

TRANSFERENCIA DE GENES DE PRECOCIDAD Y TOLERANCIA AL FRÍO A POBLACIONES HÍBRIDAS DE MAÍZ EN ZONAS ALTOANDINAS DEL SUR DEL PERÚ

GENE TRANSFER OF EARLINESS AND COLD TOLERANCE TO HYBRID MAYZE POPULATION IN THE HIGHLAND ANDES OF SOUTHERN PERU

*René Chávez*¹; *Walter Schmidt*²; *Gabriela Gutiérrez*³

RESUMEN

El germoplasma de maíz adaptado a bajas temperaturas es ampliamente cultivado dentro de un ecosistema semiárido altoandino del sur del Perú a altitudes que fluctúan entre 2500 y 4000 m s.n.m. y entre las latitudes 15° a 18° Sur. Un aspecto muy importante de la producción de maíz es la intensiva utilización de cerca de 20 cultivares o variedades nativas para la alimentación o por el color o la calidad de textura del grano.

La colección sistemática, caracterización y evaluación de las variedades nativas de maíz altoandino del sur del Perú se inició a principios del 2003 como parte de una investigación colaborativa sobre mejoramiento genético de maíz entre la compañía internacional de mejoramiento y producción de semilla híbrida KWS SAAT AG de Einbeck, Alemania, y la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, Perú.

El germoplasma nativo de maíz mostró una enorme diversidad y variabilidad genéticas; sin embargo, presentó algunas características fenotípicas comunes, tales como una marcada tolerancia a bajas temperaturas, un largo periodo vegetativo que fluctúa entre los ocho a nueve meses y una marcada resistencia al tumbado. Por otra parte, las variedades tolerantes al calor del trópico bajo pueden ser cosechadas en las zonas bajas de la costa sur peruana entre 90 a 120 días, dependiendo de la estación climática.

El establecimiento y conducción de este proyecto de mejoramiento fue llevado a cabo bajo la hipótesis de que es factible la transferencia de genes de precocidad y de tolerancia a bajas temperaturas de líneas superiores de maíz y del germoplasma altoandino a poblaciones híbridas sin alterar la diversidad genética de la población nativa. La utilización de cerca de 15 variedades nativas tolerantes al frío en estos tres años preliminares de investigación genética ha permitido generar hasta el presente grupos de progenies o poblaciones híbridas, mayormente consistentes de cruza recurrentes, familias de medios hermanos y hermanos completos para seleccionar dentro y entre estos grupos líneas endogámicas, líneas híbridas, líneas sintéticas y variedades.

La evaluación de las respuestas fenotípicas de las primeras poblaciones híbridas bajo las condiciones climáticas de las zonas altoandinas a 3350 m s.n.m. ha mostrado una alta frecuencia de líneas y genotipos promisorios tolerantes al frío y con una reducción de uno a dos meses en su periodo vegetativo para grano seco.

Palabras clave: maíz, *Zea mays*, precocidad, tolerancia a bajas temperaturas, variedades nativas, transferencia de genes.

ABSTRACT

Adapted cold tolerant maize germplasm is vastly cultivated in the semi-arid high Andean ecosystem from southern Peru on altitudes ranging from 2500 to 4000 masl and between 15° - 18° south latitude. An important part of maize production is the intensive utilization of about 20 open-pollinated native landraces for food preparation or preferred grain texture and color.

Systematic collection, characterization and evaluation of the tropical highland maize landraces from southern Peru began in the early 2003, as part of a cooperative breeding research between the international KWS SAAT AG seed-breeding company from Einbeck, Germany and the Faculty of Agronomy of National University of Tacna, Peru.

The native maize germplasm revealed enormous diversity and genetic variation in landraces, but shared some common phenotypic characters, such as, outstanding tolerance to low temperatures, very late growing period ranging from eight to nine months, and

¹ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú. Email: rchavez@unjbg.edu.pe

² KWS SAAT AG, Einbeck, Alemania. Email: w.schmidt@kws.com

³ Facultad de Ciencias, EAP. Biología, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú. Email: gaby_guti82@hotmail.com

a remarkable resistance to lodging. However, heat tolerant and early tropical lowland maize can be harvested in the Peruvian coastal plains at 90-120 days, depending on the growing season.

The establishment and conduction of this breeding project was carried out bearing in mind that geneflow from early-mature improved maize germplasm to the cold tolerant native landraces can be achieved without diminishing biodiversity. The utilization of about 15 cold tolerant native maize land races in this preliminary three years breeding research has generated up to date hybrid populations, mainly consisting of backcrossing, half-sib and full-sib progenies to make selections within and among them to develop inbred lines, hybrids, synthetics and varieties.

Evaluation of phenotypic responses of the first hybrid populations under the highland environmental conditions at 3350 masl has showed a high frequency of cold tolerant hybrid lines and genotypes with one-two month reduction of the growing period for dry kernels.

Key words: maize, *Zea mays*, earliness, cold tolerance, landraces, geneflow.

INTRODUCCIÓN

En general, en las zonas altoandinas del Perú, Bolivia y Ecuador el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) se realiza en ambientes o ecosistemas menos favorables de clima y suelo. Las bajas temperaturas reinantes en esta zona agroecológica afectan el cultivo del maíz en los periodos de germinación, crecimiento y reproducción, aun cuando el daño varíe dependiendo del lugar y del sistema de siembra y la variedad utilizada. Asimismo, las bajas temperaturas afectan significativamente el periodo vegetativo de la planta (Chávez *et al.*, 2005). Aunque la planta de maíz no sufra daño, la prolongación de su ciclo de vida causada por las bajas temperaturas tiene mucha importancia agronómica y económica, el costo del cultivo aumenta, así como el riesgo de que su rendimiento disminuya debido a ataques de agentes patógenos y heladas tempranas. Es así que además de estos efectos generales, no necesariamente letales, el frío excesivo precisamente causado por las heladas tempranas y tardías, que inesperadamente se presentan en el ecosistema altoandino, puede ocasionar daños directos cuya intensidad provoque la muerte de algunos órganos o de toda la planta (Sevilla, 1995).

En las plantas sometidas a muy bajas temperaturas por debajo de -4 °C se forman cristales de hielo en los espacios intracelulares de los tejidos expuestos causando la muerte de las células y de la planta en general. Es la formación de estos cristales de hielo en los espacios intercelulares y no la baja temperatura *per se* la que causa gran daño a la biomasa aérea y muerte de la planta (Narro *et al.*, 2003). Los cristales de hielo se forman del agua que es lentamente exudado del citoplasma durante el proceso de congelación. Incluso, aunque no se formen cristales de hielo el tejido foliar puede exhibir un daño irreversible, el cual es el resultado de la deshidratación inducida por el frío extremo.

El estrés por frío o bajas temperaturas tiene muchos efectos negativos en la planta de maíz; principalmente se manifiestan en una marcada reducción de la biomasa aérea, enanismo, prolongación del periodo vegetativo y disminución o inhibición de la producción de granos por mazorca (Schmidt, 2004). La gran mayoría de las variedades y razas de maíz nativo y de los híbridos y líneas mejoradas son susceptibles a heladas y bajas temperaturas. Sin embargo, existe un germoplasma especial de maíz con razas y variedades nativas adaptadas a bajas temperaturas y a heladas moderadas que habitan en las zonas altoandinas de Sudamérica, que por un largo proceso de evolución, selección natural y antropogénica se han adaptado a las condiciones ambientales extremas de los Andes altos donde predominan durante casi todo el año las bajas temperaturas, las heladas ocasionales, la alta radiación solar y sequedad ambiental, así como sequías temporales durante su desarrollo vegetativo a altitudes que fluctúan entre 2800 y 4000 m s.n.m.

Algunas de las variedades de maíz pueden tolerar aun temperaturas de -4 °C a -6 °C, mostrando una moderada resistencia a heladas (Develois *et al.*, 2003). El germoplasma altoandino de maíz contiene más de 20 variedades nativas de fotoperiodo corto y que pueden desarrollarlas normalmente a temperaturas de 3-7 °C por debajo de la temperatura letal de la planta de maíz (Gutiérrez, 2006). Sin embargo existe otro subgrupo de variedades nativas de maíz que habitan en el altiplano peruano-boliviano entre 3800 y 4000 m s.n.m. que pueden soportar en conjunto o sus genotipos segregantes temperaturas por debajo de -6 °C a -8 °C sin daño significativo de la biomasa aérea (Sevilla, 1995).

Una clase de mRNA es conocido por acumularse en muchas especies vegetales durante la aclimatación al frío, exhibiendo un incremento en proteínas solubles, el cual es proporcional al

grado de intensidad de frío sometido a la planta. Asimismo, niveles de hormonas han sido observadas que fluctúan durante el proceso de aclimatación al frío. Se ha descubierto que en las especies o variedades que pueden aclimatarse al frío el ABA se eleva y el GA declina. En general, la aclimatación al frío en muchas especies vegetales incluye la acumulación de proteínas solubles Dehydrin/Lea/Rab. Por consiguiente, es interesante especular que los homólogos de estos productos del gen o genes podrían mediar en la inducción a la tolerancia al frío (Taba *et al.*, 1997).

Las bases genéticas de la resistencia o tolerancia al frío o bajas temperaturas son todavía desconocidas. La construcción de mapas genéticos de *Zea mays* y especies filogenéticamente afines usando RFLPs está actualmente en camino o progreso, el cual podría aclarar estos factores genéticos elusivos (Sevilla, 2005). En este sentido, es muy probable que en un futuro muy cercano se pueda correlacionar la susceptibilidad o resistencia a bajas temperaturas en la planta de maíz con alelos específicos usando sondas moleculares. En general, los estreses abióticos del medio ambiente reducen el rendimiento y la calidad del producto en la planta de maíz (Chávez *et al.*, 2004).

Todo estrés abiótico de baja temperatura durante el crecimiento vegetativo de la planta puede causar principalmente cuatro efectos:

- a. Reducción de la función y eficiencia fotosintética.
- b. Disminución del vigor general y de la biomasa aérea de la planta.
- c. Alteración de la distribución de los productos fotosintéticos en la planta.
- d. Alargamiento del periodo vegetativo.

Estos efectos adversos son el resultado de la suspensión temporal de los procesos metabólicos de la planta durante la formación de los granos en el caso del maíz. Sin embargo, el mecanismo molecular y genético de este fenómeno fisiológico no está todavía aclarado, es decir, las bases genéticas y moleculares de la resistencia a estreses abióticos no están todavía bien definidas.

Es verdad que los fitogenetistas han obtenido una ganancia de genética en los programas de mejoramiento y selección de líneas y variedades que puedan ser cultivadas en zonas de estrés (Serratos *et al.*, 1995). Sin embargo, no está claro qué factores genéticos están involucrados en tal tolerancia. Por

otra parte, la actividad de enzimas específicas ha sido correlacionada con tolerancia o susceptibilidad al estrés. Por ejemplo, el HSPs con tolerancia al estrés y el Dehydrin-Like, Lea, proteínas en la tolerancia a la sequía y bajas temperaturas incluyendo las heladas, pero la directa participación de estos factores en la tolerancia al estrés es desconocida.

Los fitogenetistas siempre han mostrado esfuerzos para entender la fisiología, bioquímica y la genética molecular de las respuestas fenotípicas de las plantas frente al estrés abiótico (KWS, 2005). Hasta ahora se presentan algunos resultados promisorios; los análisis bioquímicos y moleculares han logrado identificar productos de genes que pueden mediar la tolerancia al estrés. El rol de estos productores genéticos y su efectividad en la tolerancia al estrés ya ha sido experimentado en plantas transgénicas, tal es el caso del maíz TG resistente a sequía y salinidad obtenido en los laboratorios de biotecnología de Japón y EE.UU. (Sevilla, 2005).

El establecimiento y conducción de programas de mejoramiento genético convencional de plantas para resistencia o tolerancia a estreses abióticos permite un flujo o transferencia de genes entre dos poblaciones cada una con características fenotípicas propias (Castillo y Goodman, 1997). Asimismo, conllevan a la generación de nuevas poblaciones híbridas que combinan en una sola planta los atributos fenotípicos deseados de ambos progenitores, tal como se pretende obtener en el presente proyecto de mejoramiento genético de maíz para tolerancia al frío y precocidad. El flujo y la transferencia de genes de estas dos poblaciones diferentes permitirán la generación de genotipos superiores de maíz de alto rendimiento en grano, tolerante al frío y con una reducción significativa del periodo vegetativo en la zona altoandina.

En esta publicación se enfoca la reacción fenotípica y la performance agronómica general de los progenitores y poblaciones híbridas, asimismo la capacidad y afinidad combinatoria de las líneas parentales para producir semilla híbrida.

MATERIALES

Para los programas de cruzamientos y generación de nuevas poblaciones híbridas se han utilizado dos grupos de germoplasma de maíz, el maíz nativo o andino y el maíz mejorado o exótico:

- a) El germoplasma andino (recurrente) consiste de 17 variedades de razas nativas de maíz altoandino donante de genes de tolerancia a bajas temperaturas y de largo periodo vegetativo, colectadas en zonas altoandinas entre 2700 y 3900 m s.n.m. (Grobman *et al.*, 1961).
- b) El germoplasma mejorado exótico constituido por 14 líneas superiores de maíz donante de genes de precocidad de corto periodo vegetativo, de bajas altitudes y susceptible al frío. (Tabla 1)

Tabla 1

Razas y variedades nativas y exóticas mejoradas utilizadas en los programas de cruzamientos en las zonas altoandinas del sur del Perú

Código Campo	Línea o variedad	Progenitor	Origen	Altitud (m s.n.m.)	Característica principal
CT01	Puco Cenizo	Masculino	Tarata, Tacna	3000	Tardío, tolerante al frío, grano gris amiláceo
CT02	Quello del Cuzco Ac	Masculino	Anta, Cuzco	3250	Tardío, tolerante al frío, grano amarillo duro
CT03	Amarillo de Tarata	Masculino	Tarata, Tacna	3100	Tardío, tolerante al frío, grano amarillo duro
CT04	Amarillo Gigante	Masculino	Tarata, Tacna	3000	Tardío, tolerante al frío, grano amarillo duro
CT05	Blanco de Tarata	Masculino	Tarata, Tacna	3000	Tardío, tolerante al frío, grano blanco amiláceo
CT06	Blanco de Urubamba	Masculino	Pisac, Cuzco	2700	Tardío, tolerante al frío, grano blanco amiláceo
CT07	Cabanaconde Blanco	Masculino	Cabanaconde, Arequipa	2950	Tardío, tolerante al frío, grano blanco amiláceo
CT08	Cabanaconde Rojo	Masculino	Cabanaconde, Arequipa	2950	Tardío, tolerante al frío
CT09	Chullpi	Masculino	Tarata, Tacna	3000	Tardío, tolerante al frío, grano amarillo amilosacarata
CT10	Sacsá del Cuzco	Masculino	Anta, Cuzco	3100	Tardío, tolerante al frío, grano rojo jaspeado amiláceo
CT11	Carumeño Rojo	Masculino	Carumas, Moquegua	3100	Tardío, tolerante al frío, grano rojo amiláceo
CT12	Carumeño Rosado	Masculino	Carumas, Moquegua	3100	Tardío, tolerante al frío, grano rosado amiláceo
CT13	Cenizo Pizala	Masculino	Tarata, Tacna	3050	Tardío, tolerante al frío, grano gris moteado amiláceo
CT14	Cenizo C (Gigante)	Masculino	Tarata, Tacna	3100	Tardío, tolerante al frío, grano negro-moteado amiláceo
CT15	Quello del Cuzco Ao	Masculino	Anta, Cuzco	3200	Tardío, tolerante al frío, grano amarillo duro
CT16	Pomata	Femenino	Pomata, Puno	3900	Tardío, tolerante al frío, grano blanco duro
CT17	Zepita	Femenino	Zepita, Puno	3900	Tardío, tolerante al frío, grano blanco duro
EV01	Gavott	Femenino	Einbeck, Alemania	250	Precoz, susceptible al frío, grano amarillo duro
EV02	Kx2132	Femenino	Einbeck, Alemania	250	Precoz, susceptible al frío, grano amarillo duro
EL01	KWS-Syn01	Femenino	Einbeck, Alemania	250	Precoz, susceptible al frío, grano amarillo duro
EL02	KWS-Syn02	Femenino	Einbeck, Alemania	250	Precoz, susceptible al frío, grano amarillo duro
EL03	KWS-Syn02	Femenino	Einbeck, Alemania	250	Precoz, susceptible al frío, grano amarillo duro
EL04	KWS-Syn02	Femenino	Einbeck, Alemania	250	Precoz, susceptible al frío, grano amarillo duro
EL05	KWS-Syn02	Femenino	Einbeck, Alemania	250	Precoz, susceptible al frío, grano amarillo duro
EL06	KWS-Syn02	Femenino	Einbeck, Alemania	250	Precoz, susceptible al frío, grano amarillo duro
EL07	KWS-Syn02	Femenino	Einbeck, Alemania	250	Precoz, susceptible al frío, grano amarillo duro
EL08	KWS-Syn02	Femenino	Einbeck, Alemania	250	Precoz, susceptible al frío, grano amarillo duro
EL09	KWS-Syn02	Femenino	Einbeck, Alemania	250	Precoz, susceptible al frío, grano amarillo duro
EL10	KWS-Syn02	Femenino	Einbeck, Alemania	250	Precoz, susceptible al frío, grano amarillo duro
EL11	KWS-Syn11	Femenino	Einbeck, Alemania	250	Precoz, susceptible al frío, grano amarillo duro
EM01	KWS-Syn088	Masculino	Einbeck, Alemania	250	Precoz, susceptible al frío, grano amarillo duro

MÉTODOS

Durante los programas de cruzamiento e hibridaciones, así como en la evaluación de las poblaciones híbridas se ha seguido la siguiente metodología:

SELECCIÓN DE LOS PROGENITORES

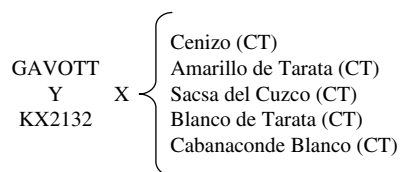
Se han colectado y seleccionado muestras de semilla de razas o variedades nativa de maíz adaptadas a ecosistemas altoandinos del sur del Perú a altitudes que fluctúan entre 2700 y 3900 m s.n.m., con genes de alta tolerancia al frío o bajas temperaturas, buen vigor y rendimiento de mazorcas y con largo periodo vegetativo de ocho a nueve meses. Este germoplasma nativo fue utilizado como progenitor masculino y recurrente en la mayoría de las combinaciones (Narro *et al.*, 2003). El germoplasma exótico utilizado mayormente como progenitor femenino ha estado constituido por líneas sintéticas mejoradas y superiores de alta precocidad y periodo vegetativo corto de tres a cuatro meses, susceptible al frío y al estrés de sequía moderada.

ESTRATEGIA DE CRUZAMIENTOS E HIBRIDACIONES

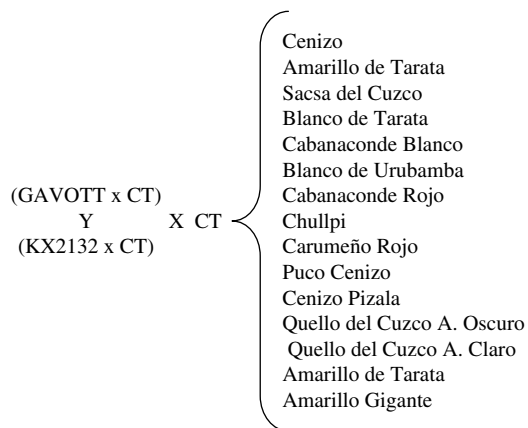
Los programas de cruzamientos e hibridaciones fueron realizados en tres diferentes ecosistemas andinos: En la localidad de Circa, Tarata, 3350 m s.n.m., se concluyeron la gran mayoría de las combinaciones, cuyo ecosistema es árido-semiárido en una agricultura de andenería con riego restringido, alta radiación solar y muy baja humedad relativa. En la localidad de Andenes, INIA, Cusco, 3350 m s.n.m. bajo una agricultura de andenería incaica y de secano en un ecosistema semihúmedo sin riego y lluvia abundante durante el verano, alta radiación solar y media-alta humedad relativa. En la localidad de Pedregal, UNSA, Arequipa, 1400 m s.n.m., bajo un agroecosistema árido, con riego tecnificado por aspersión, alta radiación solar y muy baja humedad relativa y una temperatura moderadamente fría de la estación de invierno.

PROGRAMAS DE CRUZAMIENTOS E HIBRIDACIONES

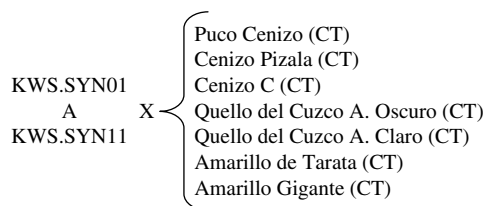
1. Cruzamientos iniciales y masales entre dos líneas o variedades mejoradas exóticas y cinco razas nativas de maíz seleccionadas tolerantes al frío codificado como CT:



2. Cruzamientos recurrentes de los híbridos F1 al progenitor masculino nativo tolerante al frío (CT):



3. Cruzamientos entre once líneas sintéticas mejoradas de amplia base genética, muy precoces y susceptibles al frío, con siete variedades nativas selectas muy tolerantes al frío:



4. Cruzamientos recurrentes (BCI) entre 50 familias híbridas de medios hermanos (HSF) y el progenitor masculino recurrente tolerante al frío y de alto rendimiento (Fakorede y Mock, 1978). (50 HSF: KWS-SYN01-11 x CT) x Amarillo de Tarata (CT).

5. Cruzamiento de mantenimiento de la estabilidad genética heterocigota entre dos poblaciones de familias híbridas de medios hermanos (HSF) (Crosa y Vencovsky, 1994).

60 HSF :[(GAVOTT x CT) x CT] x 60 HSF: [(KX2132 x CT) x CT].

6. Cruzamientos entre diez razas nativas de maíz seleccionadas por su alta resistencia al frío de ecosistemas altoandinos entre 3350 y 3900

m s.n.m. y al progenitor masculino de una línea mejorada sintética muy precoz en dos ecosistemas áridos: Andenes (3350 m s.n.m) y Pedregal (1400 m s.n.m.)

<p>Amarillo de Tarata Blanco de Urubamba Cabanacón Blanco Puco Cenizo Cenizo Gigante Chullpi Pesscoruntu Pomata Rojo Sacsá del Cuzco Zepita Amarillo Amarillo Oro *</p>	}	X KWS-SYN088
---	---	--------------

* Fue utilizado solamente en Andenes, Cuzco.

EVALUACIONES EN LOS CAMPOS EXPERIMENTALES

En la gran mayoría de los cruzamientos e hibridaciones experimentales los progenitores precoces fueron sensibles un mes después de la siembra de los progenitores tardíos a fin de lograr una sincronización adecuada durante la floración de ambos progenitores. Todas las plantas o genotipos femeninos fueron emasculados al inicio del desarrollo de la panoja. En general, las respuestas fenotípicas o caracteres morfológicos y fisiológicos de los progenitores y de las poblaciones híbridas fueron evaluados y registrados aplicando mayormente la escala discontinua de reacción fenotípica en programas de fitomejoramiento de 0 – 1 – 3 – 5 – 7 – 9 para los siguientes caracteres:

- a) Grado de vigor, altura y producción de biomasa verde de la planta cada 30 días del periodo vegetativo.
- b) Frecuencia de la formación de inflorescencia masculina y femenina en ambos progenitores a partir de los 60 días después de la siembra.
- c) Grado de maduración o formación del choclo.
- d) Grado de secamiento de la mazorca (hasta grano seco).
- e) Frecuencia de mazorcas decumbentes.
- f) Grado de senescencia total de la planta.
- g) Grado de rendimiento de mazorcas durante la cosecha.

RESULTADOS

Durante los tres años de hibridaciones y evaluaciones de las poblaciones híbridas se ha acumulado una tremenda cantidad de datos de campo y laboratorio. En este capítulo se muestran nueve tablas que representan de forma general los resultados más resaltantes y contrastantes desde el punto de vista de mejoramiento genético convencional en su fase inicial. Las tablas 2 al 10 muestran la generación de poblaciones híbridas y las respuestas fenotípicas de los progenitores y las progenies. Asimismo, las figuras del 1 al 6 muestran los bloques de cruzamientos y las respuestas fenotípicas de las progenies y poblaciones híbridas.

DISCUSIÓN

Los programas de cruzamientos y evaluaciones de las poblaciones híbridas de maíz realizados durante estos tres primeros años de investigación en ecosistemas altoandinos surperuanos muestran la factibilidad de la transferencia de genes que gobiernan la precocidad del germoplasma exótico mejorado susceptible al frío al germoplasma nativo de razas selectas tolerantes al frío o baja temperatura de largo periodo vegetativo adaptado al ecosistema altoandino. En este sentido se ha logrado un avance genético significativo en las poblaciones híbridas y recurrentes de maíz mediante la expresión fenotípica de los genes de tolerancia al frío y los genes de precocidad, respectivamente, de los genotipos progenitores iniciales.

En general, se ha observado en la gran mayoría de poblaciones híbridas iniciales y avanzadas una marcada reducción del periodo vegetativo entre 30 y 50 días, experimentada en dos localidades altoandinas: en Tarata, Tacna (3350 m s.n.m.), bajo un ecosistema árido-semiárido con muy escasa precipitación pluvial (100-200 mm) en agricultura de andenes con riego moderadamente restringido, y en la localidad de Andenes, Cuzco (3350 m s.n.m.), bajo un ecosistema semihúmedo sin riego y con lluvia (700-1000 mm) en un sistema de agricultura de andenes incaicos, con abundante y suficiente precipitación pluvial para mantener en condiciones húmedas óptimas la rizosfera de las plantas durante todo el periodo vegetativo. Por otra parte, las poblaciones híbridas han mostrado una conspicua variabilidad genética entre líneas y dentro

Tabla 2

Cruzamiento entre dos líneas precoces superiores y seis variedades nativas tolerantes a bajas temperaturas y de largo periodo vegetativo. Circa, Tarata, Tacna, 3350 m s.n.m.

Cod. Cruz.	Progenitor Femenino (E)	Nº Plantas	Progenitor Masculino (CT)	Nº Plantas	Peso Total Semilla Híbrida (g)	Nº Total de Semilla
ECTB.1	GAVOTT	60	Cenizo	20	850	2560
			Amarillo Tarata	20		
			Amarillo Gigante	20		
			Sacsa Cuzco	20		
			Blanco de Tarata	20		
			Cabanaconde Blanco	20		
ECTB.2	KX2132	60	Cenizo	20	720	2100
			Amarillo Tarata	20		
			Amarillo Gigante	20		
			Sacsa Cuzco	20		
			Blanco de Tarata	20		
			Cabanaconde Blanco	20		

Tabla 3

Cruzamiento recurrente (*backcrossing*) de familias híbridas con ocho variedades nativas tolerantes a bajas temperaturas. Circa, Tarata, Tacna, 3350 m s.n.m.

Cod. Cruz.	Progenitor Femenino (E)	Nº Plantas	Progenitor Masculino Recurrente (CT)	Nº Plantas	Peso Total Semilla (g) 1ª Cosecha	Nº Total de Semilla
ECTBCT.1	GAVOTT X CT.BULK	30	Blanco de Tarata	40	2900	3100
ECTBCT.2	GAVOTT X CT.BULK	30	Blanco de Urubamba	40	2650	2500
ECTBCT.3	GAVOTT X CT.BULK	30	Cabanaconde Blanco	40	2250	4000
ECTBCT.4	GAVOTT X CT.BULK	30	Cabanaconde Rojo	40	2300	3900
ECTBCT.5	GAVOTT X CT.BULK	30	Chullpi	40	1800	3300
ECTBCT.6	GAVOTT X CT.BULK	30	Sacsa del Cuzco	40	2100	2200
ECTBCT.7	GAVOTT X CT.BULK	30	Carumeño Rojo	40	3200	5400
ECTBCT.8	GAVOTT X CT.BULK	30	Carumeño Rosado	40	1920	2350

Tabla 4

Cruzamiento recurrente (*backcrossing*) de familias F1 con catorce variedades nativas tolerantes a bajas temperaturas. Circa, Tarata, Tacna, 3350 m s.n.m.

Cod. Cruzamiento	Progenitor Femenino (E)	N° Plantas	Progenitor Masculino Recurrente (CT)	N° Plantas	Peso Total Semilla (g) 1ª Cosecha	N° Total de Semilla
ECTBCT.9	KX2132 X CT.BULK	35	Puco Cenizo	50	2300	3500
ECTBCT.10	KX2132 X CT.BULK	35	Cenizo Pizala	50	2650	4100
ECTBCT.11	KX2132 X CT.BULK	35	Cenizo C	50	2100	3750
ECTBCT.12	KX2132 X CT.BULK	35	Quello Cuzco AO	50	3100	5400
ECTBCT.13	KX2132 X CT.BULK	35	Amarillo Tarata	50	3200	5650
ECTBCT.14	KX2132 X CT.BULK	35	Amarillo Gigante	50	2800	3400
ECTBCT.15	KX2132 X CT.BULK	35	Quello Cuzco AC	50	2400	3910
ECTBCT.16	KX2132 X CT.BULK	35	Blanco Urubamba	50	1600	2700
ECTBCT.17	KX2132 X CT.BULK	35	Cabanaconde Blanco	50	2300	3900
ECTBCT.18	KX2132 X CT.BULK	35	Cabanaconde Rojo	50	2100	4000
ECTBCT.19	KX2132 X CT.BULK	35	Chullpi	50	1200	2150
ECTBCT.20	KX2132 X CT.BULK	35	Sacsa Cuzco	50	2500	3400
ECTBCT.21	KX2132 X CT.BULK	35	Carumeño Rojo	50	1400	2700
ECTBCT.22	KX2132 X CT.BULK	35	Carumeño Rosado	50	1350	2180

Tabla 5

Combinaciones de dos poblaciones híbridas. Circa, Tarata, Tacna, 3350 m s.n.m.

N° Cruzamiento	Progenitor Femenino (ECT)	Progenitor Masculino (ECT)	N° de Mazorcas Híbridas Seleccionadas	% Mazorcas Híbridas Seleccionadas
HSF.1.1-1.4	(GAVOTT x CT.BULK) x BLANCO DE TARATA	(KX2132 x CT.BULK) x AMARILLO DE TARATA	106	44%
HSF.2.1-2.4	(GAVOTT x CT.BULK) x BLANCO URUBAMBA	(KX2132 x CT.BULK) x AMARILLO DE TARATA	124	52%
HSF.3.1-3.4	(GAVOTT x CT.BULK) x CABANACONDE BLANCO	(KX2132 x CT.BULK) x QUELLO DE CUSCO AO	120	50%
HSF.4.1-4.4	(GAVOTT x CT.BULK) x CABANACONDE ROJO	(KX2132 x CT.BULK) x QUELLO DE CUZCO AO	132	55%
HSF.5.1-5.4	(GAVOTT x CT.BULK) x CHULLPI	(KX2132 x CT.BULK) x AMARILLO GIGANTE	165	69%
HSF.6.1-6.4	(GAVOTT x CT.BULK) x SACSA DEL CUZCO	(KX2132 x CT.BULK) x AMARILLO GIGANTE	50	21%
HSF.7.1-7.4	(GAVOTT x CT.BULK) x CARUMEÑO ROJO	(KX2132 x CT.BULK) x QUELLO DE CUZCO AC	163	68%
HSF.8.1-8.4	(GAVOTT x CT.BULK) x CARUMEÑO ROSADO	(KX2132 x CT.BULK) x QUELLO DE CUZCO AC	181	75%

Tabla 6

Cruzamiento entre 11 líneas precoces sintéticas de amplia base genética y ocho variedades nativas tolerantes al frío. Circa, Tarata, Tacna, 3500 m s.n.m.

Cod. Cruz.	Progenitor Femenino (E)	N° Plantas	Progenitor Masculino Recurrente (CT)	N° Plantas	Peso Total Semilla Híbrida	N° Total de Semilla Híbrida
ESCT.1	KWS-SYN 01	40	Puco Cenizo	40	2400	4350
ESCT.2	KWS-SYN 02	40	Puco Cenizo	40	2100	4100
ESCT.3	KWS-SYN 03	40	Cenizo Pizala	40	2300	4000
ESCT.4	KWS-SYN 04	40	Cenizo Pizala	40	2450	5100
ESCT.5	KWS-SYN 05	40	Cenizo C	40	3200	5600
ESCT.6	KWS-SYN 06	40	Cenizo C	40	3100	5050
ESCT.7	KWS-SYN 07	25	Quello Cuzco AO	40	1200	3100
ESCT.8	KWS-SYN 07	25	Cenizo C	40	2350	4250
ESCT.9	KWS-SYN 08	25	Quello Cuzco AC	40	1150	3400
ESCT.10	KWS-SYN 08	25	Amarillo Tarata	40	1300	2800
ESCT.11	KWS-SYN 09	25	Amarillo Tarata	40	1400	3100
ESCT.12	KWS-SYN 09	25	Amarillo Gigante	40	1700	3900
ESCT.13	KWS-SYN 10	40	Amarillo Gigante	40	2300	4700
ESCT.14	KWS-SYN 11	40	Quello Cuzco AC	40	2350	4650

Tabla 7

Frecuencia de genotipos precoces y mazorcas decumbentes entre las familias híbridas de medios hermanos (HSF). Circa, Tarata, Tacna, 3350 m s.n.m.

N° Cruzamiento	Poblaciones Híbridas (ECT)	N° Genot. Prec.	% Gen. Prec.	N° Maz. Dec.	% Maz. Dec.
HSF.1.1-1.4	(GAVOTT x CT.BULK) x BLANCO DE TARATA	126	53%	12	5%
HSF.2.1-2.4	(GAVOTT x CT.BULK) x BLANCO URUBAMBA	164	68%	18	8%
HSF.3.1-3.4	(GAVOTT x CT.BULK) x CABANACONDE BLANCO	157	65%	9	4%
HSF.4.1-4.4	(GAVOTT x CT.BULK) x CABANACONDE ROJO	160	67%	14	6%
HSF.5.1-5.4	(GAVOTT x CT.BULK) x CHULLPI	207	86%	9	4%
HSF.6.1-6.4	(GAVOTT x CT.BULK) x SACS DEL CUZCO	73	30%	9	4%
HSF.7.1-7.4	(GAVOTT x CT.BULK) x CARUMEÑO ROJO	196	82%	11	5%
HSF.8.1-8.4	(GAVOTT x CT.BULK) x CARUMEÑO ROSADO	227	95%	5	2%
HSF.13.1-13.5	KWS-SYN10 x AMARILLO GIGANTE	140	47%	25	8%
HSF.14.1-14.5	KWS-SYN11 x QUELLO CUZCO AC	164	55%	21	7%
HSF.9.1-9.5	KWS-SYN08 x QUELLO CUZCO AC	80	27%	30	10%
HSF.10.1-10.5	KWS-SYN08 x AMARILLO DE TARATA	149	50%	32	11%
HSF.11.1-11.5	KWS-SYN09 x AMARILLO DE TARATA	71	24%	31	10%
HSF.12.1-12.5	KWS-SYN09 x AMARILLO GIGANTE	237	79%	7	2%
HSF.5.1-5.5	KWS-SYN05 x CENIZO C	181	60%	14	5%
HSF.6.1-6.5	KWS-SYN06 x CENIZO C	179	60%	12	4%
HSF.7.1-7.5	KWS-SYN07 x QUELLO CUZCO AO	119	40%	64	21%
HSF.8.1-8.5	KWS-SYN07 x CENIZO C	253	84%	8	3%
HSF.1.1-1.5	KWS-SYN01 x PUCO CENIZO	279	93%	27	9%
HSF.2.1-2.5	KWS-SYN02 x PUCO CENIZO	300	100%	26	9%
HSF.3.1-3.5	KWS-SYN03 x CENIZO PIZALA	300	100%	25	8%
HSF.4.1-4.5	KWS-SYN04 x CENIZO PIZALA	300	100%	10	3%

Total genotipos: HSF=240 (GAVOTT X CT.BULK) x CT

Total genotipos: HSF=300 (KWS-SYN08) x CT.

60 genotipos por cada HSF

Tabla 8
Cruzamientos recurrentes de híbridos a progenitores recurrentes
tolerantes al frío. Circa, Tarata, Tacna, 3350 m s.n.m.

Cod. Cruzamiento	Progenitor Femenino (ECT)	Progenitor Masculino (CT)	N° de Mazorcas Híbridas Seleccionadas	% Maíz Híbrida Seleccionada
HSF.1.1-1.5	KWS-SYN01 x PUCCO CENIZO	Amarillo de Tarata	245	82%
HSF.2.1-2.5	KWS-SYN02 x PUCCO CENIZO	Amarillo de Tarata	270	90%
HSF.3.1-3.5	KWS-SYN03 x CENIZO PIZALA	Amarillo de Tarata	268	89%
HSF.4.1-4.5	KWS-SYN04 x CENIZO PIZALA	Amarillo de Tarata	259	86%
HSF.5.1-5.5	KWS-SYN05 x CENIZO C	Amarillo de Tarata	150	50%
HSF.6.1-6.5	KWS-SYN06 x CENIZO C	Amarillo de Tarata	143	48%
HSF.7.1-7.5	KWS-SYN07 x QUELLO CUZCO AO	Amarillo de Tarata	91	30%
HSF.8.1-8.5	KWS-SYN07 x CENIZO C	Amarillo de Tarata	215	72%
HSF.9.1-9.5	KWS-SYN08 x QUELLO CUZCO AC	Amarillo de Tarata	51	17%
HSF.10.1-10.5	KWS-SYN08 x AMARILLO DE TARATA	Amarillo de Tarata	108	36%
HSF.11.1-11.5	KWS-SYN09 x AMARILLO DE TARATA	Amarillo de Tarata	40	13%
HSF.12.1-12.5	KWS-SYN09 x AMARILLO GIGANTE	Amarillo de Tarata	203	68%
HSF.13.1-13.5	KWS-SYN10 x AMARILLO GIGANTE	Amarillo de Tarata	107	36%
HSF.14.1-14.5	KWS-SYN11 x QUELLO CUZCO AC	Amarillo de Tarata	126	42%

Tabla 9
Cruzamientos de variedades nativas muy tolerantes al frío y
una línea precoz susceptible al frío en dos localidades altoandinas

Cod. Cruzamiento	Progenitor Femenino (CT)	Progenitor Masculino (E)	N° de Mazorcas Híbridas Secas Seleccionadas	
			Pedregal * 1400 M S.N.M.	Andenes ** 3350 M S.N.M.
CTE 1	Amarillo de Tarata	KWS.SYN.088	11	3
CTE 2	Blanco de Urubamba	KWS.SYN.088	13	0
CTE 3	Cabanaconde Blanco	KWS.SYN.088	55	4
CTE 4	Pucco Cenizo	KWS.SYN.088	13	0
CTE 5	Cenizo Gigante	KWS.SYN.088	19	6
CTE 6	Chullpi	KWS.SYN.088	12	3
CTE 7	Pesscorunto	KWS.SYN.088	24	NE
CTE 8	Pomata Rojo	KWS.SYN.088	82	22
CTE 9	Sacsá del Cuzco	KWS.SYN.088	17	0
CTE 10	Zepita Amarillo	KWS.SYN.088	86	8
CTE 11	Amarillo Oro	KWS.SYN.088	NE	10
CTE 12	Blanco de Tarata	KWS.SYN.088	NE	1

* Periodo vegetativo: cinco meses con 200 genotipos femeninos.

** Periodo vegetativo: ocho meses con 70 genotipos femeninos.

Tabla 10

Respuestas fenotípicas de los genotipos parentales femenino y masculino y de las poblaciones híbridas frente al estrés de frío en el ecosistema altoandino surperuano (3350 m s.n.m.)

N° Comb.	Progenitor Femenino					Progenitor Masculino					Poblaciones Híbridas							
	—	\bar{x} Ap	\bar{x} Vig	\bar{x} Biom	\bar{x} Rm	\bar{x} pre	—	\bar{x} Ap	\bar{x} Vig	\bar{x} Biom	\bar{x} Rm	\bar{x} Pre	Comb.	\bar{x} Ap	\bar{x} Vig	\bar{x} Biom	\bar{x} Rm	\bar{x} Pre
1	GAVOTT	3.0	3.0	1.5	3.0	5.0	CT. NATIVO	8.0	9.0	8.0	9.0	9.0	_ x _	7.5	8.0	7.5	7.0	7.5
2	KX2132	3.0	3.0	3.0	3.0	5.0	CT. NATIVO	8.0	9.0	8.0	9.0	9.0	_ x _	7.5	8.0	7.5	7.0	7.5
3	GAVOTTxCT	7.0	7.0	7.0	7.5	7.5	CT. NATIVO	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	_ x _	7.0	7.0	9.0	8.0	7.5
4	KX2132xCT	7.0	7.0	7.0	7.5	7.5	CT. NATIVO	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	_	7.0	7.0	9.0	8.0	7.5
5	GAVOTTxCTxCT	7.0	7.0	7.0	7.5	7.5	KX2132xCTxCT	7.0	7.0	7.0	7.5	7.5	_	NE	NE	NE	NE	NE
6	KWS-SYN01-11	5.0	5.5	5.0	5.0	5.5	CT. NATIVO	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	_	9.0	9.0	9.0	8.5	7.0
7	KWS-SYN01-11x CT	9.0	9.0	9.0	8.5	7.0	CT. NATIVO	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	_	NE	NE	NE	NE	NE
8	CT.NATIVO	9.0	9.0	9.0	7.5	9.0	KWS-SYN.088	5.0	5.0	5.0	1.0	5.0	_	NE	NE	NE	NE	NE
9*	CT.NATIVO	5.5	5.0	5.0	3.0	7.5	KWS-SYN.088	7.0	7.0	7.0	5.0	5.0	_	NE	NE	NE	NE	NE

* 9 : Campo experimental de la UNSA, Pedregal, Arequipa, 1400 m s.n.m.

NE : No evaluado todavía.

AP : Altura de la planta a los cinco meses de periodo vegetativo (1: muy bajo; 9: muy alta)

VIG : Vigor de la planta (1: muy débil; 9: muy vigoroso)

BIOM : Producción de biomasa aérea (1: muy baja producción; 9: muy alta producción)

RM : Rendimiento de mazorca seca (1: muy bajo rendimiento; 9: muy alto rendimiento)

PRE : Grado de precocidad de la planta (1: muy precoz; 9: muy tardío)



Figura 1. Parcela experimental de maíz para la generación de híbridos F1 entre la línea superior precoz y susceptible al frío KWS-SYN06 (derecha) y la variedad nativa CENIZO (izquierda), tolerante al frío a los 160 días de periodo vegetativo. Circa, Tarata, 3350 m s.n.m.



Figura 2. Bloques de cruzamientos entre líneas híbridas F1 de medios hermanos (HSF) KWS-SYN06 x CENIZO (bordes) con la variedad nativa recurrente Amarillo de Tarata (centro) a los 170 días de periodo vegetativo. Circa, Tarata, 3350 m.s.n.m



Figura 3. Bloques de cruzamientos entre líneas híbridas de medios hermanos de (GAVOTT x CT x CT) por KX2132 x CT x CT, mostrando una adaptación al ecosistema altoandino a los 170 días de periodo vegetativo. Circa, Tarata, 3350 m s.n.m.



Figura 4. Bloques de cruzamiento entre la variedad nativa tolerante al frío Amarillo oro y la línea superior precoz y susceptible al frío KWS-SYN088 (al centro) a los 160 días de periodo vegetativo. Andenes, Cuzco, 3350 m s.n.m.



Figura 5. Líneas híbridas de medios hermanos (KWS-SYN x CENIZO) mostrando diferencias en el grado de precocidad (senescencia de la planta) a los 220 días de periodo vegetativo. Circa, Tarata, 3350 m s.n.m.



Figura 6. Mazorcas secas híbridas cosechadas de las líneas de medios hermanos (KWS-SYN08 x AMARILLO DE TARATA) comparada con la mazorca verde del testigo Amarillo de Tarata (tercera al fondo) a los 220 días de periodo vegetativo.

de cada línea formada mayormente por familias de medios hermanos (HSF) para el carácter fenotípico de senescencia temprana de la planta y maduración de la mazorca de maíz y formación de los granos secos en la planta. Cerca del 70% de las líneas híbridas (HSF) han mostrado una alta frecuencia de genotipos precoces (60-80%). Sin embargo, las líneas híbridas tardías mostraron una alta frecuencia de genotipos tardíos (80-90%) y baja frecuencia de genotipos precoces (10-20%).

No se ha detectado una marcada variabilidad genética para la tolerancia al frío o bajas temperaturas en las poblaciones híbridas iniciales y avanzadas. Todas las progenies híbridas y recurrentes han mostrado desde su inicio una remarcable tolerancia a bajas temperaturas semejante a la expresión fenotípica de sus progenitores nativos andinos. Este comportamiento poblacional ha sido un estándar consistente en Tarata a 3350 m s.n.m. y el ecosistema altoandino de Andenes a 3350 m s.n.m. En este sentido, no se ha logrado detectar o identificar líneas o genotipos híbridos susceptibles a bajas temperaturas. Esto indicaría una fuerte acumulación de genes y alelos de tolerancia al frío a través del tiempo y el espacio en las razas altoandinas de maíz del sur del Perú y su transferencia efectiva y sostenible a

poblaciones híbridas sucesivas. Sin embargo, durante la cosecha de mazorcas secas se ha observado y registrado una importante segregación fenotípica entre líneas híbridas (HSF) y dentro de cada línea para el carácter fenotípico de mazorcas secas erguidas o verticales en el tallo de la planta y mazorcas secas decumbentes o largamente “pedunculares”. La frecuencia de genotipos decumbentes dentro de cada familia híbrida (HSF) muestra una fluctuación de 0-60%. La detección de esta expresión fenotípica ha permitido seleccionar más de 500 mazorcas decumbentes de genotipos precoces. Este material genético promisorio sería utilizado como HSF en futuros programas de cruzamiento para ensamblar en una línea o variedad híbrida, a más del vigor híbrido y alto rendimiento, la tolerancia al frío, precocidad y mazorca decumbente. La ocurrencia de este último carácter es extremadamente importante en los ecosistemas altoandinos de maíz con abundante precipitación pluvial y humedad durante el periodo vegetativo de la planta que favorece o promueve el ataque o daño de plagas y enfermedades fúngicas en mazorcas erguidas y verticales. Es posible que este carácter fenotípico haya sido mayormente derivado de las poblaciones exóticas precoces utilizadas originalmente en los cruzamientos, ya que

la presencia de este carácter ha sido observada en muy baja frecuencia en las razas nativas de maíz utilizado como progenitores (CT).

Las poblaciones progenitoras y las poblaciones híbridas han mostrado diferencias significativas en el grado de ataque y daño causado en la roya del maíz *Helminthosporium maidis* en ambos ecosistemas andinos investigados. Bajo condiciones árido-semiáridas de Tarata, las razas nativas y progenitores selectos han mostrado una alta y consistente resistencia de campo a *H. maidis*, mientras que los progenitores exóticos y poblaciones híbridas en moderada resistencia a este hongo patógeno. Sin embargo, bajo condiciones lluviosas y húmedas de Andenes, las razas nativas progenitoras han mostrado moderada resistencia al hongo, mientras que los progenitores exóticos precoces mostraron una susceptibilidad considerable y las líneas híbridas una moderada tolerancia al hongo.

En general, en el ecosistema altoandino surperuano el periodo vegetativo en las poblaciones de razas nativas de maíz y de los mismos progenitores usados en esta investigación fluctúa entre 8 y 9 meses desde la emergencia de las plantas hasta la formación del grano seco en la mazorca. Por otra parte, las poblaciones híbridas han mostrado una reducción del periodo vegetativo entre 30 y 60 días. Sin embargo, la curva de crecimiento de las plantas de maíz es más acelerada bajo condiciones climáticas y edáficas de andenes desde la emergencia hasta la formación y desarrollo del choclo que las plantas de maíz del ecosistema árido-semiárido de Tarata. No obstante, la curva de crecimiento en el llenado de los granos en el choclo y en la formación de los granos secos en la mazorca es mucho más acelerada en el ecosistema de Tarata. Parece probable que el llenado total de los granos del choclo y la formación de mazorcas secas para su cosecha son demorados por la humedad de la rizosfera y por la ocurrencia de lluvias ocasionales hasta en los meses de abril y mayo en el ecosistema de Andenes.

Diferencias significativas han sido observadas en el intento de generar semilla híbrida entre una población exótica precoz y susceptible al frío y 10 poblaciones o razas de maíz con alta tolerancia al frío, colectadas y seleccionadas en las zonas altoandinas del sur del Perú en su hábitat agrícola natural entre 3400 y 3900 m s.n.m. Bajo condiciones de invierno y con una temperatura media moderadamente fría a 1400 m s.n.m. en la localidad de Pedregal, Arequipa, los bloques de cruzamientos mostraron

una marcada desincronización de floración entre progenitores femeninos y masculinos debido a la alta precocidad del progenitor exótico masculino y el lento desarrollo de los progenitores femeninos. Sin embargo, se logró cosechar semillas híbridas en las combinaciones de Zepita Rojo X KWS-SYN088, Pomata Amarillo X KWS-SYN088 y en muy baja frecuencia el cruzamiento de Cabanaconde Blanco X KWS-SYN088. El mismo diseño experimental de cruzamiento fue establecido en Andenes, Cuzco (3350 m s.n.m.), con los 10 progenitores nativos y con la adición de una variedad nativa mejorada (Amarillo Oro). La generación de semilla híbrida sólo fue efectiva, en muy baja frecuencia solamente, en las combinaciones Zepita Rojo X KWS-SYN088, Pomata Amarillo X KWS-SYN088 y en el cruzamiento Amarillo Oro X KWS-SYN088. Debido al largo periodo vegetativo de la Vr. Amarillo Oro no se registraron mazorcas secas a los ocho meses de crecimiento, y solamente se cosechó un bajo porcentaje (5-6%) de mazorcas semisecas del total cosechado antes del advenimiento de las heladas de junio. Es muy probable que la falta de una sincronización de la floración de los progenitores y la poca habilidad de combinarse haya sido la causa de la formación de la mazorca sin granos en todas las plantas de las siete razas nativas altoandinas. Es necesario enfatizar que todas las plantas del diseño experimental de cruzamiento en Pedregal mostraron una muy baja ocurrencia del hongo patógeno *Helminthosporium maidis*.

Las poblaciones o razas nativas de maíz adaptadas a un ecosistema árido-semiárido, que se desarrollan vigorosamente en altitudes que fluctúan entre 3000 y 3500 m s.n.m. en las vertientes occidentales de los Andes surperuanos, han sido cultivadas y seleccionadas por los agricultores de los andenes en el tiempo y el espacio bajo la ocurrencia de estreses abióticos importantes, tales como bajas temperaturas, suelos con baja materia orgánica y riego restringido debido a la escasez del agua para riego. Es posible que por la fuerza de la evolución y presión de selección realizada por los agricultores andinos e inicialmente teorizada por Mangelsdorf (1974) estas razas o poblaciones de maíz hayan desarrollado y acumulado genes o alelos de tolerancia a sequía moderada y este carácter tan importante para una agricultura en zonas áridas y semiáridas haya sido también transferido de las poblaciones nativas progenitoras a todas las líneas o poblaciones híbridas generadas

preliminarmente en estos tres años de investigación inicial intensiva.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su profundo agradecimiento por su valioso apoyo logístico y colaboración técnico-científica durante la selección de la semilla, la ejecución y desarrollo del presente proyecto de investigación al Biol. Luis Tamayo, por su gran colaboración en los campos experimentales de maíz; al Ing. Agr. Oswaldo Ale, de la Facultad de Ciencias Agrícolas, por su gran apoyo logístico en Tarata; a la Br. Ing. Gladys Condori, por su gran apoyo logístico en el procesamiento electrónico de datos; al Sr. Belisario Catacora, por su valiosa colaboración en el transporte de personas y material genético; al Sr. Pablo Miranda, por su apoyo técnico en los campos de cruzamiento de Tarata; al Ing. Eloy Medina e Ing. Luis Zagarra, por su gran apoyo logístico en Pedregal (UNSA); al Ing. Andrés Castillo, por su gran colaboración con ideas y estrategias en el establecimiento y conducción de los experimentos en Andenes, Cuzco, INIA. Asimismo, los autores expresan su agradecimiento al Dr. Thomas Prestel y al Dr. Marcos Tapia.

LITERATURA CITADA

- CASTILLO, F.; M. GOODMAN. 1997. "Research on gene flow between improved maize and landraces". CIMMYT. Mexico D.F.P. 67-75.
- CHÁVEZ, R.; M. ADUVIRI; J. C. LINARES Y A. GARCÍA. 2004. "Respuestas fenotípicas de híbridos y variedades de maíz (*Zea mays L.*) al estrés de salinidad y toxicidad de boro bajo condiciones de laboratorio y campo". IDESIA Vol. N° 22 Chile.
- CHÁVEZ, R., W. SCHMIDT; K. MARTÍNEZ, J. FLORES; H. TAMAYO; M. ADUVIRI; G. GUTIÉRREZ, V. YUFRA; O. SEGOVIA Y A. GARCÍA. 2005. "Espectro de variabilidad genética del germoplasma nativo de maíz (*Zea mays L.*) de la zona altoandina del sur del Perú". IDESIA Vol. N° 23. Chile.
- CROSA, J.; R. VENCOVSKY. 1994. "Implication of the variance in effective population size on the genetic conservation of monoecious species". Theor. Appl. Gen. 89: 936-942.
- DEVELOIS, J.; R. SEVILLA; A. VALDEZ; H. SÁNCHEZ. 2003. "El proceso de investigación agronómica y niveles tecnológicos de producción de maíz en el Perú". Documento preliminar publicado en las memorias de 50 años del PCIM-UNALM. Lima-Perú.
- FAKOREDE, M. A. B.; J. J. MOCK. 1978. "Changes in morphological and physiological traits associated with recurrent selection for grain yield maize". EUPHYTICA Vol. N° 27 pp. 337-648.
- GROBMAN, A.; W. SALHUANA; R. SEVILLA. 1961. "Races of maize in Peru". Nat. Ac. of science. Nat. research council. Pub. 915. Washington, USA.
- GUTIÉRREZ ROSATI, ANTONIETA. 2006. Maíz, Riqueza Genética. Asociación Desarrollo Medio Ambiente Sostenible, Lima, Perú, p. 56.
- KWS SAAT AG. 2005. Annual Report 2004-2005, 150 years of KWS SAAT AG changing Prospects overtime, p. 95. Einbeck, DE.
- MANGELSDORF, P. 1974. "Corn: its origin, evolution and improvement". The Belknap press of Harvard Univ. Press. Cambridge, Massachusetts. USA.
- NARRO, L.; C. DE LEÓN; F. SALAZAR. 2003. "Generation of improved maize germplasm tolerant to biotic and abiotic stresses". En: Arnel R. Hallauer. Int. Sym. On plant breeding. CIMMYT. Mexico.
- SCHMIDT, W. 2004. Metas, estrategias y primeros éxitos en la selección de maíz energético. KWS SAAT AG. Einbeck, DE.
- SERRATOS, J.; M. WILLCOX; F. CASTILLO (EDS). 1995. "Gene flow among maize landraces improved maize varieties and teosinte implications for transgenic maize". Mexico.
- SEVILLA, R. 1995. "Germoplasma foráneo de maíz tolerante al frío en los primeros estados de desarrollo para adaptar las variables de la sierra del Perú a siembras tempranas". En: III Reunión Latinoamericana y XVI de la zona andina de investigadores en maíz, Cochabamba, Santa Cruz, Bolivia.
- SEVILLA, R. 2005. Magnitud e impacto potencial en la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales: Caso Maíz. 49-5.
- TABA, S.; J. BERTHAUD; Y. SAVIDAN; M. BERRÉ; O. LEBLANE. 1997. "Biodiversity and Trust: Maize, Tripsacum and teosinte". Edit CGIAR. Cambridge University Press.