4	33.9
15	5.69	58.5	0.49	12.9	14.5	2.8	4.5	40.4
7	5.67	59.7	0.43	2.2	14.1	2.8	3.3	26.5
14	5.65	59.0	0.51	9.2	12.3	2.6	6.1	34.6
11	5.59	59.9	0.50	5.9	13.0	2.6	5.2	31.0
16	5.54	59.9	0.44	2.3	13.6	2.7	3.3	33.9
12	5.53	59.4	0.50	7.0	14.4	2.8	5.0	37.0
20	5.53	58.3	0.51	7.0	13.4	2.7	5.0	26.5
19	5.51	59.5	0.48	4.3	15.3	2.6	2.3	29.3
21	4.62	59.22	0.47	2.4	12.5	2.7	5.0	27.9
Media	5.39	58.91	0.47	6.34	13.21	2.73	4.28	33.5
Heredabilidad	0.67	0.89	0.91	0.85	0.40	0.69	0.60	
MDS	0.51	0.64	0.02	4.54	3.57	0.25	1.96	

Cuadro 2. Ensayo 06: Evaluación de 10 Híbridos Avanzados Blancos ZN en 15 localidades en México y Centro América 2014.

Entrada	RG	FF	AM/AP	pMCOB	pPM	AspM	pAch	Zn mg/kg
11	6.18	59.4	0.51	3.5	9.8	2.4	7.8	25.9
10	5.49	60.1	0.48	3.1	7.5	2.7	8.5	29.2
8	5.43	60.9	0.53	7.5	8.6	2.7	5.9	24.5
7	5.24	60.7	0.50	3.1	10.5	2.7	5.4	25.9
12	5.22	60.6	0.48	5.7	10.5	2.7	7.0	29.4
13	5.15	60.4	0.48	4.7	9.8	2.8	5.5	26.0
3	5.01	61.6	0.52	2.9	12.9	2.6	8.3	26.6
5	5.00	62.0	0.51	5.3	12.7	2.7	6.2	31.9
1	4.97	59.2	0.46	2.9	10.1	2.8	4.8	26.3
6	4.95	61.1	0.51	5.4	11.0	2.9	7.4	36.2
14	4.66	59.7	0.51	4.9	14.5	2.8	9.7	24.8
15	4.38	60.2	0.47	5.5	10.5	2.7	5.9	25.3
Media	5.01	60.53	0.50	4.53	11.25	2.72	7.55	27.5
Heredabilidad	0.79	0.92	0.90	0.56	0.48	0.45	0.61	
MDS (0.05)	0.62	0.67	0.02	2.47	5.12	0.28	4.90	

Cuadro 3. Ensayo 07: Evaluación de 8 Variedades Experimentales Blancas ZN en 19 localidades en México y Centro América 2014.

Ent	Pedigrí	RG	FF	AM/AP	p MCOB	pPM	TEX	pAch	Zn mg/kg
10	S06TLWQAB02 (Test Ref 2)	4.65	60.1	0.47	4.9	10.9	2.4	8.1	23.6
12	Test Comercial 2	4.60	59.9	0.47	4.7	12.3	2.7	8.3	24.8
1	S13LTWQHZNHGAB01	4.47	60.3	0.46	6.9	11.9	2.4	11.4	27.7
11	Test Comercial 1	4.41	59.6	0.48	7.1	13.3	2.7	9.1	25.6
3	S13LTWQHZNHGAB03	4.37	59.8	0.45	5.2	11.4	2.2	9.0	34.9
7	S13LTWNHZNHGAB03	4.11	61.7	0.50	5.2	12.9	2.8	8.0	29.7
4	S13LTWQHZNHGAB04	4.10	60.0	0.45	8.3	11.6	2.2	8.9	33.4
2	S13LTWQHZNHGAB02	4.08	60.0	0.47	6.8	11.7	2.2	9.2	33.8
6	S13LTWNHZNHGAB02	3.83	61.8	0.47	5.4	14.5	2.5	9.3	26.8
8	S13LTWNHZNHGAB04	3.81	61.9	0.48	6.7	11.9	2.6	10.6	29.0
9	S03TLW3HGB (Test Ref 1)	3.70	60.1	0.48	6.4	12.8	2.6	8.2	28.4
5	S13LTWNHZNHGAB01	3.66	61.6	0.47	7.5	14.4	2.7	9.5	31.0
	Media General	4.15	60.57	0.47	6.26	12.45	2.49	9.13	29.0
	Heredabilidad	0.78	0.92	0.77	0.48	0.04	0.80	0.00	
	MDS	0.46	0.71	0.02	2.34	2.98	0.27	3.63	

Conclusiones

La Biofortificacion por mejoramiento convencional ha sido efectiva para incrementar contenido de Pro-A y Zn en maíz tropical; y al mismo tiempo manteniendo la productividad y comportamiento agronómico de los cultivares desarrollados.

Las herramientas modernas (como DH y selección genómica) están en proceso de integración

al programa de mejoramiento. El fin es incrementar la ganancia genética por unidad de tiempo.

Es muy importante mantener y reforzar la evaluación continua para estreses y adaptación: complejo mancha de asfalto, sequia/calor, alta densidad.

La primera serie de híbridos y variedades tropicales con alto Zn se encuentra en etapa de validación en Nicaragua y Guatemala. Los próximos países son Honduras y El Salvador.

Con cierta precaución y algunas excepciones, se puede tratar el trópico húmedo de América Latina como un solo ambiente objetivo. Esto permite identificar híbridos y variedades con amplia adaptación en la región.

Es necesario mantener el trabajo en red y buscar opciones para entregar semilla de nuevos cultivares biofortificados en América Latina.

Referencias

- Miranda, A., Vásquez-Carrillo, G., García-Lara, S., San Vicente, F., Torres, J.L., Ortiz-Islas, S., Salinas-Moreno, Y. & Palacios-Rojas, N. (2013). Influence of genotype and environmental adaptation into the maize grain quality traits for nixtamalization, CyTA - Journal of Food, DOI:10.1080/19476337.2013.763862.
- Babu, R., Palacios, N., & Prasanna, B. M. (2013). Biofortified maize—a genetic avenue for nutritional security. Translational genomics for crop breeding: Abiotic stress, yield and quality, 2.
- Palacios, N. Maize Biofortification and New Uses: Where CIMMYT Stands and New Challenges. Seeding innovation... Nourishing hope. CIMMYT puts cutting, 157.
- Pixley, K., Rojas, N. P., Babu, R., Mutale, R., Surles, R., & Simpungwe, E. (2013). Biofortification of maize with provitamin A carotenoids. In Carotenoids and Human Health (pp. 271-292). Humana Press.
- Babu, R., Nair, S. K., Vivek, B. S., San Vicente, F., & Prasanna, B. M. 7. Integración de selección asistida por marcadores en el sistema de mejoramiento de DH para acelerar el desarrollo y la distribución de líneas progenitoras y variedades superiores. Dobles haploides, 40.

Control de calidad en mejoramiento y productos alimenticios de maiz biofortificado.

Natalia Palacios-Rojas y Aldo Rosales.
Programa Global de Maíz, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). km 45 vía México-Veracruz. 56237, Texcoco, Estado de México, México. Tel. +52 (595) 9521900 Ext.1112

Resumen

Una parte esencial de los programas de mejoramiento es el monitoreo de calidad en las distintas etapas del proceso, por lo que el Laboratorio de Calidad de Maíz ha desarrollado metodologías que permitan a los mejoradores analizar sus materiales de manera rápida, precisa y económica. Las técnicas de espectroscopia infrarroja y la fluorescencia de rayos X son alternativas que permiten estimar el contenido de distintos nutrientes en harina de maíz en especial en las primeras etapas del mejoramiento. Otro interés del laboratorio es estandarizar el muestreo de los materiales, por lo que se han elaborado protocolos que permiten a los mejoradores conocer en que etapas es conveniente determinar la concentración de nutrientes y como deben realizar el muestreo, lo cual aumenta la confiabilidad en los resultados obtenidos. También se han realizado pruebas para determinar el efecto del procesamiento en la concentración de diversos compuestos de interés nutricional (zinc, hierro, provitamina A, proteína, triptófano, lisina) durante la elaboración de alimentos, lo cual ayudaría a estimar la cantidad que es necesario consumir para cubrir determinados requerimientos nutricionales en distintos sectores de la población.

Palabras clave: Maíz biofortificado, NIRS, XRF, retención de nutrientes.

Introducción.

En años recientes, los programas de biofortificación han recibido mayor atención. El maíz QPM ha incrementado las cantidades de dos aminoácidos esenciales, lisina y triptófano, y proveen un mayor valor nutricional al maíz que sirve de principal fuente de alimentación en poblaciones deficientes en proteína (Gunaratna *et al.* 2010). El desarrollo de maíz biofortificado con alto contenido de provitamina A y zinc es también prioritario en programas internacionales de mejoramiento como Harvest Plus (Ortiz-Monasterio *et al.* 2007). Adicionalmente, las industrias química y de alimentos están exigiendo más parámetros de calidad en los requerimientos de maíz. También las nuevas industrias (biocombustibles) solicitan nuevas características de calidad del grano de maíz que emplean. Por tanto, la caracterización física y química del grano es un elemento importante en cualquier programa moderno de mejoramiento de maíz (Montes *et al.* 2006).

Las limitaciones que tienen los análisis químicos son debidas a los costos, tiempo y robustez de los métodos. La mayoría de los programas de mejoramiento de maíz monitorean las concentraciones de los compuestos de interés durante distintas etapas del mejoramiento utilizando técnicas colorimétricas, cromatográficas o espectrofotométricas, las cuales son complejas, costosas y requieren largos procedimientos y técnicos capacitados, en especial cuando se tiene que analizar un gran número de muestras (por ejemplo, en las primeras etapas de los programas de mejoramiento) (Rosales *et al.* 2011)it is essential to regularly monitor Trp and/or Lys in breeding programs. Our objective was to examine the potential of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS.

El Laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz y Análisis de Tejido Vegetal del CIMMYT se dedica a desarrollar y/o adoptar metodologías adecuadas, económicas y rápidas para poder proveer datos precisos que permitan a los investigadores tomar decisiones en el campo en cuanto a las mejoras nutricionales del maíz (Galicia-Flores *et al.* 2009).

Es por ello que se han explorado técnicas como la espectroscopia en el infrarrojo cercano (NIR) y la fluorescencia de rayos X (XRF), las cuales requieren

preparaciones simples de las muestras y que generalmente son rápidas y económicas, lo cual facilita el análisis (Galicia-Flores *et al.* 2012).

El NIR se fundamenta en la quimiometría y combina la espectroscopia, la estadística y la computación para generar modelos matemáticos que relacionan la composición química (presencia de grupos químicos activos) con cambios de energía en la región correspondiente al rango infrarrojo cercano (longitudes de onda entre 800 y 2500 nm) (Fontaine, Schirmer, and Hörr 2002).

Para la determinación de micronutrientes, se han utilizado diversos métodos instrumentales, sin embargo, son costosos y requieren tratamientos agresivos y prolongados. Las principales ventajas de la XRF sobre los métodos de química húmeda radican en que el análisis no es destructivo, no utiliza químicos nocivos y por tanto no produce residuos tóxicos (Paltridge, Milham, *et al.* 2012).

La mayoría de la información disponible del contenido de nutrientes de los alimentos se refiere a materiales crudos. Sin embargo, es evidente que se requieren en forma urgente datos relacionados con la forma en que la población consume los alimentos, al igual que tiene que determinarse la influencia del procesamiento y almacenamiento sobre los niveles de estos nutrientes (especialmente provitamina A). Este tipo de información ayudará a los consumidores e industrias procesadoras a elegir las condiciones de procesamiento y almacenamiento que favorecen la retención de nutrientes (Palacios *et al.*, for upcoming).

Material y Métodos.

Se realizó una recopilación de datos obtenidos por los autores e investigaciones relacionadas con el monitoreo de nutrientes en distintas etapas del mejoramiento y procesamiento de maíz mediante técnicas convencionales y métodos alternativos (NIR y XRF).

Resultados y Discusión.

El monitoreo de calidad es de suma importancia para determinar los resultados del mejoramiento. Se han diseñado esquemas que de acuerdo a la secuencia de los programas de mejoramiento, proponen en qué etapa se debe realizar este monitoreo dependiendo el aspecto nutricional que se pretende incrementar. Para materiales con alto contenido de provitamina A se propuso el esquema mostrado en la figura 1(Pixley *et al.* 2013).

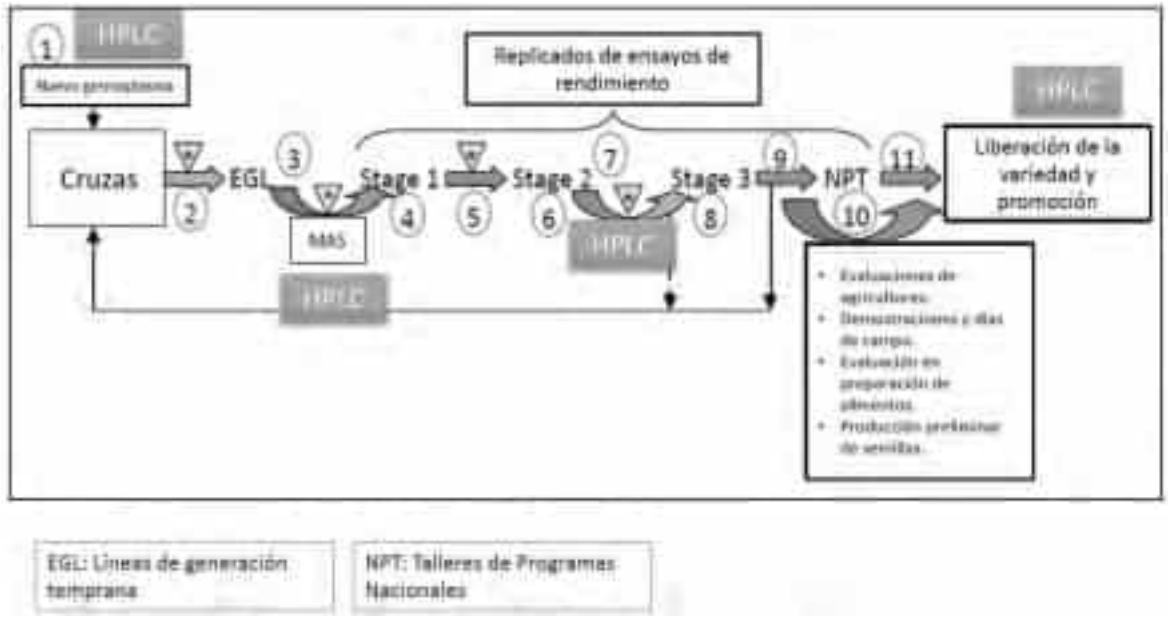


Figura 1. Monitoreo del contenido de provitamina A en distintas etapas del mejoramiento de maíz.

Para obtener los valores de provitamina A más exactos, se acordó con los mejoradores que deben controlar y registrar la etapa del muestreo y el tamaño de la muestra. Durante el almacenamiento y transporte, se sugirió que sea a una temperatura de -20 a 4° C, protegiendo en lo posible de la luz y el oxígeno.

Respecto al tamaño de muestra, se sugiere consultar los protocolos elaborados por el laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz del CIMMYT (Galicia-Flores *et al.* 2009, 2012).

El método establecido para determinar la concentración de carotenoides en harina de maíz es la cromatografía de líquido de alta eficacia (HPLC), sin embargo, está en proceso de validación el uso de espectroscopia en el infrarrojo cercano. Los resultados preliminares han sido alentadores, en la figura 2 se muestran las validaciones obtenidas para ß-caroteno, ß-criptoxantina y carotenoides con actividad de provitamina A.

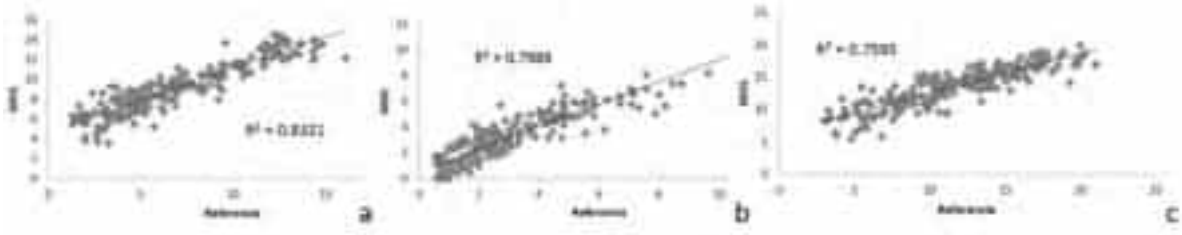


Figura 2a. Validación para ß-caroteno; figura 2b, validación para ß-criptoxantina; figura 2c, validación para carotenoides con actividad de provitamina A.

Para el maíz QPM, se deben monitorear las modificaciones en todas las etapas del mejoramiento y analizar el contenido de triptófano y lisina en la generación F3 o en la F4. En los protocolos para generar variedades QPM se puede encontrar información detallada sobre como realizar el monitoreo, sin embargo, también se desarrollaron modelos de predicción mediante NIRS para estimar las concentraciones de trp, lys y proteína (Figura 3) (Rosales *et al.* 2011).

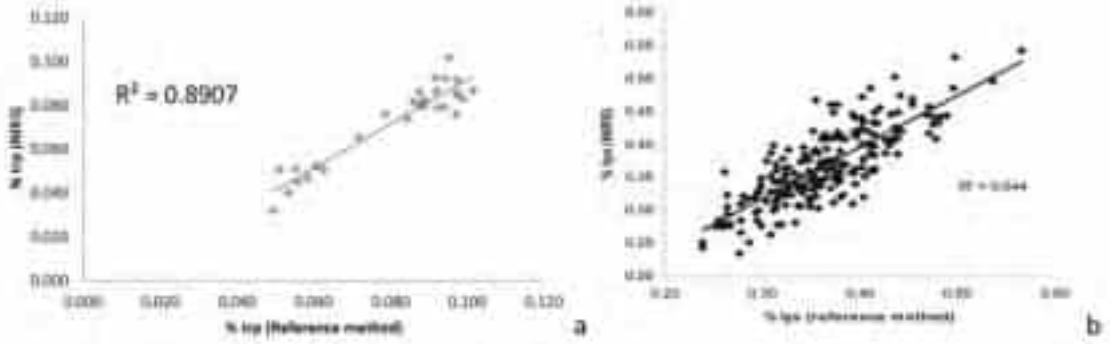


Figura 3a. Validación para trp; figura 3b, validación para lys.

El uso de la técnica NIRS ha representado ventajas económicas y de tiempo de análisis, tal como lo indica el cuadro 1 (Rosales *et al.* 2011).

Cuadro 1. Comparativo de tiempo y costo para analizar trp en maíz mediante dos técnicas.

Etapa	Proceso	Método químico	NIRS	Costo (USD)
Preparación de la muestra	Molienda	2 min	2 min	2.1
	Desgranado	10 h	0 h	2.1
Hidrólisis		18 h	0 h	2.5
Análisis	Reacción química y cálculos	1 h	0 h	1.1
	Escaneo de NIRS	0 h	1 min	0.52

Los programas de mejoramiento de maíz alto en zinc han propuesto el monitoreo del contenido de zinc en las etapas indicadas en la figura 4, empleando el método de referencia (plasma acoplado a espectrofotómetro) y el método alterno XRF. Tal como se muestra en la misma figura, el costo de análisis mediante fluorescencia es menor al 50 % respecto al método de referencia.

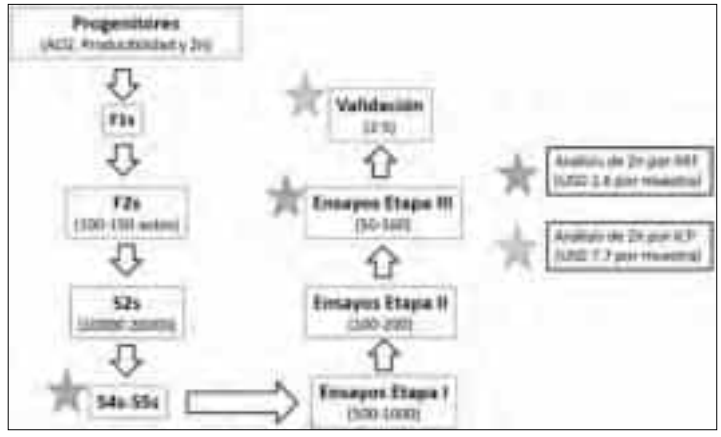


Figura 4. Monitoreo del contenido de zinc en distintas etapas del mejoramiento de maíz.

Las validaciones realizadas del XRF respecto al método de referencia (Figura 5) han permitido confiar en esta técnica para considerarla parte del proceso de mejoramiento de maíz con alto contenido de zinc (Paltridge, Palmer, *et al.* 2012).

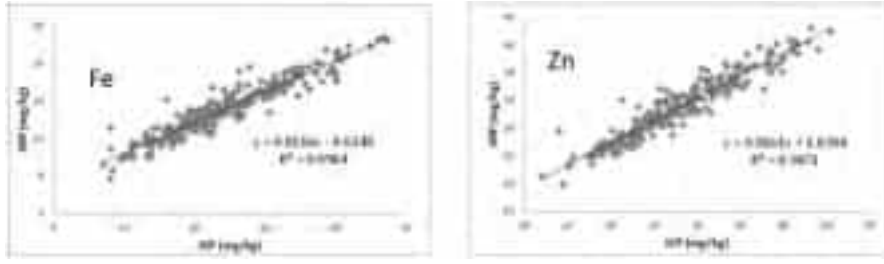


Figura 5. Validaciones para hierro (Fe) y zinc (Zn).

Las recomendaciones que se hacen para muestrear materiales para determinación de hierro y zinc se pueden consultar en los protocolos elaborados por el laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz del CIMMYT, pero de manera general, se sugiere cosechar el maíz sin quitar las hojas que lo cubren, posteriormente, desgranar a mano evitando el uso de objetos metálicos que puedan contaminar la muestra.

Otro aspecto que es de suma importancia, es el efecto que causa el procesamiento de maíz en

nutrientes de interés durante la elaboración de alimentos. En referencias bibliográficas se encontraron resultados contrastantes (especialmente para carotenoides), por lo que el laboratorio ha realizado pruebas que permitan inferir el efecto de distintos procesos en la concentración de nutrientes. En el cuadro 2 se observa el efecto que tiene hervir el maíz, lo cual es una preparación típica en diversos países para su consumo (Howe and Tanumihardjo 2006; Lozano-Alejo *et al.* 2007; Pixley *et al.* 2013; Tanumihardjo, Palacios-Rojas, and Pixley 2010)

Componente	Germoplasma	Etapa lechosa	Maíz hervido
Proteína (%) n=10	QPM		
Lisina (%) n= 10	QPM		
Triptofáno (%) n= 10	QPM		
Zinc (mg kg^{-1}) n = 20	High Zn		
ProVA (mg g-1 DW) n = 6	High ProVA		

Cuadro 2. Concentración de nutrientes en 2 etapas fenológicas y después de someter a hervor.

También se han realizado pruebas para evaluar el efecto en la concentración de carotenoides que tienen diversos procesos al elaborar alimentos típicos (Cuadro 3), lo cual aporta valiosa información para estimar la cantidad de alimento que es necesario consumir para cubrir requerimientos nutricionales en distintos sectores de la población.

Cuadro 3. Efecto de diversos procesos en la concentración de carotenoides.

Alimento	Proceso empleado	Pérdidas
Nixtamal	Molienda, cocimiento alcalino	Sin pérdidas aparentes
Tortilla	Molienda, cocimiento alcalino, cocimiento sobre metal	Sin pérdidas aparentes
Totopos	Molienda, cocimiento alcalino, freído.	36 % de ProA
Tamales	Molienda, cocimiento alcalino, hervido.	40 % de ProA
Extrudidos	Molienda, extrusión	10 % de ProA
Tsa-tsa	Molienda, hervido	37 % de ß-caroteno
Palomitas	Microondas	20 – 30 % de ProA
Elote hervido	Hervido	30 % de ProA

Conclusiones.

Las técnicas NIRS y XRF son plataformas que brindan resultados confiables para monitorear la calidad del maíz en las primeras etapas de los programas de mejoramiento.

Se debe continuar estudiando el efecto del procesamiento en los nutrientes del maíz para establecer metas que permitan garantizar la ingestión adecuada de compuestos nutricionales.

Literatura Citada.

- Fontaine, Johannes, Barbara Schirmer, and Jutta Hörr. 2002. "Near-Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) Enables the Fast and Accurate Prediction of Essential Amino Acid Contents. 2. Results for Wheat, Barley, Corn, Triticale, Wheat Bran/middlings, Rice Bran, and Sorghum." *Journal of agricultural and food*

chemistry 50(14): 3902–11. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12083857.

- Galicia-Flores, Luis A. *et al.* 2012. *Laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz Y Análisis de Tejido Vegetal: Protocolos de Laboratorio 2012*. Mexico: CIMMYT International Maize and Wheat Improvement Center.
- Galicia-Flores, Luis A., Eric Nurit, Aldo Rosales, and Natalia Palacios-Rojas. 2009. *Laboratory Protocols 2009: Maize Nutrition Quality and Plant Tissue Analysis Laboratory*. 1st ed. eds. Luis A. Galicia-Flores, Eric Nurit, Aldo Rosales, and Natalia Palacios-Rojas. Mexico: CIMMYT International Maize and Wheat Improvement Center.
- Gunaratna, Nilupa S. *et al.* 2010. "A Meta-Analysis of Community-Based Studies on Quality Protein Maize." *Food Policy* 35(3): 202–10. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306919209001316.
- Howe, Julie A., and Sherry A. Tanumihardjo. 2006. "Carotenoid-Biofortified Maize Maintains Adequate Vitamin A Status in Mongolian Gerbils." *The Journal of Nutrition* 136(10): 2562–67. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16988127.
- Lozano-Alejo, Nancy, Gricelda Vázquez-Carrillo, Kevin Pixley, and Natalia Palacios-Rojas. 2007. "Physical Properties and Carotenoid Content of Maize Kernels and Its Nixtamalized Snacks." *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 8: 385–89. http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1466856407000422 (July 18, 2012).
- Montes, J. M. *et al.* 2006. "Near-Infrared Spectroscopy on Combine Harvesters to Measure Maize Grain Dry Matter Content and Quality Parameters." *Plant Breeding* 125(6): 591–95. http://doi.wiley.com/10.1111/j.1439-0523.2006.01298.x.
- Ortiz-Monasterio, J.I. *et al.* 2007. "Enhancing the Mineral and Vitamin Content of Wheat and Maize through Plant Breeding." *Journal of Cereal Science* 46(3): 293–307. http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521007001191 (August 2, 2012).
- Paltridge, Nicholas G., Lachlan J. Palmer, *et al.* 2012. "Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Analysis of Zinc and Iron Concentration in Rice and Pearl Millet Grain." *Plant and Soil*. http://www.springerlink.com/index/10.1007/s11104-011-1104-4 (July 12, 2012).
- Paltridge, Nicholas G., Paul J. Milham, *et al.* 2012. "Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry as a Tool for Zinc, Iron and Selenium Analysis in Whole Grain Wheat." *Plant and Soil* 361(1-2): 261–69. http://link.springer.com/10.1007/s11104-012-1423-0 (June 12, 2014).
- Pixley, Kevin *et al.* 2013. "Biofortification of Maize with Provitamin A Carotenoids." In *Carotenoids and Human Health*, ed. Sherry A. Tanumihardjo. Humana Press, 271–92.
- Rosales, Aldo *et al.* 2011. "Near-Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) for Protein, Tryptophan, and Lysine Evaluation in Quality Protein Maize (QPM) Breeding Programs." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(20): 10781–86. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21919454.
- Tanumihardjo, Sherry A., Natalia Palacios-Rojas, and Kevin Pixley. 2010. "Provitamin a Carotenoid Bioavailability: What Really Matters?" *International Journal for Vitamin and Nutrition Research* 80(4-5): 336–50. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21462118 (September 18, 2012).

Análisis y proyecciones del rendimiento promedio de maíz amarillo duro en Ecuador y sus implicaciones para el mejoramiento genético en el INIAP

José L. Zambrano[1/], Paúl Villavicencio[1/], Marlon Caicedo[1/], Daniel Alarcón[2/], Eddie Zambrano[2/], José Eguez[3/], Carlos Yanez[4/]
[1/] Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-INIAP, Dirección de Investigaciones, jose.zambrano@iniap.gob.ec; [2/] INIAP, Programa de Maíz, Estación Experimental Portoviejo; [3/] INIAP, Programa de Maíz, Estación Experimental del Austro; [4/] INIAP, Programa de Maíz, Estación Experimental Santa Catalina

Resumen

El maíz de grano duro es una de las pocas especies que se cultivan en el Ecuador en costa, sierra y oriente, abarcando una superficie de aproximadamente 330.000 ha. A pesar que la producción de este cereal ha crecido en los últimos años en el Ecuador, se desconoce si este crecimiento será suficiente para satisfacer las necesidades futuras de grano, teniendo en cuenta el incremento de la población, incertidumbres por cambio climático e insuficientes tierras disponibles para aumentar el cultivo. El objetivo del presente estudio fue determinar cuánto se debe incrementar el rendimiento del cultivo de maíz a nivel nacional para satisfacer las necesidades de la población al 2030 y al 2050 y cuáles serían las implicaciones para el programa de mejoramiento genético de maíz del INIAP. Utilizando modelos de regresión simple, se determinó que para el 2050 se requiere incrementar en un 67% el rendimiento promedio nacional del cultivo de maíz duro a fin de satisfacer el consumo interno del grano. De igual manera, el Programa de Maíz requiere modificar y mejorar los esquemas de mejoramiento y desarrollo de híbridos, ya que el esquema actual no le permitirá alcanzar el objetivo de desarrollar híbridos con rendimientos promedios de 8,9 y 10,5 t/ha para el 2030 y 2050, respectivamente.

Palabras Claves

Mejoramiento genético, maíz amarillo duro, seguridad alimentaria.

Introducción

El maíz es el primer cultivo transitorio de importancia en América Latina y segundo a nivel mundial, debido a la importancia que tiene para la alimentación humana, animal y los múltiples usos que ofrece a la agroindustria (Doswell *et al.*, 1996; Paliwal *et al.*, 2001). En el Ecuador es considerado uno de los productos agrícolas más importantes, tanto para consumo humano como para uso en la agroindustria (SINAGAP, 2013). El maíz ofrece seguridad a los pequeños y medianos agricultores, ya que al ser un cultivo de ciclo corto les permite generar utilidades a los cuatro meses y asegurar materia prima para la elaboración de balanceados, contribuyendo a la seguridad alimentaria de las comunidades.

Durante los últimos 20 años se ha incrementado considerablemente la producción de maíz en el Ecuador (Figura 1), hasta el punto de ser autosuficientes o estar muy cerca de serlo. Aun así, si las tendencias de consumo y de incremento en la producción se mantienen, se desconoce si será suficiente para satisfacer la demanda de grano en el tiempo, teniendo en cuenta el incremento poblacional, la disponibilidad de tierras y agua para la agricultura y efectos adversos del cambio climático. La Cumbre Mundial de Seguridad Alimentaria dictaminó que para el año 2050 se necesitará un 70% más de alimentos para alimentar a la población, indicándose además, que este incremento en la productividad en países en desarrollo debería ser casi el doble que el de países desarrollados (FAO, 2009).

El objetivo del presente estudio fue determinar el incremento de rendimiento promedio nacional de maíz amarillo duro que debe ser alcanzado para satisfacer las necesidades de la población del Ecuador en el 2030 y 2050, y analizar el impacto en la mejora genética del Programa de Maíz del INIAP, proponiendo objetivos y metodologías de mejoramiento.

Materiales y Métodos

Se analizaron las bases de datos del Programa de Maíz de la Estación Experimental Tropical Pichilingue desde el 2011 hasta el primer ciclo del 2015, a fin de obtener el promedio de rendimiento de los híbridos generados por el Programa de Maíz. El promedio de cada híbrido se lo asignó al año de su liberación. En el caso del Híbrido INIAP H550 se utilizó información secundaria (INIAP, 1985), ya que no se disponía de ensayos con ese híbrido desde hace más de 15 años. Con estos valores se generó un modelo de regresión linear simple, que representa el avance genético obtenido por el Programa Nacional de Maíz cada año y permite proyectar los rendimientos futuros, asumiendo que se mantienen los esquemas de selección y mejoramiento. Se estableció como parámetro básico que el R^2 sea > a 80 %, a fin de tener un resultado con un nivel de confianza aceptable. Se estimó una brecha promedio entre el rendimiento observado con los híbridos del INIAP y el rendimiento promedio nacional, a fin de hacer comparables los rendimientos.

Para el cálculo de demanda nacional de maíz, se tomó de base el requerimiento de maíz de grano amarillo duro en el 2014 (1`400.000 TM) reportado por Bravo (2015), y para los cálculos de rendimiento, producción y superficie sembrada, se tomó la información oficial del Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca-SINAGAP (2013), donde se indica que en el 2013 el promedio de rendimiento de grano seco (13% humedad) fue de 3,68 t/ha, con una superficie cosechada de 330.168 ha. Para las proyecciones, se consideró la superficie cosechada como fija, lo que indicaría que la superficie sembrada a nivel nacional se mantendrá estable hasta el 2050.

Los datos de la proyección de la Población del Ecuador al 2030 y 2050 fueron tomados del INEC (2012). Se tomó el año 2014 como base y se estimó el consumo per cápita de maíz amarillo duro por habitante. Para el presente estudio, este consumo se lo consideró fijo para las proyecciones hasta el 2050, lo que asume que no existirán cambios en los patrones de consumo de la población. La población 2014 de referencia para el Ecuador fue 15'982.551 habitantes (Datosmacro.com). Finalmente, se compararon los datos de proyecciones de consumo de maíz de la población con las proyecciones de ganancia genética del Programa de Maíz y se estimaron las brechas de producción y de rendimiento, tanto a nivel nacional como para el programa de mejoramiento genético. El presente estudio no considera los efectos de cambio climático, ni las tendencias de aumento de consumo de carne de la población.

Resultados y Discusión

Las estadísticas generales del cultivo de maíz de grano amarillo duro indican un crecimiento importante en producción y rendimiento de este cereal a partir del 2000 (Figura 1). A partir del 2011 se observa otro salto cuantitativo, pasando de un rendimiento promedio de menos de 2,5 t/ha a más de 3,0 t/ha. Desde el año 2000 al 2012, la producción nacional de maíz duro en grano seco y limpio en el Ecuador aumentó 188%, debido principalmente al fomento del uso de semillas de alto rendimiento, al incremento en los precios internacionales y a la alta demanda por parte de la agroindustria nacional (SINAGAP 2013).

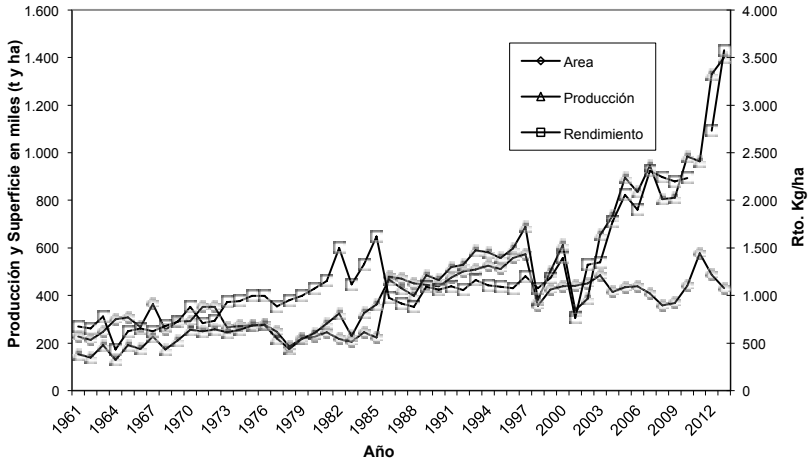


Figura 1. Evolución de la producción de maíz amarillo duro, rendimiento y área cultivada en el Ecuador (1961-2014). Fuente: FAOSTAT.

Para estimar los rendimientos promedios de los híbridos de maíz liberados por el INIAP, se compiló los resultados de 39 ensayos conducidos desde el año 2011 hasta el 2015. Los datos de rendimiento se observan en Tabla 1. El rendimiento promedio de los híbridos extranjeros comercializados por la empresa privada se presenta como referencia.

Tabla 1. Estadísticas generales de seis híbridos de maíz liberados por el Programa Nacional de Maíz del INIAP e híbridos comercializados por la empresa privada en diversos ensayos en la zona central del Litoral ecuatoriano (2011-2015).

Año de liberación	Nombre	Rendimiento Promedio (t/ha)	Desviación típica
1985	INIAP H550	4,9	-
1990	INIAP H551	6,0	0,8
2004	INIAP H601	7,4	0,8
2009	INIAP H602	7,3	0,9
2010	INIAP H553	7,2	0,9
2012	INIAP H824	7,0	1,0
2004-2015	Empresa Privada	7,4	0,8

El modelo de regresión lineal generado con los datos promedios de rendimiento fue: y = 79,846x - 153182 con un R^2 de 0,8328. Esto indica que en promedio, se ha ganado 79,8 kg/ha de maíz por año desde 1985, año de liberación del primer híbrido de maíz producido por el Instituto (INIAP, 1985). Este modelo sirvió para proyectar el rendimiento de los próximos híbridos a generarse hasta el 2050, asumiendo que no se modifica el esquema de mejoramiento genético, que se ha mantenido igual desde 1985. La Tabla 2 indica los resultados de las proyecciones de rendimiento y la cantidad de maíz necesaria para satisfacer la demanda interna de la población ecuatoriana.

Tabla 2. Proyecciones de demanda y rendimiento de maíz amarillo duro para satisfacer las necesidades de la población en el Ecuador.

Año	Población (millones hab)	Demanda miles (t)	Rendimiento Promedio Nacional meta (t/ha)	Rendimiento INIAP meta (t/ha)	Rendimiento INIAP proyectado (t/ha)	Diferencia rendimiento
2015	16,278	1416	4,3	9,1	7,7	1,8
2020	17,510	1523	4,6	9,4	8,2	1,2
2030	19,814	1724	5,2	10,0	8,9	1,1
2040	21,806	1897	5,7	10,5	9,7	0,8
2050	23,377	2034	6,2	11,0	10,5	0,5

Los resultados indican que para satisfacer la demanda interna de maíz amarillo duro en el 2050 será necesario incrementar los rendimientos promedios de maíz a nivel nacional en un 67%, cifra muy cercana a la indicada por la FAO (2009). Desde un punto de vista técnico, existen varias maneras de incrementar el rendimiento promedio, pero en lo que respecta al mejoramiento genético y asumiendo que el incremento solo dependiera de este factor, el Programa de Maíz necesitaría incrementar el rendimiento de los nuevos híbridos a 10,5 t/ha. En la actualidad, el próximo híbrido INIAP que será liberado el 2016 tiene un rendimiento promedio de 7,76 t/ha, muy cercano al indicado por el modelo de regresión utilizado para el análisis. Estos resultados asumen que la superficie de maíz sembrada no incrementará significativamente o en un patrón diferente al de los últimos 50 años (Figura 1) y que no existirá cambios en el patrón de consumo de la población.

Es necesario considerar que el incremento de rendimiento promedio dentro de un programa de mejoramiento genético no necesariamente es lineal, depende de varios factores, incluidos diversidad genética de las poblaciones básicas, métodos empleados, entre otros. Sin duda, alcanzar los resultados planteados presenta un gran reto para el Programa Nacional de Maíz del INIAP, que además seguramente tendrá que lidiar con los efectos del cambio climático y la presencia de agresivas plagas (Oerke, 2006).

A fin de alcanzar las metas de rendimiento establecidas, es mandatorio modificar el esquema de mejoramiento genético y desarrollo de híbridos de maíz en el INIAP. Para esto, con el apoyo del CIMMYT, se han establecido nuevos objetivos y metodologías de trabajo con un enfoque multidisciplinario: 1) realizar estudios de diversidad genética y pre mejoramiento para desarrollar la colección núcleo e identificar grupos heteróticos, 2) disponer de un programa de mejoramiento moderno, asistido por marcadores moleculares y con tecnología de producción de plantas dobles haploides, 3) hasta el 2023, generar híbridos de maíz que permitan alcanzar rendimientos promedios superiores a las 9 t/ha, adaptados a las condiciones ambientales: trópico húmedo, trópico seco y valles sub tropicales del Ecuador, 4) generar alternativas tecnológicas y sostenibles para el manejo integrado del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), virus (*Potivirus*) y nutrición del cultivo de maíz.

Para implementar este plan, será importante contar con un equipo humano altamente capacitado en temas de mejoramiento genético, patología, agronomía y biotecnología. El INIAP empezó desde hace varios años un esquema de capacitación y contratación de especialistas. En el último año se logró incrementar de 15 a 29 especialistas con título de PhD. Disponer de esquemas apropiados y eficientes de transferencia de tecnología y extensión rural es trascendental para alcanzar las metas propuestas.

Conclusiones

- El presente análisis constituye una referencia para establecer objetivos metas de rendimiento en base a las necesidades del país y las proyecciones de incremento de la población.
- Utilizando un modelo de regresión lineal se determinó que el Ecuador necesita incrementar el rendi-

miento promedio del cultivo de maíz en un 67% si busca satisfacer su demanda interna para el 2050.
- Las metodologías de selección y desarrollo de híbridos del INIAP deben ser modificadas y modernizadas para cumplir con las expectativas y proyecciones de demanda interna de grano.

Literatura Citada

- Dowswell, C.R., Paliwal, R.L., Cantrell, R.P. 1996. Maize in the Third World. Winrock International Institute for Agriculture Development. Westview Press, Inc. Colorado, U.S. 268 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2009. Global agriculture towards 2050. How to feed the world 2050 High-Level Expert Forum.
- INEC 2012. Proyecciones de la población de la República del Ecuador 2010-2050. 42 p.
- INIAP 1985. INIAP H-550, Un híbrido de maíz para la zona central del Litoral ecuatoriano. Plegable divulgativo No. 83.
- Oerke, E –C. 2006. Crop losses to pests. Journal of Agricultural Science 144: 31-43.
- Paliwal, R.L., Granados, G., Latiffe, H.R., D. Violic A. 2001. El maíz en los trópicos, Mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia. Disponible en: http://www.fao.org/DOCREP/003/X7650S/X7650S00.HTM, Consultado: 1 de octubre del 2009.
- SINAGAP. 2013. Verificado Septiembre 2015. Disponible en: Coordinación General del Sistema de Información Nacional. Boletín Institucional. http://sinagap.agricultura.gob.ec/boletin-ma%C3%ADz-duro/descargables-maizd/file/3766-boletin-situacional-maiz-duro-2013
- Tester, M y Langridge, P. 2010. Breeding Technologies to Increase Crop Production in a Changing World. Science 327: 818-822.

Generación de un híbrido simple de maíz para el trópico seco del litoral ecuatoriano

Daniel Alarcón [1/], Eddie Zambrano [1/], Oscar Cerón [1/], Paúl Villavicencio [2/], Marlon Caicedo [2/], José L. Zambrano [2/], Ezequiel Saltos [2/], José Eguez [3/], Pablo Pintado [3/], Carlos Yanez [4/], Rómulo Carrillo [5/], Nelson Motato [6/].

[1/] INIAP, Programa Nacional de Maíz, Estación Experimental Portoviejo, daniel.alarcon@iniap.gob.ec; [2/] INIAP, Programa Nacional de Maíz, Estación Experimental Tropical Pichilingue; [3/] INIAP, Programa Nacional de Maíz, Estación Experimental del Austro; [4/] INIAP, Programa Nacional de Maíz, Estación Experimental Santa Catalina; [5/] INIAP, Núcleo de Desarrollo Tecnológico, Estación Experimental Portoviejo; [6/] INIAP, Departamento de Suelos y Agua, Estación Experimental Portoviejo

Resumen

Con el fin de generar un nuevo híbrido de maíz de grano amarillo duro para la zona tropical seca del Litoral ecuatoriano, que supere en rendimiento a los materiales nacionales disponibles y compita con los híbridos introducidos por las compañías trasnacionales, se evaluaron siete híbridos experimentales simples, dos híbridos experimentales triples y cinco híbridos comerciales nacionales e importados (testigos) en 29 ensayos en varios ambientes desde el 2010 al 2013. Los dos mejores híbridos experimentales fueron evaluados nuevamente con pequeños y medianos productores con el fin de evaluar su beneficio económico y estabilidad durante la época lluviosa del 2015. El híbrido simple experimental LP3b X CML-451 obtuvo el mayor rendimiento promedio en los 29 ensayos con 7645 kg/ha, muy similar al mejor testigo DEKALB-1596, híbrido importado, que obtuvo 7562 kg/ha. El híbrido experimental simple presentó los mejores rendimientos cuando fue evaluado en épocas seca bajo riego y humedad remanente, donde obtuvo promedios de 10820 kg/ha y 7577 kg/ha, respectivamente.

Palabras Claves: Mejoramiento genético, maíz amarillo duro.

Introducción

El maíz de grano duro y color amarillo, por su importancia económica y social, es un cultivo estratégico en el Ecuador. Esta gramínea, además de contribuir a la alimentación humana, es materia prima para la elaboración de alimentos balanceados de consumo animal, especialmente para el sector avícola.

En los últimos años se ha incrementado el interés de los productores maiceros por la siembra de este cultivo, debido principalmente al buen precio del grano en el mercado internacional y a la existencia de un precio oficial que ha permitido que este se mantenga estable por varios años.

De acuerdo a datos sobre la superficie sembrada y cosechada del 2014, en el Litoral ecuatoriano se plantaron 273.556 hectáreas y se cosecharon 256.059 de lo cual se obtuvo 1'200.000 TM de grano seco, siendo las provincias de Manabí, Los Ríos y Guayas las que aportan con el 87% de la superficie nacional (Bravo 2015) con un promedio de 3,5 TM por hectárea. Es importante destacar, que aunque el rendimiento promedio nacional se ha incrementado considerablemente en la última una década, este se considera bajo en comparación con los rendimientos promedio de nuestros vecinos fronterizos como Perú y Colombia que logran 4,7 y 3,8 TM/ha, respectivamente (SINAGAP 2013).

Bajo estas consideraciones, el Programa Nacional de Maíz ha centrado su mayor esfuerzo en el mejoramiento genético, donde se busca obtener y liberar híbridos de alto rendimiento, con características agronómicas deseables y tecnología de manejo que permita incrementar la producción por unidad de superficie y así aportar al mejoramiento y sostenibilidad de la economía de los productores maiceros; y cubrir las demandas insatisfechas de este cereal. A continuación se reporta la generación y evaluación de un nuevo híbrido de maíz para la zona del trópico seco del Litoral ecuatoriano.

Materiales y Métodos

La generación y desarrollo de líneas endocriadas de maíz se la realizó de manera convencional (Chahal y Gosal 2002). Los cruzamientos de prueba entre las mejores líneas S4 de la Población3.F4 del Programa de Maíz de la Estación Portoviejo como progenitor femenino y de las líneas CML-451 y CL-O2450 introducidas del CIMMYT, como progenitores masculinos, se usaron para identificar las mejores combinaciones de cruzas simples y triples.

Los mejores híbridos fueron evaluados en 29 ensayos experimentales durante los años 2010, 2011, 2012 y 2013, incluyendo: época lluviosa (a), época seca bajo riego (br) y condiciones de humedad remanente (hr). Las provincias y años donde se realizaron las evaluaciones fueron: Manabí, bajo condiciones de lluvia natural y riego (2010-2013); Los Ríos, lluvia natural y humedad remanente (2010-2013); Guayas, lluvia natural (2011-2013) y Loja, lluvia natural (2012-2013). El ensayo contó con siete híbridos experimentales simples, dos híbridos experimentales triples y cinco híbridos comerciales (testigos), bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y dos surcos útiles por cada tratamiento. Se evaluaron las características agronómicas: días a floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca (cm), plantas quebradas y acamadas, enfermedades foliares, mazorcas podridas, cobertura de mazorca, porcentaje de desgrane y rendimiento de grano en kg/ha (CIMMYT, 1985). Se presentan solamente datos de rendimiento ajustados al 13% de humedad.

Con los dos mejores híbridos, uno simple y otro triple, en la temporada lluviosa (a) del 2015 se realizaron nuevos ensayos en siete fincas de organizaciones de pequeños y medianos productores de la provincia de Manabí, de los cantones Chone, Tosagua, Paján, Santa Ana, Jipijapa, Portoviejo y 24 de Mayo para comprobar los resultados obtenidos y realizar un análisis de beneficio costo y rentabilidad. El ensayo se dispuso con un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones por localidad y la parcela útil fue de 64 m^2. Con los resultados obtenidos de estos ensayos se realizó un análisis de estabilidad bajo condiciones favorables y adversas (Hildebrand 1984).

Los ensayos se sembraron con una densidad de 62500 plantas por hectárea, correspondiente a un distanciamiento de siembra de 0.80 X 0.20 m, una planta por sitio. Se cumplieron todas las labores culturales recomendadas para el cultivo de maíz en la región (INIAP 2004).

Resultados y Discusión

Durante los cuatro años de evaluación (2010-2013), pocos híbridos presentaron mayor rendimiento que los testigos, sobresaliendo el híbrido simple LP3b X CML-451 (INIAP H-603), con rendimientos desde 4571 kg/ha en Pindal (Loja-2013 a) hasta 12030 kg/ha en Santa Ana (Manabí 2010 br). El análisis combinado a través de los 29 ensayos (época lluviosa, época seca, riego-humedad remanente, 2010-2013), mostró que el híbrido simple INIAP H-603 obtuvo el mayor rendimiento con 7645 kg/ha, muy similar al testigo DEKALB-1596 que obtuvo 7562 kg/ha y superando en 6% al testigo INIAP H-601, en 9.5% al INIAP H-602, 9.5% al testigo DEKALB-7088 y con el 17% al testigo INIAP H-553 (Datos no mostrados).

Bajo condiciones de lluvia (20 ensayos-2010-2013), el híbrido más rendidor fue el testigo comercial DEKALB-1596 con 7211 kg/ha, superando al híbrido INIAP H-603 en 2.3%; que obtuvo 7.044 kg/ha bajo estas condiciones, a su vez este supera en un 5% a los testigos INIAP H-601 y DEKALB-7088 y en 8 y 15.5% a los testigos comerciales INIAP H-602 e INIAP H-553, respectivamente. No existieron diferencias estadísticas significativas entre DEKALB-1596, INIAP H-603, INIAP H-601 y DEKALB-7088 según Tukey al 5% (Datos no mostrados).

En relación al rendimiento bajo condiciones de humedad remanente (hr) (cinco ensayos-Los Ríos 2010-2013), la Tabla 1 muestra que el híbrido INIAP H-603 presentó el mayor rendimiento con 7577 kg/ha, superando en 9% al testigo comercial DEKALB-7088, y con 10.5%, 11%, 20.5 % 22.5 % respecto a los testigos INIAP H-602, INIAP H-601, DEKALB-1596 e INIAP H-553, respectivamente.

Tabla 1. Análisis combinado del rendimiento (kg/ha) del híbrido INIAP H-603 bajo condiciones de humedad remanente (hr), Quevedo (2010-2013) y Valencia 2012.

(T) Testigo

Híbrido	Rendimiento		Incremento sobre los testigos(%)
INI APH-603 7577 a			
(INIAP H-601) X Port.Phaeo.1AS2.4-1-1-1	7065	ab	
DEKALB-7088 (T)	6915	abc	9.00
Port.Phaeo.1AS2.4-1-1-1 X L.I.4	6898	abc	
Port.Phaeo.IA$2.4-1-1-1 X CL-02450	6849	abc	
INIAP H-602 (T)	6785	bcd	10.5
INIAP H-601 (T)	6751	bcd	11.0
Pob. 3F4.27-1-1-1 X ap. Miranda Phaeo.98. 8-I-I-I	6340	bcde	
(INIAP H-601) X B-520	6287	bcde	
Port.Phaeo.1AS2.4-1-1-1 X CML-451	61SO	cde	
DEKALB-1596 (T)	6014	de	20.5
Pob.3F4.27-1-1-1 X G26C3.52-1-1-2-2	5893	e	
INIAP H-553 (T)	5862	e	22.5
Port.Phaeo.IAS2.4-1-1-1 X G26C3.52.1-1-2-2	5018	f	
X	6447		
CV(%)	9.5		
Tukey 0.05	755		

En lo que respecta al rendimiento bajo condiciones de riego (br), el híbrido simple INIAP H-603 obtuvo un rendimiento de 10820 kg/ha, superando en un 3% a DEKALB-1596, en un 4% al testigo comercial INIAP H-601 que obtuvo 10430 kg/ha y en 10.4%, 15% y 17.0 con relación a los testigos INIAP H-602, DEKALB-7088 e INIAP H-553, respectivamente (Tabla 2)

Tabla 2. Análisis combinado del rendimiento (kg/ha) del híbrido INIAP H-603 bajo condiciones de riego (br) en Santa Ana (2010-2013).

(T) Testigo

Híbrido	Rendimiento		Incremento sobre los testigos(%)
Port.Phaeo.1AS2.4-1-1-1 X CL-02450	11200	a	
INIAP H-603	10820	ab	
DEKALB-1596 (T)	10480	abc	3.0
INIAP H-601 (T)	10430	abc	4.0
Port.Phaeo.1AS2.4-1-1-1 X L.I.4	10290	abcd	
Pob.3F4.27-1-1-1 X a p. Miranda Phaeo.98. 8-1-1-1	10190	abcd	
(INIAP H-601) X Port.Phaeo.1AS2.4-1-1-1	10070	abcde	
INIAP H-602 (T)	9695	bcdef	10.4
Port.Phaeo.1AS2.4-1-1-1 X CML-451	9546	cdefg	
DEKALB-7088 (T)	9182	defg	15.0
Pob.3F4.27-1-1-1 X G26C3.52-1-1-2-2	9029	defg	
INIAP H-553 (T)	8950	efg	17.0
(INIAP H-601) X B-520	8814	fg	
Port.Phaeo.IAS2.4-1-1-1 X G26C3.52.1-1-2-2	8393	g	
X	9793		
CV(%)	8.7		
Tukey 0.05	1180		

Los resultados obtenidos en la primera etapa de la investigación (2010-2013) indicaron que los híbridos experimentales LP3b X CML-451 (INIAP H-603) y (Port.Phaeo.1AS2.4-1-1-1 X CL-02450) fueron los que mejor se comportaron en condiciones de riego, e INIAP H-603 y (INIAP H-601) X Port. Phaeo.1AS2.4-1-1-1 bajo humedad remanente, que son condiciones típicas de ciertos valles de la zona maicera del trópico seco. Bajo condiciones de lluvia (a) mantienen su buen rendimiento, muy similar a varios híbridos testigos.

Los resultados de los ensayos de comprobación de estos dos materiales y los híbridos comerciales INIAP H-601-Testigo INIAP- y TRIUNFO (Syngenta) -Testigo productor- realizados con pequeños y medianos agricultores en el 2015 (a) indicaron que el híbrido INIAP H-603 obtuvo el mayor promedio entre tratamientos (6731,30 kg/ha), superando al híbrido triple (6352,91 kg/ha) y a los testigos INIA H-601 (5957,21 kg/ha) y TRIUNFO (6651,34 kg/ha). Los mayores rendimientos los obtuvo en los cantones de Santa Ana, Chone y Portoviejo, donde superaron las siete toneladas.

El análisis económico mediante el método Beneficio-Costo y estimación de rentabilidad, mostraron que todos los tratamientos presentaron rentabilidad para el productor, superior al 30%, resaltando que el híbrido INIAP H-603, superó al testigo más rentable TRIUNFO. Es importante resaltar que el precio de 62.500 semillas del híbrido comercial TRIUNFO es de $ 184.81 USD y el valor de los otros híbridos del INIAP y experimentales es de $ 56.00 USD. Para efectos de cálculo de la rentabilidad, el quintal de maíz tiene un valor oficial de $ 15.90 USD.

En lo relacionado con el análisis de estabilidad modificado por Hildebrand (1984) para rendimiento en kg/ha, se observó que bajo condiciones favorables (rendimientos promedios > 6000 kg/ha) en todos los cantones el híbrido INIAP H-603 obtuvo los mayores rendimientos, con un promedio de 7454 kg/ha. En los ambientes desfavorables, el testigo comercial TRIUNFO rindió en promedio 5818 kg/ha, y el híbrido INIAP H-603 obtuvo 5768 kg/ha, superándolo con 50 kg/ha (Figura 1).

Conclusiones

Luego de un riguroso proceso de evaluación, que incluyó 29 ensayos en múltiples ambientes, siete ensayos de validación con productores, análisis económicos y de estabilidad, se ha identificado un nuevo híbrido simple de maíz amarillo duro INIAP H-603, cuya genealogía es LP3b X CML-451, para el trópico seco del Litoral ecuatoriano. El híbrido superó en rendimiento a los híbridos comerciales nacionales e introducidos, usados como testigos, en ambientes secos con humedad remanente (hr) y bajo riego (br) y condiciones de lluvia natural

Literatura Citada

Bravo, J. 2015. Conozca sobre las pérdidas post cosecha de maíz duro. Revista Técnica Maíz y Soya. Abril, p. 42-43

CIMMYT. 1985. Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT. Cuarta reimpresión. 1995. México, D.F.

Chahal, G.S., & Gosal. 2002. Principles and procedures of plant breeding. United Kingdom: Alpha Science International Ltd.

Hildebrand, P. 1984. Modified Stability Analysis of farmer managed, On-farm trials. Agronomy Journal. Vol. 76: 271-274

INIAP, 2004. INIAP H-601, Híbrido de maíz para condiciones de ladera del trópico seco ecuatoriano. Plegable divulgativo No. 201. Verificado Septiembre 2015. Disponible en: http://www.iniap.gob.ec/sitio/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=2&sobi2Id=449&Itemid=

SINAGAP. 2013. Verificado Septiembre 2015. Disponible en: Coordinación General del Sistema de Información Nacional. Boletín Institucional. http://sinagap.agricultura.gob.ec/boletin-ma%C3%ADz-duro/descargables-maizd/file/3766-boletin-situacional-maiz-duro-2013

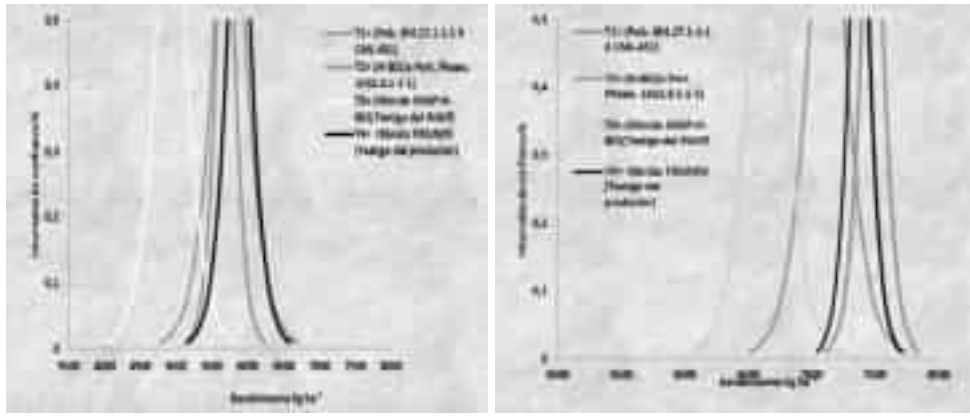


Figura 1. Análisis de estabilidad modificado por Hildebrand bajo condiciones favorables (derecha) y adversas (izquierda) de cuatro híbridos de maíz amarillo duro evaluados en siete cantones de la Provincia de Manabí, Ecuador. Época lluviosa 2015.

Corpoica Altillanura: primer híbrido de maíz amarillo (QPM) para la altillanura plana colombiana

Luis F. Campuzano[1] Samuel Caicedo[2] Luis Narro[3] Herbin Afonso[4]
1: Investigador Ph.D, 2: Investigador Master de CORPOICA 3: Ph.D, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT); 4: Investigador Profesional Asistente, respectivamente. Centro de Investigación Corpoica CI- Libertad. Villavicencio, Meta.

Resumen

Colombia tiene un déficit anual de maíz para satisfacer la industria de alimentos balanceados; en el 2012, produjo solo 20,2% del maíz requerido por la industria, y 1,0% de esta producción se obtiene en la altillanura plana; no obstante, esta región tiene una extensión de 500 mil hectáreas aptas para el cultivo del maíz. Para satisfacer la demanda nacional, el gobierno implemento el Plan País Maíz, una estrategia de fomento e investigación para la evaluación e identificación de híbridos con atributos de rendimiento y calidad que permitan la competitividad de este cultivo. En ese contexto se realizó la presente investigación, que permitió identificar el hibrido de maíz H5 con las siguientes características: alta calidad proteínica; rendimiento de grano de 5,05 t/ha, estadísticamente igual al obtenido con los testigos comerciales; floración masculina y femenina de 56 y 57 días; periodo de siembra a cosecha de 112 días; altura de planta y de mazorca de 185 y 94 cm, respectivamente; y resistencia al volcamiento de tallo y raíz y a *Cercospora* sp. y *Phaeosphaeria* sp. El hibrido H5 presentó por cada 100 g de proteína 4,10 g de lisina y 0,87 g de triptófano; valores superiores en 1,7 y 2,0 veces al obtenido por el maíz convencional (P30K73) que presenta 2,32 g de lisina y 0,43 g de triptófano.

Palabras clave: altillanura plana colombiana, interacción genotipo ambiente, maíz QPM, *Zea mays*.

Introducción

Colombia en el 2012 produjo 668.000 toneladas de maíz amarillo, por lo cual debió importar 3,3 millones de toneladas para satisfacer el requerimiento de la industria nacional de alimentos balanceados (Fenalce, 2012). Lo anterior indica que ese año el país solo logro cubrir 20,2% de la demanda con su producción interna. Esto hace evidente que para satisfacer la demanda interna se requerirá, por lo menos, quintuplicar el área actual de siembra con unos rendimientos superiores al promedio actual de 4,9 t/ha.

Para reducir la dependencia, el gobierno nacional, a través del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural fijo una reducción gradual de las importaciones de maíz apoyando sustancialmente la investigación y el fomento de la producción nacional mediante el Plan País Maíz (PPM). Este plan fijo como metas incrementar el área cultivada de maíz amarillo de 137.000 a 250.000 hectáreas, la producción de grano de 688.000 a 1,2 millones de toneladas y la productividad, de 4,9 a 6,0 t/ha entre el 2010 y 2014 (Fenalce, 2012; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012). Las metas fijadas en este plan pueden satisfacerse en buena medida en la altillanura plana colombiana, región que representa una importante frontera agropecuaria con un área potencial en 500 mil hectáreas, con suelos principalmente ácidos caracterizados por bajo pH y baja disponibilidad de fosforo.

Para el caso del maíz en la altillanura plana colombiana, con la aplicación de las tecnologías de mejoramiento de suelo e híbridos adaptados a las condiciones edafoclimaticas, se pasó de un rendimiento experimental de 500 kg/ha a 4,0 t/ha en un periodo de 15 años. Actualmente, con el proceso continuo de la investigación en la genética del maíz asociado con el manejo agronómico apropiado, se tienen materiales genéticos experimentales que llegan a producir entre 6,0 y 7,0 t/ha, híbridos que poseen la tecnología alta calidad de proteína (quality protein maize –QPM–), caracterizada por su calidad proteínica, de alto valor para la cadena de alimentos balanceados en el país (Campuzano, 2012).

Por las razones anteriormente expuestas y teniendo en cuenta las metas del Plan País Maíz, se desarrolló por un periodo de cuatro años esta investigación, con el objetivo de evaluar e identificar un hibrido de maíz QPM para la altillanura plana colombiana con características de alto rendimiento, con resistencia a enfermedades limitantes prevalentes y tipo de grano apropiado para la industria de alimentos balanceados.

Materiales y métodos

Estructuración de la Prueba de Evaluación Agronómica (PEA). Cinco híbridos provenientes del Programa de maíz tropical del CIMMYT fueron evaluados en seis localidades de la altillanura plana colombiana, mediante una PEA ajustada a la Resolución del ICA 000970 (marzo 10 de 2010) con aplicación para la subregión de la Orinoquia y desarrollada durante el año 2011 en los semestres A y B.

Materiales genéticos y localidades de evaluación. La PEA estuvo constituida por cinco (5) híbridos de maíz experimentales y tres (3) testigos comerciales. Los cinco híbridos experimentales fueron seleccionados por estudios previos realizados por Corpoica y CIMMYT en Ensayos de rendimiento durante el año 2010 en las condiciones de la altillanura plana Colombiana e identificados experimentalmente como H1: CLA41/SR); H2: FNC 318; H3: CLA139/CLA41; H4: CML451/CL02450 y H5: CML451Q/CL02450Q. Los testigos fueron el H-108 identificado como H6 (testigo por tolerancia a aluminio) y dos testigos comerciales: P30K73 identificado como H7 e Impacto como H8. Las localidades correspondieron a seis ambientes de evaluación ubicados en tres municipios maiceros de la altillanura colombiana (Villavicencio, Puerto Lopez y Puerto Gaitán). **Localidad 1 (LA):** Villavicencio (Corpoica La Libertad- Semestre A); **Localidad 2 (SA):** Puerto Lopez (Finca Santa Cruz- Semestre A); **Localidad 3 (TA):** Puerto Gaitán (Corpoica Taluma- Semestre A); **Localidad 4 (PA):** Puerto Lopez (Finca El Porvenir- Semestre A); **Localidad 5 (LB):** Villavicencio (Corpoica La Libertad-Semestre B) y **Localidad 6 (TB):** Puerto Gaitán (Corpoica Taluma-Semestre B).

Diseño experimental. Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con ocho (8) tratamientos (5 híbridos de maíces experimentales y 3 testigos) y cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por parcelas de seis (6) surcos, de cinco (5) metros de longitud y una distancia entre surcos de 0.80 metros con una densidad de población equivalente a 62.500 plantas por hectárea.

Características del suelo y manejo agronómico. En cada localidad de evaluación de la PEA se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm, con el fin de determinar las características físicas y químicas. Se realizó un control de arvenses principalmente gramíneas y de hoja ancha, desde el momento de la siembra con aplicaciones preemergentes y postemergentes, principalmente con Atrazina y Pendimetalina. Solo se realizó el control químico para *Spodoptera* sp. y *Diatrea* sp, complementado con control biológico con liberaciones de *Trichogramma* sp. En cada localidad se realizó la fertilización basado en los resultados del análisis de suelos y el requerimiento nutricional del maíz para la altillanura. Se aplicaron compuestos simples en kg/ha de Urea: 200; DAP: 200; KCL: 160; Borozinco: 20 y Sulcamag: 200).

Evaluaciones agronómicas y selección del mejor material. A continuación se describen las variables agronómicas determinadas con base en el manual del CIMMYT (1995): altura de planta (AP) y de mazorca (AM); floración masculina y femenina (FM-FF); cobertura de mazorca (CM); pudrición de mazorcas (PM); resistencia a patógenos; acame de tallo (AT); rendimiento de grano (RG) y calidad de proteína (lisina y triptófano). Las principales características tenidas en cuenta para la selección del mejor híbrido por su desempeño en la PEA fueron: rendimiento de grano y estabilidad fenotípica, cobertura de mazorca, mazorcas podridas, tipo de grano, resistencia o tolerancia a las enfermedades foliares y acame de tallo.

Análisis estadístico y análisis de estabilidad fenotípica. Mediante el procedimientos PROC UNIVARIATE (SAS 9.3, 2003) se determinaron los cumplimientos de los supuestos del análisis de varianza; para establecer las diferencias entre

medias se utilizó la prueba de Tukey (P=0.05). Con la variable rendimiento de grano (RG) se realizaron los análisis de varianza (ANOVA) individuales por localidad y combinando localidades. Para el análisis de varianza combinado las localidades y las repeticiones fueron consideradas como efectos aleatorios y los genotipos efectos fijos. El modelo matemático más adecuado fue el siguiente: Yijk = μ+ Gi + Aj + (GA) ij + Bk (j) + Eijk. La interacción genotipo x ambiente fue estudiada para la variable rendimiento de grano utilizando el modelo de Efectos Principales Aditivos e Interacciones Multiplicativas (AMMI) descrito por Crossa *et al.* (1990).

Resultados y discusión

Caracterización de los ambientes de evaluación. Los suelos utilizados para la evaluación de los híbridos de maíz, en todos los casos, con excepción de la localidad el Porvenir 2011 A (PA), presentaron porcentajes de saturación de aluminio por debajo del 20%; esto se traduce en suelos con un grado de mejoramiento de suelos con valores superiores al 80% de saturación de bases, valores que permiten la expresión del máximo potencial de los híbridos en evaluación.

Análisis de estabilidad fenotípica para rendimiento de grano. El análisis de varianza combinando localidades para el rendimiento de grano, de acuerdo con el Modelo AMMI, presentó que los efectos simples de ambiente y genotipos y su interacción GxA fueron altamente significativos, lo que indica que los híbridos de maíz evaluados presentaron diferente comportamiento a través de las localidades de prueba. Los componentes principales CP1 y CP2 permitieron dar una explicación acumulada de la variación de la interacción GxA del 84.96%.

El rendimiento promedio por localidad fluctuó desde 3.288 kg/ha a 6.092 kg/ha para las localidades LB (Corpoica La Libertad 2011 B) y TA (Corpoica Taluma 2011 A), respectivamente (Tabla 1). La longitud de los vectores para localidades es una medida de la capacidad de respuesta y a la estratificación por su comportamiento a un ambiente determinado (Crossa *et al*., 1990) (Figura 1). La localidad TA (Corpoica Taluma 2011 A) presentó la mejor estratificación de genotipos con un intervalo para el rendimiento de grano que osciló desde 3.591 kg/ha a 7.588 kg/ha. La localidad LB (Corpoica La Libertad 2011 B) presentó la menor estratificación de genotipos con un intervalo para el rendimiento de grano que fluctuó desde 2.457 kg/ha a 3.850 kg/ha (Tabla 4). La localidad LB se identificó como el mejor ambiente, de los utilizados para el agrupamiento y selección de genotipos con alto rendimiento de grano en maíz.

El análisis del BIPLOT (Figura 1), donde se contrastaron los dos primeros componentes principales CP1 y CP2, que en su conjunto explicaron el porcentaje de la variación atribuible a la interacción GxA presentó un valor acumulativo de 84,96% (CP1:59,2% y CP2:25,71%). En este grafico se diferencian cuatro sectores delimitados por líneas punteadas azules en las cuales se agrupan los ambientes donde el rendimiento presentó un ordenamiento similar. Cada línea roja representa a una localidad de evaluación. En los vértices de los polígonos se ubicaron cuatro genotipos (H2, H4, H6 y H7) que mostraron la mayor interacción genotipo x ambiente. De acuerdo con la interpretación grafica de los polígonos conformados por ambientes y genotipos (Figura 1), se observó un sector con tres ambientes La Libertad 2011 B (LB); La Libertad 2011 A (LA) y Taluma 2011 B (TB) que presentaron un ordenamiento similar del rendimiento de los genotipos con un tipo de adaptación específica para el genotipo H8 (testigo comercial Impacto). En los sectores dos y tres se observaron un genotipo asociado a un ambiente: (H1) asociado al ambiente Santa Cruz 2011 A (SA); H7 al ambiente Taluma 2011 (TA) y H4 asociado a un ambiente Porvenir 2011 A (PA). A diferencia de todos los genotipos, el H3 y H5 fueron los que presentaron el menor grado de asociación a algún ambiente y por su posición cercana al eje cero se consideraron como los genotipos con mayor estabilidad fenotípica.

Análisis de variables complementarias. Los cinco híbridos de maíz en estudio presentaron una interacción genotipo por ambiente altamente significativa para las variables altura de planta, floración masculina y femenina y significativa para altura de mazorca con unos valores de coeficiente de variación (cv) que no superaron el 15%, lo que significa el grado de confiabilidad de los datos de campo. Así mismo, mostraron una variación de altura de planta

que osciló entre 185,4 y 200,9 cm y con alturas de mazorca entre 90,7 y 103,4 cm. Las alturas de planta y de mazorca obtenidas para este grupo de híbridos satisfacen los requerimientos para un nuevo híbrido de maíz y están dentro del promedio de los híbridos comerciales. Los días a floración masculina y femenina presentaron una oscilación de 49,3 y 57,9 días para la masculina y de 52,1 y 60,7 días para la femenina (Tabla 2).

Los valores en las variables de textura de grano (T), cobertura de mazorca (CM) y mazorcas podridas (MP) (Tabla 3), permiten reconocer el híbrido H5 como un material que además de poseer buen rendimiento y ser estable, presentar una textura de grano grado 2, definida como semicristalino apropiada para el uso industrial en la cadena de industria de balanceados y una buena cobertura de mazorca, siendo esta característica importante en zonas tropicales de alta precipitación en época de cosecha. Este híbrido además de poseer una buena cobertura de mazorca presenta un bajo nivel de mazorcas podridas. El híbrido de maíz H5 que posee el gen mutante natural, presentó en g/100g de proteína 4,10 de lisina y 0,87 de triptófano, valores superiores en 1,7 y 2,0 veces al obtenido por el maíz convencional (P30K73) con 2,32 y 0,43 de lisina y triptófano (Tabla 4).

Conclusiones

Con base en los cuatro experimentos desarrollados para la PEA de maíz en la altillanura plana Colombiana y las variables evaluadas, se seleccionó el híbrido H5 (CML 451Q/CLA2450Q) como el material candidato a ser liberado comercialmente. Además de presentar un rendimiento ajustado a las metas del PPM, presentó los siguientes atributos: 1) el mejor grado de estabilidad fenotípica a las condiciones de los suelos y clima de las localidades evaluadas en la altillanura plana colombiana, 2) buen tipo de grano vítreo-cristalino, apropiado para los requerimientos de la industria de alimentos balanceados en Colombia, 3) apropiada altura de planta y de mazorca, además de tener una floración masculina y femenina acorde con la fenología del maíz en la altillanura; 4) buena cobertura de mazorca, muy bajo número de mazorcas podridas y sobresaliendo su resistencia al acame de tallo, 5) menor grado de afectación por dos enfermedades prevalecientes en la altillanura *Cercospora* sp. *y Phaeospaheria* sp. y, 6) adicionalmente este material posee 1,7 y 2,0 veces mas cantidad de lisina y triptófano que el maíz convencional por la presencia del gene opaco, característica que le otorga interés especial para la industria de alimento balanceados.

Literatura citada

- Campuzano L. 2012. Plan Nacional de Investigación, Desarrollo y Fomento del cultivo de maíz tecnificado en Colombia (2006-2010). www.fenalce.org/nueva/plantillas/arch_down
- Load/Corp2005MT.pdf; consulta: febrero 2014.
- CIMMYT. 1995. Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT. México. D.F. 21 p.
- Crossa J, Gauch H, Zobel R. 1990. Additive main effects and multiplicative interactions analysis of two international maize cultivars trials. Crop Sci. 30:493-500.
- Federación Nacional de Cerealistas y Leguminosas (FENALCE). 2012. Perspectivas del cultivo de maíz para el primer semestre 2012. Revista Coyuntura Cerealista y de Leguminosas. Vol. 38: 8-11.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2012. Plan País Maíz 2011-2014. http://www.minagricultura.gov.co/noticias/paginas/Minagricultura-fortalece-apoyos-al-cultivo-maiz-aspx; consulta: marzo 2014.
- SAS: Institute Inc. 2003. Cary, NC, USA. Versión 9.3 Licencia Corpoica 70148300.

Tabla 1. Rendimiento promedio (Kg/ha) de cinco híbridos de maíz evaluados en la altillanura plana colombiana, Corpoica 2011

Genotipo	LA	TA	PA	SA	LB	TB
H1: CLA41/SRR-2SA3 MH160-2-1	4018,8 a	6242,8 ab	6143,8 a	5448,0 a	3850,5 a	6084,7 a
H2: FNC 318	3539,0 a	3591,5 c	5125,3 a	3921,7 ab	2457,0 b	4967,3 a
H3: CLA139/CLA41	3999,8 a	6545,5 ab	6087,7 a	4612,0 ab	3438,0 ab	5983,8 a
H4: CML451/CL02450	3715,8 a	6618,3 ab	6700,8 a	5031,0 ab	3558,3 ab	5146,3 a
H5: CML451Q/CL02450Q	3643,0 a	6362,5 ab	6258,5 a	4876,0 ab	3287,5 ab	5910,5 a
H6: Testigo H-108	3455,5 a	5568,5 bc	4605,5 a	3282,5 ab	3050,3 ab	5098,0 a
H7: Testigo P30K73	4118,8 a	7588,5 a	6671,5 a	3942,3 ab	3194,2 ab	5936,0 a
H8: Testigo Impacto	4161,0 a	6223,5 ab	5917,0 a	4290,0 ab	3468,5 ab	6443,8 a
Promedio Localidad	3831,6	6092,6	5938,8	4512,9	3288,0	5696,3

TA: Corpoica Taluma 2011 A; LA: Corpoica La Libertad 2011 A; SA: Finca Santa Cruz 2011 A; PA: Finca Porvenir 2011 A; LB: Corpoica La Libertad 2011 B; TB: Corpoica Taluma 2011 B. Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales con $P \leq 0.05$ (Tukey).

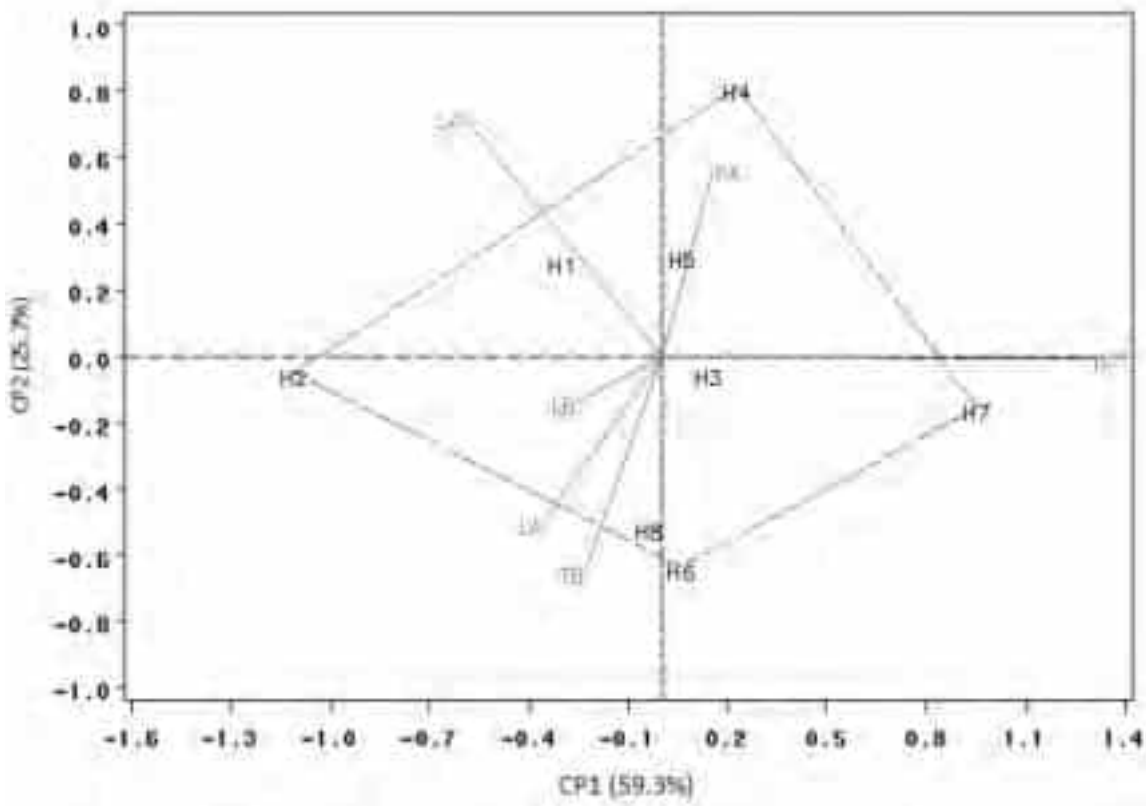


Figura 1. Representación de genotipos y ambientes respecto a los dos primeros componentes CP1 y CP2 del análisis AMMI para el rendimiento de grano de cinco híbridos de maíz amarillo evaluados en seis ambientes. Corpoica 2011. Ambientes: SA (Santa Cruz 2011 A); LA (Corpoica La Libertad 2011 A); TA (Corpoica Taluma 2011 A); PA (Porvenir 2011 A); LB (Corpoica La Libertad 2011 B); TA (Corpoica Taluma 2011 B).

Tabla 2. Comparación de medias de altura de planta, altura de mazorca, días a floración masculina y femenina de cinco híbridos de maíz amarillo evaluados en la altillanura plana colombiana. Corpoica 2011

Genotipo	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)
H1: CLA41/SRR-C2SA3MH160-2-1	200,9 a	103,4 a	54,7 bc	57,8 bc
H2: FNC 318	183,6 bc	90,7 b	55,7 abc	58,7 abc
H3: CLA139/CLA41	197,7 a	103,7 a	53,7 c	56,4 c
H4: CML451/CL02450	185,4 bc	95,3 ab	54,7 bc	57,5 bc
H5: CML451Q/CL02450Q	185,3 bc	93,6 b	56,2 abc	59,3 ab
H6: Testigo H-108	188,5 bc	88,2 b	49,3 d	52,1 d
H7: Testigo P30K73	188,3 bc	95,2 ab	56,5 abc	59,2 ab
H8: Testigo Impacto	179,0 bc	89,2 b	57,9 abc	60,7 a

Medias con la misma letra en sentido vertical
son estadísticamente iguales con P <0.05 (Tukey).

Tabla 3. Intervalo de valores (escala 1-5) de textura de grano, cobertura de mazorca, acame de tallo y mazorcas podridas de cinco híbridos de maíz amarillo evaluados en la altillanura plana colombiana, Corpoica 2011

Genotipos	Textura grano	Cobertura mazorca	Acame de tallo	Mazorca podrida
H1: CLA41/SRR-C2SA3MH160-2-1	2,0 – 3,0	1,0 – 2,0	1,0 – 2,0	1,0
H2: FNC 318	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0	1,0	1,0 – 2,0
H3: CLA139/CLA41	3,0	2,0 – 3,0	1,0 – 2,0	1,0
H4: CML451/CL02450	3,0 – 4,0	2,0 – 3,0	1,0 – 2,0	1,0
H5: CML451Q/CL02450Q	2,0	1,0	1,0	1,0
H6: Testigo H-108	2,0	1,0 – 2,0	1,0	1,0
H7: Testigo P30K73	3,0 – 4,0	1,0	2,0 – 3,0	1,0
H8: Testigo Impacto	3,0- 4,0	2,0	2,0 – 3,0	1,0

Tabla 4. Valores de lisina y triptófano (g/100 g de proteína) en el maíz QPM H-5 en comparación con el maíz convencional sin el gen opaco 02 (P30K73)

Aminoácido	Normal (Híbrido comercial testigo P30K73)	QPM (H-5)
Lisina	**2,32**	**4,10**
Triptófano	**0,43**	**0,87**

Corpoica QPM Altillanura: descripción varietal de las lineas parentales constitutivas

Luis F. Campuzano D.1, Samuel Caicedo G.2, Luis Narro3
1. Investigador Ph.D. CI Libertad. Corpoica (lcampuzano@corpoica.org.co); 2. Investigador Master. CI Libertad (scaicedo@corpoica.org.co), 3. Ph.D. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)(l.narro@cgiar.org.)

Resumen

Con el objeto de garantizar la pureza varietal con distinción, homogeneidad y estabilidad para la producción de semilla del híbrido simple de maíz CORPOICA QPM ALTILLANURA se realizó la descripción varietal de las dos líneas parentales constitutivas mediante la aplicación de 33 descriptores morfo agronómicos, doce de tipo cualitativo y 21 de tipo cuantitativo. Las principales diferencias entre las dos líneas parentales con aplicación directa en la producción de semilla y procesos de pureza varietal fueron principalmente de tipo cualitativo como el color del estigma, forma del grano y color del tallo y de tipo cuantitativo como la altura de planta y de mazorca superior e inferior, la longitud del pedúnculo de la espiga y el peso de la mazorca y de la tusa. La línea hembra presentó un color de estigma verde, con forma de grano redondo y color del tallo verde; en contraste, la línea macho presentó color de estigma verde claro, forma de grano plano y color del tallo verde con viso rojo. La mayor altura de la línea macho, sobresalió con 157,2 cm en relación con la altura de la línea hembra con 134,6 cm y se reconoció el mayor valor de la longitud del pedúnculo de la espiga de la línea macho (7,5 cm) en relación con la hembra (2,6 cm).

Palabras claves: *Zea mays* L., maíz QPM, descripción varietal, altillanura plana colombiana.

Introducción

Un híbrido de maíz nuevo obtenido y registrado, es objeto de un examen formal y técnico. Para el caso de Colombia, la solicitud de inscripción cuenta con diferentes tipos de información, entre los que se destacan las pruebas de evaluación agronómica y pruebas semicomerciales (ICA, 2013) y la descripción-caracterización varietal de los aspectos morfológicos, fisiológicos, fenológicos, de comportamiento sanitario y de características industriales (Hallauer, 1990). Esta caracterización tiene diversas aplicaciones, destacándose el apoyo al mejoramiento genético, en la producción de semilla y al mantenimiento y conservación de la pureza del recurso genético (Simmonds, 1979).

Para la descripción varietal es recomendable manejar un amplio número de descriptores que permitan definir la identidad, uniformidad y estabilidad de las variedades. Para este fin, se usan descriptores fijos o cualitativos que son los más confiables para identificar una variedad y los variables o cuantitativos que permiten calificar la uniformidad y con ambos tipos de descriptores se puede calificar la estabilidad (Biodiversity, 2007). El objetivo de este estudio fue reconocer las diferencias y similitudes de un conjunto de descriptores cualitativos y cuantitativos aplicados en dos líneas parentales constitutivas del híbrido simple de maíz CORPOICA QPM ALTILLANURA para garantizar la homogeneidad, constitución genética y reproducibilidad en los procesos de producción comercial de semilla.

Materiales y métodos

Materiales genéticos y localidad de estudio. Se utilizaron dos líneas parentales del híbrido de maíz CORPOICA QPM ALTILLANURA (Campuzano *et al.*, 2014). Este híbrido fue producto de la investigación realizada por CORPOICA Y CIMMYT en la Altillanura plana colombiana. Es un híbrido simple que proviene del cruzamiento CML451Q/CL02450Q cuyas líneas parentales tienen el siguiente pedigree: línea parental hembra CML451Q= (((CML161/CML451)-B/CML451)-29-1-1/CML451)-14-5-B-B y línea parental macho CL02450Q= ((CML165/CL02450)-B/CL02450)-62-1-2/CL02450)-28-1-B-B. El presente estudio se rea-

lizó en el primer semestre 2013, en el Centro de Investigación Caribia de CORPOICA, localizado en el municipio Zona Bananera del Magdalena. El clima corresponde a un BS (h), descrito como caribe seco.

Establecimiento parcelas de estudio y manejo agronómico. Las dos líneas parentales se establecieron en un mismo lote con una separación en tiempo como mecanismo para control de la polinización y contaminación por polen. La línea macho fue establecida primero y la línea hembra después de 20 días de la siembra de la primera línea. En ambos casos, se utilizó un área de 1.000 m^2 con una densidad de población de 62,500 plantas/ha. El manejo agronómico de las parcelas de maíz en relación con nutrición y control de plagas y arvenses se realizó de acuerdo a las recomendaciones de Corpoica para la ecoregion del caribe seco.

Aplicación de los descriptores varietales. Se aplicaron treinta y tres descriptores (IBPGR, 1991), doce cualitativos y veintiún cuantitativos. Los primeros fueron: orientación hojas, color estigma, lígula foliar, forma de mazorca, disposición de hilera de los granos, tipo, color y forma del grano, color del endospermo, color del tallo, tipo de espiga y cobertura de mazorca. Los descriptores cuantitativos fueron: altura de planta, altura de mazorca superior e inferior, longitud pedúnculo espiga, longitud de espiga, número de hojas, índice de prolificidad, longitud, diámetro y peso de mazorca, número de hileras de grano, peso del grano y de tusa, relación grano: tusa, grosor, ancho, longitud y peso del grano y floración masculina y femenina y días a cosecha.

Diseño experimental y análisis estadístico En cada parcela experimental correspondiente a la línea hembra y macho se identificaron 100 plantas al azar con competencia completa sobre las cuales se aplicaron los descriptores varietales. Con los datos de tipo cuantitativo se determinaron los parámetros estadísticos: media aritmética, desviación estándar, coeficiente de variación e intervalo.

Resultados y discusión

Descripción morfo agronómica de las líneas parentales. Con base en la información presentada en las tablas 1, 2 y 3 se presenta la descripción morfo agronómica de las dos líneas parentales del híbrido CORPOICA QPM ALTILLANURA.

Descripción línea hembra: CML 451Q: esta línea parental tiene una planta con orientación erecta, estigmas de color verde, tallos de color verde y con ausencia de lígula foliar. La altura de planta es de 134 cm, su mazorca superior se ubica a 49,9 cm y la inferior a 37,2 cm. Tiene 10,9 hojas y un índice de prolificidad de 2,0. La mazorca tiene una longitud y diámetro de 15,28 y 3,53 cm, respectivamente; con 14 hileras de granos por mazorca, peso de la mazorca y de la tusa de 41,70 y 18,46 g, respectivamente con una relación grano: tusa de 2,3. Los días a floración masculina y femenina son de 54 y 56 días, respectivamente para un total de días a cosecha de 101,0. La forma de la mazorca es cilíndrica en un 76% y cónica en un 24%; buena cobertura de mazorca, disposición regular de los granos, grano cristalino de color amarillo con endospermo blanco.

Descripción línea macho: CM 0245 Q: plantas que presentan una orientación erecta, estigmas de color verde claro, tallo de color verde con viso rojo y con ausencia de lígula foliar. Tiene una altura de planta de 157,2 cm con una altura de la mazorca superior e inferior de 84,1 y 70,7 cm, respectivamente. El número total de hojas fue 11,0 y un índice de prolificidad de 2,0. Los días a floración masculina y femenina fueron de 55,0 y 56,0 días, respectivamente para un total de días a cosecha de 103,0. La forma de la mazorca cilíndrica en un 76% y cónica en un 24%; buena cobertura de mazorca, disposición regular de los granos, grano cristalino de color amarillo con endospermo blanco.

Conclusiones

Las dos líneas parentales del híbrido CORPOICA QPM ALTILLANURA presentaron tres descriptores cualitativos y cuatro cuantitativos diferentes. Estas características podrán ser de utilidad práctica en los procesos de descontaminación de plantas atípicas en los lotes de incremento y conservación de líneas parentales. La línea parental hembra fue diferente a la línea macho en el color de estigma verde, forma de grano redondo y color del tallo verde; en contraste, la línea macho presento color de estigma verde claro, forma de grano plano y color del tallo verde con viso rojo. Los descriptores de tipo cuantitativo que

presentaron mayor contraste entre las dos líneas parentales fueron: altura de planta, altura de mazorca superior e inferior, longitud del pedúnculo de la espiga, peso de la mazorca y peso de la tusa.

Literatura citada

- Bolaños J y Edmeades O. 1990. La importancia del intervalo de la floración en el mejoramiento por la resistencia a sequia de maíz tropical. Agronomía Mesoamericana 1:45-50.
- Biodiversity International. 2007. Guidelines for the development of crop descriptor lists. Bioversity Tech. Bull. Series. Bioversity International, Rome, Italy XII.
- FAO. 1989. Technical guideline for maize seed technology for agricultural development. Seed Sci. and Technology. 3: 415-420.
- Fehr W. R. 1991. Principles of Cultivar development Theory and Technique. Volume 1. Macmiliam. Pub. Co. Iowa State. Univ. Ames. I.A. 536 p.
- Hallauer A. 1990. Methods used in developing maize inbreeds. Maydica 35:1-16.
- Simmonds N. 1979. Principles of Crop Improvement. Second Edition. Longman, UK. 424 p.

Tabla 1. Doce descriptores varietales cualitativos de dos líneas parentales constitutivos del híbrido simple CORPOICA QPM ALTILLANURA

Descriptor	Línea hembra CML 451 Q	Línea macho CL 0245 Q
Orientación de las hojas	Erecta 100%	Erecta 100%
Color de estigmas	Verde	Verde claro
Lígula foliar	Ausente	Ausente
Forma de la mazorca	Cilíndrico-cónica (76%); (24%)	Cilíndrico-cónica (76%); (24%)
Cobertura de mazorca	Buena	Buena
Disposición hileras de granos	Regular 100%	Regular 100%
Tipo de grano	Cristalino	Cristalino
Color del grano	Amarillo	Amarillo
Forma del grano	Redondo	Plano
Color del endospermo	Blanco	Blanco
Color del tallo	Verde	Verde viso rojo
Tipo de espiga	Primaria-secundaria	Primaria-secundaria

Tabla 2. Descriptores cuantitativos con medias aritméticas diferentes y sus parámetros estadísticos asociado a dos líneas parentales (L1*: línea hembra: CML 451Q y L2**: línea macho CL 0245Q), constitutivas del híbrido simple de maíz CORPOICA QPM ALTILLANURA

Descriptor	Media aritmética		Desviación estándar		Coeficiente de variación		Intervalo o rango (+/-)	
	L1*	L2**	L1	L2	L1	L2	L1	L2
Altura planta (cm)	134,6	157,2	10,3	10,6	0,08	0,07	2,9	3,0
Altura mazorca superior (cm)	49,9	84,1	8,6	9,3	0,17	0,11	7,0	2,7
Altura mazorca inferior (cm)	37,2	70,7	8,1	8,6	0,22	0,12	2,3	2,4
Longitud pedúnculo espiga (cm)	2,6	7,5	1,8	2,1	0,68	0,28	0,5	0,6
Peso de mazorca (g)	60,7	94,7	17,3	16,8	0,29	0,18	4,9	4,8
Peso de grano/mazorca (g)	41,7	68,7	3,8	15,7	0,21	0,23	1,1	4,4
Peso de la tusa (g)	18,4	25.0	16,3	5,3	0,39	0,21	4,6	1,5

Tabla 3. Descriptores cuantitativos con medias aritméticas similares y sus parámetros estadísticos asociado a dos líneas parentales (L1*: línea hembra: CML 451Q y L2**: línea macho CL 0245Q), que constituyen el híbrido simple de maíz CORPOICA QPM ALTILLANURA

Descriptor	Media		Desviación estándar		Coeficiente de variación		Intervalo o rango (+/-)	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
Hojas totales (número)	10,9	11	1,5	0,8	0,14	0,07	0,4	0,2
Índice de prolificidad	2	2	0,5	0,5	0,31	0,34	0,1	0,1
Días Floración masculina	54	55	0,6	0,5	0,17	0,14	2,4	2,6
Días Floración femenina	56	56	0,7	0,6	0,19	0,16	2,5	2,4
Días a cosecha	101	103	7,2	7,5	0,09	0,11	3,3	2,8
Hileras de grano	14.00	14	1,95	1,28	0,14	0,1	0,56	0,37
Longitud de mazorca (cm)	15,2	15,5	1,92	1,87	0,14	0,12	0,55	0,54
Diámetro de mazorca (cm)	3,5	3,9	0,21	0,26	0,06	0,07	0,06	0,07
Relación grano: tusa	2,3	2,8	1,2	0,85	0,5	0,3	0,34	0,24
Grosor del grano	0,6	0,4	0,12	0,08	0,19	0,16	0,03	0,02
Ancho del grano	0,8	0,7	0,07	0,07	0,09	0,09	0,02	0,02
Longitud del grano	0,7	0,8	0,07	0,07	0,01	0,09	0,02	0,02
Peso de 20 granos	4,8	4,7	1,03	0,6	0,21	0,13	0,29	0,17

Herramientas moleculares útiles para la conservación, el mejoramiento genético y la producción del maíz en Bolivia

Jorge A. Rojas-Beltrán[1], Esther L. Rojas-Vargas, Gabriela Bottani-Claros
Centro de Biotecnología y Nanotecnología Agropecuario y Forestal, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba-Bolivia.
[1.] Autor para correspondencia (rojasbeltran@hotmail.com)

Resumen

En la actualidad, existen numerosas herramientas moleculares, principalmente derivadas de la biología molecular, útiles para la conservación, el mejoramiento genético y la producción de diferentes especies vegetales importantes para la humanidad, como es el caso del maíz. Sin embargo, estás herramientas no son aplicadas de forma sistemática y masiva en los países en desarrollo. En este artículo se presentan algunas de estas herramientas que pueden ser útiles para estos paises. Además, se presenta al "Centro de Biotecnología y Nanotecnología Agropecuario y Forestal", recientemente creado por la Universidad Mayor de San Simón (Cochabamba – Bolivia), centro de investigación que permitirá el uso de estas herramientas en Bolivia.

Palabras Clave

Biotecnología, biología molecular, países en desarrollo, *Zea mays*

Introducción

A partir de su domesticación en México, el maíz se ha expandido por América y luego por el mundo. Culturas ancestrales de los Andes, no solamente han adoptado al maíz como parte de su dieta, sino que han contribuido significativamente a su diversificación y mejoramiento. En Bolivia, por ejemplo, existen variedades notables de maíz, como el "Waltaco", el "Willcaparu", el fabuloso "Morocho" y muchos otras más, que las hemos heredado de los incas y otras culturas andinas.

Luego de la revolución verde, en Bolivia se aplican nuevas tecnologías para el mejoramiento genético y la producción del maíz, producto de los avances en genética, biometría y otras disciplinas, y se adquiere conciencia "científica" sobre la importancia de la biodiversidad. En este nuevo periodo, se sigue contribuyendo al mejoramiento genético del maíz y se obtiene variedades, compuestos e hibrido notables, adaptados también a nuevas demandas de la sociedad (alimento para animales).

Sin embargo, pese a estos esfuerzos, no se logra alcanzar rendimientos promedio similares a los que se obtienen en otros países (cuadro 1).

Cuadro 1. Rendimiento del maíz en Bolivia por departamentos (Ortiz, 2012)

Departamento	Superficie		Producción		Rendimiento
	ha	%	tn	%	tn/ha
Chuquisaca	69.04	20.70	107.89	12.90	1.56
La Paz	18.14	5.40	24.58	2.90	1.35
Cochabamba	33.36	10.00	45.81	5.50	1.37
Potosí	19.14	5.70	20.46	2.40	1.07
Tarija	36.75	11.00	62.84	7.50	1.71
Santa Cruz	143.50	43.00	552.20	66.00	3.85
Beni	9.01	2.70	15.01	1.80	1.66
Pando	4.87	1.50	8.30	1.00	1.70
Total	333.82	100.00	837.07	100.00	

Es más, existe una diferencia significativa entre los rendimientos alcanzados en la agricultura familiar y en la agricultura comercial. El rendimiento promedio de Santa Cruz representa esencialmente a una agricultura comercial, en cambio, los rendimientos de los otros departamentos, representa a pequeños sistemas de producción.

Esto ha ocasionado que en ciertos momentos, se pierda la soberanía alimentaria del maíz en Bolivia. En consecuencia, es urgente y necesario aumentar los rendimientos del maíz. En esta perspectiva, las nuevas herramientas moleculares que están actualmente disposición de los investigadores y productores pueden contribuir de manera significativa a que se pueda aumentar el rendimiento promedio dela maíz en Bolivia, y por ende la producción.

Herramientas moleculares útiles para la conservación, el mejoramiento genético y la producción del maíz

La ciencia avanza, y nos ofrece nuevas herramientas para seguir combatiendo, en esta eterna batalla contra el hambre. Al respecto, cabe destacar la contribución de la biología molecular. Esta disciplina ha generado conocimientos remarcables, que a su vez han permitido el desarrollo de técnicas y tecnologías, muy útiles para la conservación, el mejoramiento genético y la producción de las distintas especies alimentarias e industriales. Al ser el maíz uno de los cultivos más impertinentes en el mundo, estas técnicas y tecnologías se están utilizando para hacer más eficientes los procesos de conservación, mejoramiento genético y producción. Antes de presentar la disponibilidad de estas herramientas en Bolivia, se describe brevemente las más importantes.

1. TILLING (Targeting Induced Local Lesions in Genomes)

El Tilling (del inglés Targeting Induced Local Lesions in Genomes) es una técnica de derivada de la biología molecular que permite detectar mutaciones genéticas, tanto inducidas como naturales, en un gen especifico. Al ser el TILLING una técnica de alto rendimiento, es rápida y de bajo costo para el descubrimiento de mutaciones puntuales naturales (EcoTILLING) o inducidas (TILLING) en poblaciones de individuos de diversos organismos. El Tilling es una poderosa estrategia para el descubrimiento de genes, la evaluación polimórficos de ADN y la mejora genética al permitir asociar mutaciones con fenotipos.

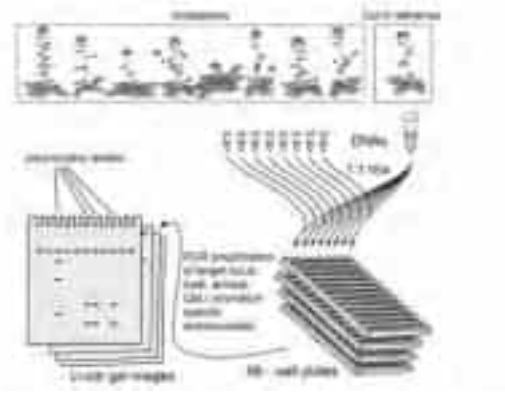


Figura 1.Ejemplo del proceso de EcoTILLING en *Arbidopsis* (Comai *et al*., 2004)

Como muestra la figura 1, la aplicación del EcoTILLIG implica la extracción del ADN, en este ejemplo, de ecotipos de *Arabidopsis*. Cada ADN extraído es combinado con un ADN de referencia, por ejemplo de una accesión estándar (en la figura 1, Col-0) y distribuidos en placas PCR. Se utilizan iniciadores de un gen específico, marcados con sustancias fluorescentes y se amplifican fragmentos de 1 kbp. Luego, estos fragmentos son deshibridaciones e hibridaciones. En este proceso, se pueden formar sitios donde no existe apareamiento de bases (heterodúplex), debido a las mutaciones. Esto sitios son identificados por la actividad endonucleasa de CEL I, que digiere los heterodúplex en posiciones de un solo nucleótido

o bucles de inserciones pequeñas debido a mutaciones. Los fragmentos generados, son separados mediante electroforesis en geles de poliacrilamida de alta resolución, como Li-Cor, para identificar los productos de digestión.

2. Tecnología de los marcadores moleculares

Un marcador molecular es punto específico del cromosoma de un individuo, que es fácilmente identificable y cuya herencia genética se puede rastrear. Un marcador puede ser una par de bases, como muestra la figura 1, o un segmento de ADN formado por varios pares de bases, que pueden corresponder a un gen o a alguna sección del ADN sin función conocida. Los marcadores moleculares son un tipo de los marcadores genéticos, como son también los marcadores morfológicos (descriptores) y los marcadores bioquímicos (Coles *et al.*, 2005; Maughan *et al.*, 2012).

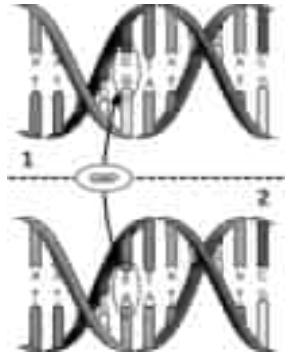


Figura 2. Diferencia en un par de bases entre dos individuos (1 y 2). Uno de los individuos tiene C-G en ese punto y el otro tiene T-A. Esta diferencia se revela por el marcador denominado SNP (Single Nucleotide Polymorphism) (Genetic Genealogy SIG- The Villages Genealogical Society)

Los marcadores moleculares son herramientas muy versátiles y que se utilizan para distintos fines. Por ejemplo, pueden servir para análisis filogenéticos, estudios de diversidad genética, forénsica, búsqueda de genes útiles, selección asistida por marcadores moleculares, pruebas de paternidad, trazabilidad de los alimentos, evaluación de la calidad de las semillas, etc.) Rojas-Beltrán (2007) hace una descripción detallada de la tecnología de los marcadores moleculares.

La figura 3, por ejemplo, muestra la utilidad de los marcadores moleculares para determinar con mucha precisión la presencia de semillas transgénicas. Esta figura muestra el resultado de una evaluación que se hizo de semillas de maíz, probablemente transgénicas, que ingresaron a Bolivia. El resultado obtenido muestra sin ambigüedad que las semillas son transgénicas.

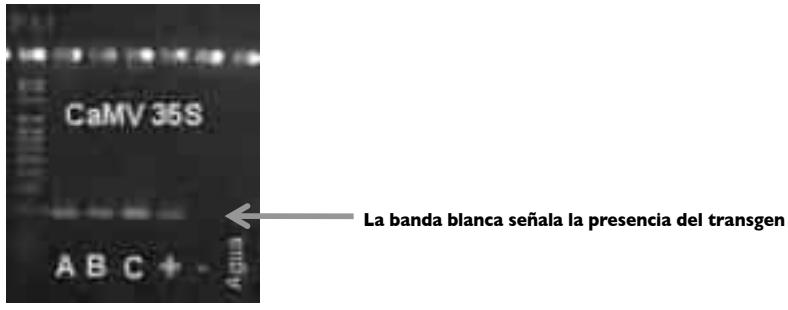


Figura 3. Detección del promotor CaMV 35S en semillas de maíz.PM: peso molecular, A: Repetición 1, B: Repetición 2, C: Repetición 3, +: Control positivo (maíz bt), -: Control negativo (maíz no transgénico) y control negativo de reacción (Agua).

3. Cartografía de los cromosomas y QTLs

La cartografía cromosómica se refiere a determinar la ubicación de los genes ligados en un cromosoma y la distancia entre ellos. La ubicación de los genes se puede determinar mediante mapas genéticos (este mapa se basa en el concepto de ligamiento, que significa que cuanto más cerca estén dos genes en el cromosoma, mayor será la probabilidad de que se heredan juntos) mapas físicos (basados en la distancia entre dos genes por los nucleótidos o pares de bases del ADN) y mapas citológicos (basado en la observación visual del largo del cromosoma, posición del centrómero, proporción de los brazos, patrones de tinción para hetero- y eu-cromatina).

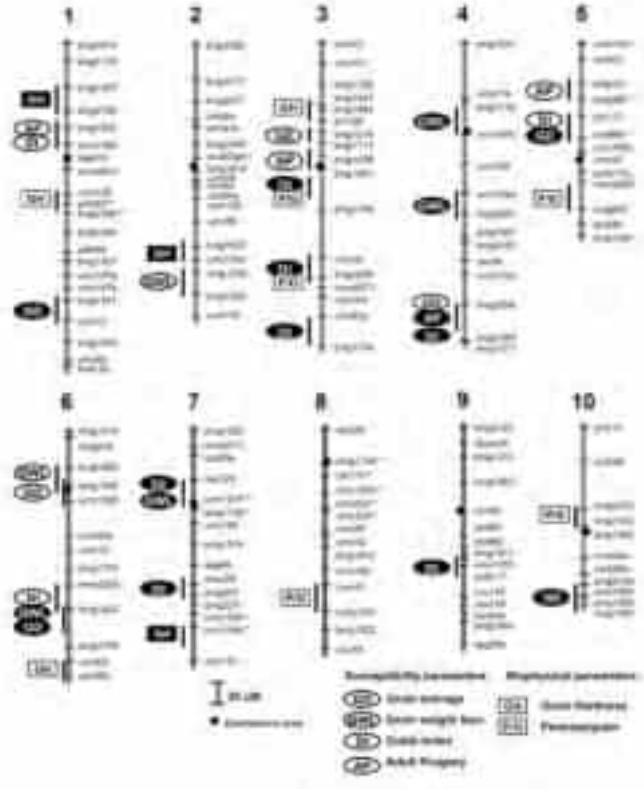


Figura 4. Mapa genético del maíz mostrando el posicionamiento de diferentes marcadores y QTLs (Quantitative Trait Locus) (Garcia-Lara, 2004).

La cartografía cromosómica es esencial para localizar genes, para identificar marcadores asociados a QTLs, para identificar genes implicados en los QTLs, para desarrollar la selección asistida por marcadores moleculares y para el desarrollo de mapas comparativos.

Un QTL (Quantitative Trait Locus o locus de un carácter cuantitativo) es un locus cuya variación alélica está asociada con la variación de un carácter cuantitativo. Por ejemplo, un alelo puede ser asociado a un alto rendimiento y el otro a un bajo rendimiento. Los QTLs son identificados mediante mapeo genético.

4. La selección asistida por marcadores moleculares (SAMM)

Si bien el principio básico del mejoramiento genético no ha cambiado: hay que seleccionar los "mejores padres" (mejores genotipos) para producir la próxima generación, lo que ha cambiado es la forma en que se selecciona los mejores padres. Antes esta selección se la realizaba exclusivamente en base a características visibles (marcadores morfológicos), es decir, se evaluaba el tamaño del grano, rendimiento, tamaño de la planta, etc. Lamentablemente, se sabe que el fenotipo, en mayor o menor medida, está influenciado por el medio ambiente (Cakir *et al.,* 2008; Izadi-Darbandi *et al.*, 2012)

Lo ideal es eliminar el componente ambiental, para seleccionar. A pesar de que existía conciencia de este hecho desde el redescubrimiento de las leyes de Mendel, hasta más o menos 1980 no era posible seleccionar y/o comparar las plantas en base a sus genes. A partir de 1980, gracias a la Biología Molecular, es posible seleccionar y/o comparar los individuos directamente a nivel de sus genes. Esta posibilidad técnica ha generado la tecnología de la selección asistida por marcadores moleculares (Lander y Botstein, 1989; Lange y Whittaker, 2001; Mora y Scapim, 2007). Al principio, esta tecnología estaba limitada por la cantidad de genes que era posible seguir su herencia directamente sobre sus alelos o mediante marcadores asociados a ellos. Sin embargo, año tras año aumenta la cantidad de genes que puede ser seleccionado mediante SAMM. Para el maíz existen bases de datos para buscar QTLs, por ejemplo la base de datos "MaizeGBD" (http://www.maizegdb.org).

5. Selección genómica

La selección genómica se define como la selección de individuos basada en su valor genómico, propuesto por Meuwissen *et al.* (2001).

La eficiencia de la selección depende de la precisión con la cual estimamos los valores genéticos. Mediante la tecnología de la SAMM, se dio un gran paso para mejorar la evaluación genética. Sin embargo, esta tecnología está limitada al seguimiento de algunos genes.

La selección genómica es en cierta medida una SAMM a gran escala. Aunque, con esta tecnología, no es necesario conocer dónde está el QTL y funciona sin genes mayores. La selección genómica se basa en la selección simultánea de miles y miles de marcadores que cubren todo el genoma, de una manera tan densa que se espera que todos los rasgos de un individuo tengan alguna conexión con esos marcadores. Es decir, mediante la selección genómica, determinamos un valor aditivo a cada variante (genotipo) dentro de un marcador, esto gracias a un número de individuos con mediciones precisas que a su vez están genotipados.

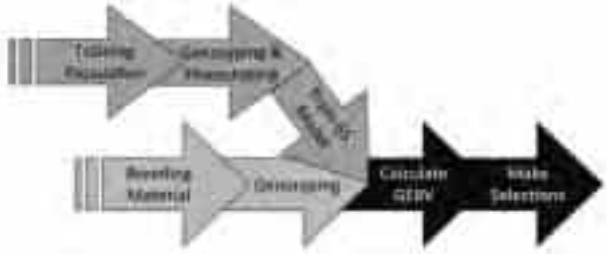


Figura 5. Diferentes etapas de la selección genómica (Heffner *et al.,* 2009)

Los valores genómicos se predicen en función de los efectos de marcadores moleculares distribuidos en todo el genoma del individuo. Con una adecuada densidad de marcadores, los genes que influencian la característica deberían estar en desequilibrio de ligamiento (estrechamente unidos) con al menos un marcador. Los efectos de dichos marcadores se modelan primero en una población de referencia (training population). Primero se forma la población de referencia que se compone de líneas de plantas que cubren todos los rasgos importantes para un programa de mejora. Luego, la población de referencia es genotipada y fenotipada para todos los rasgos de interés, dando como resultado un registro completo de la composición genética de los individuos en esta población. Con esta información se genera una ecuación para predecir el valor genómico en una población de validación parcial, independiente de la población de referencia. Es fundamental "entrenar" la ecuación de predicción con algunos datos fenotípicos para revisar su poder predictivo. Finalmente, se puede utilizar el modelo en una población en que solo se revelan marcadores para realizar el cálculo del valor genómico, sin necesidad de datos fenotípicos (Meuwissen *et al.*, 2001, Resende *et al.*, 2008).

6. La ingeniería genética

La ingeniería genética se refiere a la utilización de técnicas que permiten modificar el material genético de cualquier organismo *in vitro*, lo que posibilita la modificación de los genomas de manera "no natural" para, por ejemplo, corregir defectos genéticos, fabricar compuestos, etc.

Para poner en práctica la ingeniaría genética, se necesita tener las siguientes posibilidad técnicas: purificar ADN, cortar y pegar ADN, insertar fragmentos de ADN en "vectores" de clonación, introducir vectores recombinantes en células y poder hacer el seguimiento de todas estas etapas. Los maíces transgénicos que se cultivan en distintos países son producto de esta tecnología.

7. Diagnóstico molecular

La tecnología del diagnóstico molecular permite detectar enfermedades y plagas analizando el genoma de los individuos. Esta tecnología utiliza otras técnicas y tecnologías para este fin, como la tecnología de los marcadores moleculares, la tecnología de la metagenómica, las micromatrices y la reacción en cadena de la polimerasa (PCR).

Esta tecnología tiene muchas ventajas con relaciones a las técnicas tradicionales de diagnóstico. Por ejemplo, tienen una mayor sensibilidad, una mayor especificidad, mayor rapidez, posibilidad de analizar muchos patógenos a la vez, posibilidades de automatización, etc.

Tecnología de las micromatrices

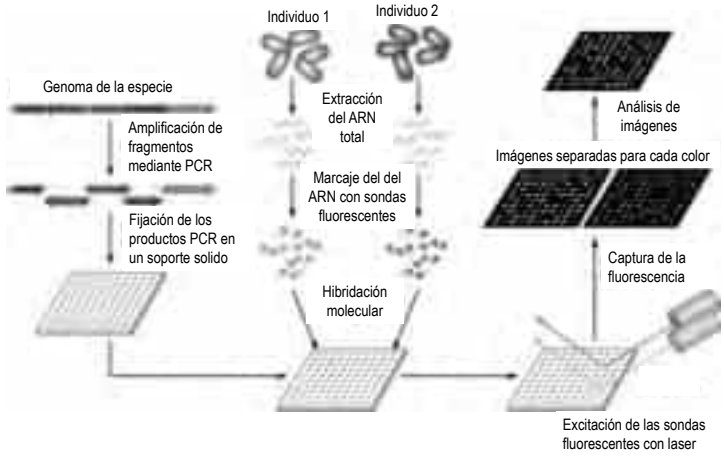


Figura 6. Pasos para realizar un análisis utilizando la tecnología de las micromatrices (adaptado de Ehrenreich, 2006)

Una micromatríz de ADN (del inglés DNA microarray) es una superficie sólida a la cual se fija una colección de fragmentos de ADN. Las superficies empleadas para fijar el ADN pueden ser de vidrio, silicio, etc. Los chips de ADN se usan para analizar la expresión diferencial de genes y la presencia de algún genoma particular en la muestra. La cantidad de fragmentos de ADN que se pueden fijar sobre una micromatríz (un centímetro cuadrado o un poco más) puede ser hasta 250.000 (Miller y Tang, 2009 y referencias citadas). De acuerdo a las posibilidades tecnológicas antes mencionadas, fácilmente se podría fijar en una micromatriz una representación del genoma de todos los virus y sus variantes que atacan a una especie, incluso bacterias y hongos más. Entonces, el gran aporte de esta tecnología es que permite realizar muchos análisis de una sola vez.

Tecnología de la metagenómica

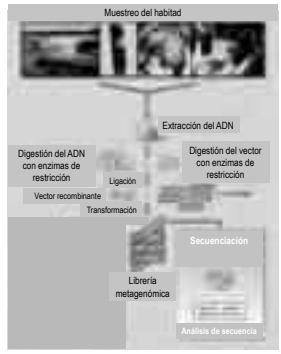


Figura 7. Proceso para estudiar genomas de forma global mediante la tecnología de la metagenómica (adaptado de Handelsman, 2004).

La metagenómica es el estudio del conjunto de genomas de un determinado entorno (metagenoma) directamente a partir de muestras de ese ambiente, sin necesidad de aislar y cultivar las especies presentes. Se extrae el ADN de forma global, luego este es fragmentado y clonado en vectores. Posteriormente, se secuencian todos los fragmentos clonados, utilizando secuenciadores de nueva generación (Illumina, Ion torrent semiconductor, etc.) Los fragmentos secuencias son comparados con fragmentos existentes en bases de datos, a fin de identificar a que especie o cepa pertenecen (figura 7).

Esta tecnología es revolucionaria porque tiene un alto rendimiento y bajo costo, y permite identificar microrganismos con mucha precisión sin verlos ni cultivarlos. Esta tecnología es muy útil para evaluar, por ejemplo, la calidad sanitaria de las semillas en un solo análisis.

8. Nanobiotecnología

La nanotecnología es una tecnología novedosa que permite manipular la materia a escala atómica, molecular y supramolecular, en un rango de 1 a 100 nanómetros. En cambio, la biotecnología se refiere al uso industrial de organismos o sus componentes para la producción de sustancias útiles a la humanidad. De la convergencia de estas dos tecnologías emerge la nanobiotecnología.

La aplicación de herramientas, componentes y procesos de la nanotecnología a los sistemas biológicos permitirá, por ejemplo, el desarrollo de herramientas para prevenir y tratar enfermedades cuando está todavía en estados poco avanzados (nanosensores), lo que conllevará grandes avances diagnósticos y terapéuticos. A su vez, el uso de sistemas biológicos como moldes para el desarrollo de nuevos productos de escala nanométrica permitirá el desarrollo nanodispositivos de diversa índole.

Aplicación de herramientas moleculares útiles para la conservación, el mejoramiento genético y la producción del maíz en Bolivia

En Bolivia, si bien hemos aplicado algunas herramientas moleculares de forma experimental y puntual, es urgente y necesario dar un salto cualitativo en su aplicación masiva. La buena noticia es que la Universidad Mayor de San Simón (UMSS) ha tomado muy en serio este reto y, mediante su facultad de Agronomía, ha implementado el "Centro de Biotecnología y Nanotecnología Agropecuario y Forestal". Este centro cuenta con personal cualificado, infraestructura necesaria y equipamiento para aplicar diversas tecnologías derivadas de la biología molecular. En consecuencia, podemos dar el salto cualitativo en la aplicación de estas tecnologías a procesos de conservación, mejoramiento genético y producción de maíz.

La misión de este centro de investigación es desarrollar y aplicar herramientas biotecnológicas, nanotecnológicas y bioinformáticas, a fin de generar conocimientos, tecnologías, innovaciones y servicios, que contribuyan a fortalecer la seguridad alimentaria con soberanía y mitigar los efectos del cambio climático en Bolivia; además, apoyar los procesos de

enseñanza-aprendizaje-evaluación de los estudiantes de pregrado y posgrado, en un ambiente donde se valora el compromiso, la honestidad, la responsabilidad, el respeto, la lealtad, la solidaridad y la vocación de servicio, como componentes esenciales de la práctica científica y profesional.

Todas las herramientas antes descritas, pueden ser utilizadas en este centro de investigación, ya sea en el mismo centro o mediante aliados estratégicos en diferentes partes del mundo. La esperanza que se tiene es que, mediante estas la aplicación de herramientas moleculares, finalmente podamos aumentar los rendimientos del maíz a niveles que se alcanzan en otros países.

Conclusiones

Es indiscutible la utilidad de las herramientas moleculares, que día a día van emergiendo, para la conservación, el mejoramiento genético y la producción del maíz. Los países en desarrollo tienen dificultades para beneficiarse de estas tecnologías por falta de recursos humanos, infraestructura, equipamiento y recursos financieros. Sin embargo, es esencial hacer los esfuerzos para garantizar y fortalecer la seguridad alimentaria con soberanía en el futuro. Es por eso que la Universidad Mayor de San Simón (Cochabamba – Bolivia) ha creado el "Centro de Biotecnología y Nanotecnología Agropecuario y Forestal" a fin de permitir el uso de estas herramientas moleculares en Bolivia de forma sistemática y masiva. Este centro de investigación, junto a otros generarán la masa crítica necesaria para aprovecha estas nuevas tecnologías para mejorar los rendimientos y la calidad de cultivos estratégicos, como es el caso del maíz.

Bibliografía

- Cakir M, Drake-Brockman F, Ma J, Jose K, Connor M, Naughton J, Bussanich J, Naisbitt M, Shankar M, McLean R, Barclay I, Wilson R, Moore C, Loughman (2008) Applications and challenges of marker-assisted selection in the Western Australian Wheat Breeding Program. The 11th International Wheat Genetics Symposium proceedings, Appels R, Eastwood R, Lagudah E, Langridge P, Mackay Lynne M. Sydney University Press.
- Coles ND, Coleman CE, Christensen SA, Jellen EN, Stevens MR, Bonifacio A, Rojas-Beltrán JA, Fairbanks DJ, Maughan PJ (2005). Development and use of an expressed sequenced tag library in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) for the discovery of single nucleotide polymorphisms. *Plant Science* 168:439–447.
- Comai L, Young K, Till B, Reynolds S, Green EA, Codomo CA, Enns LC, Johnson JE, Burtner C, Odden AR, Henikoff S (2003) Efficient discovery of DNA polymorphisms in natural populations by EcoTILLING . The Plant Journal 37, 778-786.
- Ehrenreich A (2006) DNA microarray technology for the microbiologist: an overview. Appl Microbiol Biotechnol. 73(2):255-273.
- García-Lara S (2004) Mapa genético de las características del maíz tropical (*Zea mays* L.) asociadas con la resistencia a la plaga de almacenamiento, *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). Tesis para obtener el grado de Doctor en biología experimental. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa-México.
- Heffner EL, Sorrells ME, Jannink JL (2009) Genomic selection for crop improvement. Crop Sci. 49:1–12.
- Izadi-Darbandi A, Yazdi-Samadi B (2012) Marker-assisted selection of high molecular weight glutenin alleles related to bread-making quality in Iranian common wheat (Triticum aestivum L.) J Genet. 91(2):193-198.
- Lange C, Whittaker JC (2001) Mapping quantitative trait loci using Generalized Estimating Equations. Genetics 159:1325-1337.
- Meuwissen THE, BJ Hayes, ME Goddard. 2001. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics* 157: 1819-1829.
- Mora F, Scapim CA (2007) Predicción de valores genéticos del efecto de poblaciones de maíz evaluadas en Brasil y Paraguay. Agricultura Técnica (Chile) 67:139-146.
- Ortiz AI (2012) Los maíces en la seguridad alimentaria de Bolivia. Compilado por Ortiz AI. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado Eds. Grafica Leal Eds. La Paz-Bolivia. 190 p.
- Resende MDV, PS Lopes, RL Silva, IE Pires. 2008. Seleção genômica ampla (GWS) e maximização da eficiência do melhoramento genético. *Pesquisa Florestal Brasileira* 56: 63-78.
- Rojas-Beltrán JA (2007) Uso de marcadores moleculares en el mejoramiento genético de las plantas (2007). Daniel Danial Eds. Varios capítulos redactadas por Rojas-Beltrán J.A. Instituto Autonómico de Investigaciones Agrarias (INIAP-Ecuador) y Universidad de Wageningen (Holanda) eds. 203 p.

Identificación de material segregante de maíz QPM del CIFP a través del uso de tres marcadores SSR: PHI112, UMC1066 y PHI057, para la identificación del gene *Opaco-2*

Gonzales, Dutsi[1]; Avila, T.[2]; Claure, T.E.[3]
[1]Becario-Tesista dutsigonzales@yahoo.com [2]Directora CIFP t.avila@fundacionpatino.org[3]Técnico CIFP

Resumen

El bajo valor nutritivo de la proteína de maíz es corregido genéticamente por la acción del gene *opaco-2* (Quality Protein Maize). El proceso de introgresión de éste gene mediante mejoramiento convencional puede ser acelerado con la ayuda de selección asistida por marcadores moleculares. Este trabajo se realizó para evaluar la utilidad de tres marcadores microsatélites (umc1066, phi112, y phi057), en la identificación del gene *opaco-2* en 384 líneas S1 provenientes de 48 familias del cruzamiento de Aychasara-101 (QPM) y Choclero-3 (no-QPM) del programa de maíz del Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani (CIFP). Se validaron cuatro protocolos de extracción de ADN a partir de semilla. El protocolo adaptado para maíz descrito por Mogg&Bond, resultó ser ventajoso por su sencillez y la calidad de ADN obtenido, permitiendo seleccionar los genotipos deseados antes de sembrar. Se encontró que el marcador umc1066, no era polimórfico. Los marcadores phi057 y phi112 fueron polimórficos e informativos, especialmente phi057 que diferenció entre los tres genotipos: homocigoto dominante (O2O2), heterocigoto (O2o2) y homocigoto recesivo (o2o2); constituyéndose una herramienta eficaz para la introgresión asistida por marcadores del gen *opaco-2*. Del total de 384 líneas S1 evaluadas, 234 líneas (60.94%) fueron seleccionadas como QPM. Utilizando phi057, reducirían de 8 a 6, el número de ciclos necesarios para la conversión de variedades locales en variedades QPM.

Palabras clave: gene *opaco-2*, Quality Protein Maize, marcadores microsatélites, selección asistida por marcadores.

Introducción

En Bolivia la desnutrición crónica en niños menores de 2 años alcanza al 20%, según datos dela-Encuesta Nacional de Demografía y Salud (ENDSA, 2008). El acceso a alimentos de alto valor proteico está limitado no solo por una economía de subsistencia sino también por los hábitos alimenticios tradicionales especialmente en áreas rurales.Uno de estos alimentos tradicionales es el maíz, el cual se constituye básicamente en un alimento energético ya que las proteínas que aporta a la dieta tienen una baja calidad biológica debido el pobre contenido de aminoácidos esenciales tales como la lisina y el triptófano (Avila, 2008).

A comienzos de la década de los 60's comienza el desarrollo de maíces de alta calidad de proteína o maíces QPM (Quality Protein Maize), a partir del descubrimiento e incorporación del gene mutante *opaco-2* (Mertz *et al.*, 1964, citado por Avila, 2008).

En este contexto, la selección asistida por marcadores moleculares ofrece la posibilidad de: a) descartar plantas que no contienen el alelo mutante *opaco-2* antes de la polinización, b) poder distinguir entre plantas homocigotas recesivas portadoras del alelo mutante *opaco-2* y plantas heterocigotas que no expresarán el genotipo *opaco-2* (Dreher *et al.*, 2003).

Actualmente en Bolivia, no se cuenta con marcadores "probados" o validados para la identificación del gene *opaco-2*, aunque en la literatura se menciona la utilización de tres marcadores específicos: phi112, umc1066 y phi057 (Bantte y Prasanna, 2003; Yang *et al.*, 2004; Manna *et al.*, 2005, Jompuk *et al.*, 2006, Vivek *et al.* 2008) y pruebas preliminares con algunos otros (Danson *et al.*, 2006).

Por otro lado, los protocolos de extracción de ADN relacionados con identificación del gene *opaco-2*, están basados en muestras de tejido foliar tomadas de plantas jóvenes (Fuentes *et al.*, 2000, Bonamico *et al.*, 2004, Manna *et al.*, 2005, Danson *et al.*, 2006, Jompuk *et al.*, 2006, Vivek *et al.*, 2008), lo cual requiere inversión de tiempo y recursos para establecer grandes poblaciones de plantas en el campo, de las cuales solo unos pocos individuos serán homocigotos recesivos del gene *opaco-2***.**

Objetivo General

Evaluar el material segregante de maíz QPM del CIFP a través del uso de tres marcadores moleculares SSR: phi112, umc1066 y phi057, a partir de ADN obtenido de fracciones de tejido de semilla, para la identificación del gene *opaco-2.*

Objetivos Específicos

- Determinar el protocolo más adecuado para la extracción de ADN de maíz a partir de fracciones de tejido de semilla, a fin de contar con un método no destructivo que permita identificar la presencia o ausencia del gene *opaco-2* previamente a la siembra en campo.
- Validar la eficacia de tres marcadores moleculares SSR (phi112, umc1066 y phi057) en la identificación del gene *opaco-2,* en dos variedades locales, 48 familias de autofecundaciones S1 y tres variedades de maíz QPM del CIFP, para diferenciar entre material QPM y no-QPM.

Materiales Y Métodos

Ubicación

El Presente trabajo fue realizado en predios del Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani (CIFP) perteneciente a la Fundación Universitaria Simón I. Patiño.

Material vegetal

Se evaluaron 48 familias S1 provenientes de autofecundaciones de la cruza: Choclero-3 x Aychasara-101, mismas que fueron seleccionadas en el CIFP. Estas 48 familias fueron evaluadas frente a tres testigos QPM: Aychasara 7, Aychasara 102 y Tuxpeño-*opaco-2*; y frente a la variedad no-QPM: Pairumani Compuesto-10.

Extracción del ADN

De cada una de las 48 familias S1 y de los 4 testigos, se tomaron 8 semillas al azar. El ADN genómico fue extraído a partir de fragmentos de cada semilla por separado. Para obtener el fragmento, se realizó un corte en la parte basal de la semilla, teniendo cuidado de no afectar al embrión, obteniendo una muestra de 20 a 30 mg en peso. Dicho fragmento fue molido con mortero en nitrógeno líquido. Posteriormente, con la muestra molida, se procedió a realizar la extracción de ADN.

Se evaluaron cuatro protocolos de extracción de ADN:

- CTAB (Cetyltri-methylamonium Bromide) descrito por Agbios, (1999) y modificado para *Apion godmani* W. en el CIAT de Colombia (Gonzales D., 1995)
- Protocolo descrito por Dellaporta S. (1983)
- CTAB modificado para maní en el CIFP
- Protocolo descrito por Mogg y Bond, modificado para maíz por Coles (2009).

Cada uno de los protocolos fue ensayado de forma preliminar para 20 muestras de semilla. Se realizó la cuantificación del ADN extraído con cada uno de los cuatro protocolos, a través del Quantiflúor Promega-ST. Posteriormente 2 µl de ADN extraído fueron amplificados mediante PCR utilizando el marcador umc1066. Los productos de PCR umc1066 fueron separados en geles agarosa al 2% en buffer TBE. Las muestras fueron corridas en geles a 120V por 1 hora y visualizadas bajo luz UV con tinción de Sybr green.

Análisis molecular

Se emplearon tres microsatélites: phi057, umc1066 y phi112, identificados para evaluar el gen *opaco2* en germoplasma de maíz, estos fueron construidos por www.sigmaaldrich.com, en base a las secuencias de www.maizegdb.org, citado por Danson, *et al. (* 2006)

Amplificación de la PCR

La mezcla de reacción PCR utilizada para phi57 y umc1066 (para un volumen total de15 µl) fue la siguiente: 100 ng de DNA, 0.4 mM de cada dNTP, 0.25 µM de cada iniciador (anverso y reverso), 2.5 mM $MgCl_2$, 0.2 U de Taq polimerasa, 1 X buffer (libre de magnesio).Para phi112, solo se cambió la concentración del cebador a 0.2 µM (Mana *et al.* 2005).

Electroforesis en gel de acrilamida

La resolución de los fragmentos de la PCR en geles de agarosa para los marcadores phi057, phi112 y umc1066 mostró que el polimorfismo detectado era bastante ajustado y a menudo llevaba a interpretaciones erróneas, por lo que se requirió el uso de los geles de poliacrilamida visualizados con tinción de nitrato de plata, que permiten una resolución más precisa (Danson *et al.*, 2006).

Selección y evaluación de las líneas S2

Las semillas que fueron cortadas para analizar su ADN en el laboratorio fueron codificadas y tratadas con el fungicida Maxim (1,20 cc.kg^{-1}) y el insecticida Actellic (1,20 cc.kg^{-1}), luego se sembraron en bandejas de plástico dentro de invernadero. Después de dos semanas fueron trasplantadas a condiciones de campo. A los tres meses después de la siembra, se comenzaron con las autofecundaciones, obteniéndose una S2. Posteriormente el material S2 fue seleccionado al tiempo de la cosecha por la presencia del gen opaco-2 en forma homocigótica recesiva, además de considerar las características de sanidad de la mazorca, arquitectura de planta y aspecto del grano.

Figura 1. Plántulas de maíz sembradas a partir de semillas cortadas

Resultados y Discusión

Validación del protocolo para extracción de ADN a partir de fragmentos de tejido de una sola semilla

De los cuatro protocolos de extracción de ADN a partir de fragmentos de semilla, tres permitieron visualizar ADN de buena calidad: el método de CTAB, el protocolo modificado para maní y el protocolo de Mogg y Bond modificado. El protocolo de Dellaporta no dio suficiente cantidad de ADN como para poder visualizar adecuadamente la banda correspondiente (ver Figura 2).

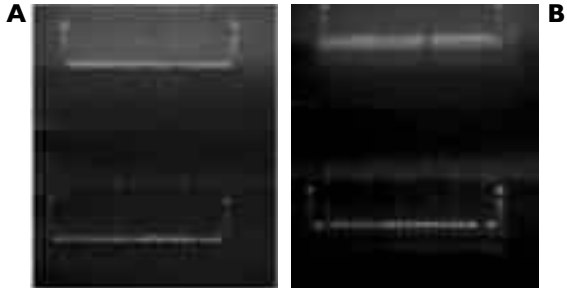


Figura 2. Visualización de los productos PCR con el marcador umc1066. A) Arriba protocolo CTAB, abajo CTAB modificado para maní en el CIFP. B) Arriba protocolo Dellaporta y abajo protocolo Mogg y Bond modificado para maíz

Comparando estos tres métodos, el protocolo de Mogg y Bond excluye el uso de sustancias tóxicas tal como el B-Mercaptoetanol; además en los resultados del Quantiflúor Promega-S, se observó que éste protocolo permitió obtener ADN de buena calidad y en cantidad suficiente (ofreció las mayores cantidades de ADN según fueron evaluadas en el quantiflúor). Por otro lado, considerando que los métodos de CTAB y el modificado para maní, fueron diseñados para extracción de ADN de hoja, mientras que el de Mogg y Bond, ha sido orientado hacia la extracción de ADN de semilla (Coles, 2009), podemos decir que para la extracción de ADN a partir de fragmentos de semilla en maíz, el método que se ha encontrado más apropiado es el de Mogg y Bond modificado.

Análisis de los marcadores SSR

En el caso del iniciador phi057, las dos bandas encontradas (155bp y 165bp), coinciden con resultados obtenidos en ADN de hoja, tal como mencionan Jompuk, *et al.* (2006), Babu *et al.* (2005) y Danson *et al.* (2006); lo cual demuestra que este marcador es capaz de diferenciar entre los 3 posibles genotipos: homocigoto dominante (O2O2), heterocigoto (O2o2) y homocigoto recesivo (o2o2).(Ver Figura 3).

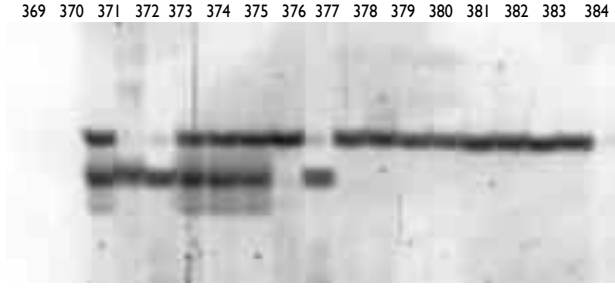


Figura 3. Identificación de líneas QPM o2o2 (375, 377-384, identificadas a 165 bp), no QPM +O2o2 (369, 372, 373, 374 identificadas a 155 y 165 bp) y O2O2 (370, 371 y 376 identificadas a 155 bp) en geles de acrilamida y visualizados con tinción de nitrato de plata, con el marcador polimórfico y codominante phi057

Por su parte, el iniciador phi112, resultó ser de carácter dominante, ya que mostró una única banda a 150bp, por lo que solo podía diferenciar entre los genotipos O2_y o2o2, por lo que solo es útil para diferenciar entre material QPM y material no-QPM. Este resultado coincide con lo encontrado por Babu *et al. (*2005) y es similar a lo reportado por Manna *et al.* (2005).

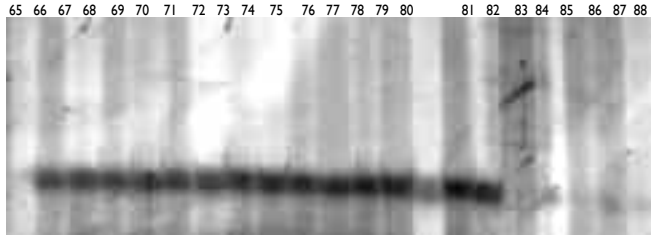


Figura 4. Identificación de líneas no QPM O2_ (66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 80) con una banda a 150 bp y QPM genotipo o2o2 (65, 78, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88) con el marcador polimórfico y de carácter dominante phi112

Finalmente, el iniciador umc1066 resultó ser monomórfico mostrando una banda bien definida a 138bp; y por lo tanto no útil para discriminar individuos QPM entre los materiales evaluados. Danson *et al.*, (2006) llegaron a similares resultados, sin embargo Babu *et al. (*2005) encontraron que este marcador era codominante y polimórfico en las líneas que evaluaron en sus estudios. Esto podría deberse a que Danson *et al.,* evaluaron materiales procedentes del CIMMYT, mientras que Babu *et al.*, analizaron materiales locales, además de los materiales del CIMMYT. En nuestro caso, los resultados coinciden

con los de Danson *et al*., debido a que el "donador" del gene opaco-2 empleado por el CIFP, corresponde a la variedad Tuxpeño–Opaco2, una línea mexicana introducida en materiales del CIMMYT.

Análisis del material segregante

Analizando los resultados obtenidos, se observó que del total de líneas S1 evaluadas, 93% coinciden dando los mismos resultados para ambos marcadores (phi057 y phi112); es decir que en 318 de las 343 líneas se identificó el mismo genotipo. Del otro 7% no-coincidente, algunas líneas identificadas como O2o2 por el marcador phi057, fueron identificadas como o2o2 por el marcador phi112. Esta diferencia podría deberse a que algunas veces, el marcador phi112 no separa claramente las líneas heterocigotas de las homocigotas recesivas, tal como menciona CIMMYT(2000), citado por Jompuk *et al.* (2006).

El otro grupo de no-coincidencias, resultó cuando el marcador phi057 identificó a algunas líneas (66, 75, 77, 153, 204, 205, 226, 235, 237, 267, 272, 302, 303, 309 y 311) como o2o2, mientras que el marcador phi112 las identificó como no-QPM (O2_). Al respecto, autores como Manna *et al.* (2005), sugieren que estos resultados podrían deberse a que el marcador amplificado por el iniciador phi112 es dominante y estaría en fase de acoplamiento con el alelo dominante O2, tal como se muestra en los resultados encontrados. Adicionalmente, Jompuk *et al.* (2006); mencionan que phi057 está más cercanamente ligado al gene o2 que el marcador phi112 y por lo tanto es más efectivo en la selección asistida por marcadores moleculares para discriminar entre plantas homocigotas y heterocigotas.

Respecto al porcentaje de líneas QPM encontradas en el material segregante, se observó que del total de las 384 líneas S1, correspondientes a 48 familias, 212 líneas fueron identificadas como QPM mediante ambos marcadores (phi057 y phi112) y 22 líneas adicionales identificadas como QPM sólo verificables por el iniciador phi057. Es decir, se encontró que 234 líneas en total (60.94%) presentaban el genotipo o2o2 (maíz QPM).

Conclusiones

El protocolo más adecuado para la extracción de ADN de maíz a partir de fracciones de tejido de semilla, es el protocolo de Mogg y Bond modificado por Coles (2009).

El marcador más sensible para la identificación del gene opaco-2 es el marcador phi057, ya que además de diferenciar entre material QPM y material no-QPM, permite también identificar los tres posibles genotipos: o2o2, O2o2 y O2O2.

Del total de 384 líneas S1 evaluadas, correspondientes a 48 familias, 234 líneas (60.94%) fueron seleccionadas como QPM.

Bibliografía

- Ávila, G. (2008) El maíz y su mejoramiento genético en Bolivia. Academia Nacional de Ciencias. Cochabamba, Bolivia. 142p.
- Babu, R., S. K. Nair, A. Kumar, S. Venkatesh, J. C. Sekhar, N. N. Singh, G. Srinivasan y H. S. Gupta (2005) Two-generation marker-aided backcrossing for rapid conversion of normal maize lines to quality protein maize (QPM). TheorApplGenet(2005) 111:888-897
- Bantte, K. y B.M. Prasanna (2003) Simple sequence repeat polymorphism in Quality Protein Maize (QPM). Euphytica 129: 337-344
- Bonamico, N., J. Aiassa, M. Ibanez, M. Di Renzo, D. Diaz y J. Salermo (2004) Caracterización y clasificación de híbridos simples de maíz con marcadores SSR. RIA33 (2): 129 – 144
- Coles, N. (2009) The genetic architecture of maize photoperiod sensitivity as defined recombinant inbred line, backcross, and Heterogeneous inbred family populations. Tesis de Ph.D. North Carolina State University. Raleigh, North Carolina. USA.
- Dellaporta S.L., J. Wood, and J. B. Hicks (1983) A plant DNA mini-preparation: Version II. Plant Molecular Biology Reporter.
- Dreher, K., M. Morris, M. Khairallah, J. M. Ribaut, S Pandey y Srinavasan (2003) Is marker assisted selection cost- effective compared with conventional breeding methods? The case of Quality protein Maize. In Economic and Social Issues in Agricultural Biotechnology. CABI Publishing.
- Fuentes, M., C. Perez, L. Molina y K. Ponciano (2000) Desarrollo de variedades de maíz con alto valor nutritivo adaptado a la zona del trópico bajo de Guatemala. Selección asistida con marcadores moleculares microsatélites. En Investigación y desarrollo de maíz de alta calidad de proteína. Guatemala
- Gonzales, D.O., N. Palacios y J. Tohme (1995) Protocolos para marcadores moleculares. Unidad de

Investigación en Biotecnología, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia 78p.

- Jompuk, P., W. Wongyai, C. Jampatong y S. Apisitvanich (2006) Detection of Quality Protein Maize (QPM) using Simple Sequence Repeat (SSR) Markers and Analysis of Tryptophan Content in Endosperm. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 40: 768-774
- Manna, R., D.K. Okello, J. Imanywoha, K. Pixley, R. Edema (2005) Enhacing introgression of the Opaque 2 trait in to the elite maize lines using simple secuence repeats. African Crop Science Journal, Vol. 13 No. 4, pp 215-226
- Vivek, B.S., A.F. Krivanek, N. Palacios-Rojas, S. Twumasi-Afriyie y A.O. Diallo (2008) Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM): Protocolos para generar variedades QPM. CIMMYT. México, D.F. 56p
- Yang, W., Y. Zheng, S. Ni, J. Wu (2004) Recessive allelic variations of three Microsatellite sites within the O2 gene in maize. Plant Molecular Biology Reporter 22:361-374

Calidad nutricional de poblaciones locales de maíz de la provincia de Misiones, Argentina

Mónica Heck[1] Raquel Defacio[2] Marcelo Ferrer[2] Alfredo Cirilo[2] Silvina Fariza[1] Adrián De Lucia[1] Jorge Blaszchik[1]
[1]INTA, EEA Cerro Azul. [2]INTA, EEA Pergamino. heck.monica@inta.gob.ar

Resumen

La mayor parte del maíz sembrado en la provincia de Misiones corresponde a variedades autóctonas. Sin embargo, la información acerca de la composición química de estos materiales es escasa. Con el objeto de evaluar el potencial nutricional del germoplasma local se estudiaron 16 poblaciones locales y 3 testigos comerciales. La concentración de proteína, aceite, almidón y amilosa y el perfil de ácidos grasos se determinaron mediante métodos validados por la A.O.A.C (Association of Official Analytical Chemists). Los resultados obtenidos revelaron valores de 9,9 a 13,4% de proteína, de 3,81% a 6,11% de aceite, de 66,6% a 74,8% de almidón y de 20% a 24,6% de amilosa. Se observó una variación considerable en la composición de ácidos grasos, con valores medios de 13,4% de palmítico, 2,01% de esteárico, 35,6% de oleico, 48,2% de linoleico y 0,79% de linolénico. El amplio rango de variación observado en las poblaciones nativas para los caracteres de calidad evaluados permitió evidenciar materiales con valores sobresalientes para algunos de esos caracteres, lo que pone en relieve cierta ventaja comparativa de los mismos para la alimentación humana y animal. Los resultados obtenidos proveen información valiosa para su utilización futura en programas de mejoramiento genético centrados en la mejora de estos caracteres.

Palabras clave: poblaciones locales de maíz, proteína, aceite, almidón, ácidos grasos.

Introducción

El maíz (*Zea mays*, L.) es uno de los cultivos alimenticios más importantes a nivel mundial. Es utilizado para la alimentación humana y animal, en forma de grano o forraje, además de sus múltiples aplicaciones industriales (Singh *et al.*, 2014). Como todos los cereales, es rico en carbohidratos y desequilibrado en proteína, vitaminas y minerales (Díaz Coronel *et al.,* 2009; Corcuera, 2012).

La caracterización de poblaciones locales y materiales de mejoramiento en base a sus atributos de calidad está cobrando importancia (Robutti *et al.*, 2000; Méndez Montealvo *et al.*, 2005). Esto se debe a una tendencia hacia la producción de materiales con características de calidad diferenciada para satisfacer los variados aspectos de la demanda (Robutti, 2004). Debido a su gran diversidad genética, los maíces no tienen la misma constitución química y presentan diferencias en sus propiedades y en su utilización final (Méndez Montealvo *et al.*, 2005).

La mayor parte del maíz cultivado en la provincia de Misiones corresponde a razas locales que se adaptan a una gran variedad de situaciones ecológicas y que satisfacen las necesidades y hábitos de alimentación de la población. A pesar de la amplia diversidad de razas presentes en la provincia no existe información previa para caracteres de calidad en el germoplasma nativo en las condiciones ambientales y de manejos locales, ni tampoco trabajos previos de selección para dichos caracteres. Teniendo en cuenta el uso predominantemente alimenticio del maíz en la provincia, el mejoramiento de las propiedades nutricionales del grano tendría un valor significativo para el usuario final, permitiendo diversificar y otorgar valor agregado al cultivo, beneficiando a los agricultores sin la necesidad de modificar sus hábitos alimenticios. El contenido de aceite y proteínas, el balance de aminoácidos, la composición de ácidos grasos y las propiedades físicas del almidón constituyen objetivos importantes para el mejoramiento local debido al gran impacto que tienen en la alimentación humana y animal, la salud y las aplicaciones industriales. Los objetivos de este trabajo fueron: 1) evaluar la calidad nutricional de poblaciones locales de maíz de

la provincia de Misiones y 2) identificar poblaciones destacadas en términos de valor nutricional.

Materiales y métodos

Se evaluaron diversos parámetros de calidad bioquímica de 16 poblaciones locales de maíz originarias de la provincia de Misiones. La elección del material vegetal utilizado en la evaluación y posterior clasificación se realizó considerando diferentes orígenes, fechas de colecta y tipos raciales (Tabla 1). Los mismos parámetros de calidad se evaluaron en 3 testigos comerciales de uso local: Leales 25 plus (T18), Centralmex (T19) y Santa Helena 5090 (T20). También se evaluaron dichos parámetros en un híbrido QPM (T21) proveniente del cruzamiento de dos líneas de CIMMYT (CML161 y CML165).

Tabla 1. Descripción de la forma racial, sitio y fecha de colecta y donante de las poblaciones de maíz nativas de la provincia de Misiones evaluadas.

Nº	Población	Forma racial	Donante	Sitio de colecta	Fecha colecta
P1	MNES01	Catete oscuro	Mbya guaraní	El Soberbio	2008 *
P2	MNES02	Avatí morotí ti	Mbya guaraní	El Soberbio	2008 *
P3	MNES03	Avatí morotí mitá	Mbya guaraní	El Soberbio	2008 *
P5	MNES05	D. amarillo marlo fino	Productores	L.N.Alem	2008 *
P6	MNES06	Dentado amarillo	Productores	Picada Propaganda	2008 *
P7	MNES07	Cravo	Productores	Montecarlo	2008 *
P8	MNES08	Semidentado	Productores	Puerto Rico	2008 *
P9	MNES09	Dentado amarillo	Productores	L.N.Alem	2008 *
P10	MNES010	Dentado blanco	Productores	L.N.Alem	2008 *
P11	ARZM05-002	Dentado amarillo	Productores	L. N. Alem	1977 **
P12	ARZM05-016	Avatí morotí	Productores	Almafuerte	1977 **
P13	ARZM05-022	Dentado blanco	Productores	Picada Yapeyú	1977 **
P14	ARZM05-026	Cravo	Productores	Alberdi	1977 **
P15	ARZM05-030	Tusón	Productores	San Ignacio	1977 **
P16	ARZM05-067	Avatí Morotí Ti	Mbya guaraní	Campo Las Monjas KM 300	1977 **
P17	ARZM05-070	Avatí Morotí Mitá	Mbya guaraní	Campo Las Monjas KM 301	1977 **

* Colecta realizada por el Grupo de Cultivos Anuales (EEA Cerro Azul) ** Materiales del Banco Activo de Germoplasma (EEA Pergamino).

Los materiales genéticos evaluados fueron sembrados en la Estación Experimental Agropecuaria de INTA en Cerro Azul, Misiones, en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones durante la campaña 2012/13. Los granos incluidos en las muestras utilizadas para el análisis de calidad nutricional se obtuvieron por cruzamientos controlados. Los análisis químicos fueron realizados por el Laboratorio de Calidad de Alimentos, Suelos y Agua de la Estación Experimental Agropecuaria de INTA de Pergamino, dentro del año de cosechada la muestra, utilizando métodos validados por la A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemists). La concentración de proteínas (PRO) se midió por el método de micro Kjeldhal (AACC 46-13, 1995), la concentración de aceite (ACE) por extracción continua con solvente (AACC 30-25, 1995), la concentración de almidón (AL) se determinó por el método de Dubois *et al.* (1956) y el contenido de amilosa (AMI) según lo descripto por Knutson (1986) con modificaciones de Robutti *et al.* (2000). La extracción de aceite se realizó utilizando el método de extracción en frío con hexano cromatográfico en mortero y la esterificación por transmetilación directa *in situ* con catálisis alcalina (Percibaldi *et al.,* 1997). El perfil de ácidos grasos se obtuvo por cromatografía gaseosa.

Los datos se sometieron a un análisis de varianza para todas las variables evaluadas, seguido por el

Test de Tukey ($p<0.05$) para la separación de medias. Además se construyó la matriz de correlaciones de Pearson para conocer las asociaciones entre los distintos caracteres evaluados. El software estadístico utilizado fue SAS (SAS Institute, 2001).

Resultados y Discusión

Los materiales evaluados mostraron diferencias significativas en concentración de proteína, aceite y almidón, con valores entre 9,9 a 13,4% de proteína, 3,81% a 6,11% de aceite, 66,6% a 74,8% de almidón y 20% a 24,6% de amilosa (Tabla 2). El valor medio de contenido proteico determinado para el conjunto de materiales evaluados (11,74%) superó en 23,6% al valor indicado para materiales extensivamente cultivados en la Argentina (Martin de Portela, 2006). En tanto, cuando se compara con el 11,5% publicado por MAIZAR (ILSI Argentina, 2006) y el 11,04% reportado por ILSI para materiales cultivados en Brasil, más del 80% de las poblaciones locales evaluadas presentaron niveles superiores a dichos valores. Los materiales T19, P5, P8, P9, P14 y P15 se destacaron por su elevado nivel de proteína en grano.

La concentración media de aceite de los materiales evaluados fue de 4,79%, resultando superior al 4,3% reportado a nivel mundial por Corn Refiners Association (2006) y ubicándose en los rangos citados tanto a nivel mundial (1,36% y 7,83%) como nacional (2,35% y 6,21%) (ILSI Argentina, 2006). El aceite de maíz tiene 2,25 veces más contenido calórico por unidad de peso que el almidón y un mejor balance nutricional, por lo que incrementos en la concentración del mismo revisten interés en la alimentación de aves, ganado lechero, cerdos y ovejas (Saleh *et al.*, 1997; Singh *et al.*, 2014). Además, al evitar o reducir con su uso la suplementación con aceite en la ración de esos animales, reduce sustancialmente los costos de alimentación (Corcuera, 2012). El aumento de concentración de aceite es importante también para la alimentación humana debido a la calidad del aceite de esta especie (Paliwall, 2001) y al concomitante incremento en la concentración de proteínas y la calidad de las mismas relacionadas con el aumento del tamaño del germen (Singh *et al.,* 2014). Si bien los valores reportados en el presente trabajo se encuentran por debajo del 6% recomendado para ser considerado como maíz de alto aceite (HOC), los tenores de aceite (5,1-5,6%) detectados en los materiales P1, P3, P13 y el testigo QPM sugieren una cierta ventaja comparativa en la alimentación humana y animal, pudiendo ser de gran utilidad en futuros programas de mejoramiento.

Tabla 2. Concentración de proteína, aceite, almidón, amilosa y composición de ácidos grasos de poblaciones nativas de maíz y testigos evaluados. Se incluye el tipo de endosperma en cada caso.
Los resultados se presentan como porcentaje de materia seca. †Híbrido QPM. ‡ Valores mínimos y máximos en términos de valor absoluto. PAL: ácido palmítico; EST: ácido esteárico; AOL: ácido oleico; AL: ácido linoleico; ALN: ácido linolénico; AL/ALN: relación ácido linoleico-linolénico; IN:SAT: relación insaturados-saturados. *, **, *** Significante a p <0.05, 0.01 y 0.001. ns: no significativo. Para todos los caracteres (excepto para contenido de ácido linoleico: p<0.10) valores seguidos por la misma letra en la misma columna no difieren significativamente a p < 0.05

Población	Tipo de endosperma	Proteína		Aceite		Almidón		Amilosa	PAL	EST	AOL	AL	ALN	AL/ALN		IN:SAT
P1	Harinoso	11,37	ab	5,10	bc	71,77 ab	ab	22,53	12,57	1,97	37,23 ab	47,33 ab	0.90 b	52,93	a	5,90
P2	Harinoso	11.63	ab	4.67	abc	71,47 ab	ab	22,63	13.43	2.07	35,70 ab	47,97 ab	0.83 ab	57,6.3	a	5.47
P3	Harinoso	11,87	ab	5,57	c	69,57 ab	ab	21,57	12,90	1,60	40,43 ab	44,20 ab	0.S7 b	51,20	a	5,93
P5	Dentado	12,33	b	4.56	abc	69,37 ab	ab	22,03	13.40	1.83	33,87 ab	50,10 ab	0,80 ab	63,03	ab	5,60
P6	Dentado	11,83	ab	4.96	bc	68,70 ab	ab	21,40	13.43	2.03	34.43 ab	49,27 ab	0,80 ab	62,43	ab	5,50
P7	Dentado	11,70	ab	4,58	abc	71,33 ab	ab	22,10	12.93	2.27	37,63 ab	46,40 ab	0,77 ab	60,53	ab	5,60
P8	Semi dentado	12,07	ab	4,51	abc	71,80 ab	ab	22,60	12,27	1,90	36,23 ab	48,87 ab	0,73 ab	67,47	ab	6,10
P9	Dentado	12,10	ab	4,63	abc	70,40 ab	ab	21,77	14,60	2,03	35,03 ab	47,57 ab	0,77 ab	62,43	ab	5,07
P10	Dentado	11,83	ab	4.70	abc	70,30 ab	ab	22,70	13.00	1.97	30,80 a	53,50 ab	0,73 ab	7.3,60	ab	5.70
P11	Dentado	11,73	ab	4,75	abc	70,10 ab	ab	22,60	13,40	2,30	37,27 ab	46,37 ab	0,67 ab	69,60	ab	5,40
P12	Harinoso	10,50	a	4.72	abc	72,93 ab	b	23,27	12.87	2.20	41,43 b	42,67 a	0.83 ab	51,07	a	5.67
P13	Dentado	11,87	ab	5,31	bc	70,77 ab	ab	22,77	13,97	2,43	39,73 ab	43,10 ab	0.77 ab	56,57	a	5,23
P14	Dentado	12,20	ab	4.87	abc	69,97 ab	ab	23,03	13.23	2.17	38,43 ab	45,33 ab	0,83 ab	54,43	a	5,53
P15	Semi dentado	12,27	ab	4.94	bc	67,90 ab	a	22,70	14.37	1.90	31,47 ab	51,53 ab	0,70 ab	73,63	ab	5,13
P16	Harinoso	10,70	ab	4.73	abc	70,50 ab	ab	22,77	13.43	2.40	36,77 ab	46,47 ab	0,90 b	52,03	a	5,30
P17	Harinoso	11,90	ab	4,98	be	69,57 ab	ab	22,10	13,27	1,90	30,53 a	53,37 ab	0,90 b	60,00	ab	5,63
T18	Cristalino	12,07	ab	4,31	ab	68,40 ab	ab	22,73	12,53	2,07	34,53 ab	50,07 ab	0,77 ab	66,00	ab	5,87
T19	Semidentado	12,47	b	4.53	abc	68,43 ab	ab	22,67	13.53	1.93	35,80 ab	48,13 ab	0,60 a	82,50	b	5,50
T20	Cristalino	11,47	ab	3,86	a	69,20 ab	ab	22,87	13,60	1,57	29,93 a	53,97 b	0,87 b	62,20	ab	5,63
T21+	Semicristalino	10,83	ab	5.53	c	69,53 ab	ab	22,47	14,43	1.73	34,93 ab	48,20 ab	0,67 ab	72,8.3	ab	5,17
Promedio		11.74		4,79 ***		70.1		22,47 ns	13.36 ns	2,01 ns	35,61 ***	48,22 *	0.79 ***	62,61 ***		5.55 ns
Mín.*		9.9		3.8		66.6		20.0	11,6	1,2	25.4	35. í	0,5	46.2		4
Max.*		13,4		6,1		74.8		24.6	16,1	4,0	44.9	60.0	1.0	104.8		6.6

La concentración media de almidón (70,1%) coincide con los valores reportados por Corn Refiners Association (2006) que ubica el rango mundial para este carácter entre 61% y 78%. En el presente trabajo se detectaron 10 poblaciones con concentraciones medias por encima del 70% (P1, P2, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13 y P16). Los valores obtenidos son similares a los hallados por Robutti *et al.* (2000) al evaluar 239 accesiones de Argentina de diferentes tipo de endosperma y resultan superiores a los reportados por otros autores (Singh *et al.*, 2001; Berardo *et al.*, 2009; Pinto *et al.*, 2009).

La concentración de amilosa total (22,47%) de las poblaciones analizadas fue menor a la reportada por Robutti *et al.* (2000) al evaluar 239 accesiones de Argentina de diferentes tipos de endosperma (27,2%) y a la hallada por Pinto *et al.* (2009) en 20 variedades locales de maíz de Brasil (25,6%). Estas diferencias estarían asociadas con el ambiente de evaluación en el primer caso (ambiente templado vs subtropical) y con la diversidad racial analizada en el segundo caso. Pinto *et al.*, (2009) evaluaron variedades locales dentadas y semidentadas, sin incluir materiales harinosos como los del presente trabajo. Teniendo en cuenta que la concentración de amilosa aumenta en endospermas más duros (Dombrink-Kurtzman y Knutson, 1997), esto explicaría los valores más elevados obtenidos por dicho autor.Existe una variación considerable para la composición de ácidos grasos en el germoplasma evaluado, con diferencias significativas en el contenido de ácido oleico, linoleico y linolénico (Tabla 2). Los valores resultan consistentes con los reportados por Dunlap *et al.* (1995a, b) y Egesel *et al.* (2011). Las concentraciones medias de ácido palmítico (13,4%) y esteárico (2,01%) resultaron superiores a las reportadas por ILSI a nivel mundial (12,5% y 1,9% respectivamente) y a nivel nacional (12,6% y 1,83% respectivamente). Además, los materiales evaluados presentaron una mayor concentración media de ácido oleico (35,6%) y menor concentración de ácido linoleico (48,2%) y linolénico (0,79%) con respecto a los reportados por ILSI a nivel mundial (26,5%, 56,7% y 1,38% respectivamente) y a nivel nacional (26,1%, 57,2% y 1,38% respectivamente), aunque más similares a los reportados para Brasil (29,5%, 53% y 1,18% respectivamente). Estas diferencias estarían relacionadas principalmente con los factores ambientales preponderantes en cada ambiente analizado. Dunlap *et al.* (1995a) y Eyherabide *et al.* (2005) indican que aceites provenientes de regiones más cálidas presentan una mayor proporción de ácidos grasos saturados que aceites procedentes de climas más fríos, aunque los factores genéticos mantienen un rol preponderante en la determinación del perfil de ácidos grasos.

El perfil de ácidos grasos obtenido indica una relación adecuada entre grasas insaturadas y saturadas. La alta proporción de ácidos grasos mono y poli-insaturados en el maíz tiene efectos importantes sobre la salud ya que su consumo está asociado a disminuciones de las concentraciones séricas de colesterol y de la presión sanguínea (Siri-Tarino *et al.*, 2010). Sin embargo, para un correcto funcionamiento del organismo, es necesario que la proporción de ácido linoleico (Ω6) y linolénico (Ω3) sea la adecuada (rango 4:1). En el aceite de maíz y otros aceites vegetales esta relación presenta un claro desequilibrio (10:1 o más) (Olivera Carrión, 2006). Los valores encontrados (62:1) responden a esta tendencia, con resultados similares a los reportados por Corcuera (2012), aunque de mayor magnitud que los indicados por la Asociación Argentina de Grasas y Aceites (ASAGA) a nivel país (46:1) (Olivera Carrión, 2006). Teniendo en cuenta que estos ácidos grasos no son sintetizados por el cuerpo humano, resulta esencial incorporarlos a través de la dieta. Una relación desequilibrada en el aceite y la ingesta excesiva de ácido linoleico como el que se observa en comunidades que presentan al maíz como elemento esencial de su dieta pueden promover la patogénesis de enfermedades cardiovasculares, cáncer, enfermedades autoinmunes e inflamatorias (Olivera Carrión, 2006; Corcuera, 2012). Con relación a la nutrición animal, la utilización de maíz en altas proporciones en la alimentación de bovinos produciría carne con un perfil menos deseable de ácidos grasos debido a su mayor proporción de ácido linoleico y oleico y menor concentración de linolénico con respecto a las pasturas tradicionales (Depetris y Santini, 2006). Aunque dependiendo del nivel de inclusión en la dieta y al tiempo de suministro previo a la faena, los efectos no serían tan marcados, generando carnes aceptables a nivel nutricional y sensorial. Por su par-

te, el empleo de maíz en la dieta de aves ponedoras provoca un aumento del tamaño de los huevos y una mayor concentración de Omega-6 y Omega-3 como consecuencia del incremento en la ingesta de ácidos grasos poliinsaturados (Moraes y Vartorelli, 2006). Teniendo en cuenta el rango de variabilidad encontrado y los antecedentes favorables respecto al progreso obtenible por selección para perfil de ácidos grasos (Eyherabide *et al.*, 2005) podría ser posible desarrollar materiales con un patrón adecuado de ácidos grasos para diferentes usos.

Conclusiones

Las poblaciones nativas evaluadas presentaron un amplio rango de variación para los caracteres de calidad analizados, evidenciándose materiales con características sobresalientes para concentración de proteína, almidón, aceite y composición de ácidos grasos. Teniendo en cuenta que no existe información previa para caracteres de calidad nutricional en el germoplasma local, ni trabajos previos de selección para dichas características, los resultados obtenidos proveen información valiosa para su utilización futura en programas de mejoramiento centrados en la mejora de estos caracteres.

Bibliografía

- AACC. 1995. Approved Method of the AACC. 9th Edition, American Association of Cereal Chemists, St. Paul.
- Berardo, N., Mazzinelli, G., Valoti, P., Lagana, P., Redaelli, R. 2009. Characterization of maize germplasm for the chemical composition of the grain. J. Agric. Food Chem. 57:2378-2384.
- Corcuera, V. R. 2012. Desarrollo y evaluación de nuevo germoplasma de maíz (*Zea mays L.*) para uso especial en argentina. Tesis presentada para optar al Grado de Doctor Ingeniero Agrónomo. Universidad Politécnica de Valencia. 394 pp.
- Corn Refiners Association. 2006. Corn Oil, 5th ed., Corn Refiners Assoc. Inc., Wash. (DC), USA, 24 págs.
- Depetris, G.J.y Santini, F.J. 2006. Particularidades nutricionales del grano de maíz en la alimentación de bovinos de carne. En: Maíz y Nutrición. Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal, ILSI Argentina: 2:28-31.
- Díaz Coronel, G. T., Sabando Ávila, F. A., Zambrano Montes, S., Vásconez Montúfar, G. H. 2009. Evaluación productiva y de calidad del grano de cinco híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en dos localidades de la provincia de Los Ríos. Ciencia y Tecnología 3: 15-23.
- Dombrink-Kurtzman, M.A. y Knutson, C.A. 1997. A study of maize endosperm hardness in relation to amylose content and susceptibility to damage. Cereal Chem 74(6):776-780.
- Dubois M., Gilles K. A., Hamilton J. K., Rebers P. A., Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal Chem 28(3): 350-356.
- Dunlap, F.G., White, P.J., Pollak, L.M., Brumm, T.J. 1995a. Fatty acid composition of oil from adapted, Elite Corn Breeding Materials. JAOCS 72(9):981-987.
- Egesel, C.O., Kahriman, F., Gül, M.K. 2011. Discrimination of maize inbreds for kernel quality traits and fatty acid composition by a multivariate technique. Acta Sci Agron 33(4):613-620.
- Eyhérabide, G. H., Percibaldi, N. M., Borrás, F. S., Presello, D.A. 2005. Mejoramiento de la calidad nutricional del aceite de maíz mediante el desarrollo y selección recurrente intrapoblacional. Actas VIII Congreso Nacional de Maíz, 336-339.
- ILSI Argentina. 2006. Perfil de la composición de la producción del maíz cultivado en la Argentina. En: Maíz y Nutrición. Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal, ILSI Argentina 2:53-61.
- Knutson C.A. 1986. A simplified colorimetric procedure for determination of amylose in maize starches. Cereal Chem 63(2): 89-92.
- Martin de Portela M. 2006. Componentes nutricionales del grano de maíz. En: Maíz y Nutrición. Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal, ILSI Argentina 2: 44-50.
- Méndez Montealvo, G., Solorza-Feria, J., Velázquez del Valle, M., Gómez-Montiel, N., Paredes-López, O., Bello-Pérez, L.A. 2005. Chemical composition and calorimetric characterization of Hybrids and varieties of maize cultivated in México. Agrociencia 39: 267-274.
- Moraes L. y Vartorelli, F. 2006. Particularidades nutricionales del grano de maíz en la alimentación de aves. En: Maíz y Nutrición. Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. ILSI Argentina: 2:39-41.
- Olivera Carrión, M. 2006. Aporte nutricional de las principales formas de consumo del maíz en la ali-

mentación humana. En: Maíz y Nutrición. Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. ILSI Argentina: 2:56-62.

- Paliwal, R.L. 2001. Usos del maíz. En: El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Colección FAO: Producción y protección vegetal, Roma, Italia.
- Percibaldi, N.M., Borrás, F.S., Robutti, J.L. 1997. Método rápido de extracción y metilación para determinar ácidos grasos en mejoramiento genético del aceite de maíz. VI Congreso Nacional de Maíz, Pergamino; Argentina. 12 al 14 de noviembre de 1997.
- Pinto, A.T.B., Pereira, J., Oliveira, T.R., Prestes, R.A., Rodrigues Mattielo, R., Mottin Demiate, I. 2009. Characterization of corn landraces planed grown in the Campos Gerais Region (Paraná, Brazil) for industrial utilization. Braz. Arch. Biol. Technol. 52:17-28.
- Pollak, L.M. y Scott, M.P. 2005. Breeding for grain quality traits. Maydica 50: 247-257.
- Robutti, J., Borrás, F., Ferrer, M., Percibaldi, M., Knutson, C.A. 2000. Evaluation of Quality factors in Argentine Maize races. Cereal Chem 77(1):24-26.
- Robutti, J. 2004. Calidad y usos del maíz. "En" Idia XXI: Revista de información sobre investigación y desarrollo agropecuario. Buenos Aires: INTA, Año IV, nº 6, p. 100-104.
- Saleh, E.A., Watkins, S.E., England, J.A., Waldroup, P.W. 1997. Utilization of high oil corn in broiler diets varying in energy content. J. Appl. Poultry Res. 6:107-115.
- Singh, S.K, Johnson, L.A., Pollak, L.M., Hurburgh, C.R. 2001. Compositional, Physical, and Wet-Milling Properties of Accessions Used in Germplasm Enhancement of Maize Project. Cereal Chem. 78(3):330-335.

Mejoramiento de la calidad proteínica del endospermo del maíz para zonas bajas, intermedias y de valle

Jaime Argote[1]
[1] Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani, casilla 128 Cochabamba Bolvia.
E-mail: j.argote@fundacionpatino.org

Resumen

En los trabajos de mejoramiento genético de maíz realizados en el Centro de Investigaciones Fitoecogenétias de Pairumani, (CIFP), se ha considerado necesario satisfacer las expectativas y necesidades del agricultor y el consumidor, ofertando semillas con los granos similares a las variedades tradicionales pero con mejor calidad nutritiva, con una mayor capacidad de adaptación a diferentes ambientes y mejores rendimientos; con esta finalidad se realizaron diferentes cruzamientos de algunas variedades locales con la variedad Tuxpeño opaco-2 (originada en el CIMMYT) de grano blanco y endospermo amiláceo portador del gen opaco-2; obteniéndose así las combinaciones genéticas con el tamaño y color de los granos requeridos por el mercado pero con alta calidad proteínica, estos cruzamientos fueron complementados con diferentes ciclos de selección, de esta manera se han conformado las variedades: Aychasara-7, Aychasara-9 (en desarrollo), Aychasara-101, Aychasara-102 y Aychasara-103 (en desarrollo). Al formar estas variedades se pretende ofertar un cereal con alto contenido de lisina y triptófano dos aminoácidos esenciales, importantes para la nutrición infantil, que podrían ser útiles en poblaciones de escasos recursos económicos en las que el consumo de proteína de origen animal es muy bajo y en un futuro próximo la producción de estas variedades podrían constituir la materia prima para la preparación alimentos con el contenido proteínico mejor equilibrado.

Palabras clave: Maíz, gen opaco-2, lisina, triptófano, Aychasara.

Introducción

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), la desnutrición infantil crónica en Bolivia ha disminuido considerablemente en los últimos 20 años, pero todavía alcanza al 15 % de la población de menores, especialmente concentrados en los barrios periféricos pobres de los medios urbanos y zonas deprimidas del medio rural (Argote 1994). Considerando que el consumo de proteínas de origen animal es poco frecuente en estos medios por su elevado precio, es conveniente ofrecer alternativas alimentarias en base al consumo de proteínas de origen vegetal de bajo costo y de consumo masivo; sin embargo este tipo de alimentos son generalmente de baja calidad proteínica, motivo por el cual es necesario realizar un mejoramiento genético para mejorar la relación de los aminoácidos en los vegetales de mayor consumo humano (Ávila y Ávila 1983).

En Bolivia el cultivo del maíz está distribuido geográficamente desde los pequeños valles y laderas de montañas a 3000 m.s.n.m., hasta las llanuras de los departamentos de Beni y Pando que se encuentran a 110 m.s.n.m. (Registro de Colecciones del Banco de Germoplasma CIFP, 1990) y siendo este cereal de consumo generalizado tanto a nivel de la población urbana como rural, en sus diversas formas culinarias, constituye uno de los alimentos básicos de las clases de economía deprimida, por lo que se considera que es uno de los granos importantes a ser tomado en cuenta para el mejoramiento de su calidad proteínica, utilizando las cualidades que brinda el gen opaco-2.

Revisión de literatura

Los constituyentes de la proteína y no la proteína misma son importantes en la nutrición humana, Pradilla y col. (1977), indican que a menudo se proponen soluciones tales como el enriquecimiento de los alimentos básicos, la combinación de leguminosas con cereales o la creación de nuevas fuentes

proteínicas, pero la mayoría de los avances logrados, no han sido de provecho para las clases sociales de bajos recursos económicos. Por lo tanto parece factible proporcionar a la gente alimentos con proteína mejorada y con fenotipo no muy diferente al de los granos alimenticios que por lo general consume.

En este sentido se aprovecha la acción del gen opaco-2 para mejorar la calidad proteínica del maíz normal, este gene fue por primera vez descrito en 1920 por Jones y Singleton en la Estación Experimental de Conecticut (EEUU), Singleton lo localizó en el cromosoma 7 en 1939. En 1964 Mertz y colaboradores de la Universidad de Purdue (Indiana) anuncian los resultados sobre el efecto del gen opaco-2 en la calidad de proteína del maíz, cuando dan a conocer la acción de este gen en la distribución de los aminoácidos del albumen y especialmente en el contenido de lisina y triptófano que fue puesto de manifiesto por Mertz, Bates y Nelson de la Universidad de Purdue (Le Conte, 1973).

Nelson en 1967 citado por Avila (2008), mostró que ratas albinas y cerdos en crecimiento, animales monogástricos al igual que el hombre, al ser criados con maíz opaco-2 como única fuente proteínica, incrementaban su peso a un ritmo tres veces más alto que cuando su dieta estaba constituida por maíz normal.

Según Robinson (1985), el valor proteínico efectivo del maíz opaco-2 es en promedio, casi 75% mayor que el del maíz normal y los nutricionistas presentaron suficiente evidencia para probar la efectividad de esta proteína en niños consumidores de maíz. Así también este autor cita a Nevin Scrimshaw y colaboradores del Instituto de Massachussets, quienes igualaron la calidad proteínica del maíz opaco-2 con el de la leche en polvo en las dietas de personas jóvenes y adultas, y así como indica Mertz (1985), con la inclusión de este tipo de producto en la di*et al.*menticia humana, se puede proporcionar las proteínas que solo se obtendrían de una buena combinación de cereales y leguminosas o bien de la carne, leche y huevos.

En el maíz normal el contenido proteico está representado principalmente por la zeína que constituye más del 50% de la proteína total del grano, teniendo bajo contenido de lisina y triptófano y un reducido valor nutricional (Bressani y Mertz, 1958); al introducir el gen opaco-2 en las variedades normales de maíz, el contenido de lisina aumentaba en 69 % y disminuía la relación de zeína a glutelina (Mertz, Bates y Nelson 1964). Asimismo Murphy y Dably (1971), señalan que en el maíz opaco-2 la zeína es drásticamente reducida mientras que la fracción glutelina, proteína que contiene mayor cantidad de lisina, es incrementada. Este hecho puede explicar el aumento de lisina asociado con el gen opaco-2, ya que una reducción en la zeína, que es esencialmente deficiente en lisina y triptófano, resulta en un incremento en la proporción de estos aminoácidos. Esta observación se puede resumir mediante el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Composición de las proteínas del maíz normal y maíz opaco-2, en % del nitrógeno (Mertz y Bates 1964).

Fracciones	Maíz normal	Maíz opaco 2
Albúmina y globulina	10.13	22.94
Glutelina	46.51	54.63
Zeina	36.73	11.69
N no proteínico	6.63	10.74

Fuente: Avila (2008)

Castellón y Avila (1986) citados por Avila (2008), determinaron en ratas albinas el rango de eficiencia proteínica (PER) de una variedad Aychasara (portadora del gen opaco-2) formada en el CIFP, en comparación con la variedad Huillcaparu y la leche en polvo. Los resultados del índice PER obtenidos sobre la calidad biológica de Aychasara, Huillcaparu y leche en polvo fueron de 2.71, 1.44, y 2.90 respectivamente, siendo los incrementos en peso 97 gr., 43 gr. y 105 gr., para las tres dietas suministra-

das. Debido a la calidad proteínica que presentan las variedades de maíz portadoras del gen opaco-2 y que fueron formadas en el Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani, G. Avila les dio el nombre de "Aychasara" que en el idioma quechua significa "maíz carne" para resaltar las propiedades nutritivas de este nuevo material genético, motivando la formación de nuevas y mejores variedades de maíz portadoras del gen opaco-2.

Objetivos:

Tomando en cuenta, la acción del gen opaco-2 en el endospermo de los granos de maíz, las cualidades de algunas variedades y las ventajas en cuanto a características agronómicas que presenta la variedad Tuxpeño opaco-2, se consideraron los siguientes objetivos:

- Formar variedades de maíz portadoras del gen opaco-2, de mejor calidad proteínica en su endospermo destinadas a diferentes usos.
- Formar variedades con granos similares a las variedades nativas, pero de mejores rendimientos y mayor capacidad de adaptación a zonas bajas intermedias y de valles con temperatura templada.

Materiales y métodos

La formación de estas variedades de maíz se realizó en el Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani (CIFP), localizado en el valle de Cochabamba, situado a 17° 20' 08" de latitud sur y 66° 10' 21" de longitud oeste, y a una altitud de 2584 m.s.n.m. Esta región de manera general presenta un clima templado y húmedo durante los meses de diciembre a febrero; templado y seco durante el resto del año, principalmente durante los meses de invierno.

Para formar las nuevas variedades portadoras del gen opaco-2, se consideró la necesidad del agricultor de incrementar el rendimiento en grano y marcar diferencias con relación a las variedades tradicionales, respecto a la tolerancia a enfermedades causadas por hongos, virus, micoplasmas u otras enfermedades típicas del maíz; de menor ciclo vegetativo y tengan en lo posible una similitud en cuanto al color y tamaño del grano, plantas prolíficas, tolerantes a los acames de raíz o tallo y un mayor rango de adaptación, con objeto de mejorar el nivel nutricional de la población consumidora de este cereal.

Con este propósito se realizaron cruzamientos de variedades destinadas a diferentes usos y la variedad de maíz tropical Tuxpeño opaco-2 de grano blanco y endospermo amiláceo, esta variedad fue introducida del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y trigo CIMMYT – México, adaptada a las zonas bajas y cálidas de Bolivia, siendo también identificada como una de las fuentes de germoplasma tolerante a diferentes enfermedades limitantes en la producción de maíz (para las zonas de valle), por otro lado en el CIFP esta variedad también fue trabajada para incrementar el tamaño de grano y la prolificidad.

Metodología de obtención de las variedades de maíz portadoras del gen opaco-2

Aychasara-101 (variedad liberada)

Para formar esta variedad, se realizó un cruzamiento entre las variedades Ancho Selección Pairumani (de grano grande, semivítreo, cultivado en zonas de valle) y Tuxpeño opaco-2 (con granos de textura suave portadores del gen opaco-2, cultivado en ambientes tropicales); este material genético se retrocruzó por Tuxpeño opaco-2, para captar del material tropical la tolerancia a enfermedades causantes de la pudrición de mazorca. Luego de tres ciclos de recombinación, se sometió a varios ciclos de "Selección Masal Estratificada" en Pairumani (zona de valle) y Chaparé (zona tropical), seleccionándose para sanidad de planta y mazorca, altura de planta e inserción media de mazorca, tolerancia a los acames de raíz y tallo, rendimiento en grano, tamaño grande de grano y granos amiláceos segregantes portadores del gen opaco-2 seleccionados mediante un diafanoscopio, Aychasara-101 es una variedad adaptada a zonas de valle.

Aychasara-102 (variedad liberada)

Esta variedad es el resultado del cruzamiento entre Aychasara-101 x Tuxpeño opaco-2 cuya progenie fue trabajada para zonas bajas con algunas características exigidas por el mercado (calidad Choclera) mediante ciclos de selección en el ciclo invernal en Chaparé (zona tropical) y en el ciclo de verano en Pairumani (zona de valle). Es una variedad adaptada a zonas de ambientes subtropicales y tropicales,

presenta un ciclo vegetativo menor a las variedades tropicales de grano duro, es tolerante a suelos ligeramente ácidos hasta un pH de 4.5; presenta una mazorca de tamaño mediano a grande, grano blanco de textura suave y tamaño mediano, buena sanidad de planta y mazorca; esta variedad se cultiva en ambientes de zonas bajas como Chaparé, los yungas de La Paz con interesantes resultados durante la época invernal y también en ambientes subtropicales durante el verano.

Aychasara-7 (variedad liberada)

Esta variedad tiene su origen en el cruzamiento entre las variedades Kulli con pericarpio fuertemente coloreado, proveniente del Valle Alto de Cochabamba y Tuxpeño opaco-2, con la finalidad de conformar una variedad de grano morado de alto contenido de lisina y triptofano. Luego de realizar el cruzamiento y practicar los ciclos de recombinación para fijar el gen opaco-2 y el color morado intenso del grano, se practicó en los primeros ciclos la selección para precocidad, sanidad de planta y mazorca; selección en grano para color morado intenso y textura de endospermo suave el cual se determinó mediante cortes en diferentes partes del grano ya que no se puede utilizar un diafanoscopio para este propósito.

Aychasara-103 (variedad en proceso de desarrollo)

Proveniente del cruzamiento entre Tuxpeño opaco-2 con dos de las mejores líneas tropicales de grano duro color naranja (de un grupo heterótico del programa de hibridación del CIFP). Luego de los cruzamientos y ciclos de recombinación, este material fue sometido a ciclos de selección practicados en dos ambientes contrastantes Chaparé y Pairumani a 400 y 2580 m de altitud, esto con la finalidad de proporcionarle un mayor rango de adaptación al material resultante.

Por el origen del material genético y los ambientes de selección, esta variedad puede ser cultivada en zonas tropicales, pero con mayor preferencia en zonas subtropicales (suelos con mayor fertilidad) por el potencial que puede significar para la industria de harinas de calidad proteica para consumo humano. Entre las características más sobresalientes de esta variedad ésta la sanidad de planta y mazorca, prolificidad de aproximadamente 1.7 mazorcas por planta (en suelos de valle) y un grano pequeño de endospermo suave, color amarillo intenso.

Aychasara-9 (variedad en proceso de desarrollo)

Proviene del cruzamiento entre variedades de maíz recolectadas en las cercanías del Lago

Titicaca a 3.800 m. de altitud (variedades de ciclo muy precoz en los valles) por la variedad de valle Aychasara-5, y a su vez cruzada por Aychasara-101, para captar los caracteres de tolerancia a patógenos que causan las pudriciones de mazorca. Es una variedad choclera o de consumo al estado tierno, de ciclo vegetativo semi-precoz, de grano blanco y tamaño mediano, endospermo suave; tamaño de mazorca mediana, presenta una planta tolerante a las enfermedades fungosas, virósicas y/o micoplásmicas.

Resultados y discusión

Con la finalidad de confirmar los métodos de selección utilizados para fijar el gen opaco-2 en los granos de maíz de las variedades Aychasara-7 y Aychasara -101, se enviaron muestras al laboratorio de calidad proteínica del CIMMYT, los resultados obtenidos demostraron que la selección fenotípica del grano opaco mediante un diafanoscopio es confiable; por ejemplo considerando el porcentaje de lisina en la proteína correspondiente al endospermo, se tiene para Aychasara-101 3.1, para Tuxpeño 1 HEO2 (testigo) 3.1 y para Tuxpeño 1 Normal 1.9 (Argote 1994).

Luego de su formación estas variedades portadoras del gen opaco-2, son multiplicadas por el Centro de Semillas Pairumani para su venta dentro la categoría de semilla certificada. En el cuadro2, se pueden observar los volúmenes de venta de semilla, los cuales fluctúan entre años debido a que los agricultores pueden producir su propia semilla por algunos ciclos, siendo lo importante que ya cuentan con semillas que les brinden un producto de alta calidad nutritiva para su autoconsumo o el mercado local.

Cuadro 2. Venta de semilla en kgrs. de las variedades de maíz portadoras del gen opaco-2 realizados en los últimos 6 años por el Centro de Semillas Pairumani.

Variedad de maíz	Año 2009	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014
Tuxpeño opaco-2	1.369	3.761	9.159	2.727	2.348	2.651
Aychasara-101	4.370	18.151	548	4.763	7.170	5.061
Aychasara-102	4.313	10.707	43.584	4.561	6.850	6.490
Aychasara-7	0.0	937	1988	2.905	35	1.636
Total de venta / año	10.052	33.556	55.279	14.956	16.403	15.838

Fuente: Centro de Semillas Pairumani 2014.

Conclusiones

Como resultado del presente trabajo, se conformaron variedades de alta calidad proteínica denominadas Aychasara, con excelentes rendimientos, tolerancia a las diferentes enfermedades del maíz (hongos, virus, bacterias y micoplasmas) y capacidad de adaptación a zonas bajas, intermedias y valles con temperatura templada, cualidades muy apreciadas por los agricultores.

La semilla de las nuevas variedades conformadas ya está en producción comercial en la categoría certificada, pero la cantidades utilizadas no reflejan su difusión debido a que los agricultores pequeños de los valles interandinos reciclan la semilla por varios ciclos.

Referencias bibliográficas

- ARGOTE C., J. 1994. Formación de variedades de maíz de alta calidad proteínica utilizando el gene opaco-2 en el Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani. VII Reunión Nacional de Investigadores en Maíz. Yacuiba 2-4 mayo.
- AVILA L., G. 2008. El Maíz y su Mejoramiento Genético en Bolivia. Academia Nacional de Ciencias de Bolivia. FUNDACION SIMON PATIÑO. Cochabamba - Bolivia.
- AVILA, G. y A. AVILA 1983. Diez años de investigación con maíz opaco 2 en el Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairuamani. III Seminario Nacional de Investigación. Santa Cruz-Bolivia.
- BRESSANI, R. and Mertz, E. 1958. Studies on corn proteins. Protein and amino-acid content of different corn varieties. Cereal Chem, 35: 227-235.
- CENTRO DE INVESTIGACIONES FITOECOGENETICAS DE PAIRUMANI 1990. Registro de Colecciones del Banco de Germoplasma.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). 2015 www.ine.gov.bo Estadísticas en salud.
- LE CONTE, J. 1973. Glosario del Mejoramiento Genético del Maíz. Extrait de L'Agronomic Tropicale Vol. XXVIII No. 5 (Mai) et. No. 10 (Octubre).
- MERTZ, E.T., BATES L. S.Y NELSON O. E. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. Sience, 145:279-280
- MURPHY, J. and Dalby, A. 197 1. Changes in the protein fractions of developing normal and opaque-2 maize endosperm. Cereal Chem. 48: 3 36-349.

Mejoramiento integral de la producción de maíz morado en la zona alto andina

Parte A: Desarrollo de Germoplasma de Maíz Morado para la Zona Alto Andina

Teodoro Narro[1] Alicia Medina[1] Michinori Yoshino[2] Hideki Murayama[2]
[1]Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA – Perú
[2]Proyecto IEPARC

Resumen

El Programa de Maíz de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca-Cajamarca, del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) desarrolló la variedad de libre polinización de maíz morado INIA 601, de alto rendimiento de grano, buen contenido de antocianinas y adaptada a un rango de altitud de 2,600 msnm. a 2,900 msnm, que es el área de cultivo donde se puede promover el desarrollo de esta clase de maíz en el Perú. Debido a la importancia creciente de las antocianinas para prevenir enfermedades en personas (cáncer al colon, diabetes, obesidad, entre otras), que son frecuentes en las poblaciones, se necesita una variedad con mayor contenido de antocianinas, mayor rendimiento y resistencia a pudriciones de mazorca producidas por insectos (*Eusexta* spp., *Helicoverpa zea)* y por patógenos (*Fusarium* sp. *y Penicillium* spp.), que son perjudiciales para la salud de las personas y animales. Con la finalidad de superar estas limitaciones, se ha desarrollado una variedad sintética de maíz morado con seis líneas S1 de maíz morado, que se está evaluando su adaptación y aceptación de los productores en las localidades con mayor potencial de este tipo de maíz en la Zona Ato Andina del departamento de Cajamarca.

Palabras Claves: desarrollo germoplasma maíz morado

Introducción

Se ha reportado que la raza "Kulli " es la que predomina en el Perú, ha dado origen a las variedades de maíz morado que se cultivan en el país, esta raza tiene la particularidad que los granos y la coronta (tuza) y otros tejidos de la planta son de color morado. El color morado de esta clase de maíz, se debe a los pigmentos denominados antocianinas. En el maíz morado se ha encontrado seis pigmentos antociánicos, siendo la cianidina la que se encuentra en mayor cantidad.

La Variedad de maíz morado INIA 601 fue desarrollada en la Estación Experimental Baños del Inca en 1,990, fue formada por 256 progenies, 108 provienen de la variedad de maíz morado de Caraz (Huaraz) y 148 progenies de la variedad local Negro Parubamba (Cajabamba-Cajamarca). En el mejoramiento se utilizó selección recurrente de medios hermanos, dando énfasis al rendimiento de grano, color morado del grano y coronta, precocidad y prolificidad.

El sintético de maíz morado es una variedad experimental desarrollada en la EEA. Baños del Inca, utilizando para su formación seis líneas S1 de maíz morado. Las líneas fueron seleccionadas en base a caracteres agronómicos, reacción a plagas y enfermedades, y contenido de antocianinas en los granos, tuzas (corontas).

El objetivo de la presente investigación, es evaluar la adaptación y características favorables del sintético de maíz morado, en campo de productores del departamento de Cajamarca, con la finalidad de recomendar su cultivo.

Materiales y Métodos

Para desarrollar el sintético de maíz morado fueron generadas 144 líneas S1 en la variedad INIA 601. Las líneas fueron evaluadas en diseño de Látice Simple, en tres localidades del departamento de Cajamarca (Baños del Inca-Cajamarca a 2,700 msnm, Cochamarca-San Marcos a 2,900 msnm y Pampa Grande- Cajabamba a 2,700 msnm). La selección de las familias se efectuó en base a rendimiento de grano, reacción a plagas y enfermedades que producen pudrición de mazorcas y características agronómi-

cas (altura de planta y mazorca, precocidad, aspecto de planta y mazorca). Asimismo se realizó selección del contenid de antocianinas en los granos y en la coronta en las líneas seleccionadas.

El sintético de maíz morado y la variedad INIA 601 fueron evaluadas en cinco localidades del departamento de Cajamarca, en diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones por localidad. Los caracteres evaluados fueron, rendimiento de grano, características agronómicas (altura de planta y mazorca, floración, aspecto de planta y mazorca), daño de insectos (*Helicoverpa zea y Eusexta* spp.*)* y de patógenos (*Fusarium* sp. y *Penicillium* spp.). Para evaluar el daño de plagas y enfermedades se utilizó escalas recomendadas. Los datos de las evaluaciones fueron tabulados utilizando el programa EXCEL y para los análisis de la variancia se utilizó el Programa SAS.

Resultados y Discusión

CUADRO Nº 1. Promedio de rendimiento (kg/ha) y del porcentaje de daño de Fusarium sp. y Eusexta spp. de dos variedades de maíz morado evaluados en el departamento de Cajamarca en el 2013-2014.

VARIEDAD	RENDIMIENTO (kg/ha)	Fusarium spp. (%)	Eusexta spp. (%)
INIA 601	2,535	6.4	23.2
SINTÉTICA EXPERIMENTAL	2,815	5.1	20.3

En el cuadro N° 1 se muestra el rendimiento promedio de grano expresado en kg/ha de las dos variedades de maíz morado, INIA 601 y la variedad Sintética Experimental, y el porcentaje de mazorcas con síntoma de pudrición por *Fusarium* sp. *y Eusexta* spp. En el rendimiento promedio de grano de cinco localidades y dos años, se observa que con la variedad sintética experimental se consiguió mayor rendimiento (9.9%) que con la variedad INIA 601. Asimismo, la variedad sintética de maíz morado fue menos afectada tanto por *Fusarium* spp. así como por *Eusexta* spp., lo que indica que con el sintético se ha logrado aumentar el rendimiento de granos y mejorar la resistencia a la plaga y la enfermedad, que son los dos problemas de sanidad de mayor importancia económica para la producción de maíz morado en la Zona Alto Andina del Perú. Las mazorcas afectadas por estas plagas afectan la calidad y el valor comercial es fuertemente disminuido.

Cuadro Nº 2. Cuadrados medios de rendimiento de grano, porcentaje de plantas con *Fusarium* sp. *y Eusexta spp*, de dos variedades de maíz morado evaluados en el departamento de Cajamarca, en 2013 y 2014.

FV	GL	CUADRADOS MEDIOS		
		Rendimiento (Kg/ha)	Fusarium spp. (%)	Eusexta spp. (%)
Localidades (L)	4	1866407.77 NS	123.087**	6054.343**
Años (A)	1	493177.35 NS	182.520**	1995.111**
LxA	4	6727409.74**	0.029 NS	2684.337**
Variedades (V)	1	1173424.85 NS	14.567**	30.804 NS
VxL	6	479649.83 NS	2.026 NS	44.271 NS
VxA	4	17975.74 NS	0.030 NS	140.818 NS
VxLxA	4	245296.03 NS	0.003	86.930 NS
Error	40	1117665.51	3.048	163.971
CV (%)		19.5	30.4	28.9

**: Significación al 1% de probabilidad, ns: No significativo

En los cuadrados medios del análisis de la variancia de localidades y años (Cuadro N°2), se observa respuesta diferente de los caracteres evaluados. Para rendimiento de grano, no hubieron diferencias significativas de Localidades y Años, pero para porcentaje de mazorcas con *Fusarium* sp. *y Eusexta* spp.

las diferencias son altamente significativas, lo que se confirma que el daño de estas plagas son favorecidas por las condiciones climática donde se realiza la evaluación (precipitación, temperatura y humedad relativa, entre otros). Para rendimiento de grano no se observó diferencias significativas entre variedades, resultado similar se obtuvo para el daño de *Euxesta* spp, sin embargo se obtuvieron diferencias al 1% de probabilidad para el porcentaje de plantas con *Fusarium* sp. No se observó diferencias significativas para las interacciones de Variedades x Localidad, Variedades x Años y para Variedades x Localidades x Años, lo que indica que las variedades tienen buena estabilidad.

El Coeficiente de Variación para rendimiento de grano está dentro del rango de aceptación, para *Fusarium* sp. *y Eusexta spp,* los coeficientes son altos. Las condiciones ambientales diferentes de las localidades de evaluación, afectan en diferente grado el desarrollo de los síntomas de la plaga y de la enfermedad.

Cuadro Nº 3. Contenido de antocianinas (gr/100) en muestras de dos variedades de maíz morado, INIA 601 y Sintético de Maíz Morado.

VARIEDAD	CONTENIDO DE ANTOCIANINAS (g/100 de muestra)	
	Coronta	Grano
INIA 601	2.064	0.234
VARIEDAD SINTETICA DE MAIZ MORADO	1.331	0.214
DIFERENCIA ENTRE VARIEDADES (%)	65.5	8.5

Los resultados de los análisis del contenido de antocianinas de las dos variedades de maíz, INIA 601 y variedad sintética experimental, obtenidos en el Laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo (Cuadro Nº 3), muestran que la variedad sintética de maíz morado, tiene 65.6 % más contenido de antocianinas en la coronta y 8.5% más antocianinas en el grano, que la variedad de maíz INIA 601.

Conclusiones

La variedad sintética experimental de maíz morado es de mayor rendimiento y es menos afectada por *Fusarium* sp. *y Eusexta spp* que la variedad INIA 601. Las diferencias solo fueron significativas para el porcentaje de mazorcas con pudrición por *Fusarium* sp.

No se observó diferencias significativas para las interacciones de Variedades x Localidades y Variedades x Años.

Literatura Citada

- Arriaga E., Castro D. Determinación de la concentración de cianidina 3-glucósido por cromatografía líquida de alta resolución en *Zea mays* L. "Maíz Morado" procedente del Instituto Nacional de Innovación Agraria. Trabajo de Investigación Tipo I. Universidad Nacional de Trujillo. 2011.
- Balarezo C., Silva K. Diseño y estandarización de una técnica para la extracción de antocianinas de maíz morado en Cajamarca. Tésis. Universidad Particular Antonio Guillermo Urrelo (UPAGU). 2009.
- Hallauer A. Specialty corns. 2ª Ed. CRP Pres. New York, Washington, D.C. 2000. 479 p.
- International Plant Breeding Symposium. Honoring John W. Duddley. A supplement to Crop Science. Ed. Albrecht B., Bernardo R, Brent E, Lamkey K, Rodomiro O. The Crop Science Society of America. Madison. USA. 2007.
- Moreno Q. Validación de una metodología analítica para determinar cianidina 3 glucósido en maíz morado procedente de la Región Cajamarca por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Tésis de Doctorado. Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Trujillo.
- Narro T, L. Mayar. Abilidad combinatoria general y específica del contenido de antocianinas en maíz morado (*Zea mays* L.). Primer Congreso Peruano de Mejoramiento Genético de Plantas y Biotecnología Agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, 17- 19 mayo. 2010.
- Tsuda T, Horio F, Uchida K, Aoki H, Osawa T. Dietary cyanidin 3-0-D-Glucoside-Rich corn color prevents obesity and ameliorates hyperglicemia in mice. Nutrient-Gene Interactions. 133:2125-2130. 2003.

Mejoramiento integral de la producción de maíz morado en la zona alto andina

Parte B: Mejoramiento de Valor Comercial y Tecnologia de la Produccion del Maiz Morado para Aumento de Ingreso de los Pequeños Productores

Teodoro Narro[1] Alicia Medina[1] MichinoriYoshino[2] Hideki Murayama[2]
[1]Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA – Perú
[2]Proyecto IEPARC

Resumen

El Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA, conjuntamente con otras instituciones peruanas y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón-JICA, vienen ejecutando el Proyecto "Incremento de los Ingresos Económicos de los Pequeños Productores Agrarios en la Región de Cajamarca (IEPARC)", con la finalidad de aumentar los ingresos económicos, aliviando la pobreza de los pequeños productores de la zona alto andina a través del mejoramiento de la producción de los cultivos comerciales y la investigación. Uno de los cultivos objeto es el Maíz Morado el cual posee antocianina que es un potente antioxidante. Por lo cual INIA con IEPARC está tratando de mejorar su producción con pequeños productores de la zona Alto Andina de varias maneras (actividades) : a) desarrollo de la nueva variedad apta para zona Alto Andina, b) producción y promoción de uso de la semilla de calidad, c) investigación para valorización de las variedades, d) mejoramiento de tecnología del cultivo y forma de distribución y la venta. En esta oportunidad se presentará los avances y resultados de dichas actividades

Palabras Clave maíz morado, antocianina, valorización, comercialización, investigación y semilla certificada

Introducción

El Proyecto IEPARC, es una respuesta del gobierno Japonés a la solicitud del Gobierno Peruano, con la finalidad de crear un modelo para mejorar los ingresos de los pequeños productores y es así que inicia sus actividades en julio del 2011, teniendo como ámbito de acción a cinco provincias de la parte sur de la Región Cajamarca-Perú y entre sus cultivos, habiendo trabajado en tres campañas agrícolas con aproximadamente 500 productores en la difusión de tecnología del cultivo, la producción de semilla (3823 Kg), el procesamiento (coronta y bráctea secas picadas) y venta conjunta (como mazorca fresca para uso habitual de chicha morada y como coronta y bráctea secas picadas para la obtención de pigmento o antocianina para uso agro industrial) e investigación para determinar el rendimiento y contenido de antocianina en coronta y bráctea de 5 variedades de maíz morado entre las que se encuentra INIA-601 la que INIA Baños del Inca desarrollo para zona alto andina y INIA con IPEARC esta difundiendo. El objetivo de la presentación es explicar sobre la difusión de tecnología del cultivo y agro procesamiento, la investigación de maíz morado, realizadas a los pequeños productores agrario o de subsistencia.

Materiales y Metodos

Los trabajos se desarrollaron en cinco provincias de la Región Cajamarca: San Pablo, San Miguel, Cajamarca (distritos de Namora y Matara), San Marcos (distrito de Ichocán) y Cajabamba. Utilizando la variedad de maíz morado INIA-601; habiendo realizado las siguientes actividades:

1. **Confirmación del "Valor del cultivo en el mercado"**: Investigación (cultivo experimental) para aclarar la diferencia del % de Contenido de Antocianina entre 5 Variedad de Maíz Morado para determinar el valor real de cada variedad. El cultivo experimental ha sido realizado en tres localidades para evaluar el rendimiento y determinar el % de contenido de antocianina en coronta y bráctea de cada variedad con apoyo de una empresa privada agro-industrial.

2. **Mejoramiento de "Calidad de insumos agrícolas"**: La producción de semilla de alta calidad se realizó en el Anexo Experimental Pampa Grande - Cajabamba de la Estación Experimental Baños del Inca del INIA, ubicado a 2,650 m.s.n.m al sur y a 120 Km de la ciudad de Cajamarca. Con el uso de la semilla genética para la obtención de las demás categorías básica, registrada y certificada. Además, se llevó a cabo la asistencia técnica a los productores sobre la auto-abastecimiento de la semilla y el método para evitar el cruzamiento.
3. **Mejoramiento de la tecnología del cultivo para tener "Producto con calidad de acuerdo a la demanda del mercado"**: La difusión de tecnología del cultivo se la realizó a través de la asistencia técnica individual; habiendo trabajado tres campañas agrícolas, en áreas que varían de 500 a 2500 m² por productor y con rangos de altitud que se encuentran entre los 2420 a 3010 m.s.n.m. Con Producción planificada para unificar la norma de calidad, uso de pesticidas, época de cosecha, forma de venta etc. Así mismo la compra conjunta de insumos desde un proveedor para tener un precio bajo y evitar riesgo de comprar los insumos de mala calidad; ofrecer suficiente producto al transportista para trabajar con un flete fijo y la promoción del producto con el mayorista hacia los consumidores finales.
4. **Ensayo de "Diversificación del producto para estabilizar el ingreso".** El procesamiento de coronta y bráctea secas picadas estuvo a cargo de la Asociación de Productores Agropecuarios SHICOMUMI de Ichocán y la comercialización se la realizo a la empresa agro procesadora / exportadora "Frutaron". Para lo cual se implementó una pequeña planta con una picadora y bandejas para el secado, a donde los productores integrantes de la organización llevaron su producto, después de haber realizado la cosecha, selección por color, desgrane y entregaron la bráctea y tuza o coronta en la planta de procesamiento en donde fueron picadas, secadas y empacadas.
5. **Mejoramiento de forma de venta para tener "Una cierta cantidad del producto de acuerdo a la Demanda de la Cadena Productiva"** : La venta conjunta se la realizo en cada lugar y a cargo de cada organización de productores, comercializando la mazorca fresca a mayoristas de los mercados Regionales principales de Trujillo y Chiclayo conjuntamente con "servicios de terceros" tales como transportistas/intermediarios para tener la cadena productiva eficiente (bajo costo) y para aumentar el ingreso no solo de los productores sino de todos los actores de la cadena productiva.

Resultados y Discusion

A continuación se presentan los cuadros, figuras y fotografías del resultado del trabajo realizado por el Proyecto IEPARC.

Cuadro 1. Determinación del valor del cultivo en el mercado a través de la investigación de 5 variedades de maíz morado para evaluar su rendimiento y determinación del contenido de antocianina en coronta y bráctea.

Variedades	Rendimiento (Kg/ha.)	Contenido de antocianina (%) *	
		Coronta	Observación
INIA 601	10738.25	3.06	Bráctea Morada
CANTA 1	10953.25	1.56	Bráctea verde
CANTA 3	10576.51	1.70	Bráctea verde
CANTA 2	7276.27	1.58	Bráctea verde
INIA-615	9843.49	2.45	Bráctea verde

* Promedio de tres campañas agrícolas, fuente: Equipo del Proyecto Incremento de los Ingresos Económicos de los Pequeños Productores Agrarios en la Región de Cajamarca (IEPARC)

Como se puede observar en el Cuadro anterior, la variedad de maíz morado INIA-601 posee mayor contenido de antocianina respecto a las demás variedades, por lo cual se constituye en una alternativa para los productores de la zona alto andina, sobre todo a altitudes que se encuentran entre 2400 a 2900 m.s.n.m. (**Estación Experimental Baños del Inca 1999)**

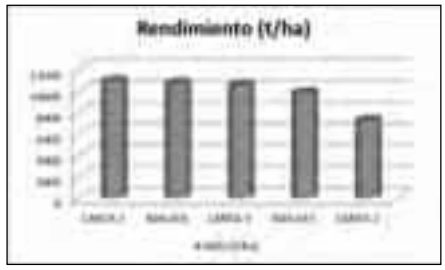


Figura 2. Rendimiento de 5 variedades de maíz morado

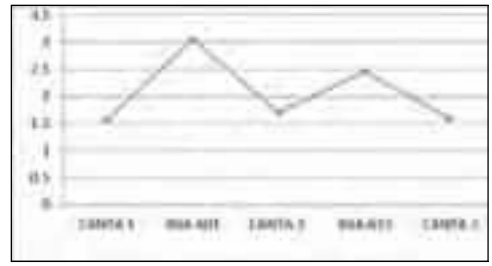


Figura 3. Contenido de antocianina (%) en 5 variedades de maiz morado

Foto 1. INIA-601 mostrando la intensidad de pigmento inclusive en bráctea

Foto 2. Muestra de otras variedades cuya bráctea no tiene color

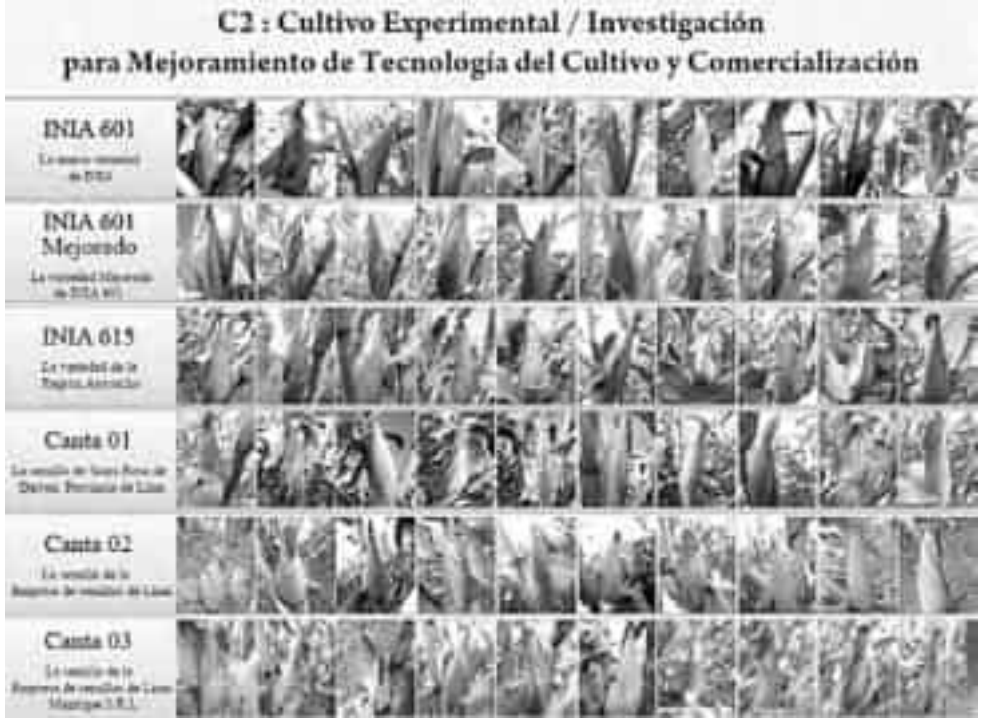


Foto 3. Estudio de variedades de maíz morado con diferentes contenidos de antocianina en bráctea.

Cuadro 2. Mejoramiento de la calidad de insumos agrícolas a través de la producción de semilla del cultivo de maíz morado con el uso de la Variedad INIA-601, durante cuatro campañas agrícolas 2011-2012 … 2014-2015.

Campaña Agrícola	Rendimiento (Kg/ha)
2011-12	321
2012-13	960
2013-14	634
2014-15	1907
Total	3822

Fuente: Equipo del Proyecto Incremento de los Ingresos Económicos de los Pequeños Productores Agrarios en la Región de Cajamarca (IEPARC).

Con la intervención del Proyecto IEPARC, todos los productores beneficiarios están utilizando la semilla certificada de la variedad de maíz morado INIA-601 (42 Kg/ha) y la están renovando cada año (Manual de producción comercial del Maíz Morado 2013). (Masera, O., M. Ostier y S. Lopéz- RIDAURA 1999) indican que se debe renovar la semilla cada 2 años.

Conscientes de la importancia del uso de la semilla de calidad es que trabajamos este rubro con la finalidad de que los productores beneficiarios puedan observar la diferencia de su uso respecto a la semilla que tradicionalmente la vienen trabajando por muchos años. (C. Casini., 2004) manifiesta que Es fundamental reducir los riesgos invirtiendo en una buena semilla y controlar su calidad antes de la siembra. La siembra de semilla de alta calidad es el comienzo de una buena cosecha.

Cuadro 3. Difusión de tecnología del cultivo de maíz morado con el uso de la Variedad INIA-601 en cuatro provincias de la Región Cajamarca, durante las campañas agrícolas 2012-2013; 2013-20**14 y 2014-2015.**

Campañas Agrícolas	N° de Productores	Altitud	Rendimiento t/ha	Número, porcentaje de productores y rendimiento máximo***
Base *		2420 a 3010	1.5	23 productores (30%) Duplicaron y 10000 Kg/ha.
2012-2013	76		4.4	
2013-2014	241		4.4	113 productores (47%) Duplicaron y 11830 Kg/ha.
2014-2015	183		5.4	
			Meta del Proyecto 5.5	90 productores (49%) Triplicaron y 10,574 Kg/ha.

Nota: (1). ** Estación Experimental Baños del Inca 1999. (2). *** No., % de productores que Incrementaron la rentabilidad por unidad de área producida en comparación con el cultivo tradicional y rendimiento máximo alcanzado.

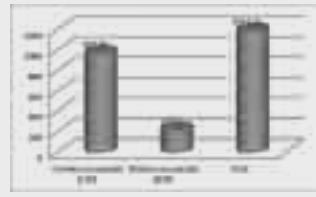
Fuente: Equipo del Proyecto Incremento de los Ingresos Económicos de los Pequeños Productores Agrarios en la Región de Cajamarca (IEPARC)

Gran parte de los productores de la zona objeto del Proyecto tienen experiencia en la producción de maíz y cuentan con conocimientos básicos como métodos de siembra y las principales enfermedades. Sin embargo, muy pocos realizan el cuidado apropiado (fertilización, prevención de enfermedades) y gran parte de los agricultores ni siquiera deshierban el terreno, por lo que los productos son prácticamente cultivados sin ningún cuidado. El Proyecto IEPARC imparte orientación individualizada sobre técnicas básicas de cultivo de maíz morado en las pequeñas parcelas de prácticas y demostración de los productores participantes. Para agregar valor a los productos agrícolas, lo más importante es asegurar una oferta estable de materia prima en cantidad y calidad (estándares); así, el mejoramiento de técnicas de cultivo es indispensable para el éxito del procesamiento de maíz morado (IEPARC 2014).

La meta del Proyecto IEPARC es alcanzar 5.5 t/ha, para triplicar la rentabilidad por unidad de área producida en comparación con el cultivo tradicional, en ese sentido durante la campaña agrícola 2014-15 ha logrado en promedio de 183 productores 5.4 t/

ha, con lo cual el 90% de los productores lograron la meta; además el rendimiento máximo alcanzado es de 11.83 t/ha que equivale a 7.9 veces más con relación al tradicional (IEPARC 2015)

Cuadro 4. Ensayo de Diversificación del producto para estabilizar el ingreso en Ichocán, durante la campaña agrícola 2014-2015**.**

Producto	Cantidad (Kg)	No. De Socios	Contenido de antocianina en coronta (%)	Figura 1. Producción de coronta y bráctea seca picadas
Coronta seca picada (CSP)	970.85		Resultados de los análisis de antocianina de las muestras de 26 socios	
Bráctea seca picada (BSP)	220.50			
Total	1191.35	37		

Fuente: Equipo del Proyecto Incremento de los Ingresos Económicos de los Pequeños Productores Agrarios en la Región de Cajamarca (IEPARC).

La experiencia del Proyecto IEPARC con relación a este tema es que los productores que comercializan la coronta de la mazorca se quedan con el grano al cual aún no se le ha determinado un uso rentable y por lo cual surge la preocupación y la búsqueda de mercado.

Los análisis del contenido de antocianina realizada en las muestras de 26 productores que aportaron con coronta para el procesamiento y la comercialización, muestran altos porcentajes, en promedio 2.56%, con un máximo valor de 5.41% y el mínimo 1.63 % **(Laboratorio de FRUTAROM 2015).** Según la comunicación Oral del Ing. Daniel Nakamura de la empresa "Agro Condor" cuando la coronta del maíz morado tiene 1% de contenido de antocianina ya es rentable.

Por otro lado los análisis preliminares del contenido de antocianinas en las brácteas de la mazorca de la variedad de maíz morado INIA-601, indican altos niveles (+2%), razón suficiente para que sea utilizado como materia prima para la industria de extracción del mencionado pigmento; sin embargo existen varios puntos de discusión entre los cuales: (1). Que es un producto para uso animal, (2). Puede contener residuos de pesticida, por ser la envoltura de la mazorca, etc.

Cuadro 5. Mejoramiento de forma de venta para tener el producto de acuerdo a la demanda de la cadena productiva con parte de la producción de la campaña 2014-2015.

Localidad	Mercado de destino	Cantidad (kg)	Aumento de Ingreso Neto (%)
Cajabamba	al mercado mayorista de Trujillo	13,359.2	+13.3
Ichocán	al empresa privada de Lima "Frutaron"	12,500.1	+16.1
Namora	al intermediario local	26,964.0	+17.3
Matara	al mercado mayorista de Trujillo	37,457.0	+18.5
San Pablo	a empresa privada de Lima "Agro Cóndor"	2,528.6	-15.4

Fuente: Equipo del Proyecto Incremento de los Ingresos Económicos de los Pequeños Productores Agrarios en la Región de Cajamarca (IEPARC)

La venta conjunta es una actividad que permite incrementar el precio del producto y reducir el costo de producción en el escenario en el que la asociación de productores realiza una producción planificada con el uso de la tecnología para ofrecer el producto de calidad lo cual redundara en un mejor precio **(IEPARC 2015).**

De acuerdo a los estudios de mercados realizados se ha verificado la existencia de mercados interesados en comprar el maíz morado sin embargo falta el producto y además por diferentes circunstancias se ha perdido la confianza real como un factor social entre los actores de la cadena productiva. **IEPARC 2015**, manifiesta que con ensayos poco a poco se recupera la confianza entre los actores de la cadena productiva porque ambas partes aportan.

Conclusiones

1. En la determinación del valor del cultivo en el mercado a través de la investigación de 5 variedades de maíz morado, se ha determinado que INIA-601 alcanzo los mayores valores de 10.74 t/ha. y 3.06%, de contenido de antocianina en coronta.
2. Se ha obtenido 3822 Kg. en total de semilla de alta calidad de la variedad INIA-601 y viene siendo utilizada por los productores beneficiarios del Proyecto IEPARC.
3. Se ha realizado la difusión de tecnología del cultivo de maíz morado con el uso de la variedad INIA-601; a través de la asistencia técnica individual a 500 productores de 5 provincias de la Región Cajamarca, durante tres campañas agrícolas, habiendo triplicado a 5.4 t/ha., y el 90% de los productores lograron la meta en la última campaña agrícola y se ha obtenido en campo un rendimiento máximo de 11.8 t/ha. Equivalente a 7.9 veces más respecto al rendimiento tradicional.
4. A nivel de ensayo y trabajo conjunto entre la Asociación de Productores Agropecuarios SHICOMUMI de Ichocán y empresa privada se ha procesado 970.85 Kg. de coronta y 220.50 Kg. de bráctea secas picadas y fueron comercializadas a la empresa agro procesadora / exportadora "Frutaron". Quien pago un precio de S/.14.40/Kg. ($4.65).
5. Las asociaciones de Productores de Namora, Matara, San Pablo y Cajabamba han comercializado parte de su producción equivalente a 92808.9 kg durante la campaña agrícola 2014-15, de forma conjunta, como mazorca fresca de maíz morado a mayorista de los mercados de Trujillo, Chiclayo y Lima a 2 empresas privadas, utilizando transportistas confiables que cobran fletes fijos.

Literatura Citada

- C. Casini., 2004 INTA EEA Manfredi, consultado el 25 de septiembre del 2015 y disponible en http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/cosecha /unaBuena Cose cha.asp
- Daniel Nakamura 2015, reunion del Equipo que trabaja la Norma Tecnica del Maíz Morado, el 02 de julio del año en curso.
- Estación Experimental Baños del Inca 1999. Informe técnico y validación económica de la variedad de maíz INIA-601 "Negro-INIA", Cajamarca, Perú, pp. 23.
- IEPARC 2014. Informe de Avance (6) Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA)-Nippon Koei.Co.,Ltd, pp. 103.
- IEPARC 2015 Guía del mejoramiento de la cadena productiva para el aumento de ingreso de los pequeños productores agrarios y todos sus actores (Modelo IEPARC) borrador de documento de trabajo 180 pp.
- Laboratorio de FRUTAROM 2015, resultados de análisis de antocianina del mes de setiembre y que corresponden a la campaña agricola 2014-15.
- Manual de producción comercial del Maíz Morado 2013, Manual_Maíz Morado_2da revisión 59 pp.
- Masera, O., M. Ostier y S. LOPÉZ- RIDAURA 1999. Sustentabilidad y Sistemas Campesinos, consultado el 25 de setiembre del 2015 y disponible en https://books.google.com.pe/books?isbn=9687462248

Evaluación agronómica y agroindustrial de dos variedades sintéticas de maíz morado *(Zea Mays* L.*)* desarrolladas para la zona central de la sierra ecuatoriana

Mario Caviedes [1] , Marcelo Cedeño [2], María José Borja [2]
[1] Ing. Agr. M. Sc. Ph. D- Director Departamento de Ingeniería en Agroempresa – Colegio de Ciencias e Ingenierías. Universidad San Francisco de Quito - Ecuador. E- mail: mcaviedes@usfq.edu.ec.
[2] Ing en Agroempresa – Departamento de Ingeniería en Agroempresa – Colegio de Ciencias e Ingenierías. Universidad San Francisco de Quito – Ecuador. Email: cedenito-899@hotmail.com – majoborj@hotmail.com.

Resumen

La zona andina ecuatoriana es la principal área productora de maíz suave y morocho que incluye diferentes colores, y su producción está orientada principalmente al consumo humano directo. Los maíces de color morado tienen limitada presencia en los mercados y su consumo ha disminuido en la población ecuatoriana; la presencia de antocianinas en estos tipos de maíz, hace que sea un producto de gran potencial para el suministro de colorantes y antioxidantes naturales. Este estudio presenta los resultados más relevantes obtenidos en un período de 9 años en la generación de dos variedades sintéticas de maíz morado, incluyendo producción de semillas y pruebas agroindustriales. En la evaluación agronómica del segundo ciclo de producción de semilla, la variedad A presento mejores características agronómicas que la B para las variables: Altura de planta; altura de mazorca, longitud de mazorca y rendimiento de grano. La variedad A fue más productiva con un rendimiento de semilla de 3.59 t/ha superior en 20% al obtenido con la B que rindió 2.87 t/ha. En la evaluación agroindustrial cuyo producto fueron galletas, el menor porcentaje de grasa y de proteína se encontró con la sustitución parcial de hasta un 30% de harina de maíz morado más 70% de harina de trigo y fue la combinación que mejor respuesta tuvo en los consumidores.

Palabras clave: *Zea mays* L; maíz morado; variedad A y B; semilla; galletas.

Abstract

The Ecuadorian Andes is the main producing area of soft corn and morocho which includes different colors, and its production is oriented principally to the human direct consumption. The presence of purple corn is limited in the market and its consumption has decreased in the Ecuadorian population; the anthocyanin content in purple corn gives the great potential to obtain colorants and natural antioxidants. This study presents the most relevant results obtained in a 9 year period in the generation of two purple corn synthetic varieties including seed production and agro-industrial tests. In the agronomic evaluation of the second cycle of seed production, variety A presented better agronomic characteristics comparing to B, for the variables: Plant height, ear height, ear length and grain yield. Variety A was more productive with a seed yield of 3.59 t/ha 20% superior to that obtained in variety B which yielded 2.87 t/ha. In the agro-industrial evaluation which were cookies, the less fat and protein content has been found with the partial substitution up to 30% of purple corn flour plus 70% of wheat flour and was the combination which presented the best answer on consumers.

Keywords: *Zea mays* L; purple corn; variety A and B; seed; cookies.

II. Introducción

El maíz es uno de los más importantes cereales en el mundo; su importancia está relacionada con la variedad de usos en los cuales está involucrado tales como:

alimentación humana, alimentación animal o como fuente de productos industriales (Acquaah, 2007). Se consideran dos centros de origen de este cereal, las zonas alto andinas de Ecuador, Perú y Bolivia; y el sureste de México y América Central (Sleeper 2006).

Se ha determinado la existencia de 24 razas nativas de maíz en el Ecuador, uno de estas es el maíz morado, también conocido como "racimo de uva". Esta raza se caracteriza por presentar mazorcas de tamaño medio, de formas cónicas a ovales, estrechamente agrupadas para dar la apariencia de un racimo de uvas; además, presenta de 8 a 14 hileras irregulares (Timothy *et al.* 1966). Las variedades de maíz de este tipo presentan características nutricionales específicas como su alto contenido de antocianinas y un color morado a negro. Las antocianinas son el grupo más importante de pigmentos flavonoides de plantas, solubles en agua visibles para el ojo humano (Strack y Ray 1994) y son responsables de la coloración rojiza y /o azulada encontradas en plantas (Wrolstad 2004). Por otra parte el maíz morado es considerado un grano con potencial en la industria de alimentos funcionales; debido a la creciente demanda de colorantes naturales, este tipo de maíz representa una fuente genética invalorable presente en las zonas alto andinas ecuatorianas.

El Ecuador es un país productor de maíz duro y harinoso, sin embargo, su producción no abastece la demanda del mercado nacional, razón por la cual, se requiere importar este cereal (Racines *et al.* 2011). La zona andina ecuatoriana es la principal zona productora de maíz harinoso incluyendo una gama de diferentes colores: blancos, amarillos y morados. En el 2013 la superficie cosechada de maíz harinoso seco fue de 79.500 hectáreas con una producción de 42.759 toneladas y un rendimiento medio de 0.535 toneladas (Inec, 2013).

La variabilidad genética en las poblaciones de maíz en la zona alto andina del Ecuador ha sido reportada por diferentes grupos de investigadores y todos han encontrado alta diversidad genética (Yanez *et al.* 2004; Gamarra y Sevilla 2004). Diversidad genética y fenotípica son necesarios para identificar individuos promisorios, con el criterio de evaluarlos y utilizarlos como fuente genética para el desarrollo de líneas comerciales de maíz (Franco *et al.* 2001). Así mismo, para el mejoramiento del maíz la utilización de la diversidad genética es esencial para la explotación de la heterosis (Gelthi *et al.* 2002); Sonza *et al.* 2008; Vaz – Patto *et al.* 2004; Carvallo *et al.* 2008).

A pesar del gran valor nutricional que presentan las variedades de maíz morado, su presencia comercial en los mercados es limitada y su frecuencia de consumo a disminuido considerablemente en la población ecuatoriana, siendo necesaria estudiarlas y caracterizarlas para rescatar su valor nutricional (Mayorga 2010). Por otra parte, la presencia de antocianinas en las variedades pigmentadas de maíz lo hacen un producto potencial para el suministro de colorantes y antioxidantes naturales (Cuevas *et al.* 2008). En este estudio se presentan los resultados más relevantes obtenidas en el periodo de 9 años, en la generación de dos nuevas variedades de maíz morado, incluyendo producción de semilla y pruebas agroindustriales.

III. Materiales y Métodos

Las variedades mejoradas A y B se derivan de diferentes fuentes, siendo los progenitores de la variedad A, líneas S2 derivadas de individuos segregantes de maíz morado, obtenidos de una cruza interpoblacional de dos "pooles genéticos" provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Ambos "pools":5 HLWF (Highland White Flint) y 6 (Higland Yelow Dent) son poblaciones con amplia base genética, proveniente de germoplasma de maíz de las zonas altas andinas. La variedad B, se generó con base en líneas S^2 derivadas de individuos de maíz morado colectados en la zona del Quinche, de la provincia de Pichincha – Ecuador (Borja y Caviedes 2013). Las dos variedades han sido desarrolladas y evaluadas en el período 2005-2013 en la Granja Experimental del Departamento de Ingeniería en Agroempresa de la Universidad San Francisco de Quito – Ecuador (USFQ) ubicada en la zona de Tumbaco, provincia de Pichincha a una altitud de 2460 m.s.n.m, donde se realizaron dos ciclos de autopolinizaciòn (S^2) con el objetivo de obtener líneas con el mayor porcentaje de granos morados en sus mazorcas. Se generaron y evaluaron 24 líneas S2 separadas en dos grupos: A y B, con el objetivo de desarrollar dos nuevas variedades mejoradas sintéticas (Torres *et al.* 2012).

Se evaluaron 7 caracteres agronómicos en los dos grupos de líneas: altura de planta (AP); altura de inserción de mazorca (AM); tipo de panoja (TP); color de tallo (CT); longitud de la hoja (LH); diámetro de la hoja (DH); y concentración de antocianinas (CA). Así mismo, se realizaron análisis y estimaciones de depresión por endogamia, diversidad alélica y distancia genética (datos no mostrados).

Los resultados de la evaluación agronómica y molecular permitieron a través de cruzamientos dialélicos generar la F1 y F2 de la variedad A (cruza de la 6 líneas S2) y de la B (18 líneas S2). Para la producción de semilla de las dos variedades se utilizó un sistema de selección de medios hermanos (Pandey 1988). En el primer ciclo de producción de semilla (2011-2012) se evaluaron y compararon las dos variedades considerando 7 caracteres: porcentaje de germinación (P6); días a la floración femenina (DF); altura de planta (AP); altura de mazorca (LM, DM, HM). El peso de campo no pudo ser evaluado debido a que las variaciones agroclimáticas presentes en este ciclo de producción, no permitieron hacer una estimación adecuada de esta variable.

Para el segundo ciclo de producción y selección de semilla (2012-2013), así mismo se evaluó y comparo las dos variedades considerando 6 caracteres: HP; AM; LM; DM; HM; y peso de campo (PC), como estimador de la producción de semilla de cada variedad (Borja y Caviedes 2013). Se utilizó la prueba estadística de "t" para determinar las diferencias entre variedades para todos los caracteres bajo estudio.

En la evaluación agroindustrial se utilizaron muestras de dos variedades A y B para determinar en el desarrollo de un producto el cual sería el porcentaje de mezcla óptimo de harina de trigo y maíz morado para producir galletas con alto nivel de aceptación en el mercado. Para la fase experimental de este estudio, se utilizó un diseño experimental de cuadrado latino 4X4 (Sánchez 2010), evaluando los siguientes porcentajes en mezcla de harina de trigo y harina de maíz morado: 80:20; 75:25; 70:30; y 100:00 respectivamente.

Las variables de respuesta que se cuantificaron fueron: porcentajes de cenizas, proteína, grasa y humedad.

IV Resultados y Discusiòn

En la evaluación agronómica del segundo ciclo de producción de semillas la variedad A mostro superioridad sobre la B, para los caracteres: AP (22.1%), AM (24.8%); LM (1.04%) y rendimiento de grano por familia (3.6%). Para los caracteres diámetro de mazorca (14.9%); y HM (0.32%) la variedad B fue superior a la A (tabla 1). La estimación del rendimiento de semilla mostro diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) de la variedad A con respeto a la B. La variedad A rindió 3.59 t/ha, mientras que la B 2.87 t/ha (tabla 2). Estos resultados son un indicativo de la mayor productividad de la variedad A la que puede ser atribuida a la amplia base genética y heterosis de la población de donde se derivó la misma, lo que es un factor importante a explotar para el desarrollo de mejores líneas y variedades (Ferro *et al.*, 2008; Caicedo *et al.*, 2004).

Tabla 1: Evaluación de las características agronómicas del segundo ciclo de producción de semillas de dos variedades sintéticas de maíz morado USFQ -2013

CARACTERISTICA	VARIEDAD A	VARIEDAD B	VALOR t
Altura de planta (cm)	223,96	174,43	9,50*
Altura de mazorca (cm)	136,35	102,55	10,73*
Longitud de mazorca (cm)	15,40	15,24	0,29 NS
Diámetro de mazorca (cm)	4,00	4,70	5,91*
Número de hileras por mazorca	12,45	12,49	0,12 NS
Peso de campo **(kg)	2,50	2,41	___
mazorcas por familia			

** Promedio por familia de Medios Hermanos, * Significativo $p \leq 0,05$, NS No significativo $p \leq 0,05$

Tabla 2: Rendimiento de semilla (t/ha) del segundo ciclo de producciòn de semilla de dos variedades sintéticas de maíz morado – USFQ -2013

PARÀMETRO	VARIEDAD		VALOR t
	A	B	
Media (y)	3,59	2,87	13,01*
Rango	2,65	2,12	
Error Estàndar (S)	0,87	0,70	
Varianza (S^2)	0,76	0,49	
Coeficiente de variación (C.V)	24,30%	24,20%	
Error Estándar de la diferencia Media (Sd)	0,39	0,31	
Error Estándar de las medias (Sy)	0,28	0,22	
* p≤0,05			

Los resultados de la evaluación agroindustrial con la elaboración de galletas utilizando la variedad B mostraron diferencias no significativas (p≤0.05) entre tratamientos para las variables: porcentaje de proteína, porcentaje de cenizas y porcentaje de humedad (tabla 3).

Para la variable porcentaje de grasa fueron estadísticamente significativas (p≤0.05) las diferencias entre tratamientos. El tratamiento con menor porcentaje de grasa fue el que incluyó 70% de harina de trigo y 30% de harina de maíz morado. Si bien es cierto que la grasa tiene la función de mejorar la textura de las galletas, confiriéndole menor dureza y mejor sabor, y dando estabilidad aglutinante a la masa y contribuyendo con su plasticidad (Cabezas 2009, Cabezas 2010) el porcentaje de grasa obtenido es alto (±30%), lo cual puede atribuirse a la adición de mantequilla y manteca vegetal en su elaboración. Varios investigadores han demostrado la posibilidad de producir galletas libres de gluten utilizando maíz amarillo precocido y/o incorporando porcentajes variables de sustitución de harina de trigo por harina de maíz con características organolépticas similares que las galletas solo producidas con harina de trigo (Camino *et al.*015, Mirhosseini *et al.*015). En otra investigación Zilic *et al.*015, demostraron que utilizando harina de maíz morado rico en antocianinas para la elaboración de galletas, se incrementaron los contenidos de ácido cítrico, flavonoides y antocianinas, generando un alimento funcional. Por otra parte, los resultados del contenido de proteína (tabla 3) indicaron que el menor porcentaje de proteína (8.21%) fue el que incluyo 70% de harina de trigo y 30% de harina de maíz morado, aunque estadísticamente no mostraron diferencias con los otros porcentajes de sustitución parcial. Estos resultados son los esperados ya que es conocido, que el grano de maíz presenta bajos contenidos de proteínas similares a los del trigo; además, según el codex alimentario las galletas deberían tener un bajo contenido de proteína con valores de entre 5 y 10 gramos por cada 100 gramos de alimento, esto es equivalente a nivel de proteína de entre el 5 y 10%.

Tabla 3: Medias de tratamientos para cuatro características agroindustriales de galletas elaboradas con diferentes porcentajes de sustitución de harina de maíz Morado USFQ – 2013

TRATAMIENTOS	CARACTERISTICAS			
TRIGO + MAIZ MORADO	PROTEINA %	HUMEDAD %	GRASA %	CENIZA %
	(NS)	(NS)	(*)	(NS)
70% - 30%	8,21	3,31	31,61	0,64
75% - 25%	8,28	3,16	32,01	0,66
80% - 20%	8,23	2,85	32,85	0,72
100% - 0%	8,5	3,3	32,44	0,68

NS No significativo p>0,05, * Significativo p≤0,05

V. Conclusiones

En la evaluación agronómica del segundo ciclo de producción y selección de semilla la Variedad A presento mejores características que la B para los caracteres: AP; AM; LM Y RG. La variedad A fue más productiva que la B obtuvo un rendimiento de semilla de 3.59 t/ha superior en un 20% si la comparamos con la B cuya producción de semilla fue de 2.87 t/ha. De la evaluación agroindustrial en la elaboración de galletas, el menor porcentaje de grasa y proteína se encontró con la sustitución parcial de 30% de harina de maíz morado más 70% de harina de trigo y fue la combinación que mejor respuesta tuvo en los consumidores.

V. Agradecimientos

Este estudio fue financiado por un "Small Grant" y otros fondos de investigación por la Universidad San Francisco de Quito (USFQ). Nuestro agradecimiento a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Agroempresa por su contribución en la toma y registro de los datos agronómicos. Así mismo a la Ingeniera en Alimentos Carolina Andino por su apoyo en los análisis de los contenidos de proteína, grasa y minerales de las muestras de los diferentes tratamientos.

VI. Referencias

- Acquaah, G. 2007. "*Principles of Plant Genetics and Breeding*", Blackwell Publishing: Oxford.
- Yánez, C., Sánchez, V., Caicedo, M., Zambrano, J., Franco, J., and Taba, S. 2004. *" La Colección Núcleo de los Recursos Genéticos de Maíces de Altura Ecuatorianos*", En XX Reunión Latinoamericana de Maíz. Memorias. Lima, Perú.
- Franco, J., Crossa, J., Ribaut, J.,Betran, J., Warburton, M., and Khairallah, M. 2001. *" A method for combining molecu lar markers and phenotypic attributes for classifying plant genotypes". Theor. Appl. Genet*. 103 ,944-952.
- Caicedo, M., Vaca, R., Caviedes, M., Yánez, C., and Heredia, J.2004. "*Efecto de la Endogamia sobre el Rendimiento de una población mejorada de maíz amarillo duro para la sierra ecuatoriana*", En XX Reunión Latinoamericana de Maíz. Memorias. Lima. Perú.
- Gamarra, G. and Sevilla, R.2004. *"Ganancia genética por selección mazorca – hilera modificada en tres poblaciones de maíz amarillo*", En XX Reunión Latinoamericana de Maíz. Memorias. Lima, Perú.
- Borja, M., Caviedes, M., 2013" *Evaluación de dos ciclos de producción de semilla en dos variedades mejoradas de maíz morado (Zea mays) en Tumbaco – Pichincha*".
- Ferro, E., Ríos, H., Chirino, E., Márquez, M., Valdés, R., Suarez, Y. y Alfaro, F. (2008). *Entendiendo el sistema informal de semilla de maíz cubano. La selección de variedades de maíz (Zea mays, Lin) por campesinos de la Palma, Pinar del Río*. Cultivos tropicales, vol. 29, no. 1, p. 61-68. Cuba.
- Cabezas, A. (2010). Elaboración y evaluación nutricional de galletas con quinuas y guayaba deshidratada. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, 30- 31. Ecuador.
- Mayorga, V. (2010). Estudio de las propiedades reo lógicas y funcionales del maíz nativo "Racimo de uva" (*Zea mays*. L). Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato – Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.
- Cuevas, M. Antezana A. (2008). Análisis y caracterización de Antocianinas en diferentes variedades de maíz (*Zea mays*) Boliviano.

Diversidad fenotípica del maíz en la sierra baja y media del Perú

Edwin Macuri[1], Julián Chura[2], Gilberto García[2], Ricardo Sevilla[2]
[1]Universidad Nacional Agraria La Molina Ex alumno; [2]Universidad Nacional Agraria La Molina,
Programa de Investigación y Proyección Social en Maíz. E-mail: chura@lamolina.edu.pe

Resumen

La investigación se realizó en el fundo San Juan de Yanamuclo (IRD-Sierra; Jauja, Junín) de la UNALM, situado a 3,322 m.s.n.m. Objetivos caracterizar morfológicamente una muestra de 335 accesiones de maíz de la sierra baja y media del Perú, estimar la variabilidad de la muestra y determinar los caracteres más útiles para clasificar a las accesiones en grupos. Se evaluaron 14 caracteres morfológicos. El análisis estadístico de los datos se basó en el Análisis de Componentes Principales (ACP) y el Análisis de Conglomerados. El ACP permitió identificar los caracteres: días a la floración femenina, días a la floración masculina, peso de cada grano, número de granos por hilera, número de hileras por mazorca, sanidad de las mazorcas, color de granos, color de la tusa, altura de planta, altura de mazorca, longitud de mazorca y textura del grano; éstos estuvieron asociados a seis componentes principales, los cuales explicaron el 75.5% de la variación fenotípica existente. Los seis componentes constituyeron las nuevas variables sobre las cuales se realizó el Análisis de Conglomerados. El dendograma obtenido por el método UPGMA permitió clasificar las accesiones en 55 grupos a una distancia taxonómica de 2,7. La variabilidad de la muestra se determinó de acuerdo al tipo de mazorca que presentó cada accesión encontrándose 22 razas típicas de maíz y la presencia de cruzamientos, mezclas y similaridad entre razas.

Palabras Claves: maíz, razas, caracterización, Componentes Principales, Conglomerados.

Introducción

Actualmente, en la región de la sierra, el 95% del área está dedicada a la producción de maíces amiláceos debido a que es utilizado por el campesino para su consumo directo, ya sea como grano verde (choclo), grano seco (cancha), hervido (mote) o transformado artesanalmente (harina, bebidas, entre otros). Asimismo, la producción de maíz amiláceo para consumo en forma de choclo y cancha, son las más importantes fuentes de ingresos para los productores de este tipo de maíz en la sierra del país. Nuestro país tiene una de las mayores áreas geográficas con mayor diversidad de maíz en el mundo. Esta gran diversidad es el resultado del trabajo realizado por nuestras culturas precolombinas, asociadas con la gran variedad de ambientes de vida. La preservación y utilización de esta diversidad genética es de suma importancia en la investigación y en el mejoramiento genético de este cultivo. Las características morfológicas son utilizadas para estudiar la variabilidad genética de una especie vegetal y para conservar los recursos fitogenéticos.

La caracterización morfológica de los recursos genéticos vegetales, permite definir una serie de descriptores útiles por su importancia agronómica o por su valor para clasificar e identificar grupos genéticos. Así mismo, la caracterización incluye la descripción morfológica básica de las accesiones, identificación, clasificación, etc. La diversidad del maíz en el Perú se ha clasificado en razas, las cuales se diferencian por su morfología, fenología y adaptación. Las razas evolucionan en el contexto de las culturas. La selección natural y la selección artificial juegan un papel muy importante en la adaptación de las razas a los ecosistemas y sistemas de producción, y en la especialización para los múltiples usos. Se han catalogado 52 razas de maíz en nuestro país (Grobman *et al*., 1961; Vega, 1972), conformando la mayor fuente de variabilidad de algunos caracteres, como color del grano, textura y otros caracteres organolépticos de valor comercial la cual es preservada en el Banco

de Germoplasma del Programa de Investigación y Proyección Social (PIPS) en Maíz de la UNALM.

En los países diversos como el Perú, donde existen especies que han pasado por un largo proceso de domesticación, la diversidad genética colectada debería estar disponible para utilizar los caracteres de mayor valor y los adaptativos que se han desarrollado en el proceso. Por tal motivo, resulta urgente estimar la diversidad genética del maíz existente en el Banco de Germoplasma cuyo aspecto requiere de una atención inmediata, con vistas a su protección, conservación y uso adecuado en el mejoramiento genético. Es por ello que el siguiente trabajo establece los siguientes objetivos: caracterizar una muestra de 335 accesiones de maíz de la colección nacional *ex situ* provenientes de la sierra baja y media del Perú, estimar la variabilidad de las accesiones en base a las evaluaciones realizadas y determinar los caracteres más útiles para clasificar a las accesiones en grupos.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en el fundo San Juan de Yanamuclo del Instituto Regional de Desarrollo (IRD-Sierra) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), situado a 3,322 m.s.n.m., en el distrito de San Lorenzo, provincia de Jauja, departamento de Junín. Su posición geográfica es 11° 50' 33" latitud sur y 75° 22' 45" longitud oeste. El suelo del campo experimental, según el análisis realizado, es de textura franca; presenta una conductividad eléctrica de 0.68 dS/m, pH de 7.54 y 1.44% de materia orgánica.

El material genético estuvo conformado por 335 accesiones de maíz provenientes de la sierra baja y media del Perú, las cuales han sido conservadas en el Banco de Germoplasma (PIPS) en maíz de la UNALM. En campo, la distribución de las accesiones fue en orden sistemático y se sembró de acuerdo a la altura de planta para evitar la competencia entre ellas. Cada unidad experimental estuvo constituida por una parcela de un surco de 10 m de largo y 0.80 m de ancho. Se sembraron 3 semillas por golpe con un distanciamiento de 0.40 m entre cada golpe. Cada surco estuvo constituido por 26 golpes. Al momento del desahíje se dejó dos plantas por golpe, dejando en total 52 plantas por surco.

Caracterización morfológica

Se seleccionaron 14 caracteres del manual de descriptores propuesto por el CIMMYT (1991), de los cuales 9 fueron cuantitativos y 5 fueron cualitativos. Los caracteres cuantitativos fueron: días a la floración masculina, días a la floración femenina, altura de planta, altura de la mazorca, longitud de la mazorca, diámetro de la mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera y peso de cada grano. Los caracteres cualitativos fueron: color de granos, textura de granos, disposición de las hileras en la mazorca, color del marlo o coronta y sanidad de la mazorca. Las observaciones y mediciones de altura de la planta y altura de la mazorca se realizaron en 10 plantas al azar de cada parcela. La evaluación de las características morfológicas de la mazorca se realizó en las instalaciones del (PIPS) en maíz de la UNALM.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de la caracterización morfológica fueron procesados haciendo uso de dos Métodos de Análisis Multivariados: 1; Análisis de Componentes Principales y 2; Análisis de Conglomerados. Para tal fin se utilizó el programa estadístico NTSYS (Numerical Taxonomy System) versión 2.1.

Resultados y Discusión

Análisis de componentes principales (ACP)

En el Cuadro 1 se muestran los valores propios o varianza total de cada uno de los componentes principales generados a partir de las 14 variables originales; además, se muestra el porcentaje de la varianza total absoluta que viene a ser el valor propio expresado en porcentaje y el porcentaje de la varianza total acumulada que alcanza el 100% en el décimo cuarto componente principal.

Cuadro 1: Valores propios, porcentaje absoluto y acumulado de la variación fenotípica total explicado por los componentes principales.

Componentes Principales	Valor Propio	Porcentaje de la varianza total	
		Absoluto (%)	Acumulado (%)
1	3.70	26.4	26.4
2	1.92	13.7	40.1
3	1.45	10.4	50.5
4	1.37	9.8	60.2
5	1.13	8.1	68.3
6	1.01	7.2	75.5
7	0.93	6.6	82.2
8	0.85	6.0	88.2
9	0.65	4.6	92.8
10	0.40	2.8	95.7
11	0.31	2.2	97.9
12	0.15	1.1	99.0
13	0.11	0.8	99.8
14	0.03	0.2	100
Total Valor Propio	14	100	

Se observa que el valor propio o varianza asociada con cada componente principal es diferente y decrece en orden. El valor propio del primer componente es 3.70 y explica el 26.4% de la varianza total, del segundo componente es 1.92 y explica el 13.7%, del tercer componente es 1.45 y explica el 10.4%, del cuarto componente es 1.37 y explica el 9.8%, del quinto componente es 1.13 y explica el 8.1% y del sexto componente principal es 1.01 y explica el 7.2%. Del séptimo componente hacia adelante presentan valores propios menores a 1 y explican en conjunto el 24.5% de la variación total de los datos. Basándonos en el criterio establecido por Cliff en 1987 (López e Hidalgo, 1994) y Kaiser en 1960 (López e Hidalgo, 1994), seleccionamos los seis primeros componentes principales ya que ellos juntos explican el 75.5% de la variación fenotípica total observada entre las accesiones de maíz y presentan valores propios mayores a 1, reduciendo considerablemente la dimensionalidad de los datos.

En el Cuadro 2 se observa la correlación entre las variables originales y los seis primeros componentes principales seleccionados. Las variables FFEM y FMAS con coeficientes de correlación de 0.43 y 0.42 respectivamente fueron las variables que más contribuyeron en forma positiva a dar origen al primer componente; de forma secundaria lo hicieron la APLT y AMZ. Por el contrario, el PESO y el DMZ fueron las variables que más contribuyeron a generar este componente en forma negativa.

Cuadro 2: Correlación entre descriptores y los primeros 6 componentes principales usados para la discriminación de las 335 accesiones de maíz

Descriptor	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Días a floración masculina (FMAS)	0.42	-0.06	0.16	0.08	-0.36	0.01
Días a floración femenina (FFEM)	0.43	-0.03	0.18	0.07	-0.34	-0.03
Altura de planta (APLT)	0.30	0.21	-0.25	-0.54	-0.06	0.07
Altura de mazorca (AMZ)	0.35	0.13	-0.28	-0.48	-0.02	0.04
Longitud de mazorca (LMZ)	0.17	0.37	0.32	-0.02	0.42	0.34
Diámetro de mazorca (DMZ)	-0.34	0.33	-0.04	-0.19	-0.34	-0.10
Número de hileras (NHILE)	0.01	0.46	0.04	0.23	-0.27	-0.56
Número de granos por hilera (NGRAN)	0.17	0.49	0.23	0.15	0.37	-0.05
Color de granos (CGRANO)	-0.04	-0.09	0.55	-0.26	-0.13	0.03
Textura de granos (TEXT)	0.09	0.08	-0.02	0.32	-0.32	0.54
Disposición de hileras (DHILE)	0.01	0.15	-0.19	0.24	-0.22	0.39
Color de tusa (CTUSA)	-0.08	-0.13	0.55	-0.27	-0.17	0.02
Sanidad (SANID)	-0.26	0.44	0.05	-0.08	-0.20	0.12
Peso de cada grano (PESO)	-0.41	0.05	-0.01	-0.22	-0.08	0.31

Las variables NGRAN, NHILE y SANID cuyos coeficientes de correlación son 0.49, 0.46 y 0.44 respectivamente, fueron las variables que más contribuyeron en forma positiva a generar el segundo componente; de forma secundaria lo hicieron las variables LMZ y DMZ. Las variables CGRANO y CTUSA cuyo coeficiente de correlación es 0.55 en ambas variables, indican que fueron las características que más contribuyeron a generar en mayor grado al tercer componente. Las variables APLT y AMZ con coeficientes de correlación de 0.54 y 0.48 respectivamente, han contribuido en forma negativa a generar el cuarto componente. El quinto componente se generó en mayor grado con la contribución positiva de la variable LMZ cuyo coeficiente de correlación es 0.42. La variable TEXT fue la que más contribuyó en forma positiva a generar el sexto componente; por el contrario, el NHILE fue la variable que más contribuyó a generar este último componente en forma negativa.

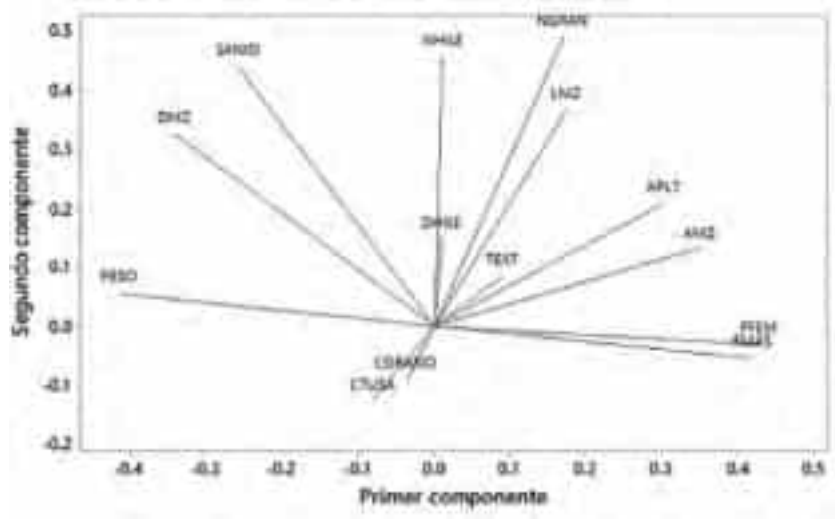


Figura 1: Distribución de las variables originales de las accesiones sobre el primero y segundo componente principal.

En el Figura 1 se puede apreciar que las variables más vinculadas en forma positiva con el primer eje son FMAS y FFEM debido a que presentan los mayores coeficientes de correlación positiva; y en forma negativa el PESO. Las variables más vinculadas al segundo eje en sentido positivo son el NGRAN, NHILE y SANID. También se puede observar el grado de asociación entre las variables que están determinadas por la separación angular que forman sus proyecciones; en base a ésto, la mejor asociación está constituida por la variable FMAS con la variable FFEM, seguida por la asociación constituida por la variable NHILE con DHILE, y la variable CGRANO con CTUSA.

Análisis de conglomerados

Con los seis componentes principales seleccionados se generaron las variables y se realizó el Análisis de Conglomerados. De acuerdo a los resultados obtenidos de la caracterización morfológica para cada una de las accesiones, se determinó la raza de acuerdo al tipo de mazorca que presentó cada accesión, encontrándose 22 razas típicas de maíz.

El dendograma obtenido por el método UPGMA (Figura 2) muestra las distancias entre las accesiones sobre la base de las características fenotípicas medidas y cuya escala de valores de distancia va desde 0.37 hasta el máximo valor de 7.40 en el cual todas las accesiones forman un solo grupo o cluster. Tomando en cuenta el criterio establecido por Núñez y Escobedo (2011), al trazar una línea recta en la escala a una distancia de 2.7 aproximadamente, el dendograma se divide en 55 grupos en las cuales son clasificadas las 335 accesiones de maíz.

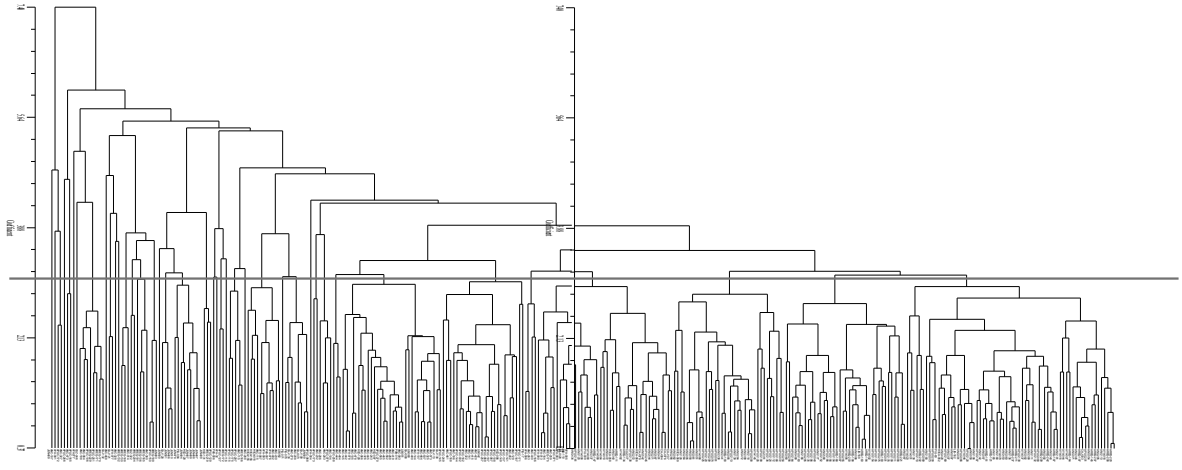


Figura 2: Dendrograma de las 335 accesiones de maíz de la sierra baja y media peruana, utilizando el método de media aritmética no ponderada.

Los resultados muestran que la raza Paro se incluyó en la gran mayoría de los grupos como consecuencia de una amplia variabilidad mostrada en sus características morfológicas; lo mismo sucede con la raza Ancashino, Morocho, Kculli, San Gerónimo, San Gerónimo Huancavelicano, entre otros. Resultados similares fueron obtenidos por Oscanoa y Sevilla (2010), quienes mediante el uso de caracteres morfológicos clasificaron 359 colecciones de maíz en 12 grupos raciales, observando que la raza Paro y Morocho se asignaron en diferentes grupos.

Los grupos formados no coinciden plenamente con la clasificación racial original. La clasificación racial original (Grobman *et al.*, 1961) se basó en la observación fenotípica de las mazorcas y granos tomando en cuenta muchas características a la vez; sin embargo, la agrupación por taxonomía numérica solo utiliza el criterio morfológico. Las razas se clasifican no solo con criterios morfológicos, se consideran también criterios culturales y ecológicos (Sevilla y Holle, 2004).

Los agricultores por lo general mantienen cruzamientos, mezclas o similares; por tanto, las muestras de maíz colectadas en los campos de los agricultores y accesadas luego al banco de germoplasma, van a presentar estas mezclas o cruzas generando que algunas razas se agrupen o separen casi al azar cuando se realiza un estudio por taxonomía numérica a estas accesiones. Esto coincide con lo mencionado por Blas *et al.*, (2000) quienes indicaron que, muchas razas son distintas en sus caracteres morfológicos, pero son genéticamente muy relacionados, pero también esto podría ser por probables mezclas en las entradas.

CONCLUSIONES

Las 335 accesiones de maíz fueron agrupados en 55 grupos por taxonomía numérica. En base a los caracteres evaluados se logró estimar la variabilidad de las accesiones, determinando 22 razas típicas de maíz, las cuales fueron: Ajaleado, Amarillo Huancabamba, Ancashino, Arequipeño, Chaparreño, Chimlos, Chuncho, Confite Punteagudo, Coruca, Cusco Cristalino Amarillo, Huancavelicano, Huayleño, Kculli, Morocho, Morocho Cajabambino, Paro, Perlilla, Rabo de Zorro, Sabanero, San Gerónimo, San Gerónimo Huancavelicano y Shajatu. Además, se evidenció la existencia de cruzamientos, mezclas y similaridad entre razas de maíz de la sierra baja y media del Perú.

De acuerdo al Análisis de Componentes Principales, los descriptores que más contribuyen en cada componente principal por presentar un alto coeficiente de correlación fueron en orden de importancia: días a la floración femenina, días a la floración masculina, peso de cada grano, número de granos por hilera, número de hileras por mazorca, sanidad, color de granos, color de la tusa, altura de planta, altura de mazorca, longitud de mazorca y textura del grano.

LITERATURA CITADA

- BLAS, R; J, RIBAUT; M, WARBURTON; J, CHURA; R, SEVILLA. 2000. Análisis Molecular de razas de maíz peruano con marcadores AFLP y microsatélites (SSR). Cuarto Congreso Peruano de Genética. La Molina. Lima-Perú. p. 241-250.
- GROBMAN, A; W, SALHUANA; R, SEVILLA; P, MANGELSDORF. 1961. Races of Maize in Peru: Their Origins, Evolution and Classification. National Academy of Sciences, NRC Publication 915. Washington D.C. USA.
- LÓPEZ, J; M, HIDALGO. 1994. Análisis de componentes principales y análisis factorial. En: M, Ato y J. J. López (eds.). Fundamentos de estadística con SYSTAT. Addison Wesley Iberoamericana. p. 457-503.
- NÚÑEZ, C; D, ESCOBEDO. 2011. Uso correcto del análisis cluster en la caracterización de germoplasma vegetal. Agronomía Mesoamericana. México. 22(2). p. 415-427.
- OSCANOA, C; R, SEVILLA. 2010. Diversidad de razas de maíz en la sierra central del Perú. En: Primer Congreso Peruano de Mejoramiento Genético y Biotecnología Agrícola. Proceeding. UNALM. Lima-Perú. p. 90-93.
- VEGA, M. 1972. Análisis Discriminante para la Diferenciación de Razas de Maíz. Tesis Ingeniero Estadístico. UNALM. Lima-Perú. 99 p.

Estabilidad fenotipica de siete variedades de maiz *(Zea mays L.)* en cuatro localidades del departamento de Cochabamba

Jhonny Vera, Jaime Argote
Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani, j.vera@fundacionpatino.org

Resumen

En el ciclo agrícola 2012/13, se llevó a cabo la evaluación de siete variedades de maíz en cuatro localidades de los valles de Cochabamba, cuyo objetivo fue el de conocer el comportamiento y estabilidad de cinco caracteres agronómicos: floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura de mazorca y rendimiento. Las variedades sometidas a evaluación fueron: P. Choclero 4, P. Compuesto 21, P. Choclero 2, P. Compuesto 22, P. Choclero 5, P. Aychasara 104 y Aychasara 7. Para el efecto, se utilizó el análisis combinado de localidades en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y siete tratamientos (variedades), la discriminación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey (0.01). El análisis de estabilidad se efectuó a través del método de Eberhart y Rusell (1966). Los resultados mostraron diferencias altamente significativas para localidades, variedades e interacción variedad x localidad, asimismo en la comparación de medias entre variedades, se observaron diferencias significativas y altamente significativas para los diferentes caracteres en estudio. El análisis de estabilidad fenotípica para rendimiento, mostró que las variedades P. Compuesto 21, P. Choclero 2 y P. Compuesto 22 son estables y consistentes, la variedad P. Aychasara 104 es estable, pero inconsistente; P. Choclero 5 responde mejor a ambientes favorables, pero es inconsistente, asimismo P. Choclero 4 responde mejor a ambientes desfavorables, pero tiene consistencia, y Aychasara 7 responde mejor a ambientes desfavorables y es inconsistente.

Palabras clave: estabilidad fenotípica, maíz, variedades.

Introducción

La producción de maíz en los valles de Bolivia, está mayormente destinada al consumo humano, ya sea en forma de maíz choclo u otros tipos; sin embargo por su concentración se destacan la zona del Valle Alto, Central y Bajo del Departamento de Cochabamba, los Valles de Chuquisaca y el Valle Central de Tarija. Los tipos de maíz que mayormente se producen en estas zonas son el harinoso y morocho de colores variados con predominancia del blanco, amarillo y anaranjado (Ortiz, 2012).

Según Ávila (2008), en la zona andina, se cultivan 115.000 hectáreas, superficie con tendencia a disminuir. El rendimiento en esta zona es de 1.200 kg/ha, dando ocupación a más de 190.000 familias. La productividad ha crecido muy poco y se ha estancado, excepto en las zonas con riego, especialmente del Departamento de Cochabamba, como el valle bajo, donde la productividad es cercana a los 2.000 kg/ha.

A pesar de estos ligeros incrementos, los rendimientos de las variedades locales siguen siendo afectados por una serie de factores, como la contaminación varietal y falta de mantenimiento de la identidad por un lado y la incidencia negativa de factores bióticos y abióticos por el otro, lo cual se ve agravado por los cambios climáticos de los últimos años; a esto debemos agregar la falta de un manejo sostenible de los suelos ; por tales razones, es necesario contar con nuevas variedades mejoradas y adaptadas a las condiciones agroecológicas de la región. En ese sentido, el Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani (CIFP), ha estado trabajando en la formación de nuevas variedades mejoradas de maíz que podrían constituir una alternativa para las zonas de los valles alto y bajo del Departamento de Cochabamba.

Por las consideraciones anteriormente mencionadas, el presente trabajo pretende cubrir los siguientes objetivos:

- Conocer el comportamiento de los principales caracteres agronómicos de las variedades mejoradas sometidas a comparación en cuatro ambientes de los Valles de Cochabamba.
- Determinar la estabilidad y el grado de adaptación de las variedades en los cuatro ambientes de evaluación

Materiales y Metodos

Localización

El presente trabajo se llevó a cabo en el ciclo agrícola 2012/2013 en cuatro localidades de los valles templados del departamento de Cochabamba (Bolivia), dos en el Valle Alto (Lara Suyo y Chaupi Suyo) y dos en el Valle Bajo (Itapaya y Hamiraya), cuyas características geográficas y climáticas son las siguientes:

Localidad	Municipio	Latitud Sud	Longitud Oeste	Altitud (m.s.n.m.)	Tipo de clima
Lara Suyo	Punata	17°32' S	65°48' W	2780	Templado
Chaupi Suyo	Punata	17°33' S	65°47' W	2764	Templado
Itapaya	Sipe Sipe	17°57' S	66°35' W	2535	Templado seco
Hamiraya	Santivañez	17°48' S	66°30' W	2624	Templado

Material Vegetal

Las variedades sometidas a evaluación, pertenecen al Centro de Investigaciones fitoecogenéticas de Pairumani (CIFP) dependiente de la Fundación Simón I. Patiño, las cuales todavía se encuentran en proceso de selección y mejora, las mismas son:

1. Pairumani Choclero 4 (grano harinoso, mediano, blanco, para choclo)
2. Pairumani Compuesto 21 (grano semiduro, mediano, amarillo, para pasankalla)
3. Pairumani Choclero 2 (grano harinoso, grande, blanco, para choclo)
4. Pairumani Compuesto 22 (grano semiduro, mediano, marrón gris, para tojori)
5. Pairumani Choclero 5 (grano harinoso, grande, blanco, para choclo)
6. Aychasara 104 (grano harinoso O_2, grande, blanco, para choclo)
7. Aychasara 7 (grano harinoso O_2, pequeño, morado, para api)

Diseño Experimental

Las variables o caracteres en estudio, fueron evaluadas a través del análisis combinado de localidades (ambientes), para lo cual se utilizó el diseño de bloques completos al azar (BCA) con cuatro repeticiones y siete tratamientos (variedades).

El análisis de estabilidad se realizó utilizando el análisis propuesto por Eberhart y Russell (1966) en base al siguiente modelo teórico:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta I_j + S_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Comportamiento de la variedad i en el ambiente j.
μ_i = Media de la variedad i.
β_i = Coeficiente de regresión que mide la respuesta de la variedad i a los n ambientes.
I_j = Índice ambiental.
S_{ij} = Desviación de regresión de la variedad i en el ambiente j.

Resultados y Discusión

Análisis de Varianza combinado

Con los resultados obtenidos se realizó un Análisis de Varianza Combinado utilizando el PROC GLM de SAS, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Cuadrados medios de diferentes caracteres evaluados en siete variedades de maíz efectuados en cuatro localidades del Valle de Cochabamba.

Fuente de Variación	G.L	Floración masculina	Floración femenina	Altura planta	Altura mazorca	Rend.
Localidad	3	140.9 **	139.1 **	27065.8 **	16191.2 **	167.6 **
Repeticion (localid.)	12	6.377 **	7.583 *	751.89 **	256.03 *	3.115 **
Variedad	6	212.8 **	209.2 **	5613.8 **	4178.52**	54.92 **
Variedad x Localid.	18	20.41 **	18.72 **	361.71 *	363.34 **	4.774 **
Error	72	2.44	3.42	180.13	132.74	0.55
C.V. (%)		2.17	2.45	6.27	10.07	10.42

* significativo al 0.05 de probabilidad ** altamente significativo al 0.01 de probabilidad

Se observaron diferencias significativas al 0.01 y 0.05 de probabilidad en todos los caracteres evaluados para cada uno de los factores o fuentes de variación (ver cuadro 1). Para la fuente Localidad se observó significación al 0.01 de probabilidad en todos los caracteres, lo cual demuestra las diferencias existentes entre los distintos ambientes y su efecto sobre el comportamiento de dichos caracteres. En el caso de repeticiones dentro de localidades, la variación fue menor solo para los caracteres floración femenina y altura planta que fueron significativas al 0.05 de probabilidad, mientras los restantes (floración masculina, altura planta y rendimiento) presentaron significación al 0.01 de probabilidad. Para la fuente variedad, todos los caracteres mostraron significación al 0.01 de probabilidad, lo cual demuestra las diferencias de comportamiento entre cada uno de los materiales evaluados. Finalmente para el factor localidad x variedad, también se observó significación al 0.01 de probabilidad en los caracteres floración masculina, floración femenina, altura de mazorca y rendimiento, mostrando de esta manera una alta interacción de localidad x variedad o una reacción diferenciada de cada variedad en cada localidad para dichos caracteres, excepto para altura de planta, cuya interacción fue menor, siendo significativa al 0.05 de probabilidad.

Pruebas de Tukey

Para separar las medias de los diferentes caracteres, se efectuó la prueba de comparación de medias de Tukey al 0.01 de probabilidad, la cual se presenta en el cuadro 2, donde las variedades fueron ordenadas en función a su potencial de rendimiento de mayor a menor.

Cuadro 2. Pruebas de comparación de medias de Tukey en diferentes caracteres evaluados en siete variedades de maíz efectuados en cuatro localidades del Departamento de Cochabamba.

Variedad	Floración masculina (días)		Floración femenina (días)		Altura planta (cm.)		Altura mazorca (cm.)		Rendimiento (tn/ha)	
3. P. Choclero 2	70.18	BC	73.93	BC	232.93	A	127.43	AB	8.86	A
6. Aychasara 104	75.31	AB	79.56	AB	212.87	AB	104.43	BC	8.43	AB
1. P. Choclero 4	68.43	C	73.18	C	198.56	BC	104.75	BC	7.35	AB
5. P. Choclero 5	69.36	C	72.93	C	204.43	AB	117.93	ABC	7.92	AB
4. P. Compuesto 22	77.87	A	81.12	A	237.75	A	140.43	A	7.08	AB
2. P. Compuesto 21	70.25	BC	73.62	BC	211.12	AB	112.87	ABC	4.47	BC
7. Aychasara 7	69.06	C	71.87	C	183.43	C	91.37	C	3.81	C
DMS	6.53		6.26		27.51		27.57		3.16	

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

DMS: Diferencia mínima significativa

Tal como se muestra en el cuadro 2, existen diferencias significativas entre variedades para cada uno de los caracteres evaluados tanto en floración masculina y femenina existieron diferencias en el número de días a floración en los cuatro ambientes de evaluación, observándose de esta manera variedades precoces (1 y 7), y ligeramente tardías como la 4. En el caso de altura de planta, se presentaron diferencias significativas entre variedades, se observaron variedades de porte alto como la 3 y 4, porte bajo como la 7 y el resto de porte intermedio. En altura de mazorca también se observaron diferencias altamente significativas, de manera que la inserción también se puede clasificar como alta en la variedad 4 y baja como la variedad 7, siendo el resto de inserción intermedia. Finalmente, respecto al carácter rendimiento, igualmente se presentaron diferencias altamente significativas, observando los valores promedio para éste último carácter, se pudo observar de que las variedades 3, 6, 1, 5 y 4 (orden de potencial de rendimiento), presentaron los mayores promedios en todas las localidades; la variedad 2 presentó un rendimiento intermedio y la variedad 7 mostró el más bajo rendimiento (posiblemente debido a que esta variedad fue la más atacada por pájaros). Los factores que afectaron en mayor grado la productividad de cada una de las variedades fueron la falta de agua en algunas etapas del desarrollo de la planta, especialmente en el Valle Bajo y el ataque de pájaros que fue incontrolable en todos los ambientes. La incidencia de enfermedades en planta en las diferentes localidades fue mínima, observándose en baja proporción manchas foliares y roya (*Puccinia* spp.) en el Valle Alto, y virus del rayado fino (*MRFV*) y palmarado (*Fitoplasma*) en el Valle Bajo; asimismo la pudrición de mazorca (*Fusarium* spp) también fue muy baja en todas las localidades.

Análisis de Estabilidad Fenotípica

Se efectuó este análisis para el rendimiento, con la finalidad de determinar la estabilidad de las variedades y su adaptación tanto en ambientes favorables como en ambientes desfavorables, para lo cual se efectuó el cálculo del Coeficiente de regresión (*bi*) y la desviación de regresión (S^2d) para todas las variedades, tal cual se observa en cuadro 3:

Cuadro 3. Parámetros de estabilidad fenotípica para rendimiento en 7 variedades de maíz evaluados en el Valle Alto y Bajo de Cochabamba.

Variedad	Media (μ)	C.R. (*bi*)	D.R. S^2d	Descripción
1.- Choclero 4	8.35	0.6	0.07	Responde mejor amb. desfav., consistente
2.- Compuesto 21	5.48	1.0	0.03	Estable, consistente
3.- Choclero 2	8.87	1.1	0.12	Estable, consistente
4.- Compuesto 22	7.09	1.1	0.14	Estable, consistente
5.- Choclero 5	7.93	1.5	0.31	Responde mejor amb. fav., inconsistente
6.- Aychasara 104	8.43	1.0	0.24	Estable, inconsistente
7.- Aychasara 7	3.82	0.4	0.77	Responde mejor amb. desfav., inconsistente

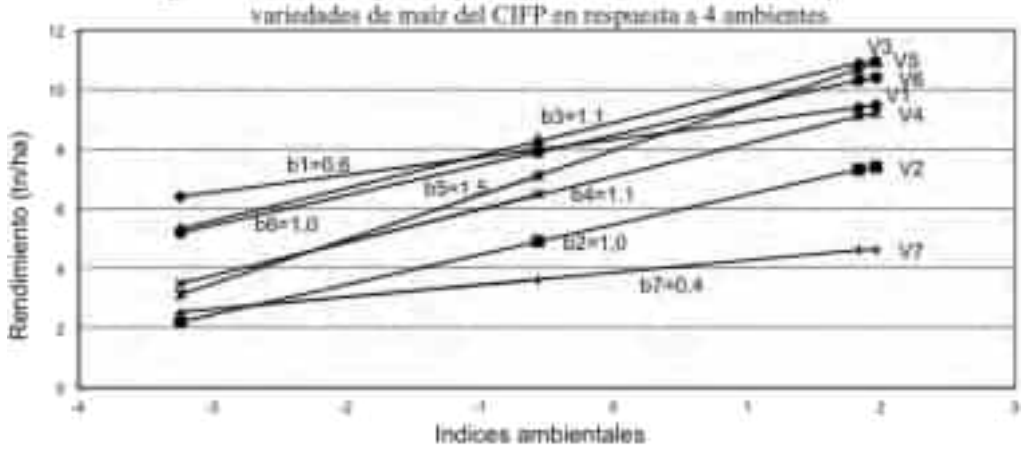
1. Clasificación de la estabilidad según Carballo (1972).

De acuerdo al cuadro 3, para que una variedad sea considerada estable debe tener un coeficiente de regresión b_i=1 y una desviación de regresión S^2d=0 (Eberhart y Russell, 1966), por tanto, tomando en cuenta la clasificación efectuada por Carballo (1972), se tiene que la variedad Choclero 4 responde mejor a ambientes desfavorables (b<1) y además es consistente en su comportamiento (S^2d=0), Compuesto 21 es estable y consistente, es decir se adapta muy bien a todos los ambientes, por tanto

cumple con los requisitos de estabilidad ya mencionados, asimismo Choclero 2 y Compuesto 22, son también estables y consistentes porque sus coeficientes de regresión y desviación están muy próximos a la unidad y con tendencia a cero, Choclero 5, responde mejor a ambientes favorables (b>1), pero es inconsistente ($S^2d>0$), en el caso de Aychasara 104, si bien es estable pero es inconsistente, finalmente Aychasara 7, responde mejor a ambientes desfavorables, pero también es inconsistente. Para Márquez (1991), el genotipo deseable es aquel que, además de los parámetros de estabilidad b_i=1 y S^2d_i=0, presenta alto rendimiento, es decir muestra baja interacción genotipo-ambiente a través de su consistente alta producción. En consecuencia, la inconsistencia de algunos genotipos puede ser atribuido a su alta interacción con el ambiente, así en el caso de las dos localidades del Valle Alto, se observó una mejor respuesta (índices ambientales positivos) que en las del Valle Bajo (índices negativos), donde el ambiente fue mas seco, determinando de alguna manera la inconsistencia o falta de predecibilidad en el comportamiento del genotipo, al respecto, Molina (1992) sostiene que la inconsistencia de los resultados de las evaluaciones puede tener origen en el grado de diversidad de los genotipos y de los ambientes o de ambos.

En la figura 1 se puede observar el comportamiento lineal de todas las variedades y su interacción con el ambiente:

Figura 1. Líneas de regresión para determinar la estabilidad fenotípica de 7 variedades de maíz del CIFP en respuesta a 4 ambientes



Tal como se muestra en las líneas de regresión de rendimiento/índices ajustadas mediante sus coeficientes, los genotipos estables (b_i=1), o que tienden a la estabilidad presentan una tendencia lineal con una pendiente de 45° (cuya tangente es la unidad) en relación al origen; así, las variedades Compuesto 21 (V2), Choclero 2 (V3), Compuesto 22 (V4) y Aychasara 104 (V6) son casi paralelas entre si y cumplen dicho requisito, aunque ésta última (V6) por su desviación mayor a cero es inconsistente. Cuando se presenta esta situación de paralelismo, el cambio en las condiciones ambientales afecta por igual el comportamiento de los genotipos, caracterizándose la ausencia de interacción (Paolo, 2008). La variedad Choclero 5 (V5), tiene una tendencia lineal de mayor pendiente (b>1), interacciona mejor en ambientes favorables, pero es inconsistente; en cambio, las variedades Choclero 4 (V1) y Aychasara 7 (V7) tienen tendencias lineales de menor pendiente y sus coeficientes son diferentes de la unidad (b<1), por lo cual interaccionan mejor con ambientes desfavorables, independientemente sean consistentes o inconsistentes. Según Molina (1992), la falta de paralelismo entre rectas de regresión deberá tomarse como un claro indicio de que los genotipos interaccionan con los ambientes. En estas situaciones, según Becker (1988), los cambios del ambiente afectan desigualmente la manifestación del carácter para los genotipos, es decir, la diferencia entre genotipos varía entre ambientes, siendo este tipo de interacción denominada simple o cuantitativa, y si las líneas se cruzan, estamos frente a una interacción cruzada o cualitativa.

Conclusiones

El análisis de varianza combinado efectuado para las variables floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura de mazorca y rendimiento, presentó diferencias significativas y altamente significativas entre localidades, repeticiones dentro de localidades, variedades y la interacción variedades x localidades, indicando de esta manera la variación en la manifestación de dichos caracteres dentro de cada variedad frente a los diferentes ambientes de evaluación.

Las pruebas de discriminación de medias de Tukey, mostraron diferencias significativas entre variedades para cada uno de los caracteres agronómicos evaluados, así en el caso de rendimiento, según su potencia de mayor a menor, las variedades Choclero 2, Aychasara 104, Choclero 4, Choclero 5 y Compuesto 22, presentaron los mayores promedios; la variedad Compuesto 21 presentó un rendimiento intermedio y la variedad Aychasara 7 mostró el más bajo rendimiento.

El análisis de estabilidad fenotípica para el carácter rendimiento, mostró que las variedades Compuesto 21, Choclero 2 y Compuesto 22 son estables y consistentes, Aychasara 104 es estable, pero es inconsistente. Asimismo, Choclero 5 responde mejor a ambientes favorables, pero es inconsistente, en cambio Choclero 4 responde mejor a ambientes desfavorables y tiene consistencia, finalmente Aychasara 7 responde mejor a ambientes desfavorables, pero no tiene consistencia.

Literatura Citada

- Ávila, L. G. 2008. El maíz y su mejoramiento genético en Bolivia. Ed. Fundación Simón I. Patiño, Academia Nacional de Ciencias de Bolivia, p. 2. Cochabamba, Bolivia.
- Carballo, C. A. y F. S. Márquez. 1972. Comparación de variedades de maíz en el Bajío y la mesa central por su rendimiento y estabilidad. Agrociencia 5(1) 129 – 146.
- Becker, H. C. & J. Leon. 1988. Stability analisys in plant breeding. Plant Breed. 101:1 - 23
- Eberhart, S. A. y W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sciences. 6: 36 – 40 p.
- Márquez, S. F. 1991. Genotécnia Vegetal. Métodos, teoría, resultados. Tomo III. Primera edición. AGT Editor, S.A. México. 500 p.
- Molina, G. J. 1992. Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa. AGT Editor, S.A. México. p.187, 201.
- ORTIZ, A. I. 2012. Los maíces en la seguridad alimentaria de Bolivia. Compilación de Ana Isabel Ortiz. Centro de Investigación y promoción del Campesinado (CIPCA). La Paz, Bolivia. 202 p.
- PAOLO, D. G. 2008. Evaluación de métodos para análisis de estabilidad en diferentes ambientes en genotipos de yuca (*Manihot esculenta Crantz*). Tesis de grado para obtener el título de Maestro en Ciencias. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. 110 p.

Mejoramiento participativo del maíz blanco Quispicanchi con pequeños productores de Quispicanchi - Cusco, Perú

Wladimir Jara, Andrés Castelo y César Medina
Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA Perú
wjara@inia.gob.pe

Resumen

La provincia Quispicanchi presenta condiciones favorables para la producción de semilla y grano para exportación de maíz amiláceo de ecotipos y variedades de la raza Cuzco Gigante, sin embargo, por problemas de endocría y tecnología tradicional que utilizan los productores la productividad promedio en el año 2007 fue de 2.580 t/ha. Con el objetivo de mejorar en forma participativa la variedad Blanco Local para contribuir a incrementar la productividad de maíz en la provincia Quispicanchi, entre al 2007 y 2012 se ha desarrollado en forma participativa el mejoramiento de la variedad Blanco Local de la Sub raza Blanco Quispicanchi de la raza Cuzco Gigante. La variedad mejorada fue liberada el año 2012 con el nombre de INIA 618 – Blanco Quispicanchi con rendimiento de grano de hasta 5.726 t/ha en campos de productores con granos de tamaño grande y choclos de buena calidad para exportación y consumo nacional.

Palabras clave: Maíz, mejoramiento participativo, compuesto racial

Introducción

En la provincia de Quispicanchi (Cusco, Perú) los pequeños productores producen maíz amiláceo Blanco Local de la Sub raza Blanco Quispicanchi de la raza Cuzco Gigante, con granos para exportación, con limitado conocimiento sobre tecnologías adecuadas para la producción de grano y semilla entre otros las bondades del uso de semilla de calidad, utilizan grano con alta endocría como semilla y tecnología tradicional, consecuentemente obtienen rendimientos medios a bajos (2007: 2.580 t/ha) que les sirve para el autoconsumo y el excedente es comercializado en mercados locales. Por sus bondades y buena calidad de grano para exportación la variedad Blanco Local requiere ser mejorada e inscrita en el registro de variedad comerciales, para lo cual se ha ejecutado el presente trabajo con el objetivo de mejorar en forma participativa la variedad Blanco Local para contribuir a incrementar la productividad de maíz en la provincia Quispicanchi, el uso de semilla de buena calidad y a elevar el nivel socioeconómico de pequeños productores de cuatro asociaciones locales.

Materiales y Métodos

Material experimental.- Los materiales utilizados durante la colección, ensayos de evaluación, selección y ensayos de adaptación y eficiencia fueron:

- Colección de 484 mazorcas (familias) de la variedad Blanco Local de la Sub raza Blanco Quispicanchi de la raza Cuzco Gigante, aportadas el año 2007 por los socios productores de maíz de cuatro asociaciones de los distritos de Andahuaylillas, Huaro y Quiquijana de la provincia de Quispicanchi, región Cusco, Perú.
- Semilla de progenies y Familias de medios hermanos seleccionadas en cada ciclo de selección del año 2007 al 2011.
- Semilla de surcos machos utilizadas en los ensayos de adaptación y eficiencia.
- Semilla de progenies y Familias de medios hermanos seleccionadas en la campaña 2011-2012 con las que se ha formado el Núcleo de Semilla Genética de la variedad.

Metodología de Trabajo

Ensayos de Evaluación y Selección.- El año 2007 se realizó la colección de mazorcas (familias) de la variedad Blanco Local aportadas por socios productores de cuatro asociaciones de Quispicanchi (Castelo y Córdova, 2009).

En la campaña 2007-2008, en Huaro y Secsencalla se han evaluado las características morfológicas, sanidad y productividad de las familias colectadas de la variedad Blanco Local, y en base a los resultados se han identificado las mejores familias. El 2008 con la semilla remanente de éstas se ha formado el Compuesto Racial (CR) Blanco Quispicanchi que, durante las campañas agrícolas 2008-2009, 2009-2010 y 2010-2011 en campos aislados de las Asociaciones de Productores se ha mejorado utilizando el esquema de medios hermanos (MH), relación 3:1 (3 surcos hembra : un surco macho), siembra mazorca por surco, el macho compuesto balanceado de todas las familias; en cada ciclo de selección se evaluaron y seleccionaron las familias superiores con presión de selección de 20%, en promedio 5 mazorcas progenie por familia seleccionada, por rendimiento, arquetipo de planta, sanidad, calidad de mazorca y grano. En cada familia se ha evaluado: días al 50% de floración femenina, altura de planta y de mazorca, acame de plantas de tallo y raíz, número de plantas y de mazorcas cosechadas, número de mazorcas con pudrición, peso de mazorcas recién cosechadas y con granos conteniendo 14% de humedad, rendimiento de grano; tamaño, forma y color de mazorca y grano. Concluida la campaña agrícola 2011 se formó el Núcleo de Semilla Genética, a partir del cual desde la campaña 2011-2012 en lotes aislados se realiza el mantenimiento de la identidad varietal e incremento de semilla genética de la variedad mejorada denominada INIA 618 – Blanco Quispicanchi (Jara, 2012).

Previo riego por gravedad la preparación de los suelos fue mecanizada. Después de la siembra hasta la cosecha las plantas dependieron de las precipitaciones pluviales estacionales, complementadas con 2 a 3 riegos por inundación. La unidad experimental tuvo 4,25 m^2 de área, formada por un surco de 5,0 m de longitud, con distanciamiento entre surcos de 0,85 m, en total 11 golpes por surco, dos plantas por golpe cada 0,50 m equivalente a 47 059 plantas por hectárea. Se aplicó el nivel de fertilización 140–120–100 kg/ha de N-P_20_5-K_20. En cada ciclo de selección, en los lotes de medios hermanos, las familias se despanojaron oportunamente en forma manual antes de que liberen polen.

Ensayos de identificación.- Para la inscripción de la variedad en el Registro de Cultivares Comerciales, en las campañas agrícolas 2010-2011 y 2011-2012 se evaluaron los descriptores morfológicos de la variedad mejorada y del testigo local. En el Predio Huillkupata de la Asociación de Productores de Huaro, el CR Blanco Quispicanchi fue comparado con la variedad Blanco Local (semilla del agricultor) (Jara, 2012).

En **Ensayos de adaptación y eficiencia** durante las campañas 2010-2011 y 2011-2012 se evaluaron las bondades agronómicas y productivas del CR Blanco Quispicanchi comparada con la variedad Blanco Local en 12 ensayos, seis por campaña en campos de los productores de las Asociaciones de Andahuaylillas, Huaro y Quiquijana (Tabla 2). El manejo agronómico de las parcelas fue realizado por los productores colaboradores (Tabla 1), previo riego por gravedad la preparación de los suelos fue mecanizada. El diseño experimental fue Bloques Completos al Azar (BCA) con 3 repeticiones, cada tratamiento en parcelas de 10 surcos de 10 m de longitud, surcos distanciados a 0.85 m, equivalente a 85 m^2, área total por ensayo de 510 m^2, la altitud de los lugares fluctuó desde 3148 hasta 3328 m. El nivel de fertilización aplicado fue de 140-120-100 kg/ha de N-P_2O_5-K_2O; solo en Huaro por la presencia de gusanos en el suelo la semilla fue protegida con un insecticida; durante el ciclo vegetativo no se aplicaron pesticidas, la eliminación de las malezas se hizo en forma manual. Hasta la cosecha las plantas dependieron de las precipitaciones pluviales, se complementó con 2 a 3 riegos por inundación. En forma similar se han conducido los ensayos de Identificación (Jara, 2012).

En los ensayos se evaluaron los componentes de rendimiento de grano, forma y tamaño de mazorca y de grano, textura y color de grano. En arquetipo de las plantas se consideraron la altura de planta, altura de mazorca, días a la floración, acame de plantas por raíz y tallo, pudrición de mazorcas por efecto de *Fusarium* y *Diplodia*; reacción al ataque de enfermedades foliares y de "Carbón" (*Ustilago maydis*) en la mazorca (Jara, 2012).

Tabla 1. Disposición de Tecnologías en ensayos de adaptación y eficiencia del CR Blanco Quispicanchi y la variedad Blanco Local. Quispicanchi (Cusco, Perú) 2010-2011 y 2011-2012.

Tecnología con el CR Blanco Quispicanchi	Tecnología con la Variedad Blanco Local
Semilla del CR Blanco Quispicanchi con nivel de fertilización 140–120–100 kg/ha de N-$P_2 0_5$-$K_2 0$ y manejo del agricultor	Semilla del agricultor, con nivel de fertilización 140–120–100 kg/ha de N-$P_2 0_5$-$K_2 0$ y manejo del agricultor
Semilla del agricultor, con nivel de fertilización 140–120–100 kg/ha de N-$P_2 0_5$-$K_2 0$ y manejo del agricultor	Semilla del CR Blanco Quispicanchi con nivel de fertilización 140–120–100 kg/ha de N-$P_2 0_5$-$K_2 0$ y manejo del agricultor
Semilla del CR Blanco Quispicanchi con nivel de fertilización 140–120–100 kg/ha de N-$P_2 0_5$-$K_2 0$ y manejo del agricultor	Semilla del agricultor, con nivel de fertilización 140–120–100 kg/ha de N-$P_2 0_5$-$K_2 0$ y manejo del agricultor

Tabla 2. Productores colaboradores de Quispicanchi que han conducido los ensayos de adaptación y eficiencia del CR Blanco Quispicanchi. Campañas 2010 – 2011 y 2011 – 2012

Productores	Distrito	Lugar	Campaña	Altitud
Alejandro Chillca	Andahuaylillas	Concebidayoc (Secsencalla)	2010-2011	3148
Sabina Mamani	Andahuaylillas	Huasa huasa (Secsencalla)	2010-2011	3160
Daniel Macedo	Urcos	Maccartioc (Paucarbamba)	2010-2011	3162
Simón Condori	Quiquijana	Opaqolca (Ttio)	2010-2011	3320
Efraín Valenzuela	Quiquijana	Pallancapata (Ttio)	2010-2011	3328
Oswaldo Rojas	Quiquijana	Ccaccapunku (Ttio)	2010-2011	3328
Daniel Ochoa	Huaro	Casa Cural (Centro Poblado)	2011-2012	3162
Andrea Huamán	Huaro	Chincallave (Huaro)	2011-2012	3171
Leonidas Huillcahuamán	Huaro	Pucuto (Huaro)	2011-2012	3155
Marcos Villarroel	Huaro	Chocapa (Pucuto)	2011-2012	3152
Mateo Araujo	Andahuaylillas	Marabamba (Andahuaylillas)	2011-2012	3154
Abel Araujo	Andahuaylillas	Accopampa (Andahuaylillas)	2011-2012	3150

Las cosechas y evaluaciones de rendimiento se realizaron en forma participativa con los productores que participaron en la cosecha, liderados por los productores colaboradores y los profesionales del INIA Cusco y el de las Asociaciones. En cada parcela o repetición se cosecharon 4 surcos centrales (34 m²), las mazorcas se pesaron en la cosecha y una vez secas se volvieron a pesar, y se determinó el rendimiento de grano.

Resultados y discusión

Mejoramiento participativo a partir de la variedad Blanco Local

Ciclo 0.- 2007 – 2008: Las 484 familias de la variedad Blanco Local expresaron las siguientes características promedio, en **Secsencalla** (Andahuaylillas)**:** altura de planta 191 cm, altura de mazorca 96 cm, rendimientos entre 3.98 y 7.56 t/ha, media poblacional 3.96 t/ha; se identificaron las mejores 182 familias con rendimiento promedio 4.94 t/ha. En **Huaro:** altura de planta 217 cm, altura de mazorca 111 cm, rendimientos entre 5.20 y 7.15 t/ha, media poblacional 5.12 t/ha; se identificaron las mejores 273 familias con rendimiento promedio 5.76 t/ha, con buen arquetipo de planta, buena calidad de mazorca y grano, libres de pudrición de la mazorca

con las que se ha formado el Compuesto Racial Blanco Quispicanchi (Castelo y Córdova, 2008).

Ciclo 1.- 2008 – 2009: En forma participativa del CR Blanco Quispicanchi, en **Secsencalla** se evaluaron 182 familias, se seleccionaron las mejores 37 familias con productividad promedio de 8.68 t/ha, la media poblacional fue 5.10 t/ha; en **Huaro** se evaluaron 273 familias, se seleccionaron 55 familias con rendimiento promedio de 7.52 t/ha, la media poblacional fue 5.58 t/ha. **En Ttio – Quiquijana** se evaluaron 149 familias, se seleccionaron las mejores 70 familias con rendimientos entre 7.07 y 10.20 t/ha, promedio de 8.58 t/ha; la media poblacional fue 6.79 t/ha (Castelo y Córdova, 2009).

Ciclo 2.- 2009 – 2010: En forma participativa del CR Blanco Quispicanchi, en **Secsencalla** se evaluaron 144 familias, en la cosecha se han seleccionado 182 mazorcas progenie de las 31 mejores familias con rendimiento promedio de 9.65 t/ha con variación de 8.56 a 11.99 t/ha; la media poblacional fue 6.40 t/ha. En **Huaro** se evaluaron 216 familias, a la cosecha se seleccionaron 270 mazorcas progenie de las mejores 80 familias con rendimiento promedio de 8.26 t/ha, que varían entre 7.07 y 11.98 t/ha; la productividad promedio de la población fue de 6.25 t/ha. En **Ttio** se evaluaron 186 familias, se seleccionaron 300 mazorcas progenie de las mejores 43 familias con rendimiento promedio de 7.24 t/ha con variación entre 6.42 y 8.56 t/ha, la media poblacional fue 4.77 t/ha (Jara y Córdova, 2010).

Ciclo 3.- 2010 – 2011: En forma participativa del CR Blanco Quispicanchi, en **Secsencalla** se evaluaron 144 familias, en la cosecha se han seleccionado 53 mazorcas progenie de las 30 mejores familias con rendimientos promedio de 8.17 t/ha con variación de 7.54 a 9.86 t/ha; el rendimiento promedio de la poblacional fue de 6.40 t/ha. En **Huaro** se evaluaron 270 familias, a la cosecha se seleccionaron 290 mazorcas progenie de las mejores 56 familias con rendimientos entre 8.49 y 11.19 t/ha, rendimiento promedio de 9.21 t/ha; la productividad promedio de la población fue de 7.28 t/ha (Jara y Córdova, 2011).

Ensayos de Adaptación y Eficiencia (Parcelas de comprobación)

Campaña 2010-2011

En el ANVA para rendimiento del CR Blanco Quispicanchi y de la variedad Blanco Local en seis localidades (cuadro 1), se observa que para Localidades y Variedades existe diferencia altamente significativa; para localidades indica que el rendimiento de grano no es el mismo en todas las localidades; para variedades, en general en las seis localidades, ambas variedades tienen rendimientos diferentes con alta significación estadística.

Cuadro 1. ANVA para rendimiento de grano del CR Blanco Quispicanchi y la Variedad Blanco Local y localidades. Quispicanchi (Cusco). Campaña 2010-2011.

F. de V.	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	Signif.
Localidades	5	467979.761	93595.952	6.78	0.0003	**
Variedades	1	5566398.727	5566398.727			**
Error	29	400570.427	13812.773	402.99	<0.0001	
Total	35		CV =	2.46%		

De acuerdo a la prueba de significación de Duncan al 5% para rendimiento de grano de dos variedades (CR Blanco Quispicanchi y variedad Blanco Local) en seis localidades (cuadro 2), se observa que los mayores rendimientos, a la vez estadísticamente similares se obtuvieron en Maccartioc 4.975 t/ha y Huasa Huasa 4.865 t/ha; en tercer lugar en Concebidayoc (4.786 t/ha) estadísticamente similar al segundo; en cuarto lugar en Ccaccapunku (4.683 t/ha) estadísticamente similar al tercero, al quinto Pallancapata (4.674 t/ha) y al sexto Opaqolca (4.668 t/ha), siendo los últimos 3 lugares de Quiquijana donde se obtuvieron los menores rendimientos; sin embargo, en general en las seis localidades se han obtenido buenos rendimientos (Jara, 2012).

Cuadro 2. Prueba de Duncan 5% para localidades por rendimiento promedio del CR Blanco Quispicanchi y la variedad Blanco Local. Quispicanchi (Cusco). Campaña 2010 – 2011

Orden Mérito	Lugares	Rendimiento de grano (t/ha)	Duncan 5%
1	Maccartioc – Paucarbamba – Urcos	4.975	A
2	Huasa Huasa - Secsencalla – Andahuaylillas	4.865	A B
3	Concebidayoc –Secsencalla – Andahuaylillas	4.786	B C
4	Ccaccapunku - Ttio – Quiquijana	4.683	C
5	Pallancapata - Ttio – Quiquijana	4.674	C
6	Opaqolca – Ttio - Quiquijana	4.668	C

En la Prueba de significación de Duncan al 5% para Variedades (cuadro 3) se observa que el CR Blanco Quispicanchi con rendimiento promedio de 6 localidades de 5.168 t/ha, es superior a la Variedad Blanco Local, que en promedio rindió 4.382 t/ha.

Cuadro 3. Prueba de rango múltiple Duncan 5% para variedades por rendimiento promedio de grano. Quispicanchi (Cusco). Campaña 2010 – 2011

Orden Mérito	Tratamientos	Rendimiento de grano (t/ha)	Duncan 5%
1	CR Blanco Quispicanchi	5.168	A
2	Variedad Blanco Local	4.382	B

En la campaña 2010-2011, el CR Blanco Quispicanchi evaluado en 6 localidades expresó rendimientos entre 5.097 y 5.270 t/ha con rendimiento promedio de 5.168 t/ha superiores a la variedad Blanco Local que rindió entre 4.185 y 4.679 t/ha con productividad promedio de 4.382 t/ha (cuadro 4) (Jara, 2012).

Cuadro 4. Productividad del CR Blanco Quispicanchi y la variedad Testigo en seis localidades de Quispicanchi (Cusco). Campaña 2010 – 2011

Localidades	CR Blanco Quispicanchi (t/ha)	Variedad Local (t/ha)	Rendimiento promedio (t/ha)
Concebidayoc -Secsencalla - Andahuaylillas	5.141	4.430	4786
Huasa Huasa - Secsencalla - Andahuaylillas	5.212	4.518	4865
Maccartioc - Paucarbamba - Urcos	5.270	4.679	4975
Opaqolca - Ttio - Quiquijana	5.097	4.240	4668
Pallancapata - Ttio - Quiquijana	5.163	4.185	4674
Ccaccapunku - Ttio - Quiquijana	5.127	4.240	4683
Rendimiento Promedio	5.168	4.382	

Campaña 2011-2012

En el cuadro 5, ANVA para rendimiento del CR Blanco Quispicanchi y de la variedad Blanco Local en seis localidades, se observa que para Localidades y Variedades existe diferencia altamente significativa; para localidades indica que el rendimiento de grano no es el mismo en todas las localidades; para variedades, en general en las seis localidades, ambas variedades tienen rendimientos diferentes con alta significación estadística.

Cuadro 5. ANVA para rendimiento de grano del CR Blanco Quispicanchi y la Variedad Blanco Local y localidades. Quispicanchi (Cusco). Campaña 2011 - 2012.

F. de V.	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	Signif.
Localidades	5	310985.436	62197.087	2.70	0.0405	**
Variedades	1	4981020.512	4981020.512	215.89	<0.0001	**
Error	29	669077.437	23071.636			
Total	35		CV =	2.96%		

En la prueba de significación de Duncan al 5% para Localidades por rendimiento del CR Blanco Quispicanchi y variedad Blanco Local en las seis localidades (cuadro 6), se observa que el mayor rendimiento se obtuvo Casa Cural (5.268 t/ha) y a la vez estadísticamente similar al obtenido en Chincallave (5.156 t/ha), Marabamba (5.154 t/ha), Accopampa (5.127 t/ha) y Chocopa (5.071 t/ha). El menor rendimiento se obtuvo en Pucuto (4.962 t/ha), sin embargo, en general en las seis localidades se han obtenido altos rendimientos.

Cuadro 6. Prueba de Duncan 5% para localidades por rendimiento promedio del CR Blanco Quispicanchi y la variedad Blanco Local. Quispicanchi (Cusco). Campaña 2011 – 2012

Orden Mérito	Lugares	Rendimiento de grano (t/ha)	Duncan 5%
1	Casa Cural – Huaro	5.268.04	A
2	Chincallave – Huaro	5.155.57	AB
3	Marabamba – Andahuaylillas	5.154.01	AB
4	Accopampa – Andahuaylillas	5.126.54	AB
5	Chocapa – Pucuto – Huaro	5.070.57	AB
6	Pucuto – Huaro	4.961.72	B

En la Prueba de significación de Duncan al 5% para Variedades por rendimiento (cuadro 7) se observa que el CR Blanco Quispicanchi con rendimiento promedio de 5.495 t/ha, es superior a la variedad Blanco Local, que en promedio rindió 4.751 t/ha.

Cuadro 7. Prueba de rango múltiple Duncan 5% para variedades por rendimiento promedio de grano. Quispicanchi (Cusco). Campaña 2011 – 2012

Orden Mérito	Tratamientos	Rendimiento de grano (t/ha)	Duncan 5%
1	CR Blanco Quispicanchi	5.494.71	A
2	Variedad Blanco Local	4.750.77	B

En la campaña 2011-2012, el CR Blanco Quispicanchi evaluado en 6 localidades expresó rendimientos entre 5.217 y 5.726 t/ha, promedio 5.495 t/ha superiores a la variedad Blanco Local que rindió entre 4.706 y 4.810 t/ha y rendimiento promedio 4.751 t/ha (cuadro 8).

Cuadro 8. Productividad del CR Blanco Quispicanchi y la variedad Testigo en seis localidades de Quispicanchi (Cusco). Campaña 2011 – 2012

Localidades	CR Blanco Quispicanchi (t/ha)	Variedad Local (t/ha)	Rendimiento promedio (t/ha)
Casa Cural – Huaro	5726	4810	5268
Chincallave – Huaro	5544	4767	5156
Pucuto – Huaro	5217	4706	4962
Chocapa – Pucuto – Huaro	5391	4750	5071
Marabamba – Andahuaylillas	5549	4759	5154
Accopampa – Andahuaylillas	5541	4712	5127
Rendimiento Promedio	5495	4751	

Previa prueba de homogeneidad de variancias por campañas, se realizó el análisis combinado, en cuyo Análisis de variancia (cuadro 9) se aprecia diferencia altamente significativa para campañas, localidades (campaña) y variedades. Para campañas indica que los rendimientos de grano de las variedades fueron diferentes en cada campaña y para variedades que éstas tienen rendimientos diferentes.

Cuadro 9. ANVA del Análisis combinado para rendimiento del CR Blanco Quispicanchi y la Variedad Blanco Local en 6 localidades y 2 campañas. Quispicanchi (Cusco). Campañas 2010-2011 y 2011 - 2012.

F. de V.	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	Signif.
Campañas	1	2174971.44	2174971.44	117.93	<0.0001	**
Localidades (campaña)	10	778965.20	77896.52			
Variedades	1	10539290.90	10539290.90	4.22	0.0002	**
Campaña * Variedades	1	8128.34	8128.34	571.48	<0.0001	**
Error	58	1069647.86	18442.20	0.44	0.5094	NS
Total	71	14571003.74	CV =	2.74%		

En el cuadro 10, en la prueba de significación de Duncan al 5% para campañas agrícolas, se observa que en la campaña agrícola 2011-2012 los rendimientos de grano promedio de las variedades de maíz (5.123 t/ha) fueron superiores a los rendimientos obtenidos en la campaña agrícola 2010-2011 (4.775 t/ha).

Cuadro 10. Prueba de rango múltiple de Duncan 5% para campañas agrícolas por rendimiento promedio de grano. Quispicanchi (Cusco). Campañas 2010 – 2011 y 2011 – 2012

Orden Mérito	Tratamientos	Rendimiento de grano (t/ha)	Duncan 5%
1	Campaña agrícola 2011 – 2012	5.122.74	A
2	Campaña agrícola 2010 – 2011	4.775.13	B

En la Prueba de significación de Duncan al 5% para Variedades por rendimiento en las dos campañas (cuadro 11) se observa que el CR Blanco Quispicanchi con rendimiento promedio de 5.332 t/ha, es superior a la variedad Blanco Local, que en promedio rindió 4.566 t/ha.

Cuadro 11. Prueba de rango múltiple de Duncan 5% para variedades por rendimiento promedio de grano. Quispicanchi (Cusco). Campañas 2010 – 2011 y 2011 – 2012

Orden Mérito	Tratamientos	Rendimiento de grano (t/ha)	Duncan 5%
1	CR Blanco Quispicanchi	5.332	A
2	Variedad Blanco Local	4.566	B

En la prueba de significación de Duncan al 5% para Localidades dentro de campañas agrícolas mediante el rendimiento de grano de CR Blanco Quispicanchi y la variedad Blanco Local, en el cuadro 12, se observa que los rendimientos en las seis localidades dentro de cada campaña agrícola son estadísticamente similares; en la campaña 2010-2011 con rendimientos fluctúan entre 4.668 y 4.975 t/ha y el 2011-2012 entre 4.962 y 5.268 t/ha, rendimientos buenos para mejorar los ingresos y la calidad de vida de los productores y sus familias (Jara, 2012).

Cuadro 12. Prueba de significación de Duncan 5% para Localidades dentro de campañas agrícolas mediante el rendimiento promedio del CR Blanco Quispicanchi y la var. Blanco Local. Quispicanchi (Cusco). 2010 – 2011 y 2011 - 2012. Quispicanchi (Cusco).

Campañas Agrícolas	Localidades	Rendimiento de grano (t/ha)	Duncan 5%
2010-2011	Concebidayoc - Secsencalla - Andahuaylillas	4.786	A
	Huasa Huasa - Secsencalla - Andahuaylillas	4.865	A
	Maccartioc - Paucarbamba - Urcos	4.975	A
	Opaqolca - Ttio - Quiquijana	4.668	A
	Pallancapata - Ttio - Quiquijana	4.674	A
	Ccaccapunku - Ttio - Quiquijana	4.683	A
2011-2012	Casa Cural - Huaro	5.268	B
	Chincallave - Huaro	5.156	B
	Pucuto - Huaro	4.962	B
	Chocapa - Pucuto - Hauro	5.071	B
	Marabamba - Andahuaylillas	5.154	B
	Accopampa - Andahuaylillas	5.127	B

Luego del análisis económico de los ensayos de adaptación y eficiencia y la aprobación del expediente técnico económico, en ceremonia oficial el 10 de agosto de 2012 se puso a disposición de los productores la variedad mejorada con el nombre de **INIA 618 – Blanco Quispicanchi.**

Conclusiones

En forma participativa cuatro asociaciones de productores de maíz de Quispicanchi en alianza con el INIA Perú han desarrollado la variedad INIA 618 – Blanco Quispicanchi con productividad de hasta 5.726 t/ha en campos de productores, con granos

de tamaño grande y choclos de buena calidad para exportación y consumo nacional.

Literatura Citada

- Castelo P.A., E. Córdova R. 2008. Colección de material genético y Ensayos de caracterización y selección participativa de familias en variedades locales de maíces de altura en lotes de medios hermanos. Memoria Anual 2008 – PNI Maíz – INIA, Perú.
- Castelo P.A., E. Córdova R. 2009. Evaluación y selección de familias sobresalientes de maíces de altura: Blanco Quispicanchi y Amarillo Cristalino por productividad, buenas características de mazorca y grano en campo de agricultores. Memoria Anual 2009 – PNI Maíz – INIA, Perú.
- Falconer, D. S. 1984. Introducción a la Genética Cuantitativa. Compañía Editora Continental S.A. México.
- Geilfus F. 1997. "80 Herramientas para el Desarrollo Participativo". Edit. IICA. 1ra. Edic. San Salvador.
- Instituto de Recursos Naturales y el Ambiente. 2009, "Programa Integrado de Desarrollo Rural". FAO, León. Managua, Nicaragua.
- Jara C.W., E. Córdova R. 2010 y 2011. Evaluación y selección de familias sobresalientes de maíz de la raza Cuzco Gigante en las Asociaciones de Productores de Andahuaylillas y Secsencalla por productividad, buenas características de mazorca y grano. Memorias Anuales 2010 y 2011 – PNIA Maíz – INIA, Perú.
- Jara C.W. R. 2012. Informe Técnico Económico de la variedad de Maíz Amiláceo INIA 618 – Blanco Quispicanchi. PNIA Maíz – INIA, Perú.
- Pohelman J.M. 1973. "Mejoramiento de las Cosechas". Volumen II, Ediciones Ciencia y técnica.
- Vitorino F., B. 1989. "Fertilidad de Suelos y Fertilizantes", copia mimeografiada. Facultad de Agronomía y Zootecnia – UNSAAC. Cusco, Perú.

Evaluación de cuatro compuestos intra-raciales conformados en base a accesiones componentes de la misma raza de maíz

Marcia Céspedes
Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani m.cespedes@fundacionpatino.org

Resumen

Se evaluaron en tres localidades cuatro poblaciones de maíces de cuatro razas, denominadas como Compuestos raciales Hualtaco, Huillcaparu, Kulli y Morocho, los cuales fueron formados por las accesiones superiores dentro de cada una de las cuatro razas y seleccionadas bajo inoculación artificial de *Fusarium* spp., para menor incidencia y severidad de pudrición de mazorca y mayor rendimiento. La finalidad de formar estas poblaciones fue dotar a los agricultores que cultivan la raza, de compuestos intra-raciales con mayor rendimiento y tolerancia a enfermedades. En dos localidades sin riego los resultados no mostraron diferencias significativas para la mayoría de las características evaluadas, debido a las condiciones adversas como la sequía y la falta de uniformidad y fertilidad del suelo. En la localidad con riego se observó diferencias claras a nivel de todas las características, obteniendo un mejor comportamiento de los compuestos raciales Kulli y Huillcaparu con relación a sus testigos, a nivel de tolerancia a la pudrición de mazorca. En general los cuatro compuestos raciales mostraron características de rendimiento, altura de planta, tamaño de grano, similares o mejores con relación a sus testigos locales.

I. Introducción

En el Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani (CIFP), se seleccionaron las mejores accesiones de 4 razas nativas de los valles interandinos de Bolivia en base a la mayor tolerancia al palmarado, o Achaparramiento del maíz (CSD-Corn stunt disease), en condiciones de campo y a la fusariosis de mazorca con inoculación artificial de *Fusarium* spp. (CIFP-SINARGEAA, 2007). Estas accesiones fueron recombinadas durante 3 años, conformando 4 compuestos raciales de las razas Hualtaco, Kulli, Morocho y Huillcaparu (CIFP-SINARGEAA, 2010). La formación de estos materiales obedeció al objetivo de implementar un modelo dinámico de conservación *in situ* considerando que Bolivia es un centro de diversificación del maíz y que es importante mantener las razas que actualmente existen, con las mejores cualidades sobre todo a nivel de tolerancia a enfermedades y rendimiento (Avila, 2003).

Tanto la fusariosis de mazorca como el palmarado son enfermedades que pueden ocasionar pérdidas significativas, ambas enfermedades han sido registradas en varios países de Centro y Sud América (Virla *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2003, Massola Júnior. *et al.*, 1999; Agreda, 1991 y Gamarra, 1989) y en Bolivia, fue detectado el mollicute *Espiroplasma kunkelli*, causante del palmarado en los departamentos de Santa Cruz, Chuquisaca, Tarija y Cochabamba, con la mayor distribución geográfica (Céspedes y Ávila, 2008).

Se vio la necesidad de evaluar los Compuestos raciales de las razas Hualtaco, Huillcaparu, Kulli y Morocho, para verificar su comportamiento en las zonas de origen y determinar la multiplicación y mantenimiento de aquellos que tuvieran mejor comportamiento y potencial de uso por parte de los agricultores de estas zonas.

II. Material y Métodos

El ciclo agrícola 2010-11, se sembraron los 4 compuestos raciales en 5 localidades (LOC), del valle alto y del valle central de Cochabamba (San Benito y Valenzuela en Punata, Arani, Tuska pujio en Sacaba y Tiquipaya en Quillacollo).

Cada parcela fue sembrada con el diseño de bloques completamente al azar entre agosto de 2010 y enero de 2011. Se incluyeron como tratamientos los cuatro compuestos intra-raciales, además cuatro

variedades mejoradas con características de grano y de adaptación similares a los compuestos raciales, excepto Aychasara 7 que tiene los granos con pericarpio negro similar a la raza Kulli que en lugar de tener el endosperma del tipo morocho es completamente suave por ser un maíz con alta calidad de proteína (QPM). También se incorporaron cuatro variedades locales como testigos, éstas pertenecientes a las mismas razas de los compuestos intra-raciales, por tanto con las mismas características de tipo, tamaño y color de grano y la forma de uso o consumo (Tabla 1).

Tabla 1. Materiales utilizados en el ensayo (MAT)

Compuestos raciales	Testigos población raza	Testigo var. mejorada
Compuesto racial Hualtaco	Hualtaco	Pairumani Choclero 2
Compuesto racial Huillcaparu	Huillcaparu	Pairumani Compuesto 22
Compuesto racial Kulli	Kulli	Aychasara 7 (opaco-2)
Compuesto racial Morocho	Morocho	Pairumani Compuesto 25

Cada unidad experimental estuvo conformada por 4 surcos de 4 a 5 m de largo. Se realizaron lecturas de enfermedades, floración femenina, altura de planta y rendimiento. La evaluación de enfermedades incluyó el monitoreo desde la germinación, para determinar la aparición de palmarado. La pudrición de mazorca se calificó durante la cosecha con una escala de 1 a 5 (1= pudrición inicial o leve y 5=pudrición de 80 a 100 % de la mazorca). En base a esta información, se calculó la incidencia de ataque de la enfermedad.

Los resultados fueron analizados con el programa SAS, con la opción Mixed para cada localidad y en forma combinada y se realizó una comparación de medias para establecer la existencia de diferencias entre los materiales en las características evaluadas.

III. Resultados y Discusión

Se logró completar la evaluación de 3 parcelas de las 5 sembradas, obteniendo el mejor comportamiento del material en la localidad con riego en Valenzuela (Tabla 2). No se observaron síntomas de palmarado en las localidades de Valenzuela, San Benito, Arani y Tuska pujio durante el ciclo de evaluación. Solo en la localidad de Tiquipaya se observaron síntomas al inicio de la floración.

En las localidades sin riego, Arani y Tuska pujio, se observaron diferencias entre los materiales evaluados, para la altura de planta, pudrición de mazorca y peso de 100 granos en el caso de la primera localidad y para porcentaje de plantas a la cosecha, altura de planta y peso de 100 granos en el caso de la segunda localidad, no se observaron diferencias significativas en el rendimiento. En la localidad de Valenzuela, donde se contaron con condiciones óptimas de riego, se verificaron diferencias estadísticas para todas las características evaluadas.

Tabla 2. Resultados del análisis de varianza de las 3 localidades para variedades

Localidad	Plantas a la cosecha (%)	Altura Planta (cm)	Floración femenina (días)	Pudrición Mazorca (%)	Rendimiento (Kg/ha)	Peso 100 granos (gr)
Arani	1,2 ns	6.2 **	0.9 ns	4.4 **	1,4 ns	2,9 **
Tuska pujio	0,7 ns	20.1 **	42.8 **	0.9 ns	1,7 ns	4,8 **
Valenzuela	3,8 **	14.2 **	18.9 **	4.2 **	8,7 **	130,4 **

Tabla 3. Características con diferencias estadísticas en Arani

Materiales	Altura de planta (cm)		Pudrición mazorca (%)		Peso 100 granos (gr)	
Testigo Kulli	127,7	a	1,6	a	52,6	abcd
Aychasara 7	117,8	a	4,4	ab	43,3	abc
Compuesto Racial Kulli	150,7	bcd	2,3	a	35,5	a
Pairumani Choclero 2	139,1	ab	8,1	ab	79,7	e
Testigo Hualtaco	167,2	d	28,4	d	61,4	cde
Compuesto Racial Hualtaco	160,4	d	23,0	cd	63,4	de
Testigo Morocho	139,4	ab	15,6	bc	51,1	abcd
Compuesto Racial Morocho	142,8	abc	2,4	a	39,7	ab
P. Compuesto 25	138,6	ab	11,7	abc	52,4	abcd
Compuesto Racial Huillcaparu	164,0	d	7,0	ab	57,1	bcd
Testigo Huillcaparu	158,3	cd	22,1	cd	52,6	abcd
P. Compuesto 22	156,9	cd	8,0	ab	49,7	abcd

A nivel de promedios, en la localidad de Arani (Tabla 3), se obtuvieron las mayores alturas de planta con el testigo Hualtaco, el Compuesto Racial Hualtaco y el Compuesto Racial Huillcaparu y las menores con el testigo Kulli y la variedad Aychasara 7.

Los niveles de pudrición de mazorca, fueron mayores con relación a las otras localidades. El Compuesto Racial Hualtaco y los testigos locales Hualtaco y Huillcaparu, resultaron con los porcentajes de pudrición mayores, confirmando la afirmación de Ávila, 2008 sobre la mayor susceptibilidad de los maíces harinosos, la cual según este autor se podría deber al efecto pleiotrópico del gene que modifica el tipo de almidón porque el ataque se concentra entre la madurez de masa del grano y el secado del mismo y los maíces de textura blanda o harinosos pierden humedad en forma más lenta con relación a los maíces vítreos o dentados, estando expuestos a la enfermedad por un periodo más largo. Sin embargo, el Compuesto racial Huillcaparu y los testigos harinosos mejorados, mostraron menor incidencia de pudrición, confirmando la efectividad de la selección para este tipo de ambiente, menos agresivo con relación al de las zonas de valle bajo.

El peso de 100 granos fue mayor en el grupo del Compuesto Racial Hualtaco, intermedio en los grupos de los Compuestos Raciales Huillcaparu y Morocho y menor en el grupo del Compuesto R Kulli, coincidiendo con las características mencionadas por Avila, *et al.*, 1998.

Tabla 4. Características con diferencias estadísticas en Tuska pujio

Materiales	Altura planta (cm)		Floracion femenina (dias)		Peso 100 granos (gr)	
Testigo Kulli	116,3	a	56,3	a	27,0	a
Aychasara 7	113,5	a	58,3	a	25,2	a
Compuesto Racial Kulli	156,3	cd	72,5	c	27,3	ab
Pairumani Choclero 2	136,3	b	76,5	d	37,7	de
Testigo Hualtaco	167,0	d	77,8	e	44,3	e
Compuesto Racial Hualtaco	158,0	d	75,3	c	33,7	bcd
Testigo Morocho	144,3	b	70,5	b	35,0	cd
Compuesto Racial Morocho	135,5	b	71,0	b	27,6	ab
P. Compuesto 25	137,0	b	71,3	b	30,3	abc
Compuesto Racial Huillcaparu	166,4	d	80,5	e	29,1	abc
Testigo Huillcaparu	163,8	d	78,3	e	25,5	a
P. Compuesto 22	145,5	bc	79,0	e	31,5	abcd

En Tuska pujio (Tabla 4), el testigo Huillcaparu y el CR Huillcaparu resultaron con las mayores alturas de planta y los testigos Kulli y Aychasara 7 con las menores. En estos últimos materiales, también se registró un menor número de días a la floración femenina mientras que los materiales del grupo del Compuesto racial Huillcaparu fueron los de mayor número de días o los más tardíos.

Por otro lado, se encontraron los resultados más bajos para rendimiento, peso de 100 granos y altura de planta, pero se registraron los promedios más bajos para días a floración femenina y porcentaje de pudrición de mazorca, debido posiblemente a la época de siembra tardía, que permitió contar con una mayor acumulación de horas luz.

Tabla 5. Características con diferencias estadísticas en Valenzuela

Materiales	Plantas a la cosecha (%)		Altura planta (cm)		Floración femenina (días)		Pudrición mazorca (%)		Rendi-miento (kg/ha)		Peso 100 granos (gr)	
Kulli	76,7	b	122,5	a	59,3	a	11,8	d	2768,0	a	43,6	a
Aychasara 7	66,5	a	125,0	a	61,8	a	14,4	d	2723,7	a	42,2	a
CR Kulli	83,2	bc	167,5	b	79,3	c	6,2	bc	3297,0	ab	43,9	a
P. Choclero 2	89,8	c	174,5	b	80,8	d	5,6	bc	5692,4	e	94,0	d
Hualtaco	90,1	c	172,0	b	81,8	e	4,7	abc	5575,4	e	104,5	e
CR Hualtaco	90,3	c	164,5	b	83,0	f	7,2	cd	5199,5	d	93,0	d
Morocho	85,2	bc	157,5	ab	86,5	g	7,3	cd	3566,3	abc	54,4	b
CR Morocho	86,1	bc	157,3	ab	80,5	c	0,3	a	4759,6	d	46,7	a
P. Compuesto 25	85,2	bc	159,0	ab	76,8	b	3,4	ab	4789,0	d	63,6	c
CR Huillcaparu	86,1	bc	168,3	b	88,5	h	4,9	abc	4595,7	d	57,2	b
Huillcaparu	90,3	c	166,3	b	88,5	h	1,2	ab	4536,5	cd	63,9	c
P. Compuesto 22	90,1	c	162,5	b	82,0	i	5,2	abc	5184,8	d	59,5	bc

En la localidad de Valenzuela se obtuvieron diferencias significativas para todos los caracteres observados (Tabla 5). A nivel de porcentaje de plantas a la cosecha Aychasara 7 resultó con el menor porcentaje y la variedad P. Compuesto 22 y el testigo Huillcaparu con el mayor porcentaje. Para altura de planta, P. Choclero 2 y el testigo Hualtaco resultaron con las alturas mayores y Aychasara 7 y el testigo Kulli con las menores. Estos dos últimos materiales también presentaron el mayor porcentaje de pudrición, el cual fue menor a 20 % de incidencia.

Como era de esperar en la localidad con riego (Valenzuela) las variedades mejoradas presentaron mayores rendimientos que las otras variedades similares, excepto Aychasara 7. Los rendimientos de los complejos inter-raciales en Valenzuela fueron significativamente mayores o sin diferencias con relación a las variedades originales, excepto Hualtaco.

Tabla 6. Resultados del análisis de varianza combinado

Fuente de variación	Plantas a la cosecha (%)	Altura planta (cm)	Floración femenina (días)	Pudrición mazorca (%)	Rendi-miento (kg/ha)	Peso 100 granos (gr)
LOC	21,17 **	2,88 ns	17,79 **	32,9 **	42,96 **	40,88 **
MAT	1,55 ns	30,92 **	15,92 **	3,08 **	4,27 **	22,91 **
LOC x MAT	1,29 ns	1,73 *	4,53 **	4,57 **	5,21 **	4,88 **

En el análisis combinado (Tabla 6), se obtuvieron diferencias estadísticas entre localidades (LOC) para las 6 características evaluadas y entre materiales (MAT) y para la interacción (LOC x MAT) en las características de altura de planta, floración femenina, pudrición de mazorca, rendimiento en grano y peso de 100 granos.

Estos resultados indican diferencias en condiciones ambientales y de cultivo entre localidades, las cuales afectaron en forma diferente la expresión de todas las características evaluadas. A nivel de materiales, éstos se manifestaron de forma diferente a nivel de todas las características a excepción del porcentaje de plantas a la cosecha que mostró la misma tendencia en todos los materiales evaluados. Este hecho se verifica con el resultado de la interacción LOC x MAT donde porcentaje de plantas a la cosecha fue la única característica de comportamiento uniforme a diferencia de las otras 5 variables cuya expresión fue influenciada por el ambiente de cada localidad.

Tabla 7. Promedios como resultado del análisis combinado

Localidades	Altura planta (cm)	Floración femenina (días)	Pudrición mazorca (%)	Rendimiento (kg/ha)	Peso 100 granos (gr)	Plantas a la cosecha (%)
Arani	146,9 a	90,2 a	11,2 a	1426,3 a	53,2 a	48,5
Tuska pujio	145,0 a	72,3 b	1,8 b	639,7 a	31,1 b	65,0
Valenzuela	158,1 b	79,0 c	6,0 a	4390,6 b	63,8 c	85,0
Materiales						
Testigo Kulli	122,1 a	69,2 a	5,3 bc	1713,6 ab	41,0 bc	
Aychasara 7	118,7 a	68,8 a	6,9 bc	1519,5 a	36,9 ab	
CR Kulli	158,1 b	81,7 cd	4,0 ab	1998,8 bcd	35,5 a	
P. Choclero 2	149,9 b	82,7 cd	4,9 bc	2801,0 f	70,4 e	
Testigo Hualtaco	168,7 c	83,5 cd	11,0 c	2349,5 de	70,1 e	
CR Hualtaco	160,9 bc	83,0 cd	10,5 c	2307,0 cde	63,4 e	
Testigo Morocho	147,0 b	82,0 cd	9,3 c	1913,9 bc	46,8 cd	
CR Morocho	145,1 b	81,4 c	1,3 a	2168,4 cde	36,0 ab	
P. Compuesto 25	144,9 b	76,9 b	5,7 bc	2468,8 ef	48,8 d	
CR Huillcaparu	166,2 bc	86,3 d	4,5 abc	2126,6 bcde	47,8 d	
Testigo Huillcaparu	162,7 bc	84,4 cd	7,9 bc	2089,1 bcde	47,3 cd	
P. Compuesto 22	154,9 b	85,5 d	4,7 bc	2370,1 def	46,9 cd	

En la localidad de Valenzuela se obtuvieron los mayores promedios de rendimiento, peso de 100 granos, porcentaje de plantas a la cosecha y altura de planta, en cambio en Tuska pujio, se tuvieron los promedios más bajos para estas mismas características a excepción del porcentaje de plantas a la cosecha que fue menor en Arani. Los valores para el número de días a la floración femenina y porcentaje de pudrición de mazorca fueron los menores en esta localidad.

IV. Conclusiones

El comportamiento de todas las variedades fue mejor en la localidad de Valenzuela verificando que las buenas condiciones ambientales y de cultivo, permiten la diferenciación de aquellos materiales con mayor potencial productivo, en este caso, las variedades mejoradas a excepción de Aychasara 7. Por otro lado, estos resultados confirman la experiencia de los agricultores, quienes en las zonas críticas con deficiencias hídricas, no utilizan variedades mejoradas en sus parcelas por no existir diferencias en ren-

dimiento y tolerancia a las principales enfermedades, mientras que en el valle bajo de Cochabamba, zona con riego, son ampliamente difundidas las variedades mejoradas.

En general, en los cuatro compuestos raciales se obtuvieron mejores o iguales resultados con relación a los testigos locales, por lo que éstos podrían constituirse en una nueva opción para los agricultores en las zonas críticas, por su probable mayor cosecha en un buen año agrícola, sin cambiar drásticamente los sabores y usos de sus variedades.

Por otro lado, la escasa respuesta a la selección para la pudrición de la mazorca y al palmarado, muestra que es necesario continuar con esta selección por más ciclos hasta obtener una respuesta visible y que los agricultores de zonas críticas obtengan alguna ventaja por sembrar las razas tradicionales y de este modo recibir un reconocimiento por conservar *in situ* las razas tradicionales en las zonas donde muy difícilmente adoptarán variedades mejoradas.

V. Bibliografia

- Ávila G., L. Guzmán y M. Céspedes. 1998. Catálogo de recursos genéticos de maíces bolivianos, conservados en el Banco de Germoplasma del Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani. Fundación Simón I. Patiño y Fondo Nacional para el Medio Ambiente-Presidencia de la República de Bolivia. Cochabamba, Bolivia.
- Ávila, G. 2003. Estrategias para viabilizar la conservación *in situ* del maíz. IV Simposio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe, Mar del Plata, Argentina.
- Ávila L., G. 2008. El maíz y su mejoramiento genético en Bolivia. Academia Nacional de Ciencias de Bolivia, fundación Simón I. Patiño. Cochabamba, Bolivia.
- Céspedes, M., M. Angulo y J. Vera. 2007. Formación de 4 compuestos raciales. En Informe final del Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani presentado al SINARGEAA. Pg 16-28. Pairumani, Cochabamba - Bolivia.
- Céspedes M. y G. Ávila. 2008. Diagnóstico e incidencia de virus y mollicutes en las zonas maiceras de Bolivia. Tesis Mg. Protección Vegetal y Medio Ambiente, Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas Pecuarias y Forestales. Cochabamba, Bolivia. 68 p.
- Céspedes, M., N. Aguilar y T. Avila. 2010. Formación de 5 compuestos raciales. En Informe final del Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani presentado al SINARGEAA. Pairumani. Cochabamba - BoliviaPg 3-6.
- Gamarra F. M. 1989, Principales problemas fitopatológicos de maíz de altura, IX Seminario Manejo de Enfermedades y Plagas del Maíz, Palmira, Colombia, pp. 145-148.
- Henriquez, P. y D. Jeffers. 1996. El achaparramiento del maíz: Patógenos, síntomas y diagnóstico. En: Síntesis de resultados experimentales del PRM 1993-95. Vol. 5.
- Massola Júnior, N., I. Bedendo, L. Amorin & J. Lopes. 1999. Quantificação de danos causados pelo enfezamento vermelho e enfezamento pálido do milho em condições de campo. Fitopatol. Bras. 24(2).
- Oliveira E., R. de Oliveira, M.P. Gimenez Pecci; G. Laguna; P. Herrera e I. Cruz. 2003. Incidencia de viroses e enfezamentos e estimativa de perdas causadas por mollicutes em milho no Paraná. Esq. Agropec. Bras., Brasilia. v. 38. n.1. p. 19-25.
- Virla E.G., C. G. Díaz, P. Carpane, I. G. Laguna, J. Ramallo, L. G. Goméz y M. P. Giménez-Pecci. 2004. Evaluación preliminar de la disminución en la producción de maíz causada por el "Corn stunt spiroplasma" (CSS) en Tucumán, Argentina. Bol. San. Veg. Plagas, 30:403-4013.

Cultivo de anteras en maíz para la obtención de plantas doble haploides

Noemí Aguilar, Janet Céspedes y Teresa Avila
Centro de Investigaciónes Fitoecogenéticas de Pairumani
n.aguilar@fundacionpatino.org

Resumen

Como alternativa a las técnicas clásicas de selección para la obtención de líneas puras, en los últimos años se utilizan en diversas especies de interés agronómico, técnicas de obtención de doble haploides androgénicos. En este trabajo, demostramos que es posible la formación de callo y regeneración de plantas de maíz de origen androgénico, a partir del genotipo LP-6XPA, utilizando cultivos *in vitro* de anteras en estado uninucleado en medio de inducción suplementado con PAA (30 mg/L) y en el medio MS con vitaminas B-5 suplementado con 2.4-D (5mg/L) y kinetina (0.1mg/L), sin embargo los niveles de respuesta fueron bajos, es necesario continuar con la optimización del medio de inducción a callo ya que se cuenta con un genotipo que tiene respuesta androgénica.

Palabras clave: androgénesis, haploides, regeneración, microspora

Introducción

La producción de haploides y doble haploides son herramientas interesantes ya que permiten acortar el tiempo requerido para la obtención de nuevas variedades, siendo un buen complemento para los programas de mejora tradicionales. La producción de haploides es una alternativa biotecnológica de gran importancia y ha resultado exitosa en varios cultivos, entre ellos cebada, arroz, maíz y trigo (Levitus *et al.*, 2010).

Las metodologías disponibles para obtener cantidades considerables de haploides duplicados permitirán que el fitomejorador fije sistemas genéticos de gametos individuales, que sean reducidos y fáciles de evaluar en cualquier etapa del proceso de mejoramiento; se obtendrán así líneas homocigóticas sin pasar por el proceso de endogamia normal (Roca *et al.*, 1991).

Las células gametofiticas microsporas o megasporas se pueden inducir, en cultivo *in vitro*, a abandonar su curso ontogenetico normal para seguir un vía esporofitica que conduzca a la formación de esporofitos haploides. El proceso se llama androgénesis cuando las microsporas originan embriones y plantas. La androgénesis, obtenida mediante el cultivo de anteras, es la técnica más ampliamente usada para la inducción de haploides y ha demostrado tener gran importancia para el fitomejoramiento (Roca *et al.*, 1991). La principal ventaja del cultivo de anteras es que, potencialmente, cada micróspora puede dar origen a una planta (Bhojwani y Razdan, 1996).

Aunque en la mayoría de los casos se producen plantas haploides estériles, en algunas especies ocurre una duplicación espontanea de los cromosomas, en las etapas de desarrollo del callo y de regeneración de la planta (Roca *et al.*, 1991). Si bien la optimización de las condiciones para el cultivo de anteras ha mejorado la eficiencia del método a través de los años, es indispensable ajustar las condiciones para adaptar la técnica a las necesidades locales en cada situación particular (Polci *et al.*, 2005).

El cultivo de anteras es una herramienta útil para la obtención de líneas puras. Sin embargo, la aplicación exitosa de esta técnica en el cultivo de maíz, depende en gran medida de la respuesta androgenetica de los genotipos y de la frecuencia de inducido espontaneo de duplicación de cromosomas, en las plantas en las cuales se origina la microespora (Barnabas, 2003).

El objetivo de este trabajo fue optimizar las condiciones para la obtención de doble haploides mediante el cultivo de anteras, con el fin de incorporarse

como herramienta complementaria en el programa de mejoramiento de maíz en el Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani (CIFP).

Materiales y Métodos

Todos los materiales utilizados en el presente trabajo provienen del programa de mejoramiento genético de maíz del CIFP. Las plantas utilizadas como donantes de anteras fueron cultivadas en condiciones de campo durante la estación normal de crecimiento de maíz, entre los años 2012-2014. Como donantes de polen para los cruzamientos se utilizaron cuatro genotipos de maíz que corresponden a HP-104, ♂ del hibrido 19, ♀ del hibrido 19 y LP-6XPA.

La identificación del estadio de desarrollo de las micrósporas fue realizado en las anteras mediante tinción con carmín acético, el cual permitió identificar las micrósporas uninucleadas, que fueron halladas en anteras de 3 - 4 mm de longitud. El estadio de las micrósporas es un factor muy importante para lograr respuesta androgénica, motivo por el cual se observó al microscopio cada una de las flores masculinas con las que se trabajó.

Después de cosechar las flores masculinas en estado uninucleado, se procedió a cubrirlas con aluminio y almacenarlas en oscuridad a 7°C por una semana. Posterior al pretramiento, se eliminaron las partes superior e inferior de las espiguillas, las centrales fueron conservadas y desinfectadas superficialmente. La desinfección consistió en inmersión de las espigas en una solución de hipoclorito de sodio a 2% por 30 minutos, después se enjuagaron con agua destilada estéril en tres repeticiones. Las anteras fueron aisladas en condiciones asépticas y cultivadas en un medio con colchicina en una concentración de 30mg/l, esterilizada por filtración. El medio más la colchicina fue dispensado en cajas petri. Las anteras fueron inoculadas sobre el medio y se dejaron por 3 días hasta que la microspora complete su primer estadio mitótico, posteriormente se trasfirieron las anteras a un medio de inducción libre de colchicina.

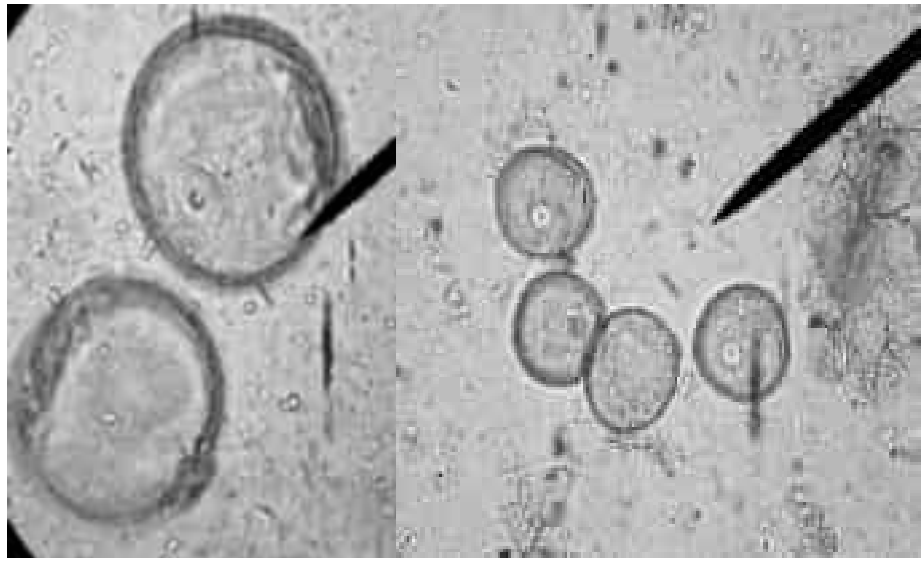
Se utilizaron dos medios de inducción: el medio YP suplementado con tres auxinas en diferentes niveles ácido fenilacético (PAA; 20, 40 y 60 mg/L), ácido 2,4-diclorofenoxi-acético (2-4-D: 6 mg/L) y ácido triiodobenzóico (TIBA: 0.1, 1 y 2mg/L) y el medio MS con vitaminas B5, suplementado con 2.4-D (5mg/L) y kinetina (0.1mg/L). Las anteras fueron cultivadas en el medio de inducción e incubadas a 25°C en oscuridad con humedad relativa de 70% por un mes. Los callos formados en el medio de inducción fueron transferidos a un medio de regeneración N6 suplementado con kinetina 1.0 mg/l y ácido naftalen acético ANA 0.5 mg/l e incubados a 25°C en oscuridad con humedad relativa de 70%.

Resultados y Discusión

El genotipo es quizás el factor más importante que afecta el cultivo de anteras, la variabilidad en la respuesta se ha hallado entre especies y dentro de ellas y se ha demostrado la heredabilidad de esta respuesta (Roca *et al.*, 1991). En el presente trabajo, de los 4 progenitores: HP-104, progenitor ♂del hibrido 19, progenitor ♀ del hibrido 19 y LP-6XPA, solamente éste último respondió al cultivo de anteras con la formación de callo y regeneración. Obert (2005) indica que las condiciones de la inducción de embriogénesis de microsporas en el maíz se han mejorado, pero aún no ha sido desarrollado un sistema de cultivo eficiente, debido a que el cultivo de anteras de maíz es altamente dependiente del genotipo

Los estadios uninucleado medio y tardío han sido citados como los más adecuados para obtener respuesta al cultivo de anteras *in vitro* (Sesek *et al.*, 1994), en el presente trabajo se cosecharon las inflorescencias masculina cuando éstas estaban en estado uninucleado (figura1) las cuales completaron su desarrollo durante el pretratamiento en frio, llegando al estado uninucleado tardío al final del mismo. Según Barnabas (2003) el estado óptimo de desarrollo para la androgenesis *in vitro* es donde las microsporas se encuentran uninucleadas tardías y pre mitóticas.

Figura.1. Microsporas en estado uninucleado

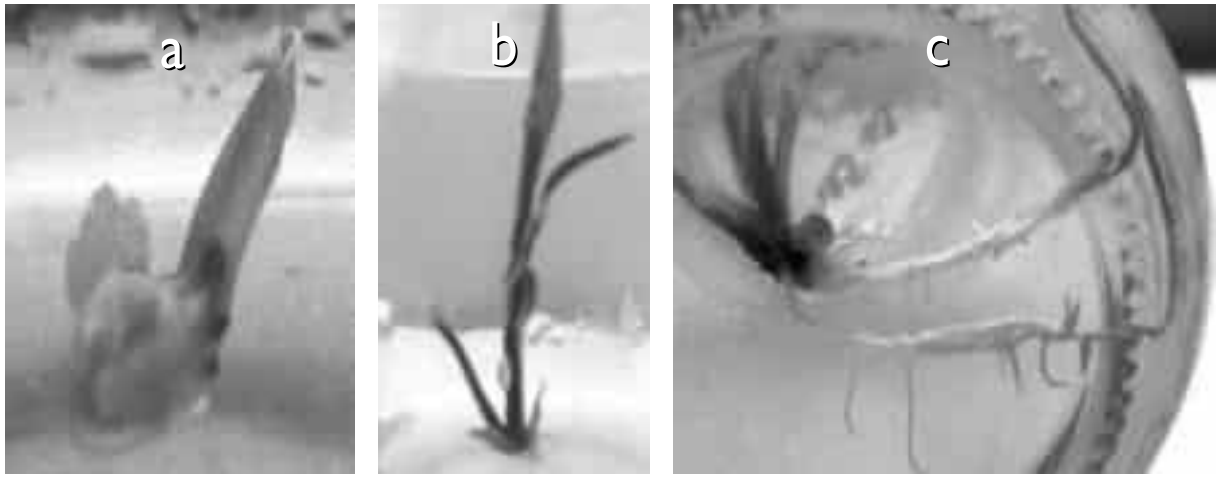


Los medios de inducción de callo YP con PAA (30 mg/L) y el medio MS con vitaminas B5, 2.4-D (5mg/L) y kinetina (0.1mg/L), fueron los que permitieron obtener callo (figura2) en el progenitor LP-6XPA. Obert (2005) indica que unacombinación de auxinas (principalmente ácido 2,4-D a una concentración de 4.5-9 mM) y citoquininas (principalmente kinetina y 6-bencilaminopurina BA a una concentración de 2-9mM) puede inducir el desarrollo esporofitico de las microsporas.

Figura.2. Formación de callo embriogénico a partir de anteras

A partir de los callos embriogénicos formados en el medio de inducción, que fueron transferidos al medio de regeneración N6 suplementado con kinetina 1.0 mg/l y ANA 0.5 mg/l, se logró la regeneración de plántulas a partir de los cuatro días de ser colocados en el medio de inducción (figura3). Según Obert (2005) la calidad de las estructuras es un factor muy importante con respecto a la regeneración de plantas, la estructuras embriogénicas derivadas de microsporas, deben ser morfológicamente completamente diferenciadas antes de su transferencia al medio de regeneración para poder convertirse en plantas.

Figura.3 Desarrollo de planta a) después de 4 días b) después de 4 semanas c) desarrollo de raíz



Conclusión

De los resultados obtenidos en el presente trabajo, se pudo confirmar que la respuesta androgénica es compleja, dependiente de la interacción de factores como el genotipo, las condiciones de cultivo y el estado fisiológico de las plantas donantes de anteras. El genotipo que respondió al cultivo de anteras fue el LP-6XPA, logrando la formación de callo embriogénico y posterior regeneración de plántulas. Los niveles de respuesta androgénica obtenidos con los medios YP adicionado con PAA (30 mg/L) y el medio MS con vitaminas B-5, 2.4-D (5mg/L) y kinetina (0.1mg/L) fueron en general bajos, por lo que se hace necesario seguir optimizando el medio de inducción a callo ya que se cuenta con un genotipo que tiene respuesta androgénica.

Bibliografía

- Barnabas B. 2003. Double Haploid Production in Crop Plants. Ed. Springer Science New York pp.103-108
- Gabriela Levitus G., Echenique V., Rubinstein C., Hopp E. y Mroginski L. 2010. Biotecnología y Mejoramiento Vegetal II. Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología. INTA pp. 302-305
- Obert, B., Szabo s., Mityko J., Pretova A., y Tabarnaba V. 2005. Morphological Events in cultures of mechanically isolated maize microspores. In Vitro Cell. Dev. Biol.—Plant 41:775–782
- Polci P., Conti V., Aldao. 2005. Obtencion de Planntas Haploides de Cultivares Argentinos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) por cultivo de anteras y cruzamiento con maiz. INTA, Argentina RIA, 34 (3): 151-176.
- Roca W.M., y Mroginski A. L. 1991. Cultivo de tejidos en la agricultura: Fundamentos y aplicaciones. CIAT, pp. 272-282.

Selección familiar de medios hermanos en la variedad de maíz Waltaco para tolerancia a *Fusarium* sp. *(Chaqui Onghoy)* en el valle alto de Cochabamba[1/]

Walquer Arandia[2], Tito Claure[3]

1/ Trabajo elaborado para su presentación a la XXI Reunión Latinoamericana a realizarse en el Salón Chiquitano de la FEXPOCRUZ, Santa Cruz del 29 al 31 de octubre 2015.

2/ Técnico del Programa Maìz del INIAF, sede de trabajo Cochabamba, Bolivia. Cel. 67409248 luiswalquer@gmail.com
3/ Coordinador del Programa Nacional de Maùiz, Sede de trabajo Yacuiba, Bolivia Cel. 71865043 tclaure@hotmail.com.

Resumen

En el Valle Alto de Cochabamba uno de los rubros de mayor importancia económica en la provincia German Jordán es la producción de maíz Wualtaco; sin embargo, en los últimos años se observa una incidencia de enfermedad denominada "Ch´aquí Onqhoy" que significa enfermedad que seca el maíz, que afecta en un 20% del área cultivada en la producción y la economía de los productores, está localizado entre los paralelos 17° 35' 05" de latitud sud y 65° 57' 15" de longitud oeste, abarca la parte central de la subregión del Valle Alto del departamento de Cochabamba a 37 Km. De la capital departamental. En la actualidad uno de los problemas que enfrenta esta variedad, es la deficiencia en algunas características fenotípicas, como ser la excesiva altura de planta (que dificulta la cosecha), diferencias en la madurez (por lo que se busca precocidad y/o madurez homogénea), altura de inserción de mazorca, tamaño de mazorca, tamaño y forma del grano y principalmente la resistencia o tolerancia a las enfermedades. Como resultados de la presente investigación, se ha logrado disponer de material genético con tres ciclos de selección bajo la metodología de la selección familiar, con participación de los productores, se logró seleccionar 16 familias con la más baja incidencia al patógeno y bajo la supervisión del Programa Maíz del INIAF, los productores lograron producir 30 toneladas de semilla de la variedad Waltaco con categorías Básica, Registrada y Certificada.

Palabras clave: Wualtaco, medios hermanos, Chaquionghoy, enfermedad

Introducción

Los maíces blandos de consumo humano en el Valle Alto de Cochabamba, pertenecen al Complejo Harinoso del Valle. Uno de los más difundidos, es el maíz blanco llamado Waltaco de Cliza, utilizado como alimento humano en forma de choclo o maíz en estado tierno y mote cuando está seco el grano. Este agro-eco tipo de maíz Waltaco presenta características particulares como ser el contenido de almidón y azúcares y tamaño de grano grande, en estado tierno (choclo). Esta calidad y tradición de cultivo, hacen de esta variedad una de las de mayor demanda para el consumo en mazorca fresca en los principales centros urbanos del país.

Uno de los problemas en el rendimiento del cultivo del maíz blanco "Hualtaco", sobre todo en las provincia Germán Jordán, es la presencia de la enfermedad conocida por los agricultores como "Cha'quiOnqhoy" que en español quiere decir "enfermedad seca del maíz" que afecta por lo menos el 20% del área cultivada. La enfermedad afecta los vasos conductores del tallo del maíz, donde se encuentra el xilema y el floema por las que circula el agua y los nutrientes para la planta, estos vasos son obstruidos cuando la enfermedad penetra en la planta y anula la libre circulación de los nutrientes y el agua. (De León 2014).

Objetivos

Aplicar la metodología de selección familiar de medios hermanos para tolerancia a *Fusarium* sp. (Chaqui onghoy) en el Valle Alto de Cochabamba,

metodología sugerida por Claure, 1990 y practicada por De león, 2014.

Objetivos específicos

Utilizar la metodología de selección familiar para disminuir la incidencia al patógeno causante de la enfermedad en la variedad Waltaco de Cliza.

Capacitar a productores de la Asociacion de Semilleristas (ASOPROD)

Producir un volumen de semilla de calidad que permita atender la demanda del mercado.

Material y Metodología

El trabajo de investigación se realizó en los municipios de Cliza y Toco. El Municipio de Cliza primera sección de la Provincia Germán Jordán del Departamento de Cochabamba, está localizado entre los paralelos 17° 35' 05" de latitud sud y 65° 57' 15" de longitud oeste, abarca la parte central de la subregión del Valle Alto del departamento de Cochabamba a 37 Km. De la capital departamental

El trabajo de investigación se ha iniciado con la colecta de la variedad en campo de los productores y en las propias parcelas en planta, seleccionado previamente 250 mazorcas de diferentes comunidades de Cliza que pertenece a la provincia Germán Jordán en el departamento de Cochabamba.

Para tener el material base de trabajo, se ha desgranado cada mazorca en sobres separados, previamente identificado y posteriormente se ha formado la mezcla balanceado con igual número de semilla la que constituye el mach0, la siembra se lo realizó en una relación de tres surcos de hembras y un macho cada familia en un surco de 5 metros de largo.

Resultados y Discusión

Con base a una presión de selección interfamiliar y otra dentro las familias previamente seleccionadas con una presión de selección del 20 %, se logró seleccionar las mejores 13 familias con incidencia mínima de 1,0 y mayor rendimiento, material genético que luego servirá para formar una variedad sintética con tolerancia a *Fusarium*.

Familias	Incidencia de la enfermedad (%)	Tukey (P=0,05)
132	1,0	a
85	1,0	a
64	1,0	ab
112	1,0	ab
136	1,0	ab
135	1,0	ab
28	1,0	ab
155	1,0	ab
128	1,0	ab
127	1,0	ab
126	1,0	ab
3	1,0	ab

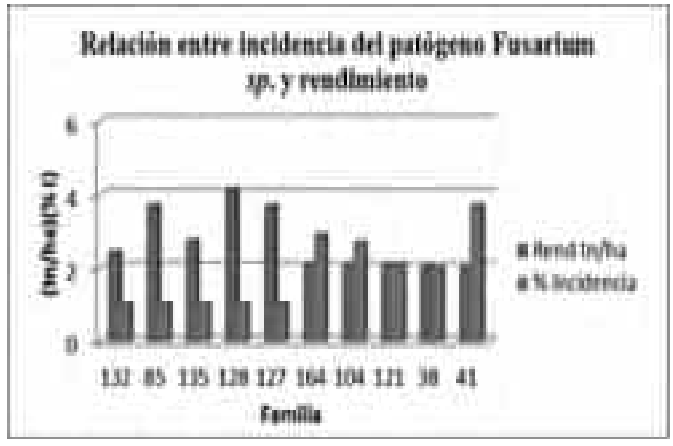


Figura 1. Familias seleccionadas considerando el rendimiento y la incidencia del patógeno.

Fotografía 1. Mazorcas de maíz seleccionadas con la menor incidencia a Fusarium.

Si bien la selección se realizó considerando el rendimiento y la incidencia de la enfermedad, se tomó también en cuenta la selección estrictamente para incidencia de la enfermedad, nuevamente fueron aplicadas la presión de selección del 20 %, resultando otras las familias seleccionadas; sin embargo, coincidieron al menos 6 familias como las mejores con baja incidencia de la enfermedad y buen comportamiento en el rendimiento de grano.

Familias	Incidencia de la enfermedad (%)	Tukey (P=0,05)
117	1,0	A
28	1,0	A
154	1,0	A
65	1,0	A
52	1,0	AB
145	1,0	AB
64	1,0	AB
74	1,0	AB
51	1,0	AB
63	1,0	AB
128	1,0	AB
127	1,0	AB
126	1,0	AB
3	1,0	AB
78	1,0	AB
66	1,1	ABC
145	1,1	ABC

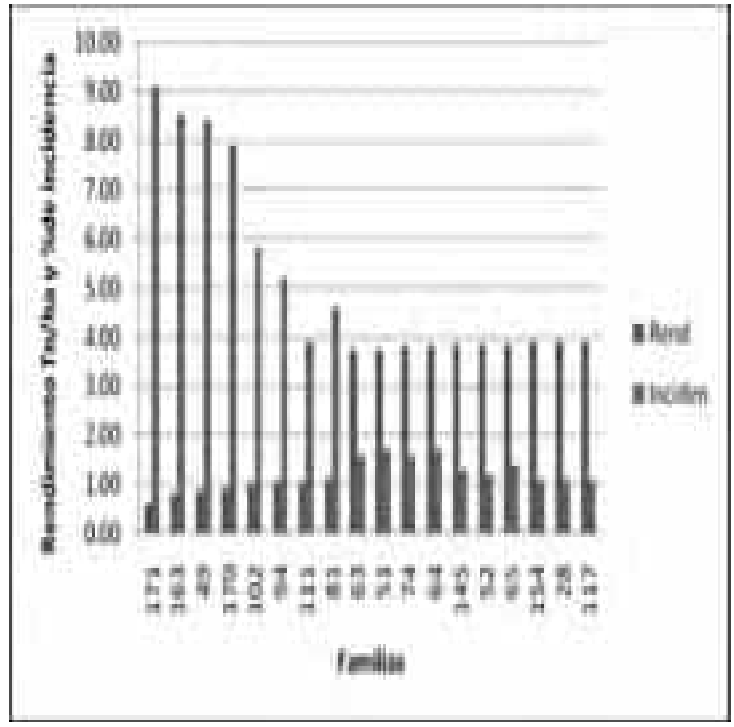


Figura 2. Selección de familias con base estrictamente a la incidencia de *Fusarium*

Evaluaciones participativas

En la localidad de Cruz Pata municipio de Cliza se ha realizado la evaluación participativa con la participación de los socios de ASOPROD el gobierno autónomo de Cliza y la asistencia de técnicos y voluntarios de KOPIA CENTER en Bolivia, asistiendo un total de participantes de 43 personas entre técnicos y agricultores.

Se ha trabajo participativamente con los productores en la selección de las mejores familias, quienes además de la enfermedad prefieren mazorcas de grano grande, pero nunca realizaron esta práctica en planta y en campo, metodología sencilla que ha demostrado el interés de los productores, sobre todo cuando ellos son parte de la selección, en la figura 3, se muestra el puntaje ponderado con la menor incidencia de la enfermedad, considerando 180 familias de medios hermanos en la selección..

En la figura 3, se muestra a 16 familias seleccionadas; sin embargo, las familias 45, 35, 30, 20 y 15 son las mejores consideradas con la calificación de bueno y las familias 24, 21 y 18 como regulares, familias que posteriormente serán sometidas a una infestación artificial con el patógeno para verificar su tolerancia.

Se identificaron 4 características estrechamente relacionadas con incidencia de Fusarium: días a floración masculino (mayor diferencia de día a floración masculino), días a floración femenino (mayor diferencia de días a floración femenina), número de plantas cosechadas (mayor diferencia de número de plantas cosechadas), rendimiento (mayor diferencia de rendimiento). Esto significa que las plantas con mayores días a floración masculina, femenina y mayor número de plantas cosechadas con mayor rendimiento son las que presentan menor incidencia de infestación del patógeno *Fusarium* sp. denominado Ch´aquí Onqhoy.

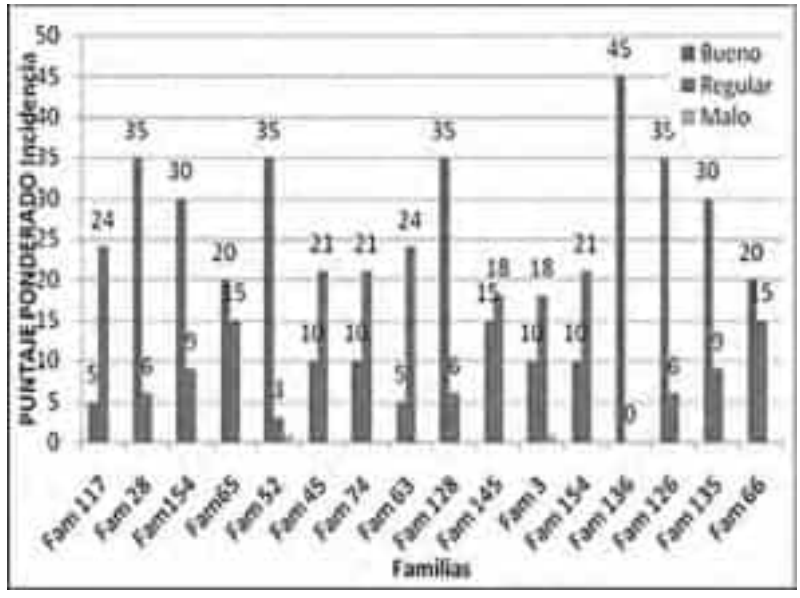


Figura 3. Puntaje ponderado de las mejores familias con base a una evaluación participativa con productores.

Las familias 28, 154, 65, 52, 45, 136, 126, 135 son las que recibieron las mejores puntuaciones todas estas familias tienen un puntaje y aceptación mejor de los productores, seguido por las familias 74, 63 145, 128,3 y 154 que recibieron una puntuación regular con una ponderación de aceptación 23 a 25 porciento ponderado.

Producción de Semilla

Bajo la supervision del Programa Nacional de maìz del INIAF, se ha logrado registrar la variedad mejorada como Waltaco de Cliza, registro que le confiere al productor de semillas la garantia de poder certificar y vender la semilla en diferentes ca-

tegorías, ademas de que garantiza la calidad de la semilla puesta a disposición de los productores.

En la presente campaña agrícola, la Asociaciòn de productores semilleristas, han recibido la capacitación de personal técnico del INIAF sobre mantenimiento varietal para producción de semillas y sobre normas de certificacion de semillas. Así mismo, han logrado producir 700 qq de semilla que significa, aproximadamente 30 toneladas de semilla de calidad.

Nº	Categoría	Productores	Cantidad qq	Total qq
1	Genética	INIAF PN- Maíz	11	1
2	Básica	Vidal Ponce, Roxana Calustro, Fernando Escóbar, Marcos Vocal	7	40
3	Registrada	Socios de ASOPROD	250	250
4	Certificada	Socios de ASOPROD	408	408
			Total	**700**

Cuadro 2. Producción de semilla por categoría expresado en qq (46 kg/qq)

Conclusión

- Se dispone de material genético con tres ciclos de selección bajo la metodología de la selección familiar.
- Se dispone de 250 familias de medios hermanos de la variedad Waltaco.
- De acuerdo a la presión selectiva se tiene 13 familias identificadas con baja incidencia y alto rendimiento.
- Con participación de los productores, se logró seleccionar 16 familias con la más baja incidencia al patógeno.
- Se produce semilla de la variedad Waltaco con categorías Básica, Registrada y Certificada.

Bibliografía

- Claure, I.T. 1990. Mejoramiento de maíz en el Centro Fito técnico de Pairumani, Bolivia, por selección masal y selección combinada de medios hermanos. Tesis para optar el grado de maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- De Leòn C. 2014. Enfermedades del maìz. Curso de Capacitacion en CIMMYT, Mexico.
- Paliwal, R.L. & Llanos L.J. 2000. Improving adaptation and yield dependability in maize in the developing world. México, DF, CIMMYT.
- Gonzales I. y Arias Y. 2010. Aspectos generales de la interacción de Fusarium en trigo y maíz, Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA).

El uso del sistema de labranza cero y riego por goteo en la producción de maíz amarillo duro

Pedro Hugo Injante
Programa Nacional de Innovación de Maíz
Instituto Nacional de Innovación Agraria, E.E. Vista Florida. Lambayeque, INIA Perú
pinjante@inia.gob.pe

Resumen

Se estudió el efecto comparativo del sistema de siembra con labranza cero (LC) y labranza tradicional (LT), la eficiencia del sistema de riego y del uso de sensor remoto greenseeker (NDVI) en la fertilización del maíz amarillo duro, trabajo realizado en 02 campos de 0.5 ha, con por espacio de 04 campañas agrícolas, ambos campos han rotado entre maíz, soya. Se muestrearon los suelos a dos profundidades (0-30 cm y 30 - 60 cm) Los cuales fueron sembrados con el hibrido simple de maíz amarillo duro denominado INIA 619 "Megahíbrido". El análisis de los resultados revelo para LC un aumento significativo de MOS en la superficie del suelo, con respecto al LT. Se determinó que datos superiores de NDVI a 0.83 no requiere tener suplementos de fertilización y que el consumo de agua fue de 3,300 m^3/ha con riego por goteo en LC y de 4700 m^3 en LT. A la cosecha se observaron diferencias significativas al obtenerse 12.9 t/ha en LC y 9.3 t/ha en LT de grano de maíz respectivamente.

Palabras Claves: Labranza Cero, Labranza Convencional, Agricultura de Precisión, Maíz

I.- Introducción

El Perú no está ajeno al cambio climático y a sus manifestaciones ambientales severas del Fenómeno del Niño (FEN); ni a las extremas y prolongadas sequias en todo el territorio nacional, razón que obliga a replantear el uso de siembras alternativas, con el fin de mantener el CO_2 en el suelo y evitar su pérdida en el medio ambiente. (OPS, 2000). De esta manera el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), que desde el año 2004, está obteniendo importante experiencia en manejo del suelo con el Sistema de Labranza Cero (LC), tecnología que nos permite obviar el uso de las maquinarias e implementos agrícolas (PNIMA. INIA 2010). Indicando que con el LC en los últimos 10 años, ha logrado reducir hasta un 45% en los costos de producción de los cultivos, en especial con el maíz (INIA 2013), coincidiendo con Violic Alejandro1998). La conversión de labranza tradicional a labranza cero, provoca incrementos en el contenido de carbono orgánico de la MOS (Reicosky *et al.*1995). Con respecto al uso del agua de riego en el cultivo del maíz, el INIA ha determinado la dosis exacta de agua para el LC y LT, de igual manera se identificó al mejor sustrato vegetal a ser utilizado como Munch en LC, dichas tecnologías interactúan eficientemente, reduciendo los costos de producción de cada cultivo sembrado e incrementando la rentabilidad a más del 100%. (Injante Pedro 2014).

Pero desde el año 2013 el INIA, con el fin de mejorar la eficiencia en el manejo agronómico del maíz, en ambos sistemas de labranza, utilizo el GreenSeeker el cual ha sido evaluadas en otros países, principalmente en cultivos como arroz, maíz, trigo y algodón, y forman parte de las herramientas disponibles en la agricultura de precisión (Lawton 2008). Este equipo manual determina el estado de verdor de la planta (NDVI) y la fertilización nitrogenada, con pruebas que se realizaron en varias etapas fenológicas del cultivo (Narro Luis *et al.* 2013).

Objetivos

a) Evaluar el efecto de 02 tecnologías, en sistema de labranza cero (LC) y labranza tradicional (LT) y sistema de riego por goteo, en el cultivo del maíz amarillo duro.
b) Determinar la relación del NDVI y el rendimiento de maíz en distintas etapas del ciclo del cultivo

II.- Materiales y Métodos

El presente experimento se instaló en el Instituto Nacional de Innovación Agraria, Vista Florida Lambayeque. En un lote con (LC) y otro lote con (LT) cada uno de 0,25 hectáreas. Eran lotes experimentales contiguos, que siempre han sido sembrados con maíz en base a la agricultura convencional, obteniendo rendimientos promedios de 4 t/ha, con lo cual no se cubrían los costos de producción (PNIMA 2004).

A partir del año 2005 el INIA, realizo las primeras siembra del maíz con sistema de Labranza cero (LC), obteniendo resultados muy alentadores. Pero estos resultados no estaban documentados por lo que se procedió a instalar 02 nuevos lotes para evaluar diferente sistema de labranza. Iniciándose el 20.03.2011 y término el 15.09.2014. Ambos lotes cuentan con sistema de riego por goteo a los cuales se les tomó muestras de suelo compuesta en dos diferentes profundidades (0-30 cm y 30-60 cm) para ser analizadas en laboratorio. Se determinó el contenido de MOS a través del carbono orgánico del suelo (COS) (Walkley - Black), Nt (Kjeldahl), Pd (Olsen), Kd (acetato de amonio 1N y pH 7), y relación C/N, la Da se determinó con el método del cilindro, S se obtuvo por fórmula (S = 1 – (Da/Dr*)), para RP se utilizó un penetrómetro; Spectrum, CC se midió por el método gravimétrico, PMP se obtuvo de la curva característica y HA por la diferencia entre CC y PMP. Se muestra el análisis de suelo inicial de ambos lotes en el año 2011, mostrando las siguientes características. Cuadro N°1.

Cuadro N°1. Características físicas y químicas de los 2 lotes destinados a ser sembrados en LC y LT (INIA, Vista Florida 2011)

Lotes en estudio	pH	CIC (Mmhos-1)	Materia Orgánica M.O	Densidad Aparente (g/m3)	Fosforo (P205)	Tipo de Suelo
Lote 1a (LC) (30 cm)	8.1	5.5	1.2	2.8	7.5	Franco Arcilloso
Lote 1b (LC) (30 -60 cm)	7.9	5.2	1.0	2.6	7.2	Franco arenoso
Lote 2a (LT) (0-30 cm)	7.6	3.8	1.4	2.6	8.2	Franco Arcilloso
Lote 2b (LT) (30 -60 cm)	7.5	3.3	0.8	2.4	8.0	Franco arenoso

Fuente: INIA Vista Florida (Laboratorio de suelo), año 2011. DA = Densidad Aparente

Preparación Inicial del suelo a instalar el sistema de Labranza Cero

Antes de iniciar la preparación del suelo para LC y LT se midió la compactación del suelo con un equipo manual denominado Penetrometro "Spectrum" el mismo que se hizo un plano y se señalizo en campo con un GPS para georeferenciar cada punto muestreado. En el lote LC, se recurre al uso del subsolador, con el fin de rajar el suelo, pero solo en el sentido de los futuros surcos donde se sembraría maíz u otros cultivos. De esta manera, si uno determina sembrar maíz amarillo duro a 0,75 m entre surco y surco, se tendría un total de 135 surcos por hectárea. Posteriormente, se muestrer el suelo en zig-zag, separando un kilo de tierra para hacer el análisis respectivo. Luego se procede a rellenar con compost: melaza (proporción en kilos de 1000:10) a todas las rajaduras del suelo subsolado**.** A continuación se extienden las cintas de riego y se procede a humedecer el terreno a ambos lados de la cinta en una banda de 20 cm de ancho. Cuando el terreno está en capacidad de campo, se procederá a tratar la semilla de maíz con bacterias solubilizadoras del fosforo (P) "*Pseudomonas fluorescens*" y se controló los gusanos de tierra (*Agrotis* spp.*; Feltia experta*) con Thiodicarb, a razón de 200 ml por bolsa de 20 kilos de maíz.

El manejo del cultivo es idéntico que el convencional con la diferencia, que cuando la planta tiene 20 cm de altura, se procede a cubrir el campo en su totalidad, con munch (rastrojo de paja de arroz). A la cosecha, se deja el rastrojo y se esparce en el cam-

po, inmediatamente se puede sembrar otros cultivos como leguminosa de grano o soya.

Preparación del Campo con Labranza Tradicional (LT)

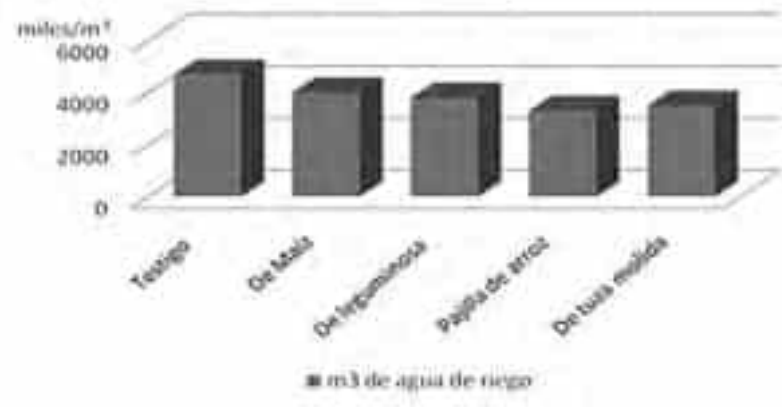
Se gradeo el suelo para que este suelto y esponjoso, posteriormente se pasó una rastra liviana y se nivelo el suelo. A continuación se extienden las cintas de riego y se procede a humedecer el terreno a ambos lados de la cinta en una banda de 20 cm de ancho. Cuando el suelo estuvo en capacidad de campo se procedió a sembrar.

Uso del rastrojo vegetal o Munch en la labranza cero.

En la campaña 2004 - 2005, el INIA y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, de Lambayeque, probaron diferentes rastrojos de vegetales (Munch), con el fin de determinar cuál era el más eficiente en conservar la humedad del suelo del cultivo de maíz. Los resultados indicaron que el rastrojo de arroz supera a los demás en eficiencia y seguido en importancia por la tuza de maíz, que se esparce previamente por los campos de cultivo. Ver Gráfico N°1

Grafico N°1. Resultados obtenidos con diferentes tipos de rastrojos y sus diferentes porcentajes de retención de humedad en el suelo, de cada uno de ellos. Con el cultivo del maíz (desde la siembra a la cosecha) Tesis INIA - UPRG 2004 - 2005.

Tipo de rastrojos y agua utilizada en el cultivo de maíz



El uso del agua de Riego por Goteo

En la campaña 2006 -2007 se comparó los diferentes métodos en riego por gravedad en el cultivo del maíz amarillo duro, se midió el consumo de agua, en forma diaria hasta concluir todo su estado fenológico. Habiéndose ahorrado 1500 m^3 cuando el munch era de la paja de arroz. En el año 2011 -2012 se comparó la cantidad de agua de riego por goteo, durante todo su estado fenológico del maíz, en los lotes con LC y LT.

La fertilización del Maíz en base a herramientas de agricultura de Precisión.

Con el aparato manual denominado Grenseeker, el mismo que utiliza diodos que emiten la luz y nos permite calcular el NDVI ("Normalized Difference Vegetation Index"). Al separar la luz incidente natural por instrumento electrónicamente. Este se define como:

NDVI = (NIR-RED)/ NIR+RED

Siendo **RED** (µmol m^{-2} s^{-1}) la radiación roja incidente sobre la superficie vegetal y **NIR** (µmol m^{-2} s^{-1}) como la radiación infrarroja cercana reflejada por ella. Las evaluaciones se realizaron cuando la planta estaban en estado fenológico de V6 y V10 (Luis Narro *et al.*2103; García José 2015).

III. Resultados Y Discusión.

En el cuadro N° 3. Se observa los datos comparativos de los 2 sistemas de Labranza (LC) y (LT) en el cultivo del maíz amarillo duro INIA 619 Megahibrido. Vista Florida 2014.

Sistemas de Labranza a Evaluar	CONSUMO MENSUAL DE AGUA EN m^3 (En todo el estado fenológico del cultivo de maíz)					VOLUMEN TOTAL (m^3)
	1	2	3	4	5	
Labranza Tradicional (LT)	600	1000	1800	800	500	4700
Labranza Cero (LC)	600	700	1400	400	200	3300
AHORRO						1400

En el cuadro N°3 podemos ver que se utilizó en LC al rastrojo de arroz como Munch, a razón de 10 tm/ha. Esto permite que solo 3300 m^3 de agua de riego por goteo se requiera para mantener la humedad del suelo en capacidad de campo y durante todo el periodo fenológico que dura el cultivo. Con ello, se estaría ahorrando considerable energía en la planta de maíz. Cuando se compara el consumo de agua LC y LT. Existe un ahorro de 1400 m^3 de agua de riego por goteo. En el cuadro N°4, se presenta el resumen de los diferentes parámetros evaluados, en las 06 últimas campañas del cultivo del maíz, y donde se compara entre Labranza Cero (LC) vs Labranza Tradicional (LT) de esta manera se presenta rendimiento (t/ha); reducción de malezas y control de plagas (lepidópteros).

Cuadro N°4. Diferencias en la conducción del maíz amarillo duro INIA 619 "Megahibrido" entre rendimientos (t/ha), % de malezas y control de plagas entre labranza cero (LC) vs siembra tradicional (LT). INIA - Vista Florida del 2011 al 2014)

Tratamientos	Sistemas de Labranza	Años (Campañas de Siembra del Cultivo de Maíz)					
		2011 (2)	2012 (1)	2012 (2)	2013 (1)	2013 (2)	2014(1)
Rendimientos (t/ha)	Labranza Cero (LC)	4.7	7.8	11.0	11.5	12.3	12.9
	Tradicional (LT)	7.5	8.5	9.0	9.8	10.0	9.3
	Diferencias entre Sistemas de Labranzas	- 2.8	- 0.7	2.0	1.7	2.3	3.6
(%) de Reducción de las Malezas	Labranza cero (LC)	100	65	25	20	20	
	Tradicional (LT)	100	70	60	60	50	40
N° de aplicaciones Control de plagas	Labranza Cero (LC)	7	3	3	2	2	2
	Tradicional (LT)	7	6	5	5	4	4

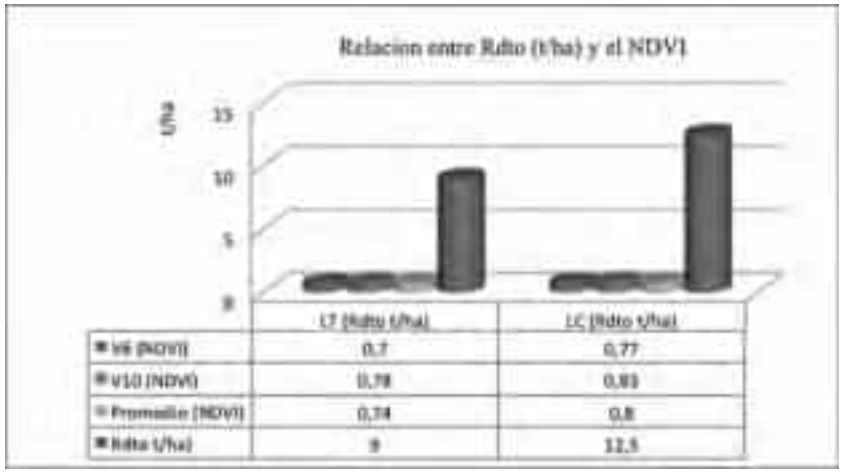
El número (1) indica que son campaña de verano y el (2) de invierno.

Según el cuadro N°4. Solo al inicio las 02 primeras campañas en LT supero a LC donde su rendimiento (t/ha), fue superior en 2.8 t/ha, y 0.7 t/ha, respectivamente.

Posteriormente a la tercera campaña 2012 el LC supero en (2,0 t/ha); verano del 2013 (1,7 t/ha); invierno 2013 (2.3 t/ha) y verano 2014 (3,6 t/ha) respectivamente se observa un constante incremento en el rendimiento (t/ha) conforme se siembra con sistema de labranza cero (LC), mientras que con el sistema de labranza tradicional (LT), la tendencia es mantenerse el rendimiento o a bajar conforme influya el medio ambiente. En cuanto a la presencia de malezas estas se redujeron hasta un 90% con el sistema de LC mientras que con LT solo se reduce el 40%.

Con respecto al uso del Greenseeker y el estado fenológico del maíz se obtuvo los siguientes resultados.

Cuadro N°5. Uso de fertilizantes (unidades) de N;P y K, en un campo de Labranza cero en la E. E. Vista Florida (2013 al 2014) y el uso de Greenseeker (NDVI) en la obtención de Maíz amarillo duro.



Conclusiones

- A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que el sistema de labranza cero (LC) es una excelente oportunidad para los valles maiceros que tienen sistema de riego por goteo.
- Con respecto a los rendimientos obtenidos en el cultivo de maíz, usando el sistema de LC que supera ampliamente a la LT, sin la necesidad de incrementar sus costos de producción.
- El uso del greenseeker es una herramienta de precisión que nos permite determinar qué el NDVI en la etapa vegetativa, de V6 y V10 indicándonos si existe o no la necesidad de fertilizar.

Bibliografía

- Alejandro D. Violic. 1998. EL sistema de Labranza Cero en Maíz. Tema expuesto en Harare, Zinbabwe.
- Organización Panamericana de la Salud. Fenómeno El Niño, 1997-1998. Washington, D.C.: OPS, ©2000. 294 pp.—(Serie Crónicas de Desastres, 8) ISBN 92 75 32318 6.
- Araus, J.L., J. Casadesus, J. Bort. 2001. Recent tools for the screening of physiological traits determining yield. En: M.P. Reynolds, J.I. Ortiz-Monasterio, A. McNab (eds.), Application of physiology in wheat breeding. México, D.F.: CIMMYT. Pp. 59-77. Govaerts, B., K.D. Sayre, J. Deckers, P. Decorte, B.
- Goudeseune, K. Lichter, J. Crossa, L. Dendooven. 2007. Evaluating spatial within plot crop variability for different management practices with an optical sensor, Plant and Soil 299: 29-42.
- Antonio de la Casa *et al.* 2013. Integración del Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI) y del Ciclo Fenológico de Maíz para Estimar el Rendimiento a escala Departamental en Córdoba, Argentina.
- PNIMA – INIA 2010. Información de la Memoria Anual del Programa de Maiz, Vista Florida 66 pag. Chiclayo, Lambayeque.
- Injante Pedro. Revista Científica de INIA N°09 2013, 43 paginas (19:22) La Molina Lima.

Bolsas plásticas: control de la calidad de los granos almacenados

Ing. Santa Juliana
INTA, Argentina

El almacenaje de grano seco en bolsas plásticas aumentó de 9,5 millones de toneladas en 2001/2 a aproximadamente 42 millones en las últimas campañas. Lo cual representa más del 40% de la producción de granos anual de Argentina. El bajo costo por tonelada almacenada, alta capacidad de almacenamiento en origen, la posibilidad de segregar por calidad y su facilidad de implementación por productores, acopiadores e industria son algunas de las ventajas que facilitaron su adopción. Estimaciones del INTA Poscosecha indican que pese a sencillez del sistema entre 3 y 5% de las bolsas presentan problemas que potencialmente podría afectar, en mayor o menor medida, la calidad el grano almacenado. No obstante muchos de estos inconvenientes se pueden solucionar mediante pautas de correcto uso y monitoreo de la calidad de los granos almacenados.-

Los puntos básicos de un buen control de calidad son:

1) Conocer perfectamente los parámetros de calidad de los granos que se almacenan:
   La base de un buen control radica en conocer la calidad de cada una de las partidas que se están por almacenar
   Además, tener todas las bolsas identificadas, cada una con el detalle de la calidad de los granos almacenados en las diferentes secciones permite establecer un cronograma de extracción de los mismos y realizar un monitoreo sobre aquellos sectores de la bolsa que presenten mayores riesgos en su conservación.
2) Conocer los riesgos que presentan esos granos almacenados:
   En general, el objetivo del almacenamiento es el de mantener la calidad inicial de los granos, lograda en el campo, hasta su uso final. El deterioro de los granos es un proceso irreversible e inevitable, pero con un adecuado manejo se puede demorar o postergar en el tiempo.

Para minimizar el riesgo de deterioro durante el almacenaje los granos se deben guardar limpios, secos (humedad de recibo) y sin daño mecánico.

Por tal motivo es necesario tener en cuenta los factores que afectan la calidad durante esta etapa, como son:

Condiciones de cosecha, acondicionamiento y manipuleo:

El trato agresivo al grano provoca daños mecánicos que afectan el manejo y la conservación. El tegumento del grano posee importantes funciones y protege a las estructuras internas contra choques u otros efectos abrasivos; además sirve de barrera a la entrada de microorganismos y al ataque de algunos insectos (de infestación secundaria); también actúa en la regulación del intercambio gaseoso y de humedad, y en algunos casos, regula la germinación.

Humedad de Almacenamiento Segura: Es aquella que permite conservar los granos sin riesgo de desarrollo de hongos (contenido de humedad de equilibrio menor a 67%). Es específica para cada tipo de grano, en general coincide con la humedad de recibo del estándar de comercialización. Cuando el almacenamiento se realiza a altas temperaturas, la humedad de almacenamiento debería ser menor.

En forma conjunta, el aumento de la temperatura y la humedad del grano, reducen el tiempo de almacenaje seguro, dado que ambos factores aceleran la perdida de peso y calidad.

Temperatura ambiente exterior: Si se compara con otros sistemas de almacenaje (silos o celdas) la bolsa plástica posee una baja relación volumen/superficie. Esto produce que la temperatura del grano esté directamente asociada a la temperatura media ambiente. Ciertos sectores del granel, como en la

periferia de la bolsa, es influido incluso por la temperatura diaria.

Dado que los principales agentes de deterioro del grano en la bolsa son los hongos, el efecto de la temperatura cobra importancia cuando la humedad del grano permite el desarrollo de estos microorganismos. Temperaturas altas durante el embolsado de grano húmedo propician un rápido deterioro inicial del mismo. También la actividad de los hongos aumenta cuando el grano almacenado en la época fría del año permanece hasta el verano. En el centro-norte de la región productiva de Argentina, donde el régimen de temperatura es mayor, puede producirse deterioro de la calidad del grano (si se almacena húmedo) antes de alcanzar la primavera. Cuando se almacena grano seco, el efecto de la temperatura sobre el deterioro por hongos se minimiza.

A continuación se detalla la guía para almacenamiento de granos en bolsas plásticas, donde se muestran los riesgos según el contenido de humedad, definiendo riesgo como la posibilidad de que ocurra un hecho, en este caso el deterioro de los granos.

Riesgo por humedad del grano (valores orientativos)			
Tipo de grano	**Bajo***	**Bajo-Medio**	**Medio-Alto**
Soja - Maíz - Trigo	Hasta 14%	14-16%	mayor a 16%
Girasol	Hasta 11%	11-14%	Mayor a 14%
* Para semillas de este valor debe ser de 1-2% menor			

Riesgo por Concentración de CO_2 (valores orientativos)			
Tipo de grano	**Bajo***	**Bajo-Medio**	**Medio-Alto**
Soja - Maíz - Trigo	Hasta 5%	5-15%	>15
Riesgo por tiempo de almacenamiento (valores orientativos)			
Tipo de grano	**Bajo***	**Bajo-Medio**	**Medio-Alto**
Soja – Maíz - Trigo 14% Girasol 11%	6 meses	12 meses	18 meses
Soja - Maíz - Trigo 14-16% Girasol 11-16%	2 meses	6 meses	12 meses
Soja - Maíz - Trigo >16% Girasol >16%	1 mes	2 meses	3 meses
* Para semillas de este valor debe ser de 1-2% menor			

Factores que disminuyen el riesgo de deterioro de los granos almacenados:

Como toda actividad, el almacenamiento de granos en bolas plásticas requiere un planeamiento previo a la cosecha, en el cual se considerará indispensable para disminuir los riesgos:

1- Preparación del terreno:

Este es el factor más importante a tener en cuenta para lograr un buen armado de la bolsa. El terreno debe ser lo más firme y parejo posible, preferentemente alto para permitir la evacuación del agua de lluvia. Para ello lo más aconsejable es nivelar el suelo con una hoja niveladora y evitar remover el terreno con una rastra. También se puede utilizar una superficie cubierta con algún pasto tipo gramón. Los sitios menos adecuados para armar bolsas son los terrenos flojos, desparejos con riesgo de acumulación de agua y los cubiertos por rastrojos , ya que los tallos perforan las bolsas.

2. Uniformidad de confección de la bolsa:

Lo ideal es llenar la bolsa en forma continua sin interrupciones. Pero muchas veces es difícil de lograr, ya que las embolsadoras son máquinas que tienen una gran capacidad de trabajo (hasta 290 t/hora) y las interrupciones durante el llenado de la bolsa son las principales causas de la desuniformidad de la bolsa que se manifiesta, en cada parada de máquina, con un bache de menor presión de llenado que causa una mayor acumulación de aire en ese

lugar facilitando luego la condensación de humedad en el caso de almacenar granos húmedos. Por esto es imprescindible efectuar un adecuado frenado de la máquina durante el llenado y cada vez que se necesite parar utilizar el freno del tractor. Es muy importante armar la bolsa lo más recto posible, para lo cual es aconsejable colocar una bandera o hilo al frente del tractor para mantener la línea durante el llenado. Se debe evitar la formación de arrugas o pliegues al comienzo y al costado de la bolsa, porque es allí donde preferentemente hacen daño los roedores. La orientación de la bolsa debe ser Norte Sur para permitir la uniformidad de la irradiación sobre la bolsa, evitando así posibles migraciones de humedad, sobre todo con granos húmedos.-

3. Terminación de la bolsa:

La hermeticidad de los cierres tanto al comienzo, como al finalizar tiene una fundamental importancia para evitar la entrada de agua y aire al interior de la bolsa. Existe una marca en la bolsa que indica el lugar donde debe finalizar el llenado. En ese momento se debe retirar la máquina sin accionar y desplegar los últimos pliegues que le quedan en la bolsa. Se toma el extremo y se le enrolla una caña o madera, lo más ajustado posible hacia donde están los granos y tratando de eliminar todo el aire existente, o se emplea algún otro método de cierre como ser sellador ó cinta para cierre de bolsas plásticas. Una vez cerrada la bolsa, se hace una zanja en el suelo y se entierra el extremo, de manera que quede una terminación continua de la bolsa con el suelo, que permita el total escurrimiento del agua de lluvia.

4. Cuidado de la bolsa:

Es necesario asumir, que durante el almacenamiento se debe invertir el tiempo necesario para cuidar y hacer un control de calidad de los granos, cualquiera sea el sistema que se haya utilizado. En el caso de la bolsa plástica, se debe mantener todo el terreno alrededor de la bolsa totalmente limpio y libre de malezas. Es recomendable para mantener alejados animales indeseables montar un alambrado eléctrico de 4 hilos, colocando el primero a 5 cm del suelo, el segundo a 10 cm del anterior, el tercero a 15 cm del anterior y el último a 20 cm del anterior. Para el control de roedores, algunos cebos tóxicos tienen un resultado muy satisfactorio. Además, es útil determinar causas y frecuencia de roturas para cuantificar el problema y planificar soluciones para campañas venideras.

5. Control de calidad:

El mismo debe comenzar antes del llenado de la bolsa extrayendo muestras de la monotolva, previo al embolsado, en el caso de que ya tengamos la bolsa ya armada y desconozcamos la calidad inicial podemos mencionar 2 tipos de control, el primero conocido como convencional o tradicional y en segundo término el método de monitoreo por CO_2:

Método convencional: El control se hace en forma directa, realizando un corte de 5-10 cm en uno de los laterales de la bolsa. Primero se determina la presencia de olores objetables (fermentación alcohólica implica el comienzo de deterioro) y luego se introduce un calador (entre 1,7 y 2 m de largo). Se extiende su contenido sobre un catre y observa todo el perfil del silo, si hay o no alteración en la calidad de los granos. La periodicidad del control dependerá del estado del grano y de la bolsa. En caso de que el grano se encuentre seco y la bolsa no presente signos de roturas se debe muestrear cada 30-45 días. Para aquellas bolsas donde se realizo un monitoreo durante la confección de las mimas el muestreo debe realizarse en 2 ó 3 lugares, si la calidad de los granos depositados a lo largo de toda la bolsa es similar, ó caso contrario se debe muestrear en aquellos lugares donde se marcó la bolsa como riesgosos.

En el caso de bolsas que no tengan ningún tipo de control previo es necesario muestrear con mayor intensidad de puntos teniendo especial atención en aquellas partes donde al golpear la bolsa se observa cierta "dureza" de la masa de granos.

Para emparchar la bolsa en el lugar del muestreo o en caso de roturas, se debe usar la cinta adhesiva provista por el fabricante, pero antes es necesario limpiar bien la bolsa con algún solvente o alcohol, dejar secar y pegar las dos cintas sobreponiendo una sobre la otra, corrida 3 cm hacia el costado.

Las roturas se deben emparchar inmediatamente, especialmente con granos húmedos ya que se ha comprobado un aumento de temperatura superior a 1°C/día debido a la entrada de O_2 a la bolsa.

Esta técnica si bien es valedera tiene ciertos aspectos negativos con respecto al monitoreo por CO_2, puesto que no permite detectar las bolsas afectadas en la base, requiere mucha mano de obra, se puede monitorear pocas bolsas por hora y solo determina la condición del grano extraído, es decir que podemos detectar solo cuando ya hay un deterioro evidente, salvo que se someta las muestras a un análisis de poder germinativo, que es la variable que primero se ve afectada por las malas condiciones de almacenamiento, y de esta manera evitar que se afecte posteriormente la calidad comercial.

A continuación a través de la secuencia de imágenes se describe la operación de calado:

Limpieza del plástico

Corte de la bolsa

Toma de muestra con calador

Observación de la muestra en catre

Doble parchado con cinta

Descripción de las condiciones del grano

Monitoreo de bolsas plásticas mediante el empleo CO_2: El principio de este método se basa en la baja permeabilidad de la bolsa plástica al pasaje de gases y en la respiración del grano asociada con los microorganismos, lo cual produce un incremento en la concentración de CO_2 y una reducción en la concentración de O_2. El incremento de CO_2 y la reducción en la concentración de O_2 son mayores con grano húmedo ya que estos producen mayor actividad biológica. Así, la mayor tasa respiratoria da lugar a una mayor modificación sustancial de la atmósfera intersticial.

Resumiendo: Medición de la concentración de CO_2 está relacionado a la actividad biológica, a mayor actividad biológica, mayor concentración de CO_2 y mayor riesgo de almacenamiento.

La medición de gas en la composición del aire intersticial puede utilizarse como una herramienta de monitoreo de alta sensibilidad, con un nivel de exactitud y sencillez aceptables.

Permite localizar áreas o focos de alteración en plazos no superiores a los 7 días de almacenamiento (Figura 1) siendo de mayor sensibilidad que las determinaciones de Poder Germinativo y Peso Hectolítrico.

El método presenta una precisión de 4 metros sobre la longitud de la bolsa, dado que la concentración de gases no tiene una alta difusión horizontal, esto permite sectorizar la bolsa y localizar el problema. A su vez mantiene una uniformidad en la concentración de CO_2 verticalmente lo cual permite detectar problemas en la parte inferior de la bolsa. No se encontraron diferencias de concentración de CO_2 a diferentes profundidades dentro de los granos.

Se demostró, mediante ensayos, que los factores con mayor incidencia en el aumento de la concentración de CO_2 fueron la humedad, en primer lugar y la presencia de insectos plagas de granos almacenados en segundo lugar. En el caso de la temperatura de los granos no se observa una gran incidencia sobre la concentración de CO_2.

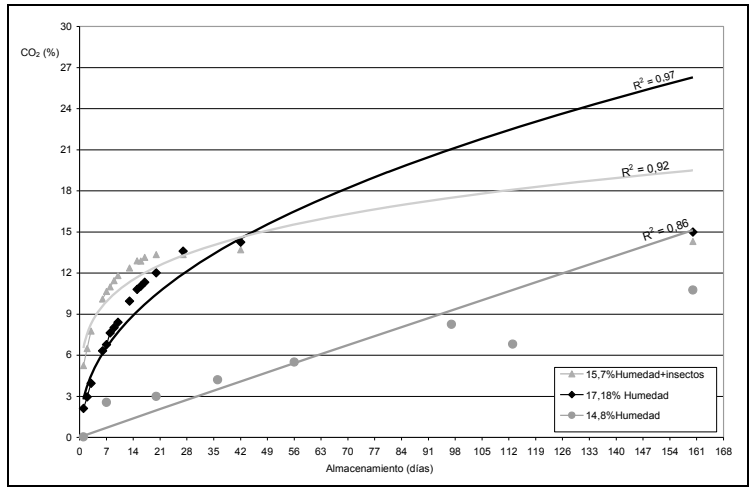


Figura 1: Evolución de la concentración de CO_2 en diferentes condiciones de almacenamiento.

El monitoreo a través de la medición de CO_2, presenta ciertas ventajas con respecto al monitoreo por calador, en primer lugar permiten detectar condiciones no adecuadas de almacenamiento previo al deterioro de los granos, los equipos presentan una alta sensibilidad para detectar condiciones de almacenamiento riesgosas (alta humedad, baja calidad, anegamiento o roturas y tiempo de almacenamiento) no daña la integridad del plástico puesto que solo se introduce una pequeña aguja hipodérmica para analizar la concentración de gases, por ende tiene mayor practicidad, los equipos son sumamente portátiles, permitiendo el monitoreo de 15 a 20 bolsas plásticas por hora.

Para el caso de aquellas bolsas donde no se conozca la calidad inicial del material almacenado se recomienda realizar mediciones a una distancia entre puntos no superior a 3 metros, con la mayor periodicidad posible para detectar zonas de alta tasa de incremento en la concentración de CO_2, de detectarse dichas condiciones se recomienda un calado para un posterior análisis de la muestra a fin de detectar el motivo de dicho incremento, y la planificación de la extracción del grano para evitar que se deteriore.

Para el caso de aquellas bolsas que cuenten con un detalle de la calidad, se recomienda medir en un primer momento de manera similar al caso anterior, es decir cada 3 metros aproximadamente, para detectar probables roturas en el fondo de la bolsa producidas durante el armado de la misma, en caso de no detectar puntos con altas tasa de incremento de la concentración de CO_2, revisar en posteriores mediciones solo aquellos puntos demarcados inicial-

mente donde conocemos que pueden aparecer problemas de almacenamiento (alta humedad, insectos, roturas de bolsa, etc.).

En la actualidad se han desarrollado en el país equipos portátiles (Figura 2), que permiten no solo registrar la concentración, sino que incorporan software que permite llevar registros precisos, donde se pueden cargar establecimientos o centros de acopio, bolsas, tipo de grano, sectores dentro de cada bolsa, progresión de la concentración de CO_2, y generan además una base de datos histórica (Figura 3).

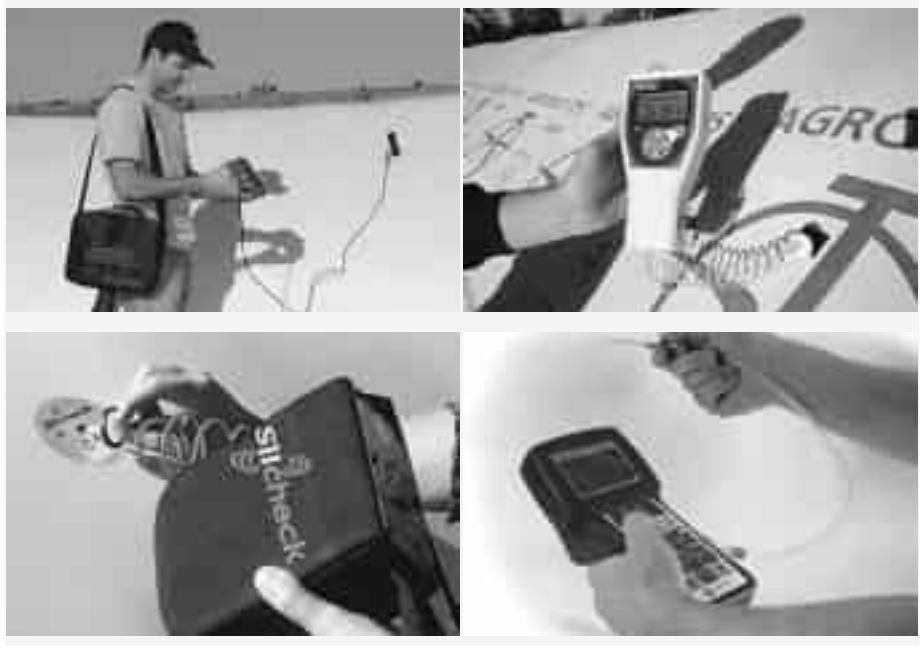


Figura 2. Medidores portátiles de CO2

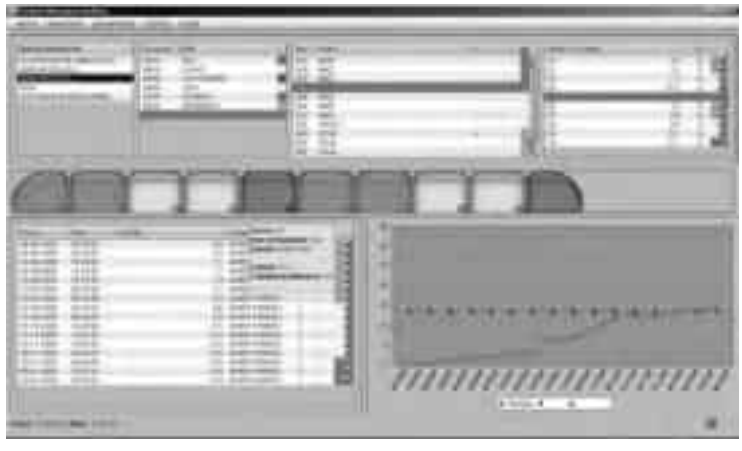


Figura 3. Presentación de la información de equipo medidor de CO_2.-

Material preparado por el área de poscosecha de INTA,
Ing. Agr. Diego Mauricio Santa Juliana, EEA Manfredi:

Presentación de paneles

Avances de investigación y proyecciones del Programa Nacional de Maíz del INIAF

T. Claure, P. Ramos, C. Marino, D. Saldaño, W. Arandia, R. Quispe
Programa Nacional de Maíz, INIAF CHACO, Calle 10 de noviembre entre Avaroa 1 y Avaroa 2. Telf. Fax (4)6832140-Yacuiba Bolivia.[2]Responsables del Proyecto Maíz

Resumen

El Programa Nacional de Maíz del INIAF, tiene sede de trabajo en el municipio de Yacuiba, provincia Gran Chaco del departamento de Tarija y atiende las áreas potenciales productoras y de minifundio de las eco regiones del Chaco, Trópico, Valles y parte de la llanura, el trabajo comprende cuatro sub proyectos de ejecución directa: 1) Mejoramiento genético para la formación de variedades e híbridos altamente productivos y/o biofortificados para la región del chaco y del trópico, 2) Mejoramiento genético para la eco-región valles, 3) Mejoramiento de cultivares de maíz con tolerancia a factores abióticos y bióticos, 4) Desarrollo de alternativas para el Manejo Agronómico, 5) Producción y uso de semilla de cultivares de maíz de alta calidad genética y 6) Desarrollo de tecnología para el manejo y control de insectos plagas, y enfermedades.

Palabras clave: Mejoramiento, cultivares, biofortificados, tecnología

Introducción

El cultivo de maíz es uno de los cereales más importantes de la actividad agrícola y de la alimentación humana en Bolivia. Las 400.000 hectáreas y los 1.200.000 toneladas de maíz que se producen anualmente generan alrededor de 150 millones de dólares y aproximadamente 100.000 empleos directos e indirectos.

Objetivo General

Desarrollar tecnologías de producción que permitan mejorar la productividad y calidad del maíz para lograr la seguridad alimentaria con soberanía.

Cobertura de Trabajo del PN-MAÌZ

El Programa Nacional de Maíz del INIAF, tiene sede de trabajo en el municipio de Yacuiba, provincia Gran Chaco del departamento de Tarija y atiende las áreas potenciales productoras y de minifundio de las eco regiones del Chaco, Trópico, Valles y parte de la llanura.

Avance de Resultados

Mejoramiento genético para formación de variedades e híbridos altamente productivos y/o biofortificados para la región del chaco y trópico

Se han liberado dos híbridos simples con rendimientos en promedio de 7 tn/ha a nivel comercial y con adaptación a la región del chaco boliviano (600-1500 m. s. n. m).

Figura 1. Híbridos de grano normal (izquierda) y grano con calidad proteínica (derecha)

Cuadro 1. Nuevos híbridos simples y triples con alto potencial de rendimiento en proceso de multiplicación

HIBRIDOS SIMPLES		HIBRIDOS TRIPLES	
Genealogía	Rendimiento t/ha	Genealogía	Rendimiento tn/ha
CLYN352/CLRCY039	12.40 a	(CLYN274/CLYN352)//CLYN214	11,01 a
CLYN274/CLRCY044	12.20 ab	(CLYN274/CLYN352)//CML451	10,62 a
CLRCY015/CLYN213	11,55 ab	(CLRCY044/CLRCY039)//CLRCY015	9,89 ab
CLYN413/CLRCY039	10,10 ab	(CL02450/CLYN352)//CLRCY044	9,58 ab
CLRCY015/CLRY044	9,50 abc	(CLRCY042/CL02450)//CLYN436	8,86 ab
DAS 710	9,50 abc	SW 5130	7.35 abc

Mejoramiento de Cultivares de Maíz con Tolerancia a Factores Abióticos y Bióticos

Se tiene en proceso de selección y validación dos variedades para choclo en versión blanca y amarilla ambas de grano grande, altura de planta baja y de precocidad intermedia con 95 días a maduración en choclo;

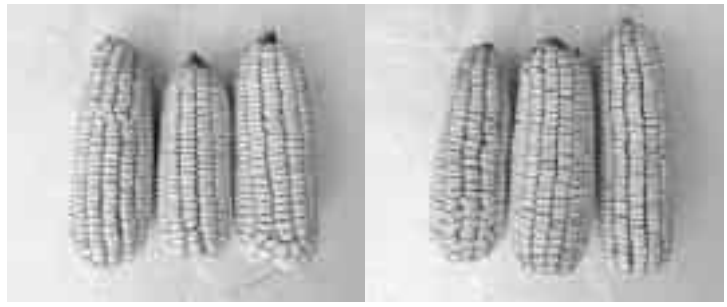


Figura 3. Dos variedades para choclo, uno de grano blanco y otro de grano amarillo

Para zonas con escasa humedad, se ha logrado seleccionar una variedad muy precoz INIAF Pirity y otra muy productiva INIAF TIDAPAHO para condiciones de humedad adecuada (ver fig. 4).

Figura 4. Variedad precoz INIAF Pirity e INIAF TIDAPAHO de alto rendimiento en proceso de validación para el registro correspondiente.

Selección y Evaluación Participativa de 180 Familias de la Variedad Waltaco con Tolerancia al "Chaquionghoy"

La figura 5 muestran el puntaje ponderado de la mejoras familias de medios hermanos en relación al rendimiento y sanidad, según la evaluación participativa la familia 52 fue la mejor con un promedio de 40 porciento de aprobación por los productores y tecnicos. Con base a las familias de menor incidencia se formarà la variedad sintètico mejorada.

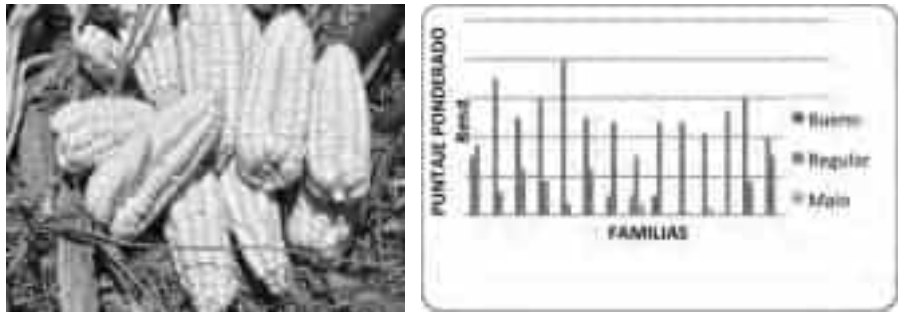


Figura 5. Evaluacion participativa y puntaje ponderado de rendimiento.

Adecuación de Infraestructura de Riego para Sistemas de Siembra en Maíz Choclero

Se trabaja sobre riego tecnificado y se ha identificado una tecnología a través de sistema de riego por goteo en maíces para choclo, en siembra tempranas y a partir de la presente campaña agrícola se trabajará con sistema de riego por aspersión. Dentro de este sub proyecto, también se trabaja una actividad sobre agricultura de conservación sustentable, es decir, con la utilización de labranza mínima y la incorporación de leguminosas forrajeras y de grano comestible para restaurar la fertilidad del suelo.

Figura 6. Riego por goteo y tensiómetros instalados para medir la humedad del suelo

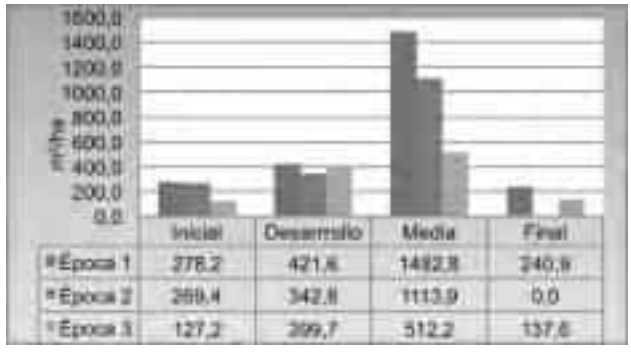


Figura 7. Dosis de riego que requiere el maíz en **m^3/ha** por época de siembra

La máxima dosis se presentó para la época 1; Inicial 278 m^3/ha, desarrollo 421 m^3/ha, media 1482 m^3/ha y final 240 m^3/ha, esta época registra la mayor demanda de agua para riego a lo largo de su ciclo,

para época 2 la demanda es menor y para la época 3 es mucho más menor (Bauty, 2014).

Aplicación de yeso agrícola para uso en Cultivos de maíz para ensilaje

En los ensayos de niveles de fertilización química en maíz forrajero, tomando en cuenta la preferencia de los productores de leche, los resultados estadísticos y el análisis económico, recomienda los niveles 64-46-00 más yeso agrícola y 64-46-00, por su alto rendimiento en masa foliar y calidad del producto, y el nivel 32-23-00 por tener la tasa de retorno marginal más alta.

En el uso de yeso agrícola se recomienda a los tratamientos 41-46-00 más yeso agrícola y el nivel 41-46-00, especialmente por su alto rendimiento en masa foliar y calidad del producto.

Cuadro 2. Análisis estadístico por localidad y entre localidades, con 6 variedades de maíz forrajero para rendimiento de la masa foliar en kg/ha.

Tratamientos	Rendimiento Masa Foliar (kg/ha)						Media	
	Abra S. Miguel		Chocloca		Sella Méndez			
IBO 2836	45.542	B C	54.524	A	42.338	A	47.468,00	A
Compuesto 10	48.396	A	51.905	A	38.950	A B	46.417,00	A
Compuesto 20	47.343	A B	47.619	A B	34.434	C	43.132,00	B
Algarrobal 108	44.054	C	45.000	A B C	36.932	B C	41.995,33	B C
IBO 128	44.351	C	40.952	B C	37.539	B C	40.947,33	C
Algarrobal 102	43.322	C	36.191	C	27.096	D	35.536,33	D
C.V.	1,89		6,50		3,75		4,71	
Probabilidad	P(0,05)		P(0,05)		P(0,05)		P(0,05)	
Promedio	45.427		46.150		35.986		42.521	

El rendimiento promedio de la biomasa foliar idenfica a la variedad mejorada IBOP 2836 con la mayor producción, seguida de la variedad Pairumani Compuesto 10 (Cuadro 2), pero también con buen potencial de rendimiento foliar la variedad Pairumani Compuesto 20, estas tres variedades muestran cierta estabilidad en las tres localidades de evaluación.

Producción de Semilla de Alta Calidad Genética

Se ha producido semilla genética de cuatro líneas progenitoras para la formación de dos híbridos sim-

ples, que ha sido entregada a la Empresa Estratégica de Producción de Semillas (EEPS) y a instituciones como el Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG) en Yacuiba, Villa Montes e Iboperenda en Chuquisaca.

Figura 18. Lote de producción de semilla de parentales

Proyecciones para el 2017-2021

En acuerdo con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) se trabaja con material genético avanzado y se tiene previsto aplicar la metodología de dobles haploides siguiendo el siguiente proceso:

- Inducción de haploides
- Identificar poblaciones bajo condiciones de baja fertilidad
- Promover el uso y adopción de semilla mejorada usando nuevas herramientas como haploides
- Agricultura de conservación sustentable
- Publicar y difundir información generada con nuevas tecnologías
- Articular la producción de semilla con el sector público-privado

Una semilla de maíz es la protagonista de un cuento sobre Conservación de los Recursos Genéticos

Marcia Céspedes[1], Teresa Ávila[1], Ximena Reyes[1], Leticia Cardona[1], Carmiña Montoya[2], José Baudoin[2] y Dalia de la Peña Wing[3]

1. Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani

2. Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño

3. Sistema Nacional de Investigación y Transferencia Tecnológica para el Desarrollo Rural Sustentable, México

Resumen

Es cada vez más necesaria la educación ambiental y la educación en ciencia de los estudiantes en las escuelas, ya que esto permite la sensibilización de niños y jóvenes en el cuidado del ambiente, la conservación de la biodiversidad, los recursos naturales y los recursos genéticos. Son pocos los sectores activos y comprometidos con el cuidado de la naturaleza y por ende de los recursos genéticos en Bolivia y estos generalmente están integrados por profesionales relacionados con estos temas como consecuencia de su actividad laboral, sin embargo, las consecuencias del deterioro ambiental y la pérdida de recursos genéticos y naturales las sufrimos todos, por lo que es necesario involucrar a la población en general en la tarea de preservar la naturaleza. Los materiales didácticos conteniendo información asimilable sobre temas científicos o técnicos de conservación de recursos genéticos y naturales, pueden ser importantes en la sensibilización del público en general sobre estos aspectos. Se trabajó en Cochabamba y Santa Cruz con alrededor de 200 profesores de áreas rurales y urbanas, biólogos, comunicadores y otros profesionales; 400 estudiantes del sistema formal e informal en forma directa y 5000 en forma indirecta, en la aplicación de un cuento sobre una semillita de maíz llamada Qhunu y un juego de dominó sobre el cuento. Esto además impulsó la creación de materiales didácticos nuevos por parte de los profesores con los que se trabajó y de sus estudiantes, con contenido referido a cuidar los recursos genéticos y la naturaleza y garantizar la disponibilidad de los mismos a lo largo del tiempo, para mantener una calidad alimentaria óptima en base a la utilización de una diversidad de productos en nuestra alimentación diaria.

Palabras clave: Recursos genéticos, material didáctico, conservación.

Introducción

En la actualidad somos testigos de un rápido deterioro del ambiente, debido a diversos factores como el abuso en la utilización de algunos recursos naturales o la falta de conciencia en la conservación de los recursos naturales, los recursos genéticos, los cuales son invaluables para la población humana y afectando la biodiversidad que según el Convenio Sobre Diversidad Biológica (1992), es la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente o diversidad dentro de cada especie. Los recursos genéticos, constituyen un componente estratégico de la biodiversidad debido a su estrecha relación con el hombre (Avila y Céspedes, 2010).

Según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM [a]), la pérdida de biodiversidad contribuye a la inseguridad alimentaria y energética, aumenta la vulnerabilidad frente a desastres naturales como inundaciones o tormentas tropicales, empeora las condiciones de salud, reduce la disponibilidad y calidad del agua y erosiona el patrimonio cultural.

La FAO considera que un desarrollo sostenible es viable, si se conserva la tierra, el agua y los recursos vegetales y animales, sin degradar el medio ambiente, para esto es necesaria la participación de la población en general, pero no existe un nivel adecuado de conciencia ambiental sobre la importancia de la preservación del ambiente y específicamente de los recursos vegetales y animales que constituyen la riqueza genética que permitirá la subsistencia de las generaciones actuales y futuras.

Cada vez se hace más necesario involucrar a toda la población en la tarea de la conservación de la biodiversidad, los recursos naturales y los recursos genéticos, ya que cada uno y desde el lugar donde le toque actuar, puede contribuir activamente y además constituirse en un ejemplo a seguir. Pese a que ésta necesidad es reconocida, son pocas las acciones dirigidas a sensibilizar a la población en general y particularmente a los niños y jóvenes, utilizando materiales con terminología comprensible y motivante, a fin de contribuir a preservar eficazmente la naturaleza, por esta razón, el Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani (CIFP) en coordinación con el Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño (CEDSIP) y el Centro Pedagógico y Cultural Simón I. Patiño (CPCSIP), hace 7 años inició el proyecto "Conservación de recursos genéticos: Un reto para todos", el cual fue ejecutado en base a varios componentes, uno de estos fue el de crear materiales didácticos que den a conocer la importancia de la conservación de nuestros recursos genéticos, para garantizar la disponibilidad de los mismos a lo largo del tiempo, como para mantener una calidad alimentaria óptima en base a la utilización de una diversidad de productos en nuestra alimentación diaria.

El objetivo de la creación de materiales didácticos sobre temas de conservación de recursos, como cuentos o juegos de fácil utilización y asimilación, fue realizar la implementación de acciones de sensibilización sobre la importancia de la preservación de especies animales y vegetales que van desapareciendo, en el caso de las vegetales, debido a la falta de uso a nivel alimenticio y conseguir un efecto multiplicador con la utilización de éstos a nivel de la población en general y sobre todo la escolar.

Materiales y Métodos

Se creó un cuento sobre la conservación de los recursos genéticos en un banco de germoplasma, con una semilla de maíz llamada Qhunu, como protagonista; la autora de este cuento es la Lic. Dalia de la Peña Wing, de nacionalidad mexicana. Esta semillita es colectada en un campo de agricultores y a pesar que está asustada, siente que tiene que cumplir una misión. A través de todas sus vivencias en un banco de germoplasma, se cuentan las actividades que se realizan en la conservación *ex situ* de los recursos genéticos y se da a conocer la importancia de la misma.

El cuento de Qhunu la semillita de maíz y el juego de domino, se presentaron a los profesores a través de 3 talleres de capacitación en la ciudad de Cochabamba. En los talleres se los capacitó sobre temas técnicos relacionados a la conservación de la biodiversidad y los recursos genéticos, se dio a conocer los materiales didácticos y su importancia en la difusión de temas científicos de importancia y se proporcionaron pautas para incentivar la creación de este tipo de materiales adecuados a nuestro entorno.

Con la participación de los coordinadores de la Red de bibliotecas del CPCSIP, se realizó la aplicación del cuento "Qhunu la semillita de maíz" y el juego de dominó complementario al cuento, en propuestas de aplicación de los dos materiales mencionados, en unidades educativas y en las bibliotecas de la Red de bibliotecas del CPCSIP con grupos de niños de distintos establecimientos educativos. La mayoría de estos proyectos fueron dirigidos a fomentar el consumo de especies que se encuentran cada vez menos en el mercado y a mejorar la calidad de la alimentación a nivel familiar.

Se realizaron también exposiciones en el CIFP y ferias en diferentes unidades educativas y en el Centro Pedagógico y Cultural Simón I. Patiño, exponiendo los materiales didácticos modelo y explicando su utilización.

En Santa Cruz, se capacitaron a profesores de varias unidades educativas, los mismos que en sus establecimientos capacitaron a más profesores, aplicando los conocimientos recibidos en la capacitación y utilizando los dos materiales didácticos entregados. Estos plasmaron los conocimientos adquiridos junto con sus estudiantes, en la creación de textos, juegos didácticos, títeres, dramatizaciones y bailes relacionados con la importancia y la conservación de los recursos genéticos, para asegurar la alimentación del planeta. En varios colegios se realizaron ferias donde participaron los padres de familia rescatando comidas y bebidas tradicionales, utilizando recursos genéticos que se usan cada vez menos.

Debido a la motivación y creatividad que mostraron profesores y estudiantes en las réplicas en los co-

legios, se llevó a cabo la Feria de Recursos Genéticos y Biodiversidad "Una responsabilidad para todos" en la cual, participaron 85 expositores con sus materiales científicos y juegos de su creación, los mismos que fueron expuestos para niños visitantes de otras unidades educativas.

Motivados por la utilización de los dos materiales y el éxito obtenido con los mismos, profesores conjuntamente con sus estudiantes, crearon nuevos cuentos y juegos en el tema de la conservación y uso sostenible de la biodiversidad, los recursos genéticos y la alimentación. Se realizó la selección y edición de los materiales producidos en Santa Cruz de la Sierra y en Cochabamba y se lanzó una convocatoria para las unidades educativas participantes, para la creación de materiales nuevos sobre conservación de recursos genéticos, con la finalidad de realizar la replicación de los mismos.

Resultados

Utilizando el cuento Qhunu la semillita de maíz y el dominó se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se capacitaron 200 profesores de unidades educativas urbanas y rurales, facilitadores además de12 coordinadores de bibliotecas.
- Se realizaron 2 cursos taller de capacitación, 4 réplicas para profesores y facilitadores, 3 talleres para niños y un taller de presentación de materiales nuevos.
- 35 profesores y 12 coordinadores de bibliotecas ejecutaron propuestas de aplicación de los materiales didácticos.
- Participaron 12 unidades educativas, 11 del sistema formal y una del sistema informal, en forma directa.
- 400 alumnos participaron en forma directa y más de 5000 en forma indirecta.
- Se realizaron tres ferias con asistencia de más de 800 personas entre estudiantes, profesores y público en general
- Se realizaron siete ferias en unidades educativas, con el material producido por los profesores y alumnos

Profesores y sus estudiantes, motivados por la experiencia de trabajar con Qhunu la semillita de maíz y el dominó, produjeron nuevos cuentos y juegos, los mismos que se escogieron para su edición y replicación, los cuales se mencionan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Nuevos materiales didácticos sobre conservación de recursos genéticos

Cuento Viaje por la conservación
Juego Carrera por la conservación
Juego Áreas protegidas de Bolivia
Folleto Juega con nosotros, vamos a conocer nuestras áreas protegidas
Cuento La Cruzada del cóndor
Cuento Sueños naturales
Juego Viaje natural
Cuento La salvación de la tierra
Juego El mejor agricultor
Cuento Los agusos
Juego Alimentación saludable

Tanto el cuento de Qhunu, así como estos otros materiales educativos, se encuentran disponibles en el CIFP para ser utilizados por profesores o facilitadores, previa capacitación en temas técnicos y en el uso de los materiales.

Conclusiones

- Se pudo observar el beneficio de utilizar cuentos y materiales lúdicos en el proceso de enseñanza-aprendizaje, además de la formación en valores.
- El cuento Qhunu la semillita de maíz y el juego de dominó, tuvieron una buena aceptación por parte de profesores y estudiantes, eso se debe a que están ambientados a nuestra realidad y hace que los usuarios se sientan identificados, además que estos materiales motivan a aprender de forma divertida y jugando.
- Las experiencias de aplicación de los dos materiales didácticos, contribuyeron en gran medida a la generación de material didáctico nuevo, en base a experiencias y condiciones locales, tanto en Cochabamba como en Santa Cruz.
- Todos los materiales creados ofrecían un contenido valioso para la difusión de los temas de conservación de los recursos genéticos, en base al mejoramiento de la alimentación familiar con la utilización de diferentes especies vegetales que se consumen cada vez menos, por haber sido remplazados por otras especies menos nutritivas.
- El contenido de los materiales didácticos se identifica con la realidad nacional a nivel de cuidado ambiental y conservación de recursos genéticos y naturales, por esta razón su replicación es importante para su utilización en otras unidades educativas, creando un efecto multiplicador para la difusión de estos temas. De esta manera, se puede educar a los consumidores del futuro, lo cual repercutirá en una mayor demanda de las especies de poco uso favoreciendo a los agricultores que las cultivan.

Bibliografía

- http://www.greenfacts.org/es/biodiversidad/acerca-biodiversidad.htm
- Avila A., T. y Céspedes P. M. 2010. Conservación de los recursos fitogenéticos. Ed. Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño.
- Convenio de Diversidad Biológica. 1992. www.biodiv.org
- Martinez V., A. guía didáctica: educación ambiental para la conservación de la biodiversidad. http://www.malaga.es/biodiversidad/subidas/archivos/arc_238.pdf

Generación de Híbridos para el Chaco y Trópico Boliviano.

Juan Pablo Ramos [1], Tito Claure[1], Edgar Orquera[2], Carlos Marino[3]
[1]Programa Nacional de Maíz, INIAF CHACO, Calle 10 de noviembre entre Avaroa 1 y Avaroa 2. Telf. Fax (4)6832140-Yacuiba Bolivia.[2]Responsable Proyecto Maíz – CIAT, eorquera@ciatbo.org.[3]Profesional II en Agronomía INIAF Montero.

Resumen

El Programa Nacional de Maíz, del INIAF evalúa cada campaña de verano ensayos de híbridos, en la campaña anterior, resultado de este trabajo se sometió al incremento de líneas para la obtención de 5 híbridos para luego validar estos materiales en zonas del Chaco y zonas de los Llanos. Los resultados que se están mostrando en esta oportunidad es un ensayo evaluado en tres localidades: San Pedro, Yacuiba y Mairana del trópico de Santa Cruz. De este ensayo de 76 híbridos evaluados en tres localidades, se realizó una evaluación participativa con productores quienes realizaron una calificación junto con el equipo técnico del Programa Maìz, realizando el registro de datos de dichos ensayos, observándose el mejor rendimiento en los siguientes híbridos, identificándolo por las entradas: 31, 64 y 9. Cuyo rendimiento oscila entre las 8000 kg/ha. Productividad muy superior a los híbridos comerciales de la región.

Palabras Claves

Productividad, híbridos, líneas, genealogía

Introducción

El maíz cultivado es una de las especies cultivadas más productivas. El maíz tiene el más alto potencial para la producción de carbohidratos por unidad de superficie por día. Fue el primer cereal a ser sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo, tal como se pone en evidencia en la bien documentada historia del maíz híbrido en los Estados Unidos de América y posteriormente en Europa.

Hoy en día el maíz es el segundo cultivo del mundo por su producción, después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar. Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y es el segundo, después del trigo, en producción total. El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales. (R.L. Paliwal, 2001).

En Bolivia el maíz es un cultivo tradicional que se produce en una amplia gama de condiciones ambientales, siendo el total del área sembrada de 364.000 hectáreas, de las cuales 168.400 ha se encuentran en el departamento de Santa Cruz, aportando con el 71% de la oferta total del grano de maíz amarillo duro (PROMASOR 2008)

El rendimiento de maíz es menor a lo producido el año 2014, que fue de 3,5 toneladas por hectárea. Díaz indicó que sucedió algo similar con la soya, porque en algunas zonas los rendimientos fueron buenos y en otros bajos por afectación de las lluvias. (notiboliviarural.com)

Otra de las instituciones que viene trabajando en la liberación de híbridos de maíz es el CIAT, hasta el 2013 ha liberado los siguientes híbridos: SIBTA BN-1, Conquistador y el Hibrido CIAT 451. (ibce.org.bo)

Con la creaciòn del INIAF como institución de Investigación dependiente del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, se conforma los Programas Nacionales en 9 cultivos estratégicos y se crea el Programa Nacional de Maíz.

El Programa Nacional de Maíz con sede en Yacuiba, en convenio institucional con el CIMMYT, liberó dos híbridos (2013), el híbrido simple INIAF H1, y el híbrido INIAF HQ2 que tiene como característica la calidad proteínica. Ambos híbridos recomendados para la región del Chaco Boliviano (PIP, 2013).

Como principal objetivo se plantea validar y registrar

dos híbridos para la zona de los Llanos que tenga un buen comportamiento, para poder contar con híbridos que se adapten y tenga aceptación por los productores.

Materiales y Métodos

Este trabajo de evaluación de 76 híbridos en tres localidad, se llevó a cabo en el ciclo 2013/2014 de San Pedro (zona norte del departamento de Santa Cruz), Yacuiba (Chaco Tarijeño del departamento de Tarija y Mairana (zona de los valles del departamento de Santa Cruz.

Tabla 1. Localidades donde se evaluó el ensayo 09-14TLXTFACTYN.

Localidad	Municipio	Latitud Sud	Longitud Oeste	Altitud (m.s.n.m.)
Litoral	San Pedro	16°43'41.37"S	63°34'13.88"O	211
Algarrobal	Yacuiba	21°50'5.81"S	63°36'6.28"O	617
Mairana	Mairana	18°07'12.91"S	63°57'41.60"O	1324

Material Vegetal

Los materiales a evaluar son híbridos del CIMMYT, nombre del ensayo es 09-14TLXTFACTYN en el cual se evaluaron 76 híbridos en dos repeticiones, 74 híbridos del CIMMYT y dos testigos comerciales SW 5130 y el DAS 710. El mismo ensayo se evaluó en tres localidades las cuales se menciona en la Tabla 1

Diseño Experimental

Primeramente se realizó un análisis individual por localidad con un diseño de bloques completos al azar, luego se realizó un análisis combinado considerando las tres localidades. La variable evaluada para el análisis combinado fue el rendimiento y en el análisis individual se realizó la evaluación de 4 variables, para el ensayo evaluado en la sede del Programa.

Resultados y Discusión

Es importante resaltar que el PN-Maíz del INIAF viene trabajando en el incremento de los progenitores de estos híbridos identificados de la anterior campaña de verano por esta razón eso se considera los resultados obtenidos del ensayo 05-13TLXTFACTYN-9, en el cual se observó un excelente comportamiento experimentalmente; en la evaluación que se realizó una evaluación participativa con productores y también los investigadores del CIMMYT, Dr. Luis Narro y el Dr. Feliz San Vicente. (Ver **Figura 1).**

Tabla 2. Prueba de DMS para el ensayo 05-13TLXTFACTYN-9, de la campaña verano 2013-2014.

Entrada	Genealogía	Rendimiento(tn/ha)	DMS	Selección en campo
20	CLYN352/CLRCY039	12.40	A	**
15	CLYN274/CLRCY044	12.00	ABC	**
4	CLRCY015/CLYN213	11.55	ABCD	**
26	CLYN413/CLRCY039	10.10	ABCDEFGH	**
3	CLRCY015/CLRCY044	9.50	ABCDEFGH	**
35	TESTIGO (DAS 710)	9.25	BCDEFGHI	

Figura 1. Investigadores del CIMMYT en plena evaluación de los ensayos del CIMMYT junto a productores.

En cuanto a los ensayos evaluados en la presente del ensayo 09-14TLXTFACTYN en tres localidades, se muestra un análisis individual para el ensayo evaluado en la localidad de Algarrobal, mostrando los siguientes resultados con 5 variables.

Tabla 3. Cuadrados medios para diferentes caracteres evaluados en 76 híbridos de maíz del ensayo 09-14TLXTFACTYN, evaluados en la localidad de Algarrobal – Yacuiba.

Fuente Variación	G.L	Floración masculina	Floración femenina	Altura planta	Altura mazorca	Rendimiento
Repetición	1	8.53	10.01	1515.79**	592.11	8.59
Entrada	75	5.59	5.55	463.86**	219.86	10.36*
Error		6.37	6.11	238.46	166.77	6.95
C.V. (%)	75	4,48	4.21	7.03	11.71	40.08

* Significativo al 5% de probabilidad

** Altamente significativo al 1% de probabilidad

En las variables de floración masculina y femenina se observan que no hay diferencias significativas. En cuanto a altura de planta si hay diferencia significativa al 1 % de probabilidad, para altura de inserción de mazorca no se encuentra diferencias significativas. En rendimiento se observa variación significativa al 5 % de probabilidad. Este análisis se realizó con el fin de mostrar el comportamiento de en algunas variables de importancia.

Figura 2. Dos nuevos híbridos simples promisorios identificados en el ensayo 09-14TLXTFACTYN.

A continuación se muestra los resultados para el análisis combinado del ensayo 09-14TLXTFACTYN en tres localidades para solamente para la variable rendimiento.

Tabla 4. Comparación de TUKEY para los promedios de rendimiento al 5% de significancia del ensayo 09-14TLXTFACTYN

Fuente de Variación	G.L	Rendimiento
Entrada	75	5.13**
Localidad	2	13.42**
Ent * Loc	150	2.76*
Error	228	2.101
C.V. (%)		**21.58**

* Significativo al 5% de probabilidad ** Altamente significativo al 1% de probabilidad

Tabla 5. Comparación de TUKEY para los promedios de rendimiento al 5% de significancia del ensayo 09-14TLXTFACTYN.

10	Genealogía	Rendimiento (Tn/ha)	Prueba TUKEY 5%
31	CLYN459/CLYN274	8.46	A
64	CLYN489/CLYN352	8.41	A
9	CLYN451/CLYN352	8.27	BA
3	CLYN460/CLRCY041	8.24	BA
17	CLYN457/CL02450	8.17	BA
71	CLYN352/CLYN214	7.99	BA
61	CLYN489/CLYN274	7.95	BA
56	CLYN482/CLYN274	7.90	BA
47	CLYN488/CL02450	7.88	BA
43	CLYN456/CLRCY041	7.86	BA
46	CLYN488/CLYN274	7.76	BAC
29	CLYN462/CLYN352	7.73	BAC
39	CLYN453/CLYN352	7.68	BAC
34	CLYN459/CLYN352	7.61	BAC
54	CLYN468/CLYN352	7.60	BAC
12	CLYN461/CL02450	7.55	BAC
69	CLYN485/CLYN352	7.39	BAC
72	CLRCY015/CLYN214	7.35	BAC
66	CLYN485/CLYN274	7.34	BAC
32	CLYN459/CL02450	7.27	BAC
8	CLYN451/CLRCY041	7.22	BAC
2	CLYN460/CL02450	7.20	BAC
6	CLYN451/CLYN274	7.19	BAC
49	CLYN488/CLYN352	7.19	BAC
44	CLYN456/CLYN352	7.18	BAC

Se realizó una selección de los 25 mejores híbridos para la comparación de medias (Tukey=l 5%) , en el análisis de varianza se observa significancia al l % de probabilidad tanto para las variables por entrada y localidad. En cuanto a la interacción de entrada por localidad se observa variación significativa al 5 % de probabilidad con un C.V. de 21.58, y en el análisis de Tukey al 5% de probabilidad hay dos híbridos que sobresalen y por la observación en campo y sus características fenotípicas, se calificó un tercer híbrido los cuales están marcados con otro color la cual se muestra en la Figura 2

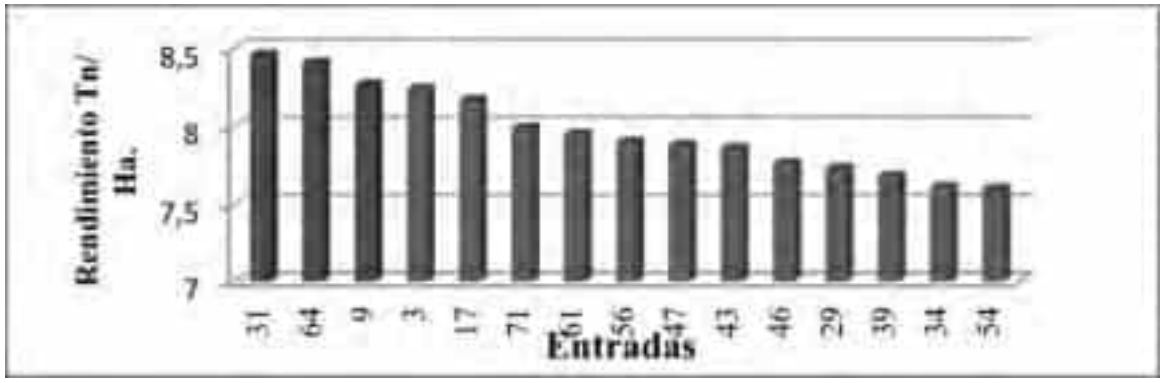


Figura 2. Gráfico del análisis combinado para las tres localidades, de las 15 mejores entradas (**Ensayo 09-14TLXTFACTYN)**.

También producto de la evaluación del ensayo 12CHTTW24, en el municipio de San Julián en la zona Este del departamento de Santa Cruz, se logró identificar un híbrido blanco con alto potencial de rendimiento. Se trabaja actualmente en el incremento de semilla de os progenitores del híbrido: CLWN201/CLRCW105.

Conclusiones

- De acuerdo a los resultados obtenidos, se tiene 3 entradas identificadas (31, 64 y la 9), de estos híbridos se realizará la solicitud al CIMMYT para el incremento de las mismas y la realización de las cruzas para la validación en diferentes localidades.
- Según los ensayos evaluados de la anterior campaña se ha identificado 5 híbridos simples y se trabaja en el incremento de los progenitores y la realización de las cruzas para realizar en la presente campaña de verano la validación en el Chaco Cruceño como en los Llanos Orientales en dos zonas de producción la zona Este y zona Norte
- En el caso del híbrido blanco se está trabajando con la cruzas para realizar la validación de este híbrido en diferentes localidades en esta campaña de verano.

Referencias Bibliográficas

- Claure, I.T. 1990. Alternancia de selección e hibridación en maíz. Tesis de doctorado. Colegio de Posgraduados, Montecillo, México.
- Maíz en el contexto Nacional. 2013. Plan de Implementación del Programa Nacional de Maíz. La Paz, Bolivia.
- http://www.notiboliviarural.com/index.php?option=com_content&view=article&id=12175:anapo-rendimientos-de-soya-y-maiz-disminuyen-en-la-campana-de-verano-2015&catid=293:agricola&Itemid=543, Consultado: 20 de octubre de 2015
- http://ibce.org.bo/ibcemail-detalle.php?id=220#.Vi5HcbcvfIU, Consultado: 20 de octubre de 2015
- Paliwal, R.L., Granados, G., Latiffe, H.R., D. Violic A. 2001. El maíz en los trópicos, Mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia. Disponible en: http://www.fao.org/DOCREP/003/X7650S/X7650S00.HTM, Consultado: 19 de octubre del 2015

Tabla 2. Descriptores cuantitativos con medias aritméticas diferentes y sus parámetros estadísticos asociado a dos líneas parentales (L1*: línea hembra: CML 451Q y L2**: línea macho CL 0245Q), constitutivas del híbrido simple de maíz CORPOICA QPM ALTILLANURA

Descriptor	Media aritmética		Desviación estándar		Coeficiente de variación		Intervalo o rango (+/-)	
	L1*	L2**	L1	L2	L1	L2	L1	L2
Altura planta (cm)	134,6	157,2	10,3	10,6	0,08	0,07	2,9	3,0
Altura mazorca superior (cm)	49,9	84,1	8,6	9,3	0,17	0,11	7,0	2,7
Altura mazorca inferior (cm)	37,2	70,7	8,1	8,6	0,22	0,12	2,3	2,4
Longitud pedúnculo espiga (cm)	2,6	7,5	1,8	2,1	0,68	0,28	0,5	0,6
Peso de mazorca (g)	60,7	94,7	17,3	16,8	0,29	0,18	4,9	4,8
Peso de grano/mazorca (g)	41,7	68,7	3,8	15,7	0,21	0,23	1,1	4,4
Peso de la tusa (g)	18,4	25.0	16,3	5,3	0,39	0,21	4,6	1,5

Tabla 3. Descriptores cuantitativos con medias aritméticas similares y sus parámetros estadísticos asociado a dos líneas parentales (L1*: línea hembra: CML 451Q y L2**: línea macho CL 0245Q), que constituyen el híbrido simple de maíz CORPOICA QPM ALTILLANURA

Descriptor	Media		Desviación estándar		Coeficiente de variación		Intervalo o rango (+/-)	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
Hojas totales (número)	10,9	11	1,5	0,8	0,14	0,07	0,4	0,2
Índice de prolificidad	2	2	0,5	0,5	0,31	0,34	0,1	0,1
Días Floración masculina	54	55	0,6	0,5	0,17	0,14	2,4	2,6
Días Floración femenina	56	56	0,7	0,6	0,19	0,16	2,5	2,4
Días a cosecha	101	103	7,2	7,5	0,09	0,11	3,3	2,8
Hileras de grano	14.00	14	1,95	1,28	0,14	0,1	0,56	0,37
Longitud de mazorca (cm)	15,2	15,5	1,92	1,87	0,14	0,12	0,55	0,54
Diámetro de mazorca (cm)	3,5	3,9	0,21	0,26	0,06	0,07	0,06	0,07
Relación grano: tusa	2,3	2,8	1,2	0,85	0,5	0,3	0,34	0,24
Grosor del grano	0,6	0,4	0,12	0,08	0,19	0,16	0,03	0,02
Ancho del grano	0,8	0,7	0,07	0,07	0,09	0,09	0,02	0,02
Longitud del grano	0,7	0,8	0,07	0,07	0,01	0,09	0,02	0,02
Peso de 20 granos	4,8	4,7	1,03	0,6	0,21	0,13	0,29	0,17

Anexo

Participantes a la XXI Reunión Latinoamericana de Maíz. Santa Cruz, Bolivia 2015

Autoridades e invitados magistrales: Felix San Vicente (CIMMYT), Juan Risi (IICA), Juan Ortubé (UAGRM), Jhonny Cordero (Viceministerio de Tierras-MDRyT), Carlos Osinaga (INIAF-MDRyT), Freddy Suarez (CAO), Isidoro Barrientos (CAPPO)

Panelistas en la XXI Reunión Latinoamericana de Maíz

Día de campo en el Instituto de Investigaciones Agrícolas "El Vallecito" (UAGRM)

Acto de clausura (Dr. Felix San Vicente, Dr. Tito Claure, Ing. Carlos Osinaga)

Clausura y reconocimiento a los expositores de la XXI Reunión Latinoamericana de Maíz

www.iniaf.gob.bo

INIAF Oficina Nacional :
Calle Batallón Colorados Nº 24 - Edif. El Cóndor, piso 16
Teléfonos (591) 2 2441153 - 2 2441608 - Fax 2 113629
La Paz - Bolivia

INIAF Regional Chaco-Programa Nacional de Maíz:
Calle 10 de Noviembre, entre Avaroa 1 Y 2
Teléfonos: FAX. (04) 6832140
E-mail: chaco@iniaf.gob.bo