



Memorias de la
**XXIV REUNIÓN
LATINOAMERICANA
DE MAÍZ**

Cajamarca, Perú
Del 15 al 17 de junio, 2022



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria



Siempre
con el pueblo



BICENTENARIO
DEL PERÚ
2021 - 2024

¡Cuaternarios maíces, de opuestos natalicios,
los oigo por los pies cómo se alejan,
los huelo retornar cuando la tierra
tropezaba con la técnica del cielo!

(César Vallejo)

Relieves
la lluvia, pie danzante y largo pelo,
el tobillo mordido por el rayo,
desciende acompañada de tambores:
abre los ojos el maíz, y crece.

(Octavio Paz)

El olor del maíz que se desgrana,
la madre selva de la tarde pura,
los nombres de la tierra polvorienta,
el perfume infinito de la patria.

(Pablo Neruda)







Clarinero, José Encarnación Idrugo Castrejón, tañe el **Clarín cajamarquino** en la Plaza Mayor de Cajamarca, Perú.

Imagen: César Bazán Velásquez

Memorias de la
**XXIV REUNIÓN
LATINOAMERICANA
DE MAÍZ**

Cajamarca, Perú
Del 15 al 17 de junio, 2022



Grupo Organizador: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Gobierno Regional de Cajamarca, Universidad Nacional de Cajamarca.

Revisores: Alexander Chávez Cabrera¹, Fernando Escobal Valencia¹, Teodoro Narro León¹, Alicia Medina Hoyos¹, Alba Lucía Arcos², María Gabriela Albán³, Juan Chávez Rabanal⁴, Manuel Sigüeñas Saavedra¹, Wladimir Jara Calvo¹, Peter Piña Díaz¹, William Guillén Padilla⁵

¹Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA Perú, ²Consultora particular-Colombia, ³Universidad San Francisco de Quito Ecuador, ⁴Universidad Nacional de Cajamarca-Perú, ⁵Consultor particular-Perú

Expositores: Alberto Chassaigne (CIMMYT); Carlos Añaños (Ajegroup); Carlos García (Hortus S.A. / APESemillas); Carlos Urrea (Universidad de Nebraska EEUU); Cesar Petrolí (CIMMYT); Clarissa Magalhães Corrêa (Genlab del Perú); Clotilde Quispe Bustamante (MIDAGRI); Daniel Alberto Presello (INTA); Daniel Saldaña (INIAF); Ebert Obando (Limagrain Brasil); Edgar Aliaga Lartiga (BACKUS); Félix San Vicente (CIMMYT); Fernando Ninamango (Ag Alumni Seed EEUU); Genry Hernandez Carrillo; Gustavo Cabrera (Gualca Seeds); Jelle Van Loon (CIMMYT); José Flores Garza (CIMMYT); José Jaime Tapia Coronado (AGROSAVIA); José Luis Gabriel Pérez (INIA España); Jose Luis Toyama (San-Ei Gen F.F.I Perú. S.A.); José Luis Zambrano (INIAP); Mario Caviedes (USFQ); Deisy Lorena Flórez Gómez (AGROSAVIA); Kai Sonder (CIMMYT); Kanwarpal S. Dhugga (CIMMYT); Lauro José Moreira Guimaraes (EMBRAPA); Luis Narro León (UNALM); Marilia Penteadó Stephan (EMBRAPA); Orsy Franklin Chávez Martínez (ICTA); Raúl Blas (UNALM); Raul Zegarra (APA); Ricardo Ernesto Preciado Ortiz (INIFAP); Ricardo Sevilla (UNALM); Teodoro Narro León (INIA); Thanda Dhliwayo (CIMMYT) y Wladimir Jara (INIA).

Instituciones y organismos auspiciadores:



Editado por:

Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA
Equipo Técnico de Edición y Publicaciones
Av. La Molina 1981, Lima-Perú
Teléf. (511) 2402100 - 2402350.
www.gob.pe/inia

Nº, mes y año de edición:

Primera edición, setiembre 2022

Impreso en:

Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA
RUC: 20131365994
Teléfono: (51 1) 240-2100 / 240-2350
Dirección: Av. La Molina 1981, Lima- Perú
Web: www.gob.pe/inia

Tiraje: 500 ejemplares

Logotipo de XXIV RLM: Alexander Chávez Cabrera (concepto); Paula Victoria Wong Zevallos (ilustración)

Equipo de Comunicación: César Alberto Bazán Velásquez, Katia Lorena Bazán Velásquez, Ramos Ismael Mantilla Requielme

Citar como: Chávez, A.; Guillen, W.; Escobal, F. 2022. Memorias de la XXIV Reunión Latinoamericana de Maíz. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Cajamarca, 238 p.

CONTENIDO

Título	Expositor (es)	Página
Presentación		13
Producción de Maíz en Sudamérica	Luis A. Narro León	17
Estado actual del cultivo de maíz en Argentina	Daniel A. Presello; Fernando J. Giménez y Facundo J. Ferraguti	19
Situación actual y avances tecnológicos para mejorar la productividad del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en Colombia	José Jaime Tapia Coronado; Liliana Margarita Atencio Solano; Julio Ramirez Durán ; Karen Viviana Osorio Guerrero ; Javier Castillo Sierra; Sergio Mejía Kerguelén	20
Estado actual de la producción de maíz en el Ecuador	José L. Zambrano; Mario Caviedes	22
Estado actual del maíz en Guatemala	Orsy Franklin Chávez Martínez	23
Estado actual de la producción de maíz en México	Ricardo Ernesto Preciado Ortiz	24
Situación del maíz en el Perú	Teófilo Wladimir Jara Calvo	26
Cultivos de Servicio	José Luis Gabriel Pérez	31
Mejorando las prácticas locales de la Agricultura Familiar: "Asociación de maíz con frijol voluble"	Toribio Tejada Campos	33
Cultivo de frijol seco en sistemas de cultivo alrededor del maíz	Carlos A. Urrea	39
Actualización en los procedimientos para solicitar germoplasma de maíz del CIMMYT	Alberto Antonio Chassigne Ricciulli	40
Application of molecular techniques for studies of protein diversity in maize (<i>Zea mays</i>)	Marilia Penteadó Stephan	42
Innovación productivo-tecnológica y valor compartido en la cadena de valor del maíz amarillo duro (CV - MAD)	Gustavo Cabrera Sotomayor	44
Mejoramiento Genético del Popcorn	Fernando Ninamango Cárdenas	46

Vinculación de los cultivos andinos con la agroindustria	Carlos Añaños Jeri	49
Generación de tecnologías en maíz amiláceo en el Programa de Maíz del INIA-Perú	Teodoro Narro León	51
Calidad en el Sistema de Producción de Semillas de Maíz en Brasil	Ebert Obando Flor	52
Semillas de maíz en Colombia	Deisy Lorena Flórez Gómez; Julio Ramírez Durán	54
Evaluación del acolchado plástico en la producción de maíz harinoso (<i>Zea mays</i> L. var. <i>amylacea</i> St.) en la Sierra del Ecuador	José L. Zambrano ¹ ; Yamil E. Cartagena, Carlos A. Sangoquiza, Victoria A. López, Rafael Parra, Javier A. Maiguashca, José L. Rivadeneria; Chang H. Park	59
Evaluación participativa del uso de acolchado plástico para la producción de maíz suave (<i>Zea mays</i> L. var. <i>amylacea</i>) con agricultores de la Provincia de Cotopaxi en Ecuador.	Victoria A. López; José L. Zambrano; Yamil E. Cartagena; Carlos A. Sangoquiza; Rafael Parra; Javier A. Maiguashca; José L. Rivadeneria; Chan H. Park	71
Evaluación agronómica de maíz morado variedad Moragro (<i>Zea mays</i> L.) en dos ambientes contrastantes del departamento de Santa Cruz, Bolivia	Víctor Choque Colque; José Padilla Ayala; Oscar David Guzmán Coya	85
Estrategias para la conservación in situ y uso sostenible de la diversidad del maíz clasificada en razas	Raúl Blas; Ricardo Sevilla	102
Representatividad de la colección de maíz de altura del Banco de Germoplasma del INIAP-Ecuador	Marcelo Tacán; Cesar Tapia; Franklin Sigcha; Alberto Roura y Álvaro Monteros-Altamirano	117
Análisis de la producción, productividad y precios del maíz en el Ecuador	Mario Caviedes Cepeda	130
Influencia de tres densidades de siembra y cuatro niveles de fertilización nitrogenada en maíz INIA 612 - Maselba	Rodrigo Gonzales Vega; Walker Augusto Cubas Pérez; Christian Córdova Díaz	142
La nueva variedad de Maíz Chulpi "INIAP-193"	Carlos F. Yáñez, José L. Zambrano; Carlos A. Sangoquiza; Marcelo R. Racines; Victoria Lopez; César Asaquibay; María Nieto	150
Impacto de bacterias promotoras de crecimiento sobre el rendimiento del	Carlos A. Sangoquiza-Caiza; José L. Zambrano-Mendoza; Carlos F.	163

cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en la Sierra del Ecuador	Yáñez-Guzmán; María R. Nieto-Beltrán; César R. Asaquiabay Inca; Verónica N. Quimbiamba Pujota; Edwin J. Naranjo-Quinaluisa; Chang H. Park	
Efectividad del manejo bionutricional líquido en el rendimiento de maíces blanco y amarillo para consumo en fresco	Galo Cedeño García; Sofía Velásquez Cedeño; Benny Avellán Cedeño	179
Respuesta del maíz a la aplicación de estiércol líquido fermentado de bovino "Biol" en la selva de San Martín, Perú	Percy Díaz-Chuquizuta; Oniel J. Aguirre-Gil; Edison Hidalgo-Meléndez	181
Ocurrencia de plagas en el cultivo del maíz (<i>Zea mays</i> L.) en la provincia de Cajamarca y sus principales características	Ronald Leonardo Llique Morales	183
Protocolo de crianza del biocontrolador <i>Chrysoperla spp.</i>	María E. Neira; Jennifher Elizabeth Rodas	185
Alternativas ecológicas de control de <i>Spodoptera frugiperda</i> en cultivo de maíz amarillo duro	María E. Neira Espejo; Catherine P. Inoñan Yanayaco	187
Parasitoides de <i>Spodoptera frugiperda</i> (Smith) en maíz (<i>Zea mays</i> L.) presentes en ocho zonas de Lambayeque	María E. Neira; Esperanza Irigoin	189
Experiencias en control integrado del gusano mazorquero del maíz (<i>Helicoverpa zea Boddie</i>) en la provincia de Cajamarca con énfasis en manejo biológico	Ronald Leonardo Llique Morales	191
Paquete ecológico para el control de <i>Spodoptera frugiperda</i> en cultivo de maíz amarillo duro (MAD).	María E. Neira Espejo; Catherine P. Inoñan Yanayaco	192
Eficiencia de cuatro atrayentes trampa para controlar mosca de la mazorca (<i>Euxesta spp.</i>) en cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.)	Peter Chris Piña Díaz	194
Los Compuestos Raciales de Maíz para la conservación <i>in situ</i> y uso sostenible de la diversidad	Ricardo Sevilla; Raúl Blas; Julián Chura; Gilberto García	196
Aprovechamiento de la diversidad del maíz peruano para la generación de nuevas oportunidades de negocio saludables	Hugo Huanuqueño; Jorge Jiménez; Gastón Zolla	197
Evaluación del potencial forrajero de cinco	Rafael. Muñoz; Pablo W. Pintado;	199

variedades y un híbrido de maíz (<i>Zea mays</i> L.), con tres niveles de fertilización en tres localidades del cantón Santa Isabel, Azuay - Ecuador	Javier A. Garófalo	
Ensayo de Adaptación y Eficiencia de maíces morados (<i>Zea mays</i> L.), en el distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc, Región Cajamarca	José Wilmer Manosalva Chugden, Alicia Elizabeth Medina Hoyos	200
Desarrollo y evaluación de híbridos de maíz morado de alto rendimiento y buena calidad	Teodoro Narro León	201
INIA 624 – KILLU SUK: Híbrido trilineal de maíz amarillo duro para regiones de trópico del Perú	Percy Díaz-Chuquizuta; Edison Hidalgo-Meléndez; Melbin Mendoza-Paredes; Isaac Cieza-Ruiz; Teófilo Wladimir Jara-Calvo	204
Mejoramiento Participativo del Maíz Dulce INIA 622 - Chullpi Sara en Cusco, Perú	Wladimir Jara; Andrés Castelo; César Medina y Luis Enrique Córdova	205
Evaluación preliminar de híbridos promisorios de maíz (<i>Zea mays</i> L.) de grano amarillo para el trópico alto colombiano	Karen Viviana Osorio Guerrero; Deisy Lorena Flórez Gómez; Pablo Edgar Jimenez Ortega; Jose Jaime Tapia Coronado	207
Utilización de líneas doble haploide (LDH) en programas de mejoramiento probadas en ambientes diferentes en Colombia	Alba Lucia Arcos; Luis Narro	209
Aislamiento e identificación de hongos contaminantes en semillas almacenadas de maíz (<i>Zea mays</i> L.)	Manuel Alfonso Patiño Moscoso; Karen Viviana Osorio Guerrero; Luisa Fernanda Sarmiento Moreno; Deisy Lorena Flórez Gómez	211
Efecto de condiciones de almacenamiento sobre la calidad fisiológica de semillas de maíz	José Jaime Tapia Coronado; Liliana Margarita Atencio Solano; Ketty Isabel Ibáñez Miranda; Luis Alfonso Sánchez Rodríguez	213
Desempeño productivo de híbridos y variedades sintéticas de endospermo blanco normal en la región caribe de Colombia	José Jaime Tapia Coronado; Liliana Atencio Solano; Ketty Ibáñez Miranda; Luis Sánchez Rodríguez	214
Evaluación del perfil de organizaciones de productores de maíz adscritas al Plan semillas en la región Caribe	José Jaime Tapia Coronado; Shirley Pérez Cantero; Liliana Margarita Atencio Solano	216

Mejoramiento genético de la nueva variedad de maíz chulpi INIAP - 193	Carlos F. Yáñez; José L. Zambrano; Carlos A. Sangoquiza; Victoria López; César Asaquibay; María Nieto	217
Análisis de brechas de rendimiento en la producción de maíz en las Américas	María Gabriela Albán	219
Análisis de la Producción, Productividad y Precios del Maíz en el Ecuador	Mario Caviedes Cepeda	221
Eletrophoretic differentiation of the protein profile in yellow and purple corn and gluten-free bread produced with their flours	Bárbara Amorim Silva; Marília Penteado Stephan; Raúl Comettant-Rabanal; Alicia E. Medina Hoyos; Alexsandro Araújo dos Santos; Tatiana de Lima Azevedo; José Luis Ramírez Ascheri	223
Impacto en el rendimiento de maíz por el uso de coberturas de suelo, para el control de malezas en <i>Zea mays</i> L. var. amilácea, en Cutervo-Cajamarca, Perú	Oscar Fernández-Aurazo; Hilda A. Del Carpio Ramos; Gilberto Chávez S.	228
Rendimiento de un híbrido de maíz en diferentes arreglos espaciales y densidades de plantas	Isaac Cieza-Ruiz; Teófilo Wladimir Jara-Calvo; Rosel Terrones-Monteza; Ana M. Córdova-López	230
Productividad de tres híbridos experimentales de maíz amarillo duro (<i>Zea maíz</i> L.) bajo condiciones climáticas de la costa norte del Perú	Isaac Cieza Ruiz; Tito Roque Vásquez Rojas	232
Características agronómicas, componentes de producción y rendimiento de grano de híbridos de maíz (<i>Zea mays</i>)	Isaac Cieza Ruiz; Teófilo W. Jara Calvo; Rosel Terrones Monteza; Yaneth C. Figueroa Cobeñas; Alex Valdera Cajusol	234
Novedosas investigaciones sobre antocianinas provenientes del maíz morado (<i>Zea mays</i> L.) en los últimos años	Andrea Stephani Delgado Rospigliosi; Juan Mariano Díaz Alfaro	236



PRESENTACIÓN

En medio de una terrible pandemia, el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, a través del Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA, resolvió desarrollar la XXI Reunión Latinoamericana de Maíz; un gran reto que asumió la Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario y su Proyecto de Semillas (Proyecto 2361771: *Mejoramiento de la disponibilidad, acceso y uso de semillas de calidad de papa, maíz amiláceo, leguminosas de grano y cereales, en las regiones de Junín, Ayacucho, Cusco y Puno, Apurímac, Arequipa, Cajamarca y Lambayeque*).

Este documento es el esfuerzo conjunto de las entidades mencionadas con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo - CIMMYT, el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo - CYTED y su Proyecto TechMaíz, la Asociación Pataz de CIA Minera Poderosa, y algunas empresas colaboradoras, que está a disposición de todos los asistentes a este magno evento realizado en la bella ciudad de Cajamarca.

La *Memoria* tiene tres componentes: (i) presentación del estado actual del maíz en los países del Área, desde Argentina hasta Venezuela; (ii) artículos científicos debidamente seleccionados; y (iii) resúmenes de posters que serán presentados a partir del segundo día del congreso.

Los trabajos incluidos permiten analizar la situación del cultivo a 2022, los avances y las proyecciones, así como los planes estratégicos e impulsos del maíz tanto en el Perú como en Latinoamérica; incluyen los sistemas de producción frente a los efectos del cambio climático, el uso de la biotecnología moderna y la innovación en los indicadores y lanzamientos de nuevas semillas de este cereal, a fin de contribuir a superar una brecha reflejada en una creciente importación de maíz amarillo duro en la mayoría de los países del Área Andina, en un magro rendimiento por unidad de superficie de maíces andinos amiláceos y en una baja tasa de uso de semilla de calidad, principalmente.

Esperamos que este documento rescate lo manifestado. Al final de la *XXIV Reunión Latinoamericana de Maíz*, elaboraremos un documento con el íntegro de las charlas y, lo más importante, con las conclusiones de esta trascendental convención.

Jorge Juan Ganoza Roncal, M. Sc.
Jefe del INIA





Monumento a la poeta Amalia Puga de Losada, obra del escultor David Lozano, fue inaugurado el 8 de setiembre de 1931; se ubica en la plazuela del mismo nombre en la ciudad de Cajamarca.



Iglesia Belén, Cajamarca. Edificada entre los años 1672 al 1774, integra el Conjunto Monumental Belén. Se ubica en la plazuela del mismo nombre, a una cuadra de la Plaza Mayor de la ciudad.

Producción de maíz en Sudamérica

Luis A. Narro León

Universidad Nacional Agraria La Molina (lnarro@lamolina.edu.pe)

RESUMEN

Sudamérica es autosuficiente en producción de maíz con un excedente anual de al menos 50 millones de toneladas; los países que generan excedentes son Argentina, Brasil y Paraguay. Por otro lado, países como Colombia, Chile, Perú y Venezuela importan en conjunto más de 10 millones de toneladas por año. En Sudamérica se siembra maíz en dos tipos de ecologías, maíz de trópico bajo (MTB) a alturas de 1000 m s.n.m. y maíz de trópico alto (MTA) a alturas superiores a 2000 m s.n.m. en la zona andina. El MTB puede ser amarillo o blanco; el maíz amarillo se siembra en todos los países de Sudamérica y se utiliza básicamente para la elaboración de alimentos balanceados para la industria avícola, porcícola, etc. y productos industriales de molienda seca o húmeda; el maíz blanco se utiliza para consumo humano en Colombia y Venezuela. Se requiere decisiones de política en los países importadores de MTB orientadas al incremento de la producción por los agricultores en sus respectivos países. El MTA se usa para consumo humano en diferentes productos como choclo, cancha, mote, chicha morada y está constituido por maíces de diferente color de pericarpio y textura del grano; prevalecen los maíces amiláceos y morochos. Para mejorar el sistema de vida de los productores de MTA se requiere vincular a los productores con el mercado y de esta manera incrementar la demanda de los diferentes productos derivados de los MTA. La producción de maíz se ha incrementado en Sudamérica de 16.3 a 160.2 millones de toneladas (t) desde 1961 a 2017; esto ha sido consecuencia de un incremento en el área sembrada de 11.9 a 27.0 millones de hectáreas y del incremento en el rendimiento de 1.2 a 5.0 t/ha, respectivamente. La población se ha incrementado de 151 millones (1961) a 410 millones (2017); en 1961, la proporción de la población rural y urbana fue de 47 y 53% y en 2017 fue de 16 y 84%, respectivamente; sin embargo, no hubo mucho cambio en el número de personas en el área rural que pasó de 71 millones (1961) y a 66 millones (2017).

ABSTRACT

South America is self-sufficient on maize production with a year surplus of 50 million tons; exporter countries are Argentina, Brazil and Paraguay. On the other hand, Colombia, Chile, Peru and Venezuela import more than 10 million tons of maize yearly. Two types of maize are planted in South America: Lowland (LTM) and Highland Tropical Maize (HTM), LTM is planted on environments about 1000 m. asl, while HTM is planted above 2000 m.asl. Yellow LTM is planted across all South America countries, is used as feed in the poultry industry and other industrial processes; white LTM is used as food in Colombia and Venezuela. Political decisions to improve maize production of importer countries are needed in order to allow a better livelihood for maize producers in these countries. HTM is widely used as food in the Andean countries for different dishes such as 'choclo', 'cancha', 'mote' and some beverages and other local products. To improve livelihoods of HTM producers, linkage of farmers to market is needed in order to increase significantly the demand. From 1961 to 2017, maize production in South America has increased from 16.3 to 160.2 million tons as a consequence of increase in planted area (from 11.9 to 27.0 million ha) and particularly yield increase (from 1.2 to 5.0 ton/ha). Total population has been increased from 151 (1961) to 410 million people (2017); for 1961, percentage of rural y urban people was 47 y 53% and for 2017 16 y 84%, respectively; however, small change on people in the rural area was observed being 71 million (1961) and 66 million (2017).

Estado actual del cultivo de maíz en Argentina

Daniel A. Presello^{1*}, Fernando J. Giménez² y Facundo J. Ferraguti³

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

¹Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Av. Frondizi km 4,5. 2700 - Pergamino. Provincia de Buenos Aires. Argentina.

²Estación Experimental Agropecuaria Bordenave. Ruta Provincial 76, km 36,5. 8187 - Bordenave, Provincia de Buenos Aires. Argentina.

³Estación Experimental Agropecuaria Oliveros. Ruta Nacional 11 km 353. 2206 - Oliveros. Provincia de Santa Fe. Argentina.

* Autor para correspondencia: presello.daniel@inta.gov.ar

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es una de los cultivos más relevantes en Argentina. La mayor parte de la producción de grano se exporta y aproximadamente un tercio de la misma se usa internamente como forraje, o es destinado a las industrias de molienda y producción de etanol. El área de siembra ha aumentado en forma sostenida durante los últimos diez años llegando a una superficie de 7,4 millones de hectáreas en 2020/2021, con una producción de 60,5 millones de toneladas de grano. La producción de maíz podría ser intensificada, de manera sostenible, abordando algunas de las mayores limitantes, como son la nutrición del cultivo, la calidad de siembra para lograr una arquitectura de cultivo eficiente en la captación de luz, las deficiencias en protección del cultivo, una correcta elección del cultivar, el ajuste del momento y tecnología de cosecha, y la mejora de las instalaciones para transporte y almacenamiento, entre otras. El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, se articula con los sectores públicos y privado para realizar acciones de investigación y desarrollo sobre la mayor parte de la problemática descrita. Las actividades incluyen el desarrollo de nuevos cultivares para las demandas específicas, como las de la agricultura familiar y minifundio, producciones agroecológicas y orgánicas o algunas calidades diferenciadas de grano. Nuevas políticas de Estado y un mayor fortalecimiento de las redes de investigación y desarrollo serán necesarias para aumentar la producción de manera sustentable y con menores niveles de contaminación.

Palabras Claves: Maíz, Argentina, Investigación y Desarrollo, Rendimiento en Grano, Producción Sustentable.

Situación actual y avances tecnológicos para mejorar la productividad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Colombia

José Jaime Tapia Coronado*, Liliana Margarita Atencio Solano, Julio Ramírez Duran, Karen Viviana Osorio Guerrero, Javier Castillo Sierra, Sergio Mejía Kerguelén

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Colombia
jtapia@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0002-3621-5316>); latencio@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0001-8425-1621>); jramirez@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0002-3385-5748>); kosorio@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0002-9252-9993>); jcastillos@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0003-0797-3908>); smeija@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0003-2498-756X>)

*Autor para correspondencia: jtapia@agrosavia.co

RESUMEN

Los altos volúmenes de importación de maíz que se reportan anualmente para Colombia lo ubican en el séptimo lugar a nivel mundial en este ejercicio comercial, ocasionando alta dependencia de mercados internacionales que pueden alterarse fácilmente ante eventos globales como el sucedido por la pandemia a causa de la COVID 19 en el año 2020. La importancia del maíz como materia prima y alimento vital de la canasta familiar de los colombianos, justifica la realización de grandes esfuerzos normativos, políticos, institucionales y técnicos en búsqueda de aumentar de manera competitiva y sostenible las más de 393 000 hectáreas reportadas en 2019 y los rendimientos en los sistemas de producción tradicional y tecnificado que oscilan entre 2,3 t ha⁻¹ y 5,4 t ha⁻¹ respectivamente. Actualmente, en Colombia múltiples instituciones de carácter gremial, nacional e incluso internacional ofertan tecnologías que permiten contar con modelos productivos para los diversos contextos socioeconómicos existentes; sin embargo, encontrar nuevos desarrollos tecnológicos en el uso eficiente de recursos naturales para explotar las ventajas competitivas, además de nuevas ofertas de materiales de siembra tanto de variedades como de híbridos, han sido prioritarios para definir líneas de trabajo con el fin de atender demandas

tecnológicas transversales del país. Asimismo, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, como cabeza del sector agropecuario, lidera la formulación y ejecución de programas y/o proyectos que apalancan la integración de la cadena del maíz y su crecimiento o resurgimiento para disminuir las importaciones y lograr la autonomía de esta especie para Colombia.

Palabras clave: rendimiento, I+D+i, *Zea mays*, sostenibilidad, oferta tecnológica, manejo integrado, sistema tradicional

Estado actual de la producción de maíz en el Ecuador

José L. Zambrano¹, Mario Caviedes²

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Maíz. Mejía, Ecuador.

² Universidad San Francisco de Quito (USFQ). Colegio de Ciencias e Ingenierías, Cumbayá, Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: jose.zambrano@iniap.gob.ec;
mcaviedes@usfq.edu.ec

RESUMEN

El maíz es el principal cultivo transitorio por extensión que se siembra en el Ecuador. En el 2021 se sembraron 355 mil ha de este cereal con una producción estimada 1.38 millones de toneladas, de los cuales el 78 - 80% corresponde a maíz duro y entre 20- 22% a maíz suave. En la Costa y Amazonía se siembra el maíz de amarillo duro, especialmente híbridos, que tienen un rendimiento promedio de 4,64 t ha⁻¹. En la Sierra se siembra mayoritariamente variedades de maíz de libre polinización de grano suave o harinoso, que tiene un rendimiento promedio de 0,82 t ha⁻¹. El desarrollo y uso de tecnologías en semillas certificadas, riego, fertilización y control de plagas y enfermedades ha tenido mayor desarrollado en la Costa. Los altos costos de producción y el ataque de plagas y enfermedades son los principales problemas que enfrenta el productor maicero en el Ecuador. La escasez de semilla de calidad sumado a temporadas de sequía y heladas es un problema recurrente en la Sierra, que contribuye a aumentar la vulnerabilidad de la producción de maíz en campo de los agricultores en esta región. Para reducir el efecto de estos problemas, se investiga en el desarrollo de germoplasma y variedades con aptitud agroindustrial e incrementos en la producción de forraje, el uso de biofertilizantes, cobertura plástica, riego, entre otros aspectos pretenden incrementar de manera sostenible la productividad del maíz en el Ecuador.

Palabras Claves: Aptitud agroindustrial, Maíz, Producción de forraje, Semilla, Tecnología.

Estado actual del maíz en Guatemala

Orsy Franklin Chávez Martínez

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas - ICTA,
Programa de Maíz/Ajonjolí.

Sector B, La Alameda, Chimaltenango, Chimaltenango, Guatemala.

*Autor para correspondencia/Corresponding author:
maiz.cialc@icta.gob.gt

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más importante de Guatemala no solo porque ocupa la mayor superficie, sino también porque juega papel clave en la dieta alimenticia de su población. La producción no cubre la demanda nacional, en especial el maíz amarillo, viéndose en la necesidad de importar este cereal. Actualmente, la productividad promedio nacional del maíz es bastante baja, debido a una serie de limitantes que afrontan los pequeños productores. El rendimiento promedio nacional es de 2154 kg ha⁻¹, que es bastante bajo comparado con el de los mayores productores del mundo. En general, el maíz se siembra bajo el régimen de lluvias; sin embargo, el efecto negativo del clima afecta la producción nacional. Las plagas y enfermedades son otro problema que afrontan los productores, que muchas veces tienen acceso limitado a los insumos de producción más importantes como fertilizantes, semilla y pesticidas. El uso de semillas mejoradas y el acceso a ellas son clave para contribuir al aumento de la productividad. El Instituto de Ciencia y Tecnologías Agrícolas (ICTA) ha generado variedades e híbridos de maíz adaptados a los sistemas productivos del país. Lastimosamente, estas tecnologías no han sido diseminadas a los más necesitados por falta de una estrategia formal de promoción para lograr la adopción. El sector público a través del ICTA ha puesto a disposición de los agricultores nuevos híbridos como el ICTA HB-17^{TMA} (grano blanco), e ICTA Grano de Oro (grano amarillo); estos cultivares poseen resistencia al Complejo Mancha de Asfalto; también, ICTA HB-18^{ACP + Zn}, el primer híbrido biofortificado del mundo, el cual posee alta calidad de proteína y mayor contenido de zinc.

Estado actual de la producción de maíz en México

Current status of corn production in Mexico

Ricardo Ernesto Preciado Ortiz¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
Programa de Maíz Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México.

Autor para correspondencia: preciado.ernesto@inifap.gob.mx;
repreciado@yahoo.com

Resumen

En México la importancia del maíz está determinada por diversos factores: alimentario, cultural, social, económico, ecológico, científico, de salud pública, productivo, pecuario, industrial, etc.; el consumo *per cápita* de maíz en México es de 336 kg año⁻¹; la superficie cultivada es de alrededor de 7.5 millones de hectáreas (MHA) con un rendimiento medio de 3.83 ton ha⁻¹, de las cuales 5.9 MHA se siembran bajo condiciones de temporal (secano), con un rendimiento medio de 2.47 ton ha⁻¹ y 1.6 MHA bajo riego, con un rendimiento medio de 8.73 ton ha⁻¹. La producción de maíz en México es de 28 millones de toneladas (MT), donde al rededor del 90% es maíz de grano blanco utilizado principalmente para consumo humano, y el resto de grano amarillo y usos especiales. Sin embargo, en México la demanda de maíz (44 MT) es superior a su producción, y para cubrir el déficit, cada año el país importa 16 MT de maíz de grano amarillo que se utilizan principalmente en la alimentación animal y procesamiento industrial. Por otro lado, la producción del maíz en México implica una amplia gama de sistemas de producción, que son establecidos en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 3 000 metros, principalmente en dos ciclos agrícolas: primavera-verano (PV) y otoño-invierno (OI). Dichos sistemas de producción, abarcan tanto la agricultura empresarial, altamente tecnificada, donde se utilizan semillas mejoradas, riego e insumos sin restricción, y de manera opuesta, se encuentra la agricultura de subsistencia, donde se utilizan semillas nativas, una insipiente aplicación de insumos, así como una errática

precipitación pluvial. En estas regiones marginadas, es donde se conserva gran parte de la diversidad genética de maíz de México, cuya utilización y aprovechamiento permitirá “confeccionar” maíces con mayor calidad, valor agregado, bio-fortificados, bio-activos y funcionales que impacten en la salud humana.

Palabras Claves: sistemas de producción, diversidad genética, calidad, valor agregado.

Abstract

In Mexico, the importance of corn is determined by various factors: food, cultural, social, economic, ecological, scientific, public health, productive, livestock, industrial, etc.; per capita consumption of corn in Mexico is 336 kg year⁻¹; the cultivated area is around 7.5 million hectares (MHA) with an average yield of 3.83 ton ha⁻¹, of which 5.9 MHA are planted under rainfed conditions (rainfed), with an average yield of 2.47 ton ha⁻¹ and 1.6 MHA under irrigation, with an average yield of 8.73 ton ha⁻¹. Corn production in Mexico is 28 million tons (MT), where around 90% is white grain corn used mainly for human consumption, and the rest is yellow grain and special uses. However, in Mexico the demand for corn (44 MT) is higher than its production, and to cover the deficit, each year the country imports 16 MT of yellow grain corn that is used mainly in animal feed and industrial processing. On the other hand, maize production in Mexico involves a wide range of production systems, which are established at altitudes ranging from sea level to 3,000 meters, mainly in two agricultural cycles: spring-summer (SP) and autumn-winter (OI). Said production systems encompass both highly technical corporate agriculture, where improved seeds, irrigation and unrestricted inputs are used, and in the opposite way, subsistence agriculture is found, where native seeds are used, an incipient application of inputs, as well as erratic rainfall. In these marginalized regions, it is where a large part of the genetic diversity of maize in Mexico is conserved, whose use and exploitation will allow "making" maize with higher quality, added value, bio-fortified, bio-active and functional that have an impact on health human.

Keywords: production systems, genetic diversity, quality, added value.

Situación actual del maíz en el Perú

Teofilo Wladimir Jara Calvo¹

¹ Coordinador del Programa Nacional de Maíz del Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA de Perú

Maíz Amarillo Duro

En el Perú el maíz amarillo duro es producido en dos regiones naturales (Costa y Selva) desde el nivel del mar hasta los 2800 m de altitud. En la Costa con tecnología media a alta, bajo riego, mientras que en la Selva se produce predominantemente con tecnología tradicional, bajo temporal o dependiente de la presencia de lluvias, supeditada a las variaciones y presencia de fenómenos climáticos, que hacen que sea una agricultura de alto riesgo con baja productividad. La mayor demanda de grano de este maíz la tiene la industria de alimentos balanceados, fundamentalmente por la creciente demanda y consumo de carnes principalmente de aves y cerdo. El pollo es un producto básico en la mesa de los peruanos, se consume 40 kilogramos de pollo y 150 huevos al año, por persona. La producción del Sector Avícola aumenta 9,8 % anualmente; representa el 22% del PBI Agropecuario.

La producción nacional de maíz duro en el año 2020 fue de 1'127,508 toneladas (t) cosechadas de 236,409 hectáreas (ha) con rendimiento de 4.769 t/ha. La producción en la costa en el año 2020 fue de 674,363 t cosechadas de 82,591 ha, con rendimiento de 6.830 t/ha, y en la selva 453,145 t cosechadas de 153,818 ha con rendimiento de solo 2.739 t/ha, (Estadística Mensual SIEA – MIDAGRI, 2021). Para completar la demanda de 4'871,509 toneladas el 2020 se importaron 3'744,001 t, equivalente al 76.86% de la demanda nacional a un precio de US\$198 la t, y en el 2021 se importaron 3'650,194 t a US\$294 la t (AGRODATAPERÚ, 2022).

El año 1984 el INIA con apoyo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) liberó la variedad Marginal 28 Tropical para la selva que también se sembró en costa, actualmente en costa solo se siembra para forraje, y alrededor del 90% del área sembrada de la selva es a base de esta variedad. A partir de 1980 y con mayor fuerza desde el 2000 en la cos-

ta se viene utilizando semilla de híbridos comerciales de maíz importados que llegaron a cubrir hasta el 30% del área sembrada con maíz. Actualmente existen híbridos importados por diferentes empresas, y cuatro híbridos liberados por el INIA: INIA 605 (2004), INIA 609 – Naylamp (2006), INIA 611 – Nutriperú (2007), INIA 619 – Megahíbrido (2012), y la variedad sintética forrajera INIA 617 – Chuska (2010). En la Costa central, los híbridos importados con mayor demanda son Dekalb 7088, Dekalb 7506, Atlas 777 de Advanta y SV 3243 de Semillas Valle, y otros (Marginal 28T, INIA 617 - Chuska como forrajeras) y en la Costa norte, los híbridos importados Dekalb 7088 y Atlas 777 de Advanta, y el híbrido nacional INIA 619 – Megahíbrido. Para la selva, el año 2001 se liberó la variedad INIA 602 para suelos ácidos, el año 2006 el híbrido intervarietal INIA 608 – Porvenir, el 2007 la variedad INIA 610 - Nutrimaíz, el 2007 la variedad INIA 612 – MASELBA, el 2011 la variedad INIA 616 – Ucayali y el 2020 el híbrido trilineal INIA 624 – Killu Suk, los cuales poco a poco vienen siendo adoptados por los productores.

La producción de maíz amarillo duro en el Perú puede ser incrementada en la costa por lo menos a 10 t/ha promedio regional mediante la tecnificación de la producción utilizando semilla de híbridos altamente productivos, siembra y cosecha mecanizada que conllevará a disminuir los costos de producción. En la selva lograr en promedio rendimiento de 4 a 5 t/ha en base la organización de productores asociados, a la utilización de tecnología media con semilla certificada de variedades e híbridos altamente productivos, para lo cual se requiere de una política agraria que incentive a los productores a producir maíz.

Maíz Amiláceo

El Perú como segundo centro de origen del maíz, posee la mayor diversidad genética en el continente americano; en el Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) se conserva 52 razas entre maíces amiláceos y duros, diferenciadas por su morfología (forma, color, tamaño / dimensión y textura de grano), adaptación y utilización. Este tipo de maíz constituye el insumo básico del sistema alimentario en las zonas rurales del país.

La producción nacional de maíz amiláceo en Perú el año 2020 fue de 320,334 toneladas cosechadas de 198,242 ha con rendimiento de 1.62 t/ha. El maíz que más se exporta es Blanco Gigante del Cusco, en el 2020 se exportó 5,996 toneladas a US\$1.65 el kg y el siguiente año 6,903 toneladas a US\$1.48 el kg (Estadística Mensual SIEA – MIDAGRI 2021 y AGRODATA-

PERÚ, 2022). El consumo *per cápita* de maíz amiláceo en grano seco en los últimos 50 años ha mostrado una tasa de crecimiento negativa, pasando de 18 kg/hab en el año 1950 a 8.7 kg/hab en el año 2009; en el año 2020 se incrementó a 9.5 kg/hab. (MIDAGRI 2021)

Toda la variabilidad de variedades de las diversas razas de maíz amiláceo identificadas, más las variedades mejoradas por el INIA y universidades entre ellas la UNALM. El INIA desde al año 1984 a la fecha ha liberado 16 variedades de maíz amiláceo y una tecnología de control del gusano choclero. El rendimiento de grano promedio nacional es de 1.62 t/ha, sin embargo, se dispone de variedades con productividad mayor a 5.0 t/ha. En el Valle Sagrado de los Incas, los productores con mayores áreas de tierras con tecnología media a alta en la variedad Blanco Urubamba obtienen entre 7.0 y 9.0 t/ha de grano. En maíces cancheros la variedad INIA 607 – Ch'ecche Andenes rinde hasta 6.8 t/ha de grano.

En este tipo de maíz, la estrategia a usar para cubrir la brecha existente es una política agraria que logre mayores mercados seguros para la exportación de maíz Blanco Gigante, de maíz Chullpi y otros cancheros; que incentive a los productores para que incrementen las áreas y la productividad de maíces amiláceos con potencial comercial interno y externo utilizando semilla certificada de variedades mejoradas inscritas en el Registro de Cultivares Comerciales (RCC) adaptados a cada región, con tecnología de producción y post cosecha media a alta, lo cual hará que se oferte grano de buena calidad y el productor tenga buena rentabilidad. Política que promueva el consumo de maíces amiláceos en sus diversas formas de consumo.

Maíz Choclo

Hasta 1980 la producción y consumo de maíz choclo era mayormente regional, a base de variedades locales de las razas Cuzco y Cuzco Gigante y no había mucha demanda. Desde ese año la producción y consumo de maíz choclo se incrementa por la mayor demanda de la población de Lima y capital de distritos y provincias, y por la exportación. En la producción predominan variedades de la raza Cuzco Gigante, el INIA liberó las variedades INIA 603 – Choclero en Cajamarca, INIA 618 – Blanco Quispicanchi en Cusco, INIA 620 – Wari en Ayacucho, y sigue manteniendo la identidad varietal de la variedad Blanco Urubamba. Debido a la demanda la producción de maíz choclo cada vez es creciente, siendo el consumo en 2020 de 12.8 kg/hab y en la actualidad se produce durante todo el año, la producción de la sierra es complementada con la producción en algunas regiones de la costa.

La producción nacional de maíz choclo en el año 2020 fue de 410,264 toneladas cosechadas de 43,771 ha con rendimiento de 9.373 t/ha (SIEA-MIDAGRI 2021).

El rendimiento de choclo promedio nacional es de 9,373 t/ha, sin embargo, se dispone de variedades con productividad mayor a 10 t/ha. En el valle sagrado de los Incas (Cusco) los productores con la variedad Blanco Urubamba en choclo obtienen hasta 20 t/ha.

Política agraria que logre mayores mercados seguros para la exportación de choclo en diversas presentaciones. Las variedades de maíz choclo liberadas por el INIA tienen alta productividad superior a 14 t/ha de choclo; deben ser difundidas en todas las zonas productoras de maíz choclo para que el productor pueda obtener mayor productividad de choclo de buena calidad.

Maíz Morado

El maíz morado es originario de los andes peruanos, pertenece a la raza Kculli, se produce en la costa y en los valles interandinos de la sierra peruana, desde el nivel del mar hasta los 3200 m s.n.m.

El maíz morado en la tusa (marlo o coronta) y en los granos (en algunas variedades en las brácteas de la mazorca) contiene una gran cantidad de antocianina, pigmento hidrosoluble cuya principal propiedad es ser un potente antioxidante que retarda el envejecimiento de las células. Estudios en la Universidad de Nagoya (Japón), han demostrado que estas antocianinas, evitan la aparición del cáncer al intestino grueso, incrementan la salud cardíaca (baja la presión sanguínea), mejoran la circulación sanguínea y protegen al corazón, retardan el envejecimiento (Lozada, Ruth. 2006).

Hasta la década de 1980 la producción nacional de maíz morado tenía como base variedades locales como Morado de Caráz, Morado Canteño, Morado Arequipeño, Morado Cuzco, Negro de Junín. No se tenía mucha demanda nacional e internacional, no se le daba importancia a las antocianinas que contiene, solo se consumía en chicha morada y mazamorra morada, sobre todo en la costa, principalmente en Lima durante el verano. La producción nacional de maíz morado el año 2020 fue de 24,580 toneladas cosechadas de 4,401 ha con rendimiento de 5.585 t/ha (SIEA-MIDAGRI 2021). La principal región productora de este cultivo es Lima que participa con 7741 t de la producción nacional, otras regiones importantes en la producción de este cultivo son Ayacucho (6012 t), Arequipa (2251 t), Huánuco (1963 t), Cajamarca (1899 t), Ancash (1746 t) y La Libertad (1556 t), El maíz morado

genera divisas para el país, en el año 2020, en presentación de mazorca natural se exportó 1260 toneladas por un valor FOB de US \$ 1'564,228 a US \$ 1.24/kg, y en 2021 se exportaron 1071 toneladas por un valor FOB de US \$ 1',661004 a US\$1.55/kg. Los principales destinos fueron Estados Unidos (56%), España (15%), Ecuador (9%), Bélgica (3%), Canadá (3%), Chile (6%), Italia (2%) y Japón (2%), otros (3%) (AGRODATAPERU, 2022). También, se exporta en forma de antocianina.

Entre las variedades vigentes criollas están: Morado Canteño, Morado Caráz, Morado Arequipeño, Morado Cuzco, Negro de Junín. Entre las variedades mejoradas se encuentran las obtenidas por el INIA: INIA 601, para siembra principalmente en la sierra norte (Cajamarca); INIA 615 – Negro Canaán, para siembra en la sierra centro y sur (Ayacucho, Junín, Apurímac y Cusco) y en la costa sur (Arequipa). Las variedades obtenidas por la UNALM se encuentran: PMV- 581 para siembra en sierra media y PMV- 582 para costa central.

El rendimiento de mazorca promedio nacional es de 5.6 t/ha, pero se dispone de variedades con productividad mayor a 7 t/ha.

Se debe implementar una política agraria que logre más mercados seguros para la exportación y que incentive a los productores de la costa y sierra a incrementar la superficie sembrada y la productividad, utilizando semilla certificada de variedades mejoradas inscritas en el RCC, adaptadas a cada región con tecnología de producción y post cosecha media a alta, lo cual hará que se oferte mazorcas de buena calidad con mayor contenido de antocianinas y el productor tenga buena rentabilidad. En Cajamarca se tiene una experiencia empresarial que hace rentable al cultivo al comercializar en forma asociada tusa picada, brácteas y grano de mazorcas clasificadas.

Cultivos de servicio

José Luis Gabriel Pérez¹

¹Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria - INIA,
España

Los cultivos cubierta (o cultivos de servicio) son cultivos cuya principal función es mejorar la sostenibilidad del sistema de cultivo, sin que su fin último sea el aumento de la producción o el beneficio económico directo. Sin embargo, debido a las innumerables ventajas que pueden ofrecer al agricultor como fuente de nutrientes, aporte de materia orgánica, mejoradores de la estructura del suelo o control de malas hierbas son cada vez más frecuentes tanto en las calles de cultivos leñosos (algunos tan importantes como viñedos u olivares) como remplazando a los tradicionales barbechos en cultivos como el maíz o las hortalizas. Y, según como actúen sobre esta sostenibilidad, se pueden clasificar como: Cultivos de cobertura, Abonos verdes o Cultivos captura.

Estos cultivos mejoran la fertilidad del suelo gracias al aporte de materia orgánica y porque evitan la pérdida de nutrientes del sistema. El proceso de absorción de nutrientes por las raíces, seguido de su posterior descomposición una vez muerta la cubierta, favorece la recirculación de los nutrientes. Además, permite absorber los nutrientes de todo el perfil de suelo explorado por las raíces, liberándolos de nuevo pero esta vez en la parte superior del perfil, facilitando su disponibilidad incluso poco después de la siembra del cultivo principal. Además, mejoran la estructura del suelo gracias al incremento de materia orgánica y al aumento de la porosidad del suelo generado por las nuevas raíces. Además, una vez muerta la cubierta y si el residuo se queda en superficie, se genera un acolchado natural que evita la pérdida de agua por evaporación directa y reduce la aparición de malas hierbas hasta que el cultivo principal tiene la capacidad suficiente para cubrir el suelo.

Pero también mejoran el medio ambiente, ya que por un lado evitan las pérdidas directas de nutrientes y compuestos potencialmente contaminantes y por otro lado son capaces de promover el secuestro de carbono, reduciendo la contaminación atmosférica con gases de efecto invernadero. En el caso de las pérdidas, los cultivos cubierta son capaces de retener en

su biomasa metales pesados, compuestos orgánicos procedentes de fitosanitarios y nutrientes, evitando su lavado y/o erosión, con especial relevancia en el lavado de nitratos. En cuanto al ciclo del carbono, los cultivos cubiertos, son fijadores de carbono, permitiendo retener una parte importante de su biomasa en el suelo, pero también son capaces de reducir las emisiones directas, pero principalmente las indirectas, de gases nitrogenados a la atmósfera, gases con gran poder de efecto invernadero. Por último, incrementan la biodiversidad del sistema, sirviendo como refugio para polinizadores, depredadores naturales y fauna del suelo.

Por todo esto, parece cada vez más claro que apostar por los cultivos cubiertos (como ya se viene potenciando desde Europa o en el cinturón maicero de EE.UU.) es una buena inversión por la sostenibilidad del medioambiente y sobre todo de nuestros suelos, que al final es la herramienta básica del agricultor. Por eso no es raro ver como cada vez más agricultores los van incorporando a sus rotaciones, mejorando sus suelos y cultivos en el medio-largo plazo. Y lo mejor es que aún se pueden mejorar sus prestaciones a medida que se mejore la investigación en las técnicas de manejo y las variedades cultivadas, ajustándolas cada vez más a lo que el cultivo de maíz y los agricultores demandan.

Mejorando las prácticas locales de la Agricultura Familiar: “Asociación de maíz con frijol voluble”¹

Toribio Tejada Campos²

Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA.
Estación Experimental Agraria Baños del Inca.
Programa Nacional de Cereales, Granos Andinos y Leguminosas.

Introducción

Los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) son originarios del continente americano. El maíz se originó en una parte restringida de México y luego fue llevado a otros sitios de América (Acosta 2009), y, el frijol es originario de Mesoamérica y posteriormente se domesticó en el resto del continente (Hernández-López et al., 2013). Luego, ambos cultivos se han difundido por todo el mundo para aprovechar sus bondades, principalmente su capacidad de adaptación y calidad alimenticia y nutricional. En la sierra norte del Perú, el maíz y el frijol, son infaltables en la agricultura familiar y de suma importancia para el campesinado, ya que sus granos se usan diariamente en su alimentación, aportando proteínas, carbohidratos, vitaminas, minerales; así como, también son fuentes de ingresos económicos, al comercializarse tanto en estado de grano fresco, como de grano seco. Sin embargo, la productividad y producción de ambos cultivos alcanzan niveles bastante bajos. Según las estadísticas del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), en el año 2018 en la región Cajamarca se tuvo rendimientos de 885 kg/ha para frijol grano seco y 2 245 kg/ha para frijol grano verde; así como, 2 802 kg/ha para maíz choclo y 777 kg/ha para maíz grano seco; mientras que las respectivas cifras promedio a nivel nacional fueron 1 192 kg/ha para frijol grano seco, 3 322 kg/ha para frijol grano verde, 9 460 kg/ha para maíz choclo (grano fresco) y 1 524 kg/

¹ Tema presentado en el Día de Campo de la “XXIV Reunión Latinoamericana de Maíz”, realizado en la sede de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca, Cajamarca, Perú, el 17 de junio de 2022.

² Ingeniero Agrónomo, Maestro en Ciencias y Grado Doctor. Responsable del Programa de Cereales, Granos Andinos y Leguminosas de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca del INIA.

ha para maíz grano seco (Albujar 2019); es decir, en ese año en la Región Cajamarca, en comparación al promedio nacional, se ha alcanzado rendimientos equivalentes al 74.22% en frijol grano seco, 67.58 % en frijol grano verde, 29.61% en maíz choclo y 50.98 % en maíz grano seco.

Otro hecho importante y difícilmente modificable es que alrededor del 90 % de las parcelas de maíz se hallan en asociación con frijol voluble; excepto en aquellos lugares, o parcelas, donde el maíz se orienta al mercado de choclo o a algún tipo de agroindustria, como el caso del maíz morado³. Otro hecho es que en la mayor parte de la región se siembran cultivares locales de ambas especies, que responden sobre todo a las múltiples necesidades de las familias campesinas; de tal manera que en ambos cultivos hay una diversidad de semillas locales, de diferentes colores de grano, con variación en período vegetativo, de diferentes usos, etc.; a todo lo cual, se halla unida una riqueza cultural que se recrea y mantiene a partir de la siembra y manejo de un “cultivo de maíz con frijol”.

Respecto a las causas de la baja productividad de estos cultivos en la sierra norte se pueden mencionar “baja fertilidad de los suelos”, “falta de agua de riego”, “daño de plagas”, “baja densidad de plantas”, entre otras; por lo que es necesario y urgente que los agentes agrarios generen y apoyen cambios tecnológicos al alcance de los medianos y pequeños productores agrarios; sobre todo considerando que las tecnologías de conocimiento, además de mejorar la productividad, resultan más accesibles para la agricultura familiar, contexto en el cual se presenta una innovación tecnológica para la siembra de la asociación de maíz con frijol voluble.

Principales cualidades de la asociación de maíz con frijol voluble

La asociación de maíz con frijol voluble de la sierra es una práctica tradicional que posee significativas cualidades que potencian los recursos internos de los productores y traen beneficios sociales, económicos y ambientales, casi inadvertidos o ignorados; entre ellos se puede mencionar:

- Es una estrategia importante para reducir los riesgos de productividad, que suceden a menudo por agentes abióticos (heladas, sequías, inundaciones, granizadas, etc.) y bióticos (insectos, hongos, bacterias, virus, roedores, aves, etc.); debido que, en un cultivo asociado hay menor probabilidad que todas las especies sean dañados severamente; y, por lo tanto, hay mayor seguridad y estabilidad productiva.

³ Cuyo mercado se está incrementando significativamente debido a la alta demanda de alimentos nutraceuticos.

- Permite obtener varios productos agrícolas de una sola extensión de terreno, lo cual mitiga los efectos negativos del minifundio que se ha acentuado durante las últimas décadas.
- Permite un mejor aprovechamiento del perfil del suelo agrícola, ya que las raíces del maíz y frijol poseen diferentes formas y alcanzan diferentes profundidades; asimismo, sus necesidades de agua y nutrientes son diferentes.
- El cultivo de frijol, al ser una leguminosa, tiene la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico y convertirlo en nitrógeno amoniacal, que luego de ser aprovechado por éste, es dejado en el suelo para que lo aprovechen otros cultivos, forma en la cual, el maíz también estaría siendo beneficiado. Según Altieri (1983), los sistemas de manejo más eficientes se basan en el uso de leguminosas, que es una forma de captar e incorporar nitrógeno y mantener la fertilidad orgánica del suelo con un menor costo.
- Un cultivo asociado de maíz con frijol voluble tiene la capacidad de aprovechar más eficientemente el espacio aéreo de la parcela agrícola, ya que combina dos especies de diferente arquitectura morfológica y genética, ambos de largo período vegetativo y que no coinciden plenamente en la etapa de reproducción; condiciones, que según Harwood (1986), citado en CLADES (1993), hacen que esta práctica sea ideal para suelos pobres donde se debe evitar la extracción rápida y continua de nutrientes, como es el caso de nuestra sierra, donde la mayoría de la agricultura familiar se realiza en condiciones de secano y en suelos de baja fertilidad.

¿Cómo se puede mejorar la asociación maíz con frijol voluble?: innovando su sistema de siembra.

De acuerdo a la observación y experiencia realizada desde el año 2019 por el personal del Programa de Cereales, Granos Andinos y Leguminosas (PN-CGAYL) de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca (EEA. BI.), se puede mejorar la productividad de la asociación de maíz con frijol voluble realizando una innovación en su forma de siembra, que puede complementarse con cambios en su manejo.

Esta innovación se origina al considerar que la forma actual de siembra que se tiene en las parcelas de los agricultores limita el adecuado desarrollo de ambas especies, ya sea por falta de una cobertura apropiada del suelo debido a una baja densidad de plantas, o por la generación de competencia por nutrientes, agua y luz, ya sea por la inadecuada distribución de semillas

durante la siembra o por una alta densidad de plantas. En la mayoría de casos se encuentran parcelas con plantas distribuidas al azar y sin alcanzar un número adecuado por unidad de área; lo cual, impide un adecuado manejo y buenas cosechas.

Según la experiencia de cuatro años de experimentación del PNCGAyL de la EEA. BI., una hectárea de terreno de la asociación de maíz con frijol voluble debe tener alrededor de 27 778 plantas de maíz y 27 778 plantas de frijol voluble; lo cual, se lograría realizando la siembra de la siguiente manera (Tejada 2019)

- Hacer la siembra en surcos distanciados a 80 centímetros, entre ellos.
- Realizar una siembra intercalada de maíz y frijol, es decir un golpe de maíz es seguido de un golpe de frijol.
- Realizar la siembra de ambas especies en golpes distanciados de 90 centímetros en todos los surcos, colocando de cada especie un golpe de 3 semillas y el siguiente, de 2 semillas (Figura 1); lo cual, conlleva a obtener una adecuada población; dado que siempre hay algún porcentaje de semillas que no emergen como plántulas y se debe evitar el raleo, que es una práctica que los productores agrarios no la realizan ya sea por desconocimiento o por sus propios patrones culturales. Por lo tanto, al hacer esta forma de siembra, es altamente probable tener 2 plantas de cada especie por golpe al momento de la cosecha, es decir unas 27 778 plantas de cada cultivo, densidad de cosecha que garantiza un buen rendimiento.

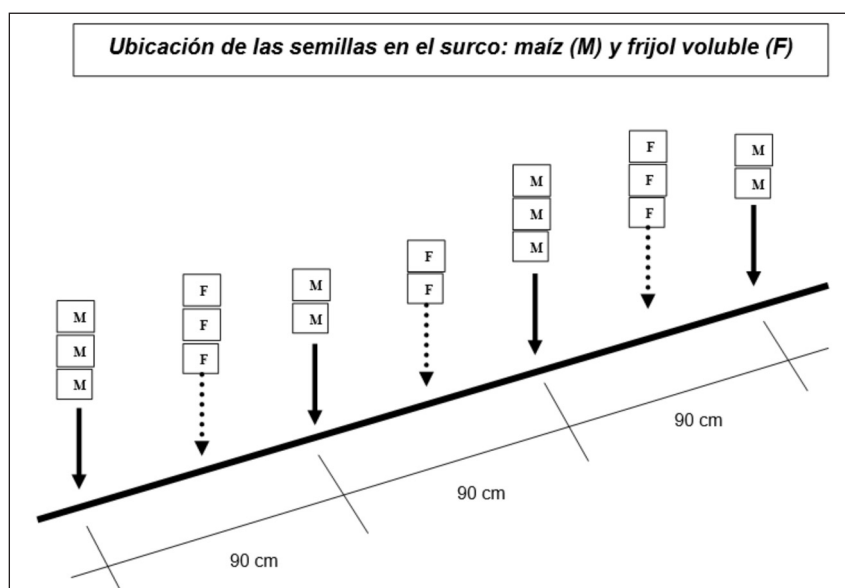


Figura 1. Esquema de siembra de un surco de la asociación de maíz con frijol voluble.

La forma de siembra antes indicada, junto a un abonamiento en base a un análisis de suelo, permite un adecuado espacio de terreno y un adecuado nivel de luz solar para todas las plantas. Especialmente, permite que el frijol, por tener un menor desarrollo que el maíz, reciba la luz solar desde etapas tempranas, ya que como toda leguminosa necesita insolación para prosperar. Asimismo, para esta especie, durante su fase reproductiva es muy importante la aireación para evitar el exceso de humedad relativa que es provocada por las lluvias; y que a la vez provoca la presencia de enfermedades fungosas como *Ascochyta* (*Ascochyta* spp), Antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. & Magn.) Scrib.), Mancha Angular (*Phaeoisariopsis griseola* (Sacc.) Ferraris), etc.

Esta forma de siembra se puede complementar con otras prácticas como son el buen control de malezas, pero sobre todo con la eliminación de algunas hojas del maíz, para incrementar la luz interior y la aireación del cultivo. Durante las etapas tempranas del maíz, se pueden eliminar de cada planta sus 2 o 3 hojas inferiores, y después de su etapa de polinización, sus 2 o 3 hojas superiores; lo cual, evitaría la reducción significativa de la producción de grano del frijol que se produce a causa del sombreado del maíz, sin afectar el rendimiento de este último (Delgado Martínez et al. 2018).

Referencias bibliográficas

- Acosta, Rosa. 2009. "El Cultivo de Maíz, Su Origen y Clasificación. El Maíz En Cuba." *Cultivos Tropicales* 30 (2): 113–20.
- Albujar, Edwin. 2019. Anuario Estadístico de Producción Agrícola 2018. Ministerio de Agricultura y Riego. <https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicaciones/datos-estadisticas/anuarios/category/26-produccion-agricola>.
- Altieri, Miguel. 1983. *Agroecología, Bases Científicas de La Agricultura Alternativa*. División de Control Biológico. California: Universidad de California, Berkeley.
- CLADES. 1993. *Agroecología: Ciencia y Aplicación*. Berkeley- California.
- Delgado Martínez, Rafael, José Alberto Salvador Escalante Estrada, Ramón Díaz Ruíz, Antonio Trinidad Santos, Edgar Jesús Morales Rosales, and Eliseo Sosa Montes. 2018. "Defoliación En Maíz y Su Efecto Sobre El Rendimiento de Frijol-Maíz En Asociación." *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5 (6): 1015–27. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i6.886>.
- Hernández-López, Víctor M., Ma Luisa P. Vargas-Vázquez, José S. Murua-

- ga-Martínez, Sanjuana Hernández-Delgado, and y. Netzahualcóyotl Mayek-Pérez. 2013. "Origen, Domesticación y Diversificación Del Frijol Común. Avances y Perspectivas." *Revista Fitotecnia Mexicana* 36 (2): 95–104. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.2.95>.
- Tejada, Toribio. 2019. "Resultados de Investigación Campaña Agrícola 2018-2019 - Programa Nacional de Cereales, Granos Andinos y Leguminosas." Cajamarca. Perú.
-

Cultivo de frijol seco en sistemas de cultivo alrededor del maíz

Carlos A. Urrea
(currea2@unl.edu)

University of Nebraska, Panhandle Res, and Ext, Center, Scottsbluff, NE. 4502
Avenue I, Scottsbluff NE 69361

Entre los sistemas de cultivos del frijol alrededor del cultivo de maíz, la asociación, el relevo, o el intercalamiento, de maíz-frijol, son los sistemas mas comunes en los pequeños agricultores en Latinoamérica. El frijol en estos sistemas de cultivos, fija nitrógeno atmosférico al suelo lo que beneficia al cultivo del maíz. La meta en estos sistemas de cultivos es maximizar el rendimiento de ambos cultivos. El manejo de plagas, enfermedades, y malezas es mas facil porque va a ver menos incidencia de estas, lo que conlleva a mayores rendimientos en ambos cultivos. En el sistema de asociación, ambos cultivos son sembrados simultáneamente. En el sistema de relevo, el cultivo de maíz es usados como tutor. En el sistema de cultivos intercalados, la siembra de uno de los cultivos se hace entre los surcos o entre los espacios que hay entre las plantas. Las variedades a escoger tanto de maíz como de frijol y las prácticas agronómicas seran discutidas. Esto implica que debe de hacerse fitomejoramiento en ambas cultivos. El maíz no solo se asocia con leguminosas, tiene el potencial de ser asociado con otras cultivos.

Actualización en los procedimientos para solicitar germoplasma de maíz del CIMMYT

Alberto Antonio Chassaigne Ricciulli

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, Km 45 Carr. México-Veracruz. C.P. 56237, El Batán, Texcoco, Estado de México. Autor para correspondencia (a.chassaigne@cgiar.org)

El Banco de Germoplasma de Maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), tiene entre sus funciones la conservación, uso y distribución de más de 28,000 accesiones de maíz provenientes de más de 80 países, siendo el responsable de administrar la mayor diversidad de maíz del mundo. Estas accesiones pueden ser solicitadas por cualquier persona o institución, pública o privada con fines de investigación, mejoramiento y/o capacitación para la alimentación y la agricultura. Las solicitudes de semilla se hacen por el siguiente enlace: <http://mgb.cimmyt.org/gringlobal/search>

Entre las accesiones se encuentran las Líneas de Maíz del CIMMYT (CML). Las 615 CMLs son líneas cuidadosamente seleccionadas con una buena capacidad de combinación general y un número significativo de rasgos de valor agregado, como tolerancia a la sequía, eficiencia en el uso de N, tolerancia a suelos ácidos, resistencia a enfermedades, insectos y malezas parásitas. En muchos casos, son líneas parentales de híbridos que han tenido éxito en uno o varios mega-ambientes de maíz. Para cada línea, hay información sobre pedigrí, grupo heterótico, resistencia a enfermedades, características agronómicas, grupo de adaptación y otros atributos en el archivo del catálogo de información de CML de referencia.

Por otro lado, se puede tener acceso a líneas avanzadas de los mejoradores de maíz del CIMMYT para Latinoamérica solo al formar parte del Consorcio Internacional de Mejoramiento de Maíz (IMIC-LatAm por sus siglas en inglés). El objetivo de IMIC-LatAm es desarrollar líneas endogámicas élite de maíz con los caracteres de preferencia de los clientes y fortalecer las capacidades de los Miembros del Consorcio para desarrollar productos

dentro de sus propios programas de mejoramiento, incluyendo el establecimiento colaborativo de ensayos multi-sitios en México y otros países de Latinoamérica. Las Instituciones de los Sistemas Nacionales de Investigación Agrícola (“SNIA”) y las Universidades públicas en Latinoamérica que proporcionen contribuciones sustanciales en especie a los programas de mejoramiento de maíz del CIMMYT, podrán convertirse en Miembros Honorarios y estarán exentos del pago de la membresía de IMIC-LatAm.

Finalmente se puede tener acceso a híbridos y variedades de maíz con perfiles específicos para Latinoamérica que se describen en un catálogo en línea <https://maizecatalog.cimmyt.org/>. Estos productos pueden ser solicitados para su comercialización por cualquier persona o institución, pública o privada. Sin embargo, la asignación de producto(s) por colaborador, para determinado territorio(s) y número de años, la realiza un Comité de Especialistas de CIMMYT y es luego de la firma de un convenio que se libera el pedigrí y la semilla de las líneas progenitoras.

Palabras clave: *Zea mays* L; acceso a germoplasma, CIMMYT.

Application of molecular techniques for studies of protein diversity in maize (*Zea mays*)

Marilia Penteado Stephan

The lecture will show an introductory approach to the description of food proteins, through a comparative analysis of plant proteins with those present in animals. Structural conformations will be shown that will serve as a basis for classifying this molecule in corn, taking into account their solubility, amino acid content, nutritional and even technological aspects. Zein protein accounts the major protein of the total protein in corn, approximately the amount of 60%. This protein gives corn a high technological application. It is subdivided into 4 subclasses, alpha, beta, gamma and delta, which are characterized by being protein rich in nonpolar amino acids, a characteristic that indicates their potential for use in film production, which can be very useful for food preservation. Regarding the nutritional aspect of this cereal, emphasis must be given to the low content of lysine and tryptophan, essential amino acids for human nutrition. Proposals for the development of gluten-free breads complementing the nutritional quality of corn with a legume, such as beans, which are rich in lysine and tryptophan, will be propose. Molecular techniques for characterizing the protein diversity of maize lines will be detailed, as well as their application to obtain the identity pattern of breads obtained by thermal processing. Different types of electrophoresis are useful for these protein studies: SDS-PAGE in polyacrylamide gel; two-dimensional, by joining the SDS-PAGE technique in polyacrylamide gel and isoelectric focusing strips. These techniques are excellent for characterizing protein diversity, but they become limiting from a quantitative point of view. Therefore, for complementing these two techniques, the utilization of HPLC (quantification of different proteins) and capillary electrophoresis is useful. All these molecular techniques are available at EMBRAPA-RIO DE JANEIRO and can be used for the development of projects in a bilateral Brazil-Peru agreement.

La conferencia mostrará una aproximación introductoria a la descripción de las proteínas alimentarias, a través de un análisis comparativo de las proteínas vegetales con las presentes en los animales. Se mostrarán confor-

maciones estructurales que servirán de base para clasificar esta molécula en el maíz, teniendo en cuenta su solubilidad, contenido de aminoácidos, aspectos nutricionales e incluso tecnológicos. La proteína zeína representa la proteína principal de la proteína total en el maíz, aproximadamente la cantidad del 60%. Esta proteína le da al maíz una alta aplicación tecnológica. Se subdivide en 4 subclases, alfa, beta, gamma y delta, las cuales se caracterizan por ser proteínas ricas en aminoácidos no polares, característica que indica su potencial para su uso en la producción de películas, las cuales pueden ser de gran utilidad para la conservación de alimentos.

En cuanto al aspecto nutricional de este cereal, hay que destacar el bajo contenido en lisina y triptófano, aminoácidos esenciales para la nutrición humana. Se propondrán propuestas para el desarrollo de panes sin gluten que complementen la calidad nutricional del maíz con una leguminosa, como el frijol, rica en lisina y triptófano. Se detallarán técnicas moleculares para caracterizar la diversidad proteica de líneas de maíz, así como su aplicación para obtener el patrón de identidad de panes obtenidos por procesamiento térmico. Diferentes tipos de electroforesis son útiles para estos estudios de proteínas: SDS-PAGE en gel de poliacrilamida; bidimensional, mediante la unión de la técnica SDS-PAGE en gel de poliacrilamida y tiras de enfoque isoeléctrico. Estas técnicas son excelentes para caracterizar la diversidad de proteínas, pero se vuelven limitantes desde un punto de vista cuantitativo. Por tanto, para complementar estas dos técnicas, es útil la utilización de HPLC (cuantificación de diferentes proteínas) y electroforesis capilar. Todas estas técnicas moleculares están disponibles en EMBRAPA-RIO DE JANEIRO y pueden ser utilizadas para el desarrollo de proyectos en un acuerdo bilateral Brasil-Perú.

Innovación productivo-tecnológica y valor compartido en la cadena de valor del maíz amarillo duro (CV-MAD)

Gustavo Cabrera Sotomayor¹

¹Gualca Seeds SAC – Semillas Naylamp

El maíz amarillo duro (MAD) es un importante insumo para la industria procesadora de alimentos balanceados para animales y aves (90% de superficie cultivada va al sector avícola). Es el producto más importado del sector no tradicional (93% de la demanda). Tiene un alto poder nutricional por su contenido de caroteno, proteínas y carbohidratos apetecibles por aves y ganado. Por 20 años consecutivos, la producción de MAD había crecido significativamente (162%) en respuesta a la dinámica de la industria avícola, la cual viene creciendo desde 2005 a una tasa promedio de 9.43% al año. A pesar del continuo crecimiento de la demanda, desde 2010 hasta 2021, la producción se ha reducido significativamente (1.17 millones de t), atendiendo solo el 23% de la demanda (las importaciones suman 77%). Los principales departamentos productores se ubican en la costa con 105 mil ha y en la selva con 165 mil ha. Además, hay 30 mil ha en la costa para la producción de forraje (ganado vacuno). En la costa la mayor superficie está en Lambayeque, La Libertad, Áncash, Lima, Ica y Arequipa, donde se usa tecnología media a alta, semillas de calidad, 95% usan híbridos, y dispone de agua para riego. El rendimiento es de 9 a 10 t/ha. En la selva, los departamentos más importantes son San Martín, Loreto, Amazonas, Ucayali y Huánuco, donde se usa baja tecnología, semillas de baja calidad y muchas áreas dependen de las lluvias. El rendimiento varía entre 2 y 3 t/ha. Del total sembrado en la selva, se estima que 15% usa semillas de híbridos habiendo incrementado significativamente hasta en 5 t/ha su rendimiento. El problema es la reducción de la producción nacional desde 2010 (6.5% en 10 años), pese al incremento de la demanda (64.5% en 10 años). En los últimos 20 años las importaciones se incrementaron en 320 %, en comparación con la menor producción nacional, que disminuyó en 30 % por la fuerte competencia mundial. Las causas están relacionadas a: (i) ausencia de innovación agraria y transferencia tecnológica, (ii) ato-

mización de los productores, (iii) insuficiente semilla nacional certificada, (iv) precios bajos y baja productividad, (v) desconexión de la cadena de valor (CV) u oferta-demanda. La solución radica en el fortalecimiento de la CV-MAD mediante la innovación productivo-tecnológica e incremento de producción de semilla certificada, entre ellas la del híbrido simple INIA 619 Megahíbrido u otras variedades, junto con programas de extensión y difusión con grandes productores en zonas de producción ligados a cadenas de valor alimentaria sostenibles (CVAS) y consolidadas (mercado externo e interno (traders, avícola, lechero). Esta solución a su vez se sustenta en tres pilares de acción: (i) nuevo modelo de producción para incrementar el uso de semilla certificada nacional con uso de Blockchain para trazabilidad y transparencia, (ii) fortalecimiento de la relación con INIA para difusión y asistencia técnica; (iii) innovación en la CV y comercialización mediante alianzas verticales (oferta y demanda) y valor compartido. Las características del híbrido simple mencionado son: rendimientos estables de 14 t/ha de grano y 100 t/ha de chala, tolerancia a plagas y enfermedades, precocidad (135 días), amplia adaptación y estabilidad, y alto valor nutricional, facilidad para siembras durante todo el año y en zonas tropicales y subtropicales, y alta palatabilidad y valor nutricional apetecibles por ganado vacuno y avícola. Las ventajas de usar la tecnología blockchain en la CV-MAD son: intercambio sin intermediación de un tercero, fortaleza y fiabilidad de la CV, calidad alta de datos obtenidos en el proceso, usuarios más calificados en todo el proceso, integridad y fiabilidad del proceso de producción, transparencia e inmutabilidad en la producción y comercialización de la semilla y grano, sistema contable simplificado y transacciones eficientes en toda la CV.

Mejoramiento Genético del Popcorn

Fernando Ninamango Cardenas

PhD. Fitomejorador Senior

fcardenas@agalumniseed.com

Agricultural Alumni Seed Improvement Association, Romney IN, USA

El popcorn es un snack muy popular y de consumo muy expresivo en diferentes países. Mundialmente existen alrededor de 288 mil hectáreas plantadas anualmente con esta especie que tiene un alto valor agregado por ser considerada una especialidad. En 2021 Estados Unidos sembró ~102 mil ha (fas. usada.gov). En América del Sur, Brasil y Argentina son los países que lideran el plantío de popcorn con 72 mil y 48 mil hectáreas, respectivamente.

El Perú tiene histórica contribución en la domesticación del popcorn. Razas primitivas de popcorn (Proto-confite morocho y confite chavinense) pertenecientes a la fase precerámica jugaron importante rol en la domesticación del popcorn. El maíz peruano en fase temprana fue del tipo popcorn en tamaño, dureza y habilidad para expandir (Grobman et al., 2012).

Con el inicio de la industria del popcorn ya en los inicios de siglo XIX diversos esfuerzos fueron realizados tratando de encontrar variedades cada vez más productivas y con mejores características de calidad relacionadas a la capacidad de expansión.

En el inicio del siglo XX se intensifican los esfuerzos por encontrar mejores variedades en instituciones públicas y posteriormente privadas usando diversas fuentes de germoplasma y métodos de selección. Es así, que en 1934 surge el primer híbrido de popcorn Minhybrid 250 desarrollado por la Estación Experimental de Agricultura de Minnesota. Con el transcurrir del tiempo, variedades de polinización abierta fueron paulatinamente substituidas por híbridos.

El descubrimiento de alelos responsables por el sistema selectivo genético de polinización denominado factores gametofíticos fue y aun es de gran importancia para la industria de semillas del popcorn preservando la pu-

reza genética de sus genotipos. Fertilización con polen ga-1 (alelo frecuente en maíz dentado) es bloqueada completamente en plantas de popcorn con el alelo Ga1-s que confiere esterilidad no recíproca. Sin embargo, este sistema está en riesgo potencial por el aumento de frecuencia de otro alelo, Ga1-m, presente en germoplasma de maíces semitropicales y tropicales. Este alelo cuando presente acepta polen ga-1 polinizando ovarios de plantas de popcorn Ga1-s. Resistencia genética a este alelo fue reportada como forma de preservar el uso de barreras genéticas (Jones, Goodman y Krakowsky 2015).

La exploración de la variabilidad es sin duda clave para el suceso de los programas de fitomejoramiento. Evaluaciones de diversos parámetros genéticos para diversas características son importantes para establecer objetivos y estrategias del programa de fitomejoramiento. Introgresión de alelos de maíz en popcorn son de utilidad para mejorar características agronómicas y de rendimiento. El uso de dobles haploides permite reducir el tiempo de obtención de líneas endogámicas. Fenotipo de alto rendimiento a través del uso de drones y softwares de análisis de imágenes mejoran la eficiencia de evaluación de genotipos. Mapeamiento e identificación de regiones genómicas asociadas a características de interés son importantes para programas de selección asistida. Mas recientemente, la predicción de los valores genéticos de individuos a través de la utilización de gran cantidad de marcadores moleculares y modelos estadísticos se consolida como una excelente herramienta permitiéndonos seleccionar mejores individuos, economizando tiempo y costos y consecuentemente logrando eficiencia en la selección.

No menos importante, el desarrollo de mejores formas de conducción agronómica a campo en el cultivo del popcorn fue muy importante para el establecimiento del cultivo en nuevas áreas. Áreas tropicales hasta hace pocos años atrás no exploradas para el cultivo ahora son áreas con un excelente potencial productivo.

AG Alumni Seed Improvement Association viene trabajando intensamente en el desarrollo de híbridos de popcorn adaptados a diversas condiciones, inclusive tropicales. Actualmente cuenta con programas de fitomejoramiento en Estados Unidos, Argentina y Brasil.

Grobman A, Bonavia D, Dillehay TD, Piperno D, Iriarte J, Holst I (2012) Pre-ceramic maize from Paredones and Huaca Prieta, Peru. *Proc Natl Acad Sci USA* 31:1755-1759.

Jones ZG, Goodman MM, Krakowsky MD (2015) Identification of resistance to the GA1-m gametophyte factor in maize. *Euphytica* 206:785-791.

Vinculación de los cultivos andinos con la agroindustria

Carlos Añaños Jerí¹

¹ Empresario ayacuchano creador de Kola Real, AJE, Tiyapuy y del Patronato Pikimachay

Es la historia de un empresario exitoso de Ayacucho-Perú que, pese a las dificultades de una era convulsionada en el país, supo salir adelante a base de sacrificio, esfuerzo y perseverancia. Debido al terrorismo su familia empezó a vender gaseosas en Ayacucho que luego se convirtió en la marca Kola Real. Luego la marca pasó a ser comercializada en México, donde ingresó como Aje que hasta el momento lleva 30 años de trabajo. Ahora Kola Real se vende en Asia, África y Bután. La palabra clave del secreto de su éxito como empresario es la “confianza”. En la charla él demuestra cómo se puede salir del atraso en que vive un pueblo como el suyo. Desde 2017 Carlos lidera el Patronato Pikimachay en su ciudad natal, donde impulsa a varios emprendedores peruanos con algunas estrategias como acercar la artesanía al arte, creación de la marca Ayacucho, declarar a esta como Ciudad Creativa de la UNESCO y crear una “Smart city”. Muestra como resultados alentadores el salto de 56 mil a 300 mil turistas por año, el incremento de restaurantes (cerca de 100), nuevas agencias de viaje (alrededor de 20), seguridad en la ciudad (actualmente Ayacucho es más seguro que Cusco y Arequipa), el incremento del número de artesanos de 10 a más de 100 por mes y el incremento de 3 vuelos por semana a 7 vuelos diarios desde Lima. Carlos creó la marca Tiyapuy y cuenta que esta usa el sistema “blockchain” (conjunto de tecnologías que permiten la transferencia de un valor o activo de un lugar a otro sin intervención de terceros). Su sueño es que las personas tengan un alimento nutritivo en las mesas de sus hogares. Tiyapuy envasa papas nativas amarillas picantes y chips de quinua picantes, productos derivados de productos desarrollados naturalmente en los Andes de Perú. Él cree que podemos salir adelante porque somos el cuarto país con más biodiversidad del mundo, el tercero en cantidad de microclimas (75 aproximadamente) y la octava reserva de agua en el mundo. Parte de la premisa que se puede reducir los 5 mil millones de dólares de

importación de productos agropecuarios, la importación de 35 mil toneladas de papa para fritura al año, reivindicar la papa peruana en el mundo y aprovechar las 800 mil hectáreas de tierra en los Andes que pueden generar trabajo. Considera que la papa y el maíz deben ser considerados como joyas para obtener precios justos, pero a través de sus valores agregados. No debemos vender tubérculos y granos sino "joyas" elaboradas a partir de estos, destacando la trazabilidad como la capacidad de rastrear todos los procesos, desde la adquisición de materias primas hasta la producción, consumo y eliminación, para poder aclarar "cuándo y dónde fue producido qué y por quién".

Generación de tecnologías en maíz amiláceo en el Programa de Maíz del INIA-Perú

Teodoro Narro León¹

¹ Estación Experimental Agraria Baños del Inca,
Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA

El Programa Nacional de Maíz del Instituto Nacional de Innovación Agraria, ha generado tecnologías en maíz amiláceo con la finalidad de mejorar el rendimiento y calidad de los diversos tipos de maíces que se cultivan en la región alto andina del Perú, para contribuir al aumento de la rentabilidad y sistema de vida de los productores dedicados al cultivo de este importante cereal. Se ha generado variedades con sus correspondientes prácticas de cultivo, cosecha y pos cosecha en maíces de grano blanco, amarillo, morado, entre otros colores, que son usados en variadas formas en la alimentación, salud, industria y para exportación.

Calidad en el Sistema de Producción de Semillas de Maíz en Brasil

Dr. Ebert Obando Flor

Gerente de Calidad - Limagrain Brasil
ebert.obando@limagrain.com

En los últimos 3 años el Brasil há experimentado un crecimiento considerable en el área sembrada de maíz. Pasando de 19.7 millones há en el 2020 a 23.8 millones en 2021 y una proyección para este año de 26.2 millones de há.

Dentro de los factores que vienen siendo fundamentales para ese crecimiento, es el fortalecimiento del sistema nacional de semillas debido a la participación de todos los actores de manera fundamental. Así tenemos, al Ministerio de Agricultura pecuária y abastecimiento (mediante la emisión de leyes y ejecución de la bioseguridad), Secretaría de los estados (con roles de certificación y obtención de nuevos cultivares, fiscalización de la producción y comercio), los Centros de Investigación (mediante la obtención de nuevos cultivares, producción de semilla genética y básica e investigación en tecnología de semillas), Las Universidades (tienen un rol importante en la educación, especialización con grados de maestría y doctorado, investigación en tecnología de semillas y obtención de nuevos cultivares), Productores de semillas (a través de cooperativas y cooperantes), Empresas privadas (con la obtención de nuevos cultivares, investigación, desarrollo y comercialización), Asociaciones, proveedores de insumos entre otros. De la misma manera, el uso de traits y tecnologías vienen siendo adoptados cada vez más por los agricultores. Siendo que en este momento existen 64 traits aprobados comercialmente, y donde el 70% de estos traits poseen como característica principal la resistencia a insectos y tolerância a herbicidas (CTNBio 20220).

Y por ultimo, la implementación y uso del Sistema de Gestión de Calidad dentro de todo el proceso de producción de semillas viene siendo funda-

mental para que las semillas lleguen hasta el productor con calidad genética, física, fisiológica y genética. Este proceso tiene como objetivo poder rastrear los procesos desde la producción en campo, inspecciones de las mismas, procesamiento de semillas, almacenamiento, logística, control de calidad y ventas.

Como consecuencia de la adopción de los parámetros mencionados hacen que se tenga en el mercado semillas de maíz con certificación em torno de 93% que permite asegurar al productor tener un insumo con garantía.

Semillas de maíz en Colombia

Deisy Lorena Flórez Gómez¹, Julio Ramírez Durán¹

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.
Departamento de Semillas. Sede Central, Mosquera, Cundinamarca, Colombia.
dlflorez@agrosavia.co, ORCID: 0000-0003-3676-7564

En Colombia, el maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos de mayor área de siembra y de alta importancia a nivel social, económica y cultural, como materia prima y alimento de la canasta básica familiar del país; el 57% de la superficie sembrada corresponde al sistema tecnificado que se caracteriza por el establecimiento del monocultivo en grandes superficies (> 5 hectáreas), el uso de maquinaria, equipos e implementos agrícolas y el acceso a insumos agrícolas dentro de los que se contempla la semilla de calidad principalmente de híbridos; mientras que el 43% restante de área cultivada de maíz se realiza bajo el sistema tradicional en donde prevalece el cultivo asociado con otras especies de importancia local, la mano de obra familiar, áreas menores a las 5 hectáreas, bajo nivel de mecanización, uso de variedades nativas y criollas y limitado acceso a semillas de calidad. Referente al mercado de semillas, el maíz tecnificado es atendido principalmente por la industria privada; de acuerdo con Acosemillas (2020) la producción de semilla certificada de maíz en Colombia es de 6.775.200,0 kg y su uso es del 93%; la adopción o no de esta práctica de emplear semilla de calidad puede aumentar o disminuir el rendimiento hasta el 40% y tiene un impacto económico, ambiental y social. La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia consciente de su misión de impactar al sector agropecuario y mediante su Departamento de Semillas busca fortalecer a los actores del Sistema Nacional de Semillas, por lo cual orienta sus esfuerzos a la producción de semilla de calidad de las variedades generadas por el programa de mejoramiento genético de maíz de la corporación entre las cuales se encuentran CORPOICA V-114, CORPOICA V-159, CORPOICA V-115, AGROSAVIA V-116 Hawaii, AGROSAVIA V-117 y AGROSAVIA V-160 QPM, con atributos principalmente para pequeños y medianos agricultores; además pretende aportar al sistema tradicional de maíz con estas variedades que ya tienen canales de distribución y comercialización. El proceso de multiplicación de semilla de calidad de estas variedades se

realiza cumpliendo estrictamente lo definido y reglamentado por la Resolución 003168 de 2015 del Instituto Colombiano Agropecuario – ICA, para lo cual se han implementado herramientas de control como el Sistema Interno de Trazabilidad (SIT) y los Esquemas de Aseguramiento de la Calidad (EAC) en sus cuatro dimensiones (genética, fisiológica, física y sanitaria). Dicho proceso inicia bajo la estrategia denominada “Plan de Mínimos” cuyo fin es producir la mínima cantidad de semilla para su escalamiento comercial (semillas de categorías básica, registrada y certificada). Este sistema de maíz tradicional tiene una alta responsabilidad y expectativa de aumento de rendimientos, por ello dentro de los pasos estratégicos para el mejoramiento de esta cadena productiva es priorizado el uso de semilla de calidad y la adopción de variedades con mayor potencial de producción para contribuir a la demanda que existe en el país.

Palabras clave: maíz, semilla, calidad, variedades, rendimiento, producción, sistema tradicional





Catedral de Cajamarca (Santa Catalina).
Desde 1908 ocupa el rango de catedral.
En 1972, fue declarada como Patrimonio
Histórico Cultural de la Nación del Perú.

Imagen: William Guillén Padilla

Evaluación del acolchado plástico en la producción de maíz harinoso (*Zea mays* L. var. *amylacea* St.) en la Sierra del Ecuador

Evaluation of plastic mulching for floury corn production (*Zea mays* L. var. *amylacea* St.) in the highlands of Ecuador

José L. Zambrano^{1*}; Yamil E. Cartagena¹, Carlos A. Sangoquiza², Victoria A. López¹, Rafael Parra¹, Javier A. Maiguashca¹, José L. Rivadeneria¹; Chang H. Park².

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, Mejía, Ecuador.

² Korea Program on International Agriculture (KOPIA), Estación Experimental Santa Catalina, Mejía, Ecuador.

*Autor para correspondencia: jose.zambrano@iniap.gob.ec

RESUMEN

El uso de acolchado en la producción de alimentos es una técnica comúnmente empleada en cultivos hortícolas para proteger a las plantas de las condiciones adversas de clima. En la Sierra del Ecuador frecuentemente se presentan sequías, lluvias irregulares y frío, por lo que el uso del acolchado podría ser una alternativa de producción que incremente el rendimiento del maíz en esta región. El objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento agronómico de una variedad de maíz harinoso cultivado con acolchado plástico y estimar la rentabilidad de esta tecnología. El acolchado plástico incrementó de manera significativa ($p < 0,05$) la producción de choclo en un 63,61%, pasando de 3,71 t ha⁻¹ a 6,07 t ha⁻¹. El rendimiento de grano seco tuvo un incremento de 33,08%, pasando de 2,63 t ha⁻¹ a 3,50 t ha⁻¹. Además, se observó que el acolchado adelantó la floración femenina. Las parcelas con cobertura plástica mantuvieron una mayor humedad y temperatura en el suelo que las parcelas testigo, lo que favoreció el crecimiento de las plantas. El análisis económico determinó que la mayor rentabilidad se obtuvo en la producción de choclo con cobertura plástica con 35,91%; mientras que la parcela testigo, sin plástico, obtuvo una rentabilidad del 11,26%.

Palabras clave: alternativa tecnológica, cambio climático, intensificación sustentable, maíz suave, rentabilidad.

ABSTRACT

The use of mulching for food production is a technique commonly used in horticultural crops to protect plants from adverse weather conditions and weeds. Adverse weather conditions frequently occur in the highlands of Ecuador, caused by droughts, irregular rains, and cold; therefore, the use of mulching could be an alternative to increase corn yield in this region. The objectives of this study were to evaluate the agronomic performance of a variety of flouy maize grown with plastic mulching, and estimate the profitability of its use. Mulching increased significantly ($p < 0.05$) corn production by 63.61%, from 3.71 t ha⁻¹ to 6.07 t ha⁻¹. The dry grain yield had an increase of 33.08%, from 2.63 t ha⁻¹ to 3.50 t ha⁻¹. In addition, mulching accelerated the days to female flowering. The plots with plastic cover maintained a higher humidity and temperature in the soil than the control plots, which favored the growth of the plants. The economic analysis determined that the highest profitability was obtained in the production of corn with mulching with 35.91%; while the control plot, without plastic, obtained a return of 11.26%.

Keywords: Climate change, profitability, soft corn, sustainable intensification, technological alternative.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los más importantes cultivos en la región Andina o Sierra del Ecuador, debido a que posee la mayor superficie de siembra y representa un componente fundamental en la alimentación y costumbre de la población, sobre todo en el campo (Zambrano et al., 2021). El maíz de grano suave o harinoso (var. *amylacea*) es el más cultivado en la región, con una superficie cosechada de 74018 ha, y un rendimiento promedio de 1,63 t ha⁻¹ de grano en seco y 3,68 t ha⁻¹ de choclo (MAG, 2020). Una de las principales limitantes de la producción es su bajo rendimiento, causado, entre otros aspectos, por la vulnerabilidad del cultivo a eventos climáticos, entre ellos la sequía y el frío que son característicos de la región alto Andina (>2800 m s.n.m.) donde los agricultores siembran el maíz.

La utilización de láminas de plástico como cobertura del suelo (*mulching* o acolchado) es una técnica comúnmente utilizada para la producción de hortalizas, cuyo objetivo es la protección del sistema radicular de las plantas del frío, sequía, exceso de humedad, malezas y plagas (Steinmetz et al., 2016). Estas amenazas están presentes en el campo de los agricultores de la Región Alto Andina, amenazas que cada vez se vuelven más frecuentes por los efectos del cambio climático. Varios estudios realizados en Asia han demostrado la eficiencia del uso de acolchado o cobertura plástica sobre el rendimiento del cultivo de maíz, mejorando la precocidad, la eficiencia en el uso del agua, entre otros aspectos (Zhang, P. et al., 2017; Ren et al., 2017). El plástico negro durante el día absorbe la energía lumínica y calienta el suelo; ese calor queda retenido durante la noche, reduciendo el desequilibrio térmico que retarda el desarrollo de la planta cuando el suelo está frío. El viento y el sol evaporan la humedad y reseca la tierra, causando un mayor estrés hídrico, que también afecta el desarrollo del cultivo. Adicionalmente, el plástico negro impide el crecimiento de malezas que compiten con el cultivo por agua y nutrientes, mejora la eficiencia en el uso de agua, la fijación de carbono y la cantidad de materia orgánica en el suelo (Wang et al., 2020).

Una desventaja del uso de acolchado plástico con pequeños agricultores de la Sierra podría ser el costo. Existen pocos estudios sobre el beneficio económico del uso de cobertura plástica en maíz. Un estudio realizado por Zhang et al. (Zhang, G. et al. 2017) en zonas semiáridas, con precipitaciones limitadas e irregulares en China, reportó beneficios de entre 51 y 230 USD ha⁻¹, concluyendo que esta técnica fue más productiva y rentable que el método convencional. En México, se estimó que el costo del plástico alcanzaría los 880 dólares por hectárea y el incremento de rendimiento justificaría la inversión (AGROINFO, 2011). El objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento agronómico del maíz harinoso cultivado con cobertura plástica y estimar la rentabilidad y el beneficio/costo de emplear esta tecnología, en condiciones de clima y suelo característicos de la región alto Andina de la Sierra ecuatoriana.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, ubicado en el Cantón Mejía, provincia de Pichincha, a 3050 m s.n.sm, La-

itud: Sur 00°22'5,55", Longitud: W 78°33'23,25", durante los meses de octubre del 2020 a junio del 2021 (a temporal, época lluviosa), cuando la mayoría de los agricultores de la Sierra cultivan maíz. Las condiciones de clima y suelo bajo los cuales se realizó el experimento se detallan en la Tabla 1. El ensayo tuvo dos tratamientos: a) cultivo de maíz con acolchado o cobertura plástica, y b) cultivo de maíz con manejo convencional (surcos al aire libre) utilizado como testigo. Los tratamientos se evaluaron utilizando un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada unidad experimental estuvo constituida por una parcela de 10,5 m de largo x 16,8 m de ancho (176,4 m²), que contenía 20 surcos separados a 0,80 m, con una planta cada 0,25 m, lo que correspondió a una densidad de 50000 plantas ha⁻¹. Se utilizó la variedad de maíz amarillo harinoso INIAP 122 (Silva, Dobronsky, & Heredia, 1997). Las variables altura de planta, altura de mazorca, días a floración femenina y peso de campo se evaluaron siguiendo las indicaciones del CIMMYT (CIMMYT, 1995). En 12 surcos se evaluó el rendimiento de maíz tierno (choclo) y en cuatro surcos el rendimiento del maíz en grano seco, ajustado al 14% de humedad. Dos surcos de cada lado se usaron como borde. Con los resultados obtenidos se realizaron Análisis de Varianza y pruebas de separación de medias con Tukey ($\alpha=0,05$), utilizando el paquete estadístico INFOSTAT. Adicionalmente, cada dos a tres días, se registró con un termómetro digital (GREISINGER GTH175/Pt) la temperatura del suelo a 5 cm de profundidad, y con un DIVINER 2000 Series II (SENTEK TECH) se midió la humedad del suelo cada 0,10 m hasta 1 m de profundidad. Los valores del suelo acolchado y el control fueron analizados mediante la prueba "T de student" pareada ($\alpha=0,05$). Finalmente, se analizó el costo de producción de cada tratamiento en dólares americanos (USD), ajustando los valores a los costos por hectárea; y a la cosecha se simuló una venta para obtener el ingreso económico de cada tratamiento. La rentabilidad de cada tratamiento se estimó en porcentaje, dividiendo el ingreso neto para el costo total; mientras que el beneficio/costo se estimó dividiendo el ingreso bruto para el costo total.

La preparación del suelo previo a la siembra se realizó mediante labranza convencional con maquinaria, con un pase de arada, seguido de dos pases de rastra. Para el tratamiento testigo, los surcos se realizaron con maquinaria a una distancia de 0,80 m; mientras que para las parcelas con cobertura plástica se prepararon camas de 1,40 m de ancho por 0,30 m de alto utilizando maquinaria agrícola. Las camas se cubrieron con plástico

negro tipo “mulch” de 33 micras de grueso y 1,40 m de ancho (ReyFilm Negro, REYENVAS S.A). La fertilización fue igual para todas las parcelas. Se aplicó 140 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), 80 kg ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅) y 60 kg ha⁻¹ de Potasio (K₂O). El fertilizante compuesto (N, P y K) se aplicó al momento de la siembra en las parcelas testigo a chorro continuo, junto al surco; y en las parcelas con cobertura, se aplicó sobre la cama en la línea de siembra, antes de cubrir con el plástico. El nitrógeno se fraccionó en partes iguales a la siembra, a los 45 y a los 70 días. En la parcela testigo, la fertilización complementaria (45 y 70 días) se aplicó a chorro continuo, a un lado del surco; mientras que en las parcelas con cobertura plástica se realizó junto al pie de cada planta. En las parcelas con cobertura plástica se realizó un control de malezas en pre-emergencia en los sitios de siembra y en los bordes o caminos de las parcelas. La parcela control se mantuvo sin malezas mediante el uso de deshierbas manuales y herbicidas.

Tabla 1. Condiciones ambientales y de suelo donde se instaló el ensayo de evaluación de cobertura plástica en maíz en la Estación Experimental Santa Catalina, ciclo 2020-2021.

Características climáticas	Características de suelo
Elevación: 3050 m s.n.m.	Textura: Franco
Temperatura ambiental promedio: 13 °C	Materia orgánica: 7,7%
Temperatura máxima: 26 °C	N: 91 ppm A
Temperatura mínima: 3 °C	P: 93 ppm A
Precipitación acumulada (oct. 2020 - jun. 2021): 1590 mm	pH: 5,09

RESULTADOS

El acolchado plástico incrementó significativamente ($p < 0,05$) la altura promedio de las plantas de maíz, con una diferencia de 35,46 cm en relación al testigo. El acolchado también aceleró el crecimiento de las plantas, reduciendo significativamente ($p < 0,05$) el tiempo de floración femenina en 12 días. Además, redujo el porcentaje de plantas de maíz sin mazorcas, pasando del 12,95% al 6,23%. En cuanto a producción de grano seco, ajustado al 14% de humedad, el uso de acolchado plástico incrementó el rendimiento del maíz en un 33,08%, a pesar de que no se observaron diferencias estadísticas significativas (Tabla 2).

Tabla 2. Características agronómicas de una variedad de maíz amarillo harinoso (INIAP-122) evaluado con cobertura plástica y el testigo en la Estación Experimental Santa Catalina.

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Días a floración femenina	Plantas sin mazorcas (%)	Rendimiento en grano seco (t ha ⁻¹)
Cobertura	268,33 a*	126,33 a*	6,23 a	3,50 a
Testigo	236,87 b	138,67 b	12,95 b	2,63 a
Diferencia (%)	13,28	-8,89	-101,28	33,08
Sig. ADEVA	0,0387	0,0456	0,0461	0,1586
CV (%)	3,09	2,52	18,29	15,79

*Medias seguidas con una letra común no son significativamente diferentes, según Tukey ($\alpha=0,05$).

La producción de maíz tierno, o choclo, tuvo un incremento considerable con el uso de acolchado. El peso de campo, o peso total, tuvo un incremento del 51,82% en relación al testigo, aunque no se diferenció estadísticamente del control ($p=0,051$). Con el uso de acolchado plástico, el número de mazorcas de primera calidad se incrementó en un 130% en relación al testigo, existiendo diferencias significativas entre ambos tratamientos ($p<0,05$). De igual manera, el peso de mazorcas de primera y el peso total de mazorcas cosechadas sin brácteas tuvieron incrementos estadísticos significativos ($p<0,05$) de 162,34% y 63,61%, respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3. Rendimiento de maíz tierno o choclo de INIAP-122 evaluado con cobertura plástica y testigo en la Estación Experimental Santa Catalina.

Tratamiento	Rendimiento de choclo					
	Peso de choclos † (t ha ⁻¹)	Número ha ⁻¹		Peso sin brácteas (t ha ⁻¹)		
		Primera	Segunda	Primera	Segunda	Total
Cobertura	12,95 a	21395 a*	15575 a	4,04 a	2,03 a	6,07 a
Testigo	8,53 a	9292 b	18320 a	1,54 b	2,17 a	3,71 b
Diferencia (%)	51,82	130,25	-17,62	162,34	-6,45	63,61
Sig. ADEVA	0,0510	0,0311	0,3982	0,0158	0,6407	0,0451
CV (%)	11,84	17,45	18,61	13,94	15,00	12,98

*Medias seguidas con una letra común no son significativamente diferentes, según Tukey ($\alpha=0,05$); † Peso total de la parcela, choclo con brácteas.

La prueba t determinó la existencia de diferencias significativas para temperatura y humedad del suelo. Con excepción de la humedad superficial (0,10 m), donde no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p=0,5717$) entre el suelo con plástico y sin plástico. El resto de lecturas fueron diferentes estadísticamente ($p<0,05$), observándose que el suelo conservó una mayor humedad con el uso del acolchado plástico (Tabla 4).

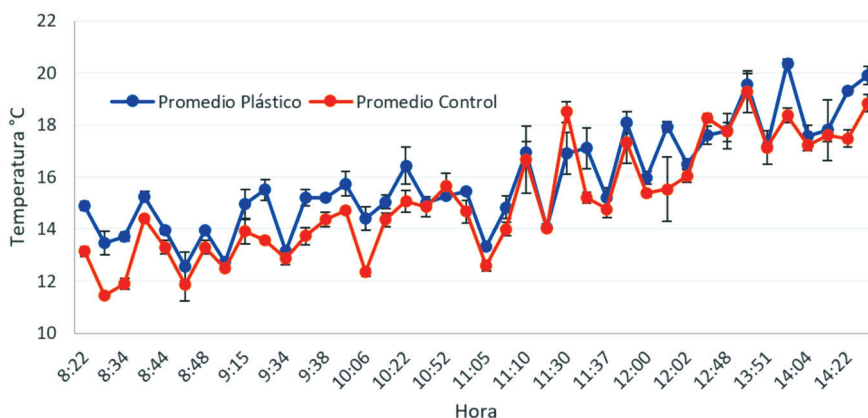
Tabla 4. Humedad del suelo (%) cultivado con maíz usando cobertura plástica a diversas profundidades de lectura en la Estación Experimental Santa Catalina, ciclo 2020-2021.

Tratamiento	Profundidad de lectura (m)							
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00
Cobertura	31,85	37,89	39,91	40,31	40,24	40,41	38,89	39,60
Control	31,73	35,88	35,88	37,68	37,97	36,21	37,22	38,26
Valor p*	0,5717	1,31E-11	7,17E-57	3,35E-52	1,23E-53	3,51E-66	1,13E-34	1,31E-11

*Prueba de t pareada ($\alpha=0,05$), $n=90$ observaciones para cada lectura.

A pesar que la prueba de T no encontró diferencias significativas entre las lecturas de temperaturas del suelo con plástico y sin plástico, se observó que la temperatura del suelo se incrementó a medida que el sol calentó la superficie; es decir, en ambos tratamientos se observó que a medio día la temperatura del suelo fue mayor que en las primeras horas de la mañana. Sin embargo; se evidenció una mayor temperatura (entre 2 y 3 °C) en el suelo cubierto con plástico durante las primeras horas del día y en la tarde (Fig. 1).

Figura 1. Incremento de temperatura del suelo a 5 cm de profundidad en maíz cultivado con cobertura plástica y control durante el día en la época lluviosa, ciclo 2020-2021.



Las barras representan el error estándar.

El análisis económico de los tratamientos determinó que el uso de cobertura plástica obtuvo la mayor rentabilidad y mayor beneficio/costo, tanto para la producción en choclo como en grano seco. Existió una diferencia en los costos variables de 550,5 USD y 493,4 USD para la producción de maíz choclo y granos seco, respectivamente, debido principalmente al incremento en la preparación del suelo por la compra e instalación del plástico. Se estimó que el plástico tenga una vida útil de dos años, por lo que su valor fue prorrateado. Con el uso de acolchado, la rentabilidad fue mayor en la producción de choclo (35,91%) que en la producción de grano seco (20,36%) (Tabla 5).

Tabla 5. Costos de producción y beneficio económico del uso de cobertura plástica en la producción de maíz en choclo y grano seco de una variedad de maíz amarillo harinoso (INIAP-122), en dólares americanos. Estación Experimental Santa Catalina, ciclo 2020-2021.

Actividad	Producción de choclo (USD)		Producción de grano seco (USD)	
	Cobertura	Testigo	Cobertura	Testigo
Preparación del suelo	1060,00	260,00	1060,00	260,00
Siembra y fertilización inicial	654,50	542,00	654,50	542,00
Labores culturales	540,00	972,00	540,00	972,00
Cosecha, post cosecha y venta	697,30	627,30	686,90	673,60
Total Costos Variables	2951,80	2401,30	2941,40	2447,60
Costos Fijos	316,47	276,10	327,96	289,69
Costo Total	3268,27	2677,40	3269,36	2737,29
Ingreso Bruto	4442,00	2979,00	3935,00	2890,00
Ingreso Neto	1173,73	301,60	665,64	152,71
Rentabilidad (%)	35,91	11,26	20,36	5,58
Beneficio/Costo	1,36	1,11	1,20	1,06

DISCUSIÓN

Varias investigaciones realizadas en Asia han demostrado que el maíz cultivado con acolchado plástico mejora el crecimiento de los cultivos, la absorción de agua y nutrientes, el rendimiento del grano y la eficiencia en el uso del agua debido a una mayor disponibilidad de humedad y a una mejora de las condiciones térmicas en el suelo (Mo et al., 2017; Jia et al., 2018). Esta tecnología no había sido probada en la Sierra del Ecuador, donde existen condiciones de frío y falta de agua, que se acrecientan con los efectos del cambio climático. En esta investigación se observó un incremento en el

rendimiento del cultivo; que fue más evidente y estadísticamente significativos ($p < 0,052$) para la producción de maíz tierno o choclo, que tuvo incrementos de entre 51,82% hasta 162,34%, dependiendo de la variable de producción evaluada (Tabla 3). El rendimiento de maíz en grano seco tuvo un incremento de 33,08%, que a pesar de no ser estadísticamente significativo, incrementó el rendimiento de 2,63 a 3,50 t ha⁻¹. En el ensayo existió una merma en el dato de maíz seco debido al daño que sufrieron las mazorcas por los pájaros, que incrementó la variabilidad y redujo el promedio, sobre todo en el tratamiento con acolchado que tenía las mazorcas más grandes y fue donde los pájaros atacaron en mayor medida. El incremento de rendimiento del maíz observado en las parcelas con cobertura plástica se explica porque el suelo retuvo una mayor cantidad de humedad, sobre todo en los primeros 0,20 a 0,60 cm de profundidad (Tabla 4), y una mayor temperatura (Fig. 1), lo que redujo el estrés y mejoró el desarrollo vegetativo del cultivo, expresado en una mayor altura de planta y reducción en los días a floración femenina (Tabla 2); por lo tanto, el uso de acolchado plástico sería un sistema de cultivo eficaz para mejorar la humedad en el suelo y la absorción de agua de las raíces para incrementar la producción de maíz en la agricultura de secano (bajo condiciones de lluvia).

Los resultados obtenidos son similares a los reportados en el Nor-oeste de China, donde el acolchado plástico incrementó el rendimiento promedio del cultivo de maíz debido a un mayor contenido de humedad en los primeros 30 cm del suelo (hasta 11% más que el control sin plástico), lo que mejoró el desarrollo radicular de las plantas (Thidar et al., 2020). El incremento de rendimiento obtenido en el maíz cultivado en Santa Catalina para grano seco (33,08%) puede ser comparado con el incremento promedio en grano seco obtenido en un Meta-análisis realizado en China, donde se evaluó el efecto del acolchado plástico en la producción de maíz de 266 estudios publicados entre 1980 a 2017, y obtuvo un incremento promedio de 24,32% (Gao et al., 2019).

Una de las posibles limitaciones que puede tener esta tecnología es su costo. En Ecuador, el rollo de 500 metros se consigue en alrededor de 160 USD. Este incremento en el costo de producción se evidencia en la Tabla 5, donde el costo de preparación del suelo se incrementó en 800 USD. Es necesario indicar que el costo del plástico se pro-rateo a dos años, considerando el tiempo mínimo de vida útil. A pesar de este incremento en el costo de producción, la producción de maíz utilizando cobertura plástica

obtuvo la mayor rentabilidad, tanto para la producción de choclo como de grano seco. Fue más rentable la producción de choclo (rentabilidad de 35,91%) ya que se obtuvo un mejor rendimiento y un mejor precio de venta en el mercado, que la producción de grano seco (rentabilidad de 20,36%). Los costos de producción obtenidos en la parcela sin plástico son similares a los reportados por Zambrano y colaboradores (Zambrano et al., 2021). Estos resultados corroboran lo reportado en China, donde el ingreso neto promedio de dos años aumentó en \$236 USD ha⁻¹ en comparación con el control sin plástico, siendo el acolchado plástico el tratamiento más rentable para la producción de maíz en el estudio (Zhang et al., 2017).

CONCLUSIÓN

El acolchado plástico incrementó el rendimiento de maíz harinoso en choclo y grano seco en 63,61% y 33,08%, respectivamente, cultivado a temporal (época lluviosa) en la Estación Experimental Santa Catalina en la Sierra del Ecuador. Además del incremento del rendimiento, se observó una reducción en el ciclo productivo y una mayor altura de planta. El análisis económico determinó que la producción de choclo con acolchado plástico fue el tratamiento que obtuvo la mayor rentabilidad (35,91%) y el mejor beneficio costo (1,36). Es necesario continuar con las evaluaciones en otras regiones del país, sobre todo con agricultores, para confirmar los resultados y estimar un beneficio económico más representativo para los productores de maíz en la Sierra del Ecuador.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Programa Coreano en Agricultura Internacional (KOPIA) en Ecuador por financiar el presente estudio.

REFERENCIAS

- AGROINFO. (2011). Buscan impulsar la siembra de maíz con acolchado plástico. Retrieved from https://www.infoagro.com/noticias/2011/5/18034_buscan_impulsar_siembra_maiz_acolchado_plastico.asp
- CIMMYT. (1995). Manejo de los ensayos e informe de los datos para el programa de ensayos internacionales de maíz del CIMMYT.
- Gao, H., Yan, C., Liu, Q., Ding, W., Chen, B., & Li, Z. (2019). Effects of plas-

- tic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 651, 484-492. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.105>
- Jia, Q., Chen, K., Chen, Y., Ali, S., Manzoor, Sohail, A., & Fahad, S. (Invalid date). Mulch covered ridges affect grain yield of maize through regulating root growth and root-bleeding sap under simulated rainfall conditions. *Soil and Tillage Research*, 175, 101-111. doi:<https://doi.org/10.1016/j.still.2017.08.017>
- MAG. (2020). Cifras agroproductivas. sistema de información pública agropecuaria. Retrieved from <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Mo, F., Wang, J., Zhou, H., Luo, C., Zhang, X., Li, X., . . . Xiong, Y. (2017). Ridge-furrow plastic-mulching with balanced fertilization in rainfed maize (*Zea mays* L.): An adaptive management in east african plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 236, 100-112. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.01.014>
- Ren, X., Chen, X., Cai, T., Wei, T., Wu, Y., Ali, S., . . . Jia, Z. (2017). Effects of ridge-furrow system combined with different degradable mulching materials on soil water conservation and crop production in semi-humid areas of china. *Frontiers in Plant Science*, 8
- Silva, E., Dobronsky, J., & Heredia, J. (1997). NIAP-122 chaucho mejorado: Variedad de maíz amarillo harinoso semi-precoz para la provincia de imbabura. (No. Plegable No. 159). Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina.
- Steinmetz, Z., Wollmann, C., Schaefer, M., Buchmann, C., David, J., Tröger, J., . . . Schaumann, G. E. (2016). Plastic mulching in agriculture. trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? *Science of the Total Environment*, 550, 690-705. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.153>
- Thidar, M., Gong, D., Mei, X., Gao, L., Li, H., Hao, W., & Gu, F. (2020). Mulching improved soil water, root distribution and yield of maize in the loess plateau of northwest china. *Agricultural Water Management*, 241, 106340. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106340>
- Wang, L., Coulter, J. A., Li, L., Luo, Z., Chen, Y., Deng, X., & Xie, J. (2020). Plastic mulching reduces nitrogen footprint of food crops in china: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 748, 141479. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141479>
- Zambrano, J. L., Velásquez, J., Peñaherrera, D., Sangoquiza, C., Cartagena, Y., Garcés, S., . . . Racines, M. (2021). Guía para la producción sosten-

- table de maíz en la sierra ecuatoriana. Quito, Ecuador: INIAP. Retrieved from <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5796>
- Zhang, G., Liu, C., Xiao, C., Xie, R., Ming, B., Hou, P., . . . Li, S. (Invalid date). Optimizing water use efficiency and economic return of super high yield spring maize under drip irrigation and plastic mulching in arid areas of china. *Field Crops Research*, 211, 137-146. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.026>
- Zhang, P., Wei, T., Cai, T., Ali, S., Han, Q., Ren, X., & Jia, Z. (2017). Plastic-film mulching for enhanced water-use efficiency and economic returns from maize fields in semiarid china. *Frontiers in Plant Science*, 8
-

Evaluación participativa del uso de acolchado plástico para la producción de maíz suave (*Zea mays* L. var. *amylacea*) con agricultores de la Provincia de Cotopaxi en Ecuador

Participatory evaluation of the use of plastic mulching for the production of corn (*Zea mays* L var. *amylacea*.) with farmers in the Province of Cotopaxi in Ecuador

Victoria A. López¹, José L. Zambrano^{1*}; Yamil E. Cartagena¹, Carlos A. Sangoquiza², Rafael Parra¹, Javier A. Maiguashca¹, José L. Rivadeneria¹; Chan H. Park²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP),
Estación Experimental Santa Catalina, Mejía, Ecuador

²Korea Program on International Agriculture (KOPIA),
Estación Experimental Santa Catalina, Mejía, Ecuador

*Autor para correspondencia: victoria.lopez@iniap.gob.ec
jose.zambrano@iniap.gob.ec

RESUMEN

Con el fin de evaluar el efecto del uso de la cobertura plástica sobre el rendimiento del cultivo de maíz suave, beneficios económicos y ambientales asociados a esta tecnología, se implementaron ensayos de investigación / evaluación participativa con agricultores y agricultoras de la Asociación de Emprendedores Agropecuarios Virgen del Tránsito, quienes son productores principalmente de maíz suave. Se establecieron cuatro ensayos con el diseño estadístico de bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones. En dos ensayos se utilizó semilla local (grano amarillo harinoso conocido como Tusilla), y en los restantes se utilizó semilla mejorada INIAP 199 (Racimo de Uva) e INIAP 193 (Chulpi). En todas las localidades se implementaron tres tratamientos: T1: uso de acolchado plástico; T2: tecnología de manejo recomendada por INIAP y T3: manejo del agricultor. Los resultados demostraron la eficiencia del uso de acolchado (T1) sobre el rendi-

miento de maíz, ya que se incrementó en las variedades Tusilla, INIAP 199 e INIAP 193, en 106 %, 263 % y 125 % con relación al rendimiento obtenido con el manejo del agricultor (T3); y, en 41 %, 35 % y 36 % en relación al manejo recomendado por el INIAP (T2), respectivamente para cada variedad. Las mediciones de humedad en el suelo (0 a 30 cm de profundidad) realizadas con un DIVINER 2000 comprobaron una mayor retención de humedad en el tratamiento con acolchado, que en épocas de mayor escasez de agua se mantuvieron entre 25 % y 26 % de humedad, comparados con valores de 14 % a 18 % obtenidos en los demás tratamientos. El tratamiento con acolchado plástico obtuvo el mayor beneficio económico, con ganancias hasta del 45 % a pesar de la inversión en el plástico, que es superada por el ahorro en mano de obra para la deshierba y el aporque, y el incremento en el rendimiento. Las evaluaciones participativas corroboraron a las observaciones agronómicas y ambientales, donde el 100 % de los participantes calificaron como muy bueno al uso de acolchado (T1). Estos resultados han permitido continuar con investigaciones para ampliar el dominio de recomendación de esta tecnología.

Palabras clave: Alternativa tecnológica, Cambio climático, Innovación, Producción, Rendimiento, Resiliencia.

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of the use of plastic mulching on the yield of flourey corn, economic, and environmental benefits associated with this technology, participatory research / evaluation trials were implemented with farmers from the Association of Agricultural Entrepreneurs “Virgen del Tránsito”, who are mainly producers of corn. Four trials were established with a completely randomized block design, with four replications. In two trials, local seed (flourey yellow grain known as “Tusilla”) was used, and in the others two: INIAP 199 (black corn), and INIAP 193 (Chulpi). Three treatments were implemented in all locations: T1: use of plastic mulching; T2: conventional management technology recommended by INIAP, and T3: farmer management, used as control. The results showed the efficiency of the use of mulching (T1), since it increased yield on “Tusilla”, INIAP 199, and INIAP 193, by 106%, 263%, and 125, respectively, in reference to the yield obtained with the farmer control (T3); and, in 41 %, 35 %, and 36 %, respectively, compared with the management recommended by INIAP (T2). Soil moisture measurements (at a depth of 30 cm), made with a DIVI-

NER 2000, confirmed greater moisture soil retention in the mulching treatment, which kept the soil between 25% and 26% of moisture in times of water scarcity, compared with values of 14% to 18% obtained in the other treatments. The use of mulching obtained the greatest economic benefit, with gains of up to 45% despite the investment in plastic, which is outweighed by labor savings for weeding and hilling, and increased yield. The participatory evaluations corroborated the agronomic and environmental observations, where 100% of the participants farmers qualified the use of mulching (T1) as very good. These results allowed us to continue with more evaluation to expand the domain of recommendation of this technology.

Keywords: Technological alternative, Climate change, Innovation, Production, Performance, Resilience.

1. Introducción

Esta investigación tuvo como objetivo describir el impacto agronómico, económico y ambiental del uso de acolchado plástico sobre el rendimiento de maíz suave o harinoso (*Zea mays* L. var. *amylacea*) en grano tierno (choclo) y en grano seco, en zonas secas, erosionadas y sin sistemas de riego en Cotopaxi, como estrategia para que los agricultores afronten el cambio climático.

En la Sierra del Ecuador, el cultivo de maíz es uno de los más importantes, debido a la amplia área dedicada a su producción. En el Ecuador la superficie cosechada de maíz suave es de 63.259 ha, con un rendimiento promedio de 1,37 t ha⁻¹ de grano en seco y 4,03 t ha⁻¹ de choclo (Ministerio de Agricultura y Ganadería 2019).

Una de las principales limitantes de la producción de maíz es su bajo rendimiento, causado, entre otros aspectos, por la vulnerabilidad del cultivo a eventos climáticos. En Ecuador al relacionar las pérdidas totales en superficie del cultivo y sus causas, la más importante es la ocasionada por sequía que representa entre el 34 % en maíz suave choclo y 57 % en maíz suave seco (INEC, 2019).

La utilización de plásticos como cobertura del suelo es una técnica comúnmente empleada en cultivos hortícolas, cuya finalidad principal es

la protección del sistema radicular de las plantas del frío, sequía, exceso de humedad, malezas y plagas (Cantamutto et al. 2015; Steinmetz et al. 2016). Todas estas amenazas están presentes en las chacras de los agricultores de la Región Alto Andina, amenazas que cada vez se vuelven más frecuentes por los efectos del cambio climático.

En otros países, se ha demostrado la eficiencia del uso de acolchado o cobertura plástica sobre el rendimiento del cultivo de maíz, incrementándose hasta un 60 %, mejorando la precocidad, la eficiencia en el uso del agua, la temperatura del suelo, entre otros aspectos (FAO, 2011; Zhang et al. 2017; Ren et al. 2017; Jabran & Chauhan, 2018). Estos beneficios se explican porque el plástico negro durante el día absorbe gran cantidad de energía lumínica y calienta el suelo. Ese calor queda retenido durante la noche, aminorando el desequilibrio térmico que retarda el desarrollo de la planta cuando el suelo está frío, con temperaturas por debajo de la ideal la planta produce menos y es más vulnerable a las enfermedades. El viento, el sol y el exceso de calor evaporan la humedad y reseca la tierra, causando estrés hídrico, que también afecta el desarrollo del cultivo.

Adicionalmente, el plástico negro impide el crecimiento de malezas que compiten con el cultivo por agua y nutrientes; mejora la eficiencia en el uso de agua, la fijación de carbono y la cantidad de materia orgánica en el suelo (Deng et al. 2019).

El uso de acolchado plástico en maíz no ha sido utilizado en la sierra del Ecuador y no se dispone de información que permita cuantificar el beneficio del uso de esta tecnología a nivel de agricultores. El empleo de cobertura plástica o acolchado podría representar una alternativa tecnológica para incrementar considerablemente el rendimiento y reducir la vulnerabilidad de los pequeños productores de maíz suave al cambio climático, sobre todo a sequía, mejorando la eficiencia en el uso del agua y asegurando más y mejores cosechas.

Es importante considerar a las organizaciones sociales que acumulan una larga experiencia en el desarrollo de proyectos sociales con objetivos muy diversos, que tienen como fin último el mejoramiento de la calidad de vida en comunidades y grupos sociales (Arguelles et al., 2020). Por tal motivo, se emplearon metodologías participativas ampliamente fundamentadas por diferentes escuelas de la enseñanza y del estudio de la

conducta (Proyecto Jalda, 2013) para evaluar esta tecnología. Además, la investigación participativa es un enfoque de la metodología cualitativa que tiene como varios de sus objetivos la construcción colectiva de conocimientos, la participación y el fortalecimiento de las potencialidades del colectivo para el análisis crítico de la realidad social (Arguelles et al., 2020). Por ello la autoformación grupal es uno de los instrumentos fundamentales y dicha herramienta permitirá conocer la perspectiva de los agricultores que facilitará continuar con la validación y difusión de esta innovación para que sea adoptada y replicada en varias zonas marginales y vulnerables del país.

2. Metodología

Las parcelas se implementaron en una comunidad que tradicionalmente siembra maíz y que tiene baja precipitación, baja temperatura, suelo arenoso con poca materia orgánica y no dispone de riego; correspondiente a la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, parroquia Guaytacama, barrio Pilacoto; a una altitud de 2906 m s.n.m., con temperatura promedio¹ de 13,4 °C, precipitación anual promedio¹ de 515 mm al año y humedad relativa anual promedio¹ de 76,3%.

Constó de tres tratamientos: a) cultivo de maíz con acolchado plástico y fertilización en base al análisis de suelo; b) cultivo de maíz con manejo convencional (surcos al aire libre) y fertilización en base al análisis de suelo; y c) testigo del agricultor (surcos al aire libre, sin fertilización). Se llevó a cabo utilizando un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, cada repetición constituyó una parcela diferente de la misma comunidad, ya que las parcelas de los agricultores son muy pequeñas para abarcar las cuatro repeticiones. Dos parcelas se instalaron con la variedad Local Tusilla, una parcela con la variedad mejorada de maíz negro INIAP 199 “Racimos de Uva” y otra parcela con la variedad INIAP 193 Chulpi; además se realizaron dos evaluaciones participativas con agricultores y agricultoras de la Asociación de Emprendedores Agropecuarios Virgen del Tránsito, cuyos asociados son productores principalmente de maíz suave.

Cada unidad experimental estuvo constituida por una parcela de 10 m de largo × 16 m de ancho (160 m²), que corresponde a 20 surcos por tratamiento. La parcela neta estuvo constituida por los 16 surcos centrales

¹ Información tomada de <https://es.climate-data.org>

(134 m²), los 14 primeros fueron cosechados en choclo y los 2 restantes en seco. La superficie total del ensayo fue de 4000 m² incluyendo caminos.

Las variables que se analizaron fueron:

- El rendimiento en choclo y de grano en seco, siguiendo los protocolos establecidos por el CIMMYT para el manejo de ensayos internacionales (CIMMYT, 1995). Los choclos fueron contados y pesados según su categoría por tamaño (INEN, 1999).
- Se realizó el análisis económico, utilizando la tecnología de presupuesto parcial de Perrin et al (1983). Se registró en el libro de campo el costo de cada labor agrícola y los costos asociados con cada tratamiento.
- El balance hídrico, cada semana se registró la humedad del suelo en el centro de cada parcela desde los 10 cm hasta 100 cm de profundidad con uso de un Diviner. Para este estudio se analizó la humedad a los 30 cm de profundidad, que es la zona de mayor desarrollo radicular de la planta.

Se realizó un análisis de varianza (Tabla 1) para determinar diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para cada localidad y se realizaron pruebas de Tukey ($p = 0,05$).

Tabla 1. Esquema del análisis de varianza para evaluar el uso de acolchado plástico en maíz, Guaytacama. Cotopaxi.

Fuente de Variación	Fórmula	Grados de libertad
Total	(T × Rep.) -1	11
Repeticiones	R-1	3
Tratamientos (T)	T-1	2
Error	(T-1) (Rep. -1)	6

3. Resultados

3.1 Rendimiento en choclo

En cuanto al rendimiento del maíz en choclo tierno, los resultados son positivos y alentadores para el uso de acolchado plástico (T1), como se evidencia en la Figura 1, donde la variedad local Tusilla en las dos parcelas implementadas obtiene resultados significativos con 13,12 t ha⁻¹ y 17,74 t ha⁻¹, superando en 55 % al rendimiento producido con manejo INIAP (T2) y en 229 % a lo producido por el agricultor

(T3). El acolchado plástico ha superado exponencialmente, la media nacional de maíz choclo, que según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2019) corresponden a 4,03 t ha⁻¹ y a la media provincial que corresponde a 2,93 t ha⁻¹.

Estos resultados corroboran los obtenidos durante el ciclo 2018 - 2019, donde se observó que en la Estación Experimental Santa Catalina de INIAP, el uso de acolchado mejoró el rendimiento del maíz en choclo, casi triplicando el rendimiento, pasando de 2.5 a 6.3 t ha⁻¹ de choclo, en comparación con aquellas manejadas de manera convencional, cultivados durante la época seca sin riego (INIAP, 2020).

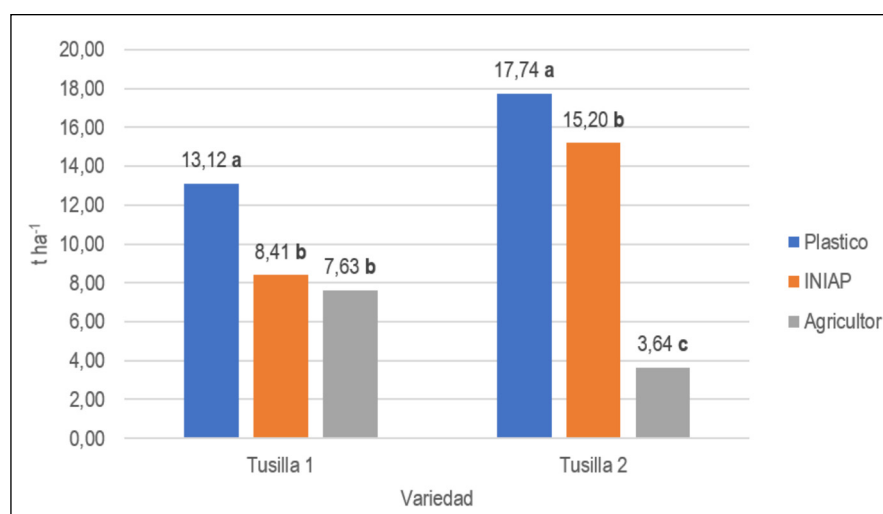


Figura 1. Rendimiento en choclo de las parcelas implementadas en la parroquia Guaytacama. Cotopaxi.

3.2 Rendimiento en grano seco

En cuanto al rendimiento en grano seco con el uso de acolchado plástico (T1) las tres variedades presentaron diferencias significativas. En las dos parcelas de Tusilla se obtuvo 3,84 t ha⁻¹ y 4,14 t ha⁻¹, representando un incremento de 41 % frente al manejo recomendado por INIAP (T2) y 106 % sobre el manejo del cultivo por el agricultor (T3) (Figura 2).

El uso de acolchado plástico (T1) en las variedades mejoradas como el maíz negro INIAP 199 “Racimo de Uva” obtuvo 3,77 t ha⁻¹, superando en 35 % al manejo recomendado por el INIAP (T2) y en 262 % al manejo

que realiza el agricultor (T3). En maíz INIAP 193 Chulpi con acolchado plástico (T1) se obtuvo $2,99 \text{ t ha}^{-1}$, incrementando en 36 % a la recomendación INIAP (T2) y en 125 % al manejo del agricultor (T3). La innovación del uso de acolchado plástico superó también la media nacional que corresponde a $1,37 \text{ t ha}^{-1}$ y la media provincial de $1,10 \text{ t ha}^{-1}$ de grano en seco (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019); además, estos resultados corroboran los estudios realizados por el INTA (2019) donde se menciona que la falta de agua impone una severa limitación para el rendimiento del cultivo de maíz. Cultivos realizados en ambientes en los que las precipitaciones no compensan a la demanda y/o en suelos con baja capacidad de almacenaje de agua tienen alta probabilidad de sufrir estrés hídrico durante la estación de crecimiento. La interacción entre momento, duración e intensidad del estrés hídrico condicionará, en última instancia, el rendimiento alcanzable en cada situación.

Además, Deng et al. (2019) mencionan que el uso de plástico negro impide el crecimiento de malezas que compiten con el cultivo por agua y nutrientes; mejora la fijación de carbono y la cantidad de materia orgánica en el suelo, lo que favorece al incremento del rendimiento.

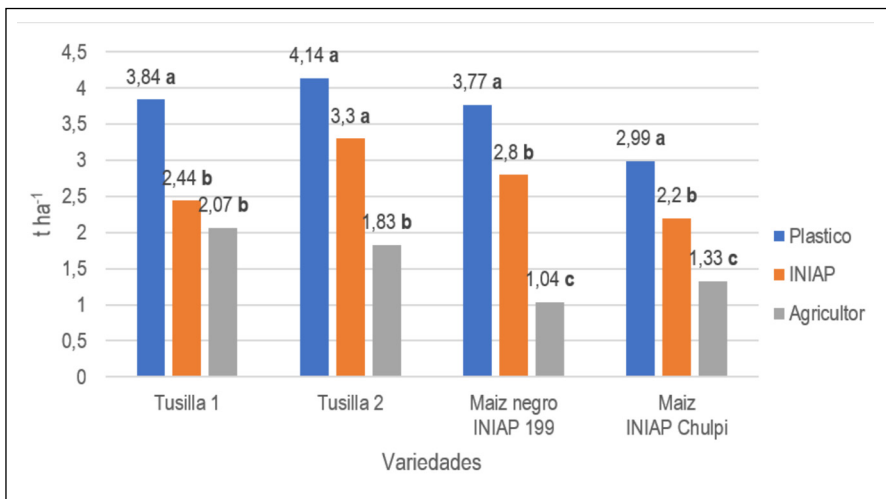


Figura 2. Rendimiento en grano seco de las parcelas implementadas en la parroquia Guaytacama. Cotopaxi.

3.3 Análisis económico

De acuerdo al análisis de presupuesto parcial propuesto por Perrin et

al (1983) (Tabla 2), el tratamiento con acolchado plástico (T1) obtuvo el mayor beneficio económico, a pesar que la inversión del plástico representó un incremento del 16 % de los costos de producción, pero fue superada por el ahorro en mano de obra para la deshierba y el aporque, y el incremento en el rendimiento, lo que permitió tener una ganancia de hasta el 45 %. El costo del plástico fue considerado a dos años, debido a que es el tiempo mínimo de vida útil.

Tabla 2.
Análisis económico de las parcelas implementadas. Guaytacama. Cotopaxi.

	Acolchado plástico	Manejo INIAP	Manejo Agricultor
Costo del plástico	16%	0%	0%
Costo mano de obra (rascadillo y aporque)	0%	31%	31%
Rendimiento t ha⁻¹	4,14	3,33	2,0%
Utilidad / Ganancia	25% a 45%	10% a 40%	<1% a 10%
Cultivo adicional (arveja)	20%	0%	0%

Además, con el tratamiento de acolchado plástico (T1), después de la cosecha, se pudo aprovechar la humedad retenida en el suelo y sembrar un cultivo de ciclo corto como es la arveja, la misma que puede ser cosechada días antes del próximo ciclo de cultivo de maíz, y al comercializarla en grano tierno se obtuvo una ganancia adicional de 20 %, aprovechando de esta manera el plástico que se lo utiliza hasta en dos ciclos de cultivo. Estos resultados demostraron que el tratamiento con acolchado plástico es una alternativa tecnológica de producción para el agricultor maicero de las zonas secas, áridas, erosionadas y marginales de la zona alto andina; con ganancias no solo económicas sino también agronómicas, ambientales y sociales.

3.4 Balance hídrico

La parroquia de Guaytacama es netamente productora de maíz suave, sus condiciones agroecológicas solo le permiten producir un ciclo al año en la época invernal para aprovechar el agua de la lluvia, lamentablemente el cambio climático influye directamente en la producción, existen periodos largos de sequía y heladas que provocan pérdidas en la producción.

En la Figura 3, se presentan las mediciones de humedad en el suelo (acumulación a 30 cm de profundidad) realizadas con un DIVINER 2000, que es un dispositivo portátil que mide el agua del suelo a múltiples profundidades, comprobando así una mayor retención de humedad en el tratamiento con acolchado (T1), donde se refleja que en épocas de mayor escasez de agua esta se mantuvo entre 25 % y 26 % de humedad, comparados con valores de 14 % a 18 % obtenidos en los demás tratamientos; en periodos de lluvias se encuentran valores similares de humedad en todos los tratamientos y solo las parcelas de acolchado mantienen la humedad mientras que los tratamientos sin acolchado disminuyen drásticamente.

Resultados que demuestran lo mencionado por Leyva (2011) que recalca que, usando acolchado plástico, se logran efectos importantes, en la economía de agua, ya que impide la evaporación de la superficie del suelo cubierto con el plástico, quedando esta agua a disposición del cultivo, el que se beneficia con una alimentación constante y regular.

Comprobando una vez más que la innovación tecnológica del uso de acolchado en el cultivo de maíz permite disminuir considerablemente las pérdidas causada por sequía, que según el INEC (2019) representa entre 34 % para maíz suave choclo y 57 % para maíz suave seco; ya que en las cuatro parcelas en estudio se cosechó satisfactoriamente.

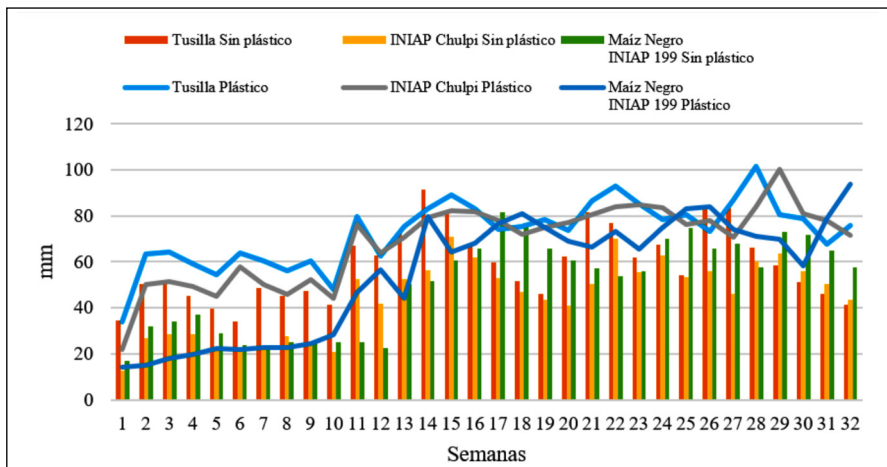





Figura 3. Acumulación de humedad (mm) de 0 a 30 cm de profundidad en el suelo, en las parcelas con las variedades: maíz Tusilla, INIAP Chulpi y Maíz Negro INIAP 199 “Racimo de Uva”. Guaytacama. Cotopaxi.

3.5 Evaluaciones participativas

Las evaluaciones participativas corroboraron los resultados agronómicos reportados, donde el 100 % de los agricultores calificaron como muy bueno al uso de acolchado (T1), a la vez que cumplió con sus expectativas de facilitarles trabajo, reduciendo las actividades de control de malezas y aporque, e incremento de rendimiento (Tabla 3). Además, se comprobó lo mencionado por el Proyecto Jalda (2013) que considera que las metodologías participativas dan mejores resultados cuando los grupos interesados tienen una conducción sólida y un liderazgo innovador; como lo han demostrado los y las socias de la Asociación de Emprendedores Agropecuarios Virgen el Tránsito de Pilacoto.

Así también, se demostró lo mencionado por Pérez (2020) donde la multiplicidad de experiencias que tradicionalmente han sustentado las diversas formas de vincular las prácticas académicas y de investigación con las necesidades y expectativas de la comunidad comienzan a adoptar acciones que trascienden a las tradiciones.

Tabla 3.
Evaluación participativa realizada en la cosecha de maíz en choclo y grano seco. Guaytacama. Cotopaxi.

Cosecha Tratamiento	 Muy Bueno		 Regular		 Malo	
	Choclo	Grano Seco	Choclo	Grano Seco	Choclo	Grano Seco
Acolchado plástico	100 %	100 %				
Manejo INIAP	100 %	100 %				
Manejo Agricultor	25 %	15 %	62 %	77 %	13 %	8 %

4. Conclusiones

- El uso de cobertura plástica en el cultivo de maíz harinoso permitió aumentar el rendimiento del cultivo en una zona con características adversas de clima (sequía y frío), permitiendo a los agricultores aumentar sus ingresos económicos.
- Con esta innovación se ha podido responder a las necesidades de la de-

manda de los pequeños/as productores/as, con tecnologías amigables al medio ambiente, les que permitan incrementar sus rendimientos e insertarse en el mercado de manera competitiva.

- Se ha conseguido optimizar los recursos hídricos con mejoras en calidad y rendimiento del cultivo.
- El uso combinado de metodologías (cualitativas y cuantitativas; científicas y participativas) contribuyen, a lograr conocimientos integrales.
- Los productores/as son el grupo objetivo, por tanto, tienen participación directa, están involucradas desde el principio en todas las fases del proceso, tanto en la planificación, ejecución, seguimiento y difusión.
- Con esta tecnología se ha llamado la atención de autoridades locales y de agricultores maiceros industriales que desean invertir y replicarla en grandes superficies.
- Los resultados obtenidos han motivado a continuar con las investigaciones que permitan ampliar el dominio de recomendación de esta tecnología en varias zonas del país.

5. Agradecimiento

El presente estudio fue financiado por el Programa Coreano para la Agricultura Internacional (KOPIA), sede Ecuador, y el Proyecto Desarrollo de Tecnologías para el Cultivo de Maíz de Altura y Uso de Biofertilizantes en la Sierra del Ecuador (2019-2021).

6. Referencias Bibliográficas

- Arguelles, M., Campos, M., & Nevot, G. 2020. *Guía metodológica sobre seguimiento y evaluación de proyectos de desarrollo local y comunitario con enfoque de equidad*. Editorial Universitaria (Cuba).
- Cantamutto, M., Ayastuy, M., Kroeger, I., Elisei, V., & Marinangeli, P. 2015. Efecto del sistema de iniciación y del acolchado del suelo sobre la producción de melón en el sur de la provincia de Buenos Aires, Argen. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 104(2), 157–162.
- CIMMYT - Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 1995. Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT. México, D.F. Cuarta impresión. 20.
- Deng, H., Xiong, Y., Zhang, H. et al. 2019. Maize productivity and soil properties in the Loess Plateau in response to ridge-furrow cultivation

- with polyethylene and straw mulch. *Sci Rep* 9, 3090. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39637-w>
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2011. Buscan impulsar la siembra de maíz con acolchado plástico | Agronoticias: Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe. <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/506958/>
- Gallego, I. 1999. El enfoque del monitoreo y la evaluación participativa (MEP): Batería de herramientas metodológicas. *Revista Española de desarrollo y cooperación*, 4, 103-135.
- INEC. 2019. Tabulados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2019. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Tabulados%20ESPAC%202019.xlsx
- INEN. 1999. Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria NTE INEN 1761. Disponible en: <https://studylib.es/doc/4529411/nte-inen-1761--hortalizas-frescas.-choclo-ma%C3%ADz-tierno>
- INIAP. 2020. Informe de actividades anual Programa de Maíz. Estación Experimental Santa Catalina. Mejía, Ecuador.
- INIAP. 2019. Protocolo de evaluación del uso de acolchado plástico en la producción de maíz suave. Estación Experimental Santa Catalina – INIAP. Quito. Ecuador. 2019
- INTA. 2019. Importancia y manejo del cultivo de maíz. Horizonte. Argentina. 8.
- Jabran, K., & Chauhan, B. S. 2018. Weed control using ground cover systems. En *Non-Chemical Weed Control*. Elsevier. 61–71.
- Leyva, C. (2011). ACOLCHADO PLASTICO. Acolchado De Suelos Plasticos Juan Mungia.
- López, V. 2019. Libro de campo protocolo uso de acolchado. Cotopaxi. Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Unidad de Desarrollo Tecnológico Cotopaxi.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2019. Sistema de Información Pública Agropecuaria. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Ecuador. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Perrin R., Winkelmann, R., Moscardi, y Anderson, J. (1983). Formulación de Recomendaciones a partir de Datos Agronómicos: Un Manual Metodológico de Evaluación Económica. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Tercera Edición. México, D. F., iv. 54.
- Proyecto Jalda. 2013. Manual de técnicas participativas. *Agencia de Recur-*

Los Verdes del Japón-Prefectura del Departamento de Chuquisaca (Sucre-Bolivia).

- Ren, X., Chen Xiaoli, Cai Tie, Wei Ting, Wu Yang, Ali Shahzad, Zhang Peng, Jia Zhikuan. 2017. Effects of Ridge-Furrow System Combined with Different Degradable Mulching Materials on Soil Water Conservation and Crop Production in Semi-Humid Areas of China. *Frontiers in Plant Science* 8, 1877. DOI=10.3389/fpls.2017.01877
- Steinmetz, Z., Wollmann, C., Schaefer, M., Buchmann, C., David, J., Tröger, J., Muñoz, K., Frör, O., & Schaumann, G. E. 2016. Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? *Science of the total environment*, 550. 690–705.
- Zhang P, Wei T, Cai T, et al. 2017. Plastic-Film Mulching for Enhanced Water-Use Efficiency and Economic Returns from Maize Fields in Semiarid China. *Front Plant Sci.* 8:512. Doi:10.3389/fpls.2017.00512
-

Evaluación agronómica de maíz morado variedad Moragro (*Zea mays* L.) en dos ambientes contrastantes del departamento de Santa Cruz, Bolivia

Agronomic evaluation of the Moragro purple corn variety (*Zea mays* L.) in two contrasting environments of Santa Cruz, Bolivia

Víctor Choque Colque^{1*}; José Padilla Ayala¹; Oscar David Guzmán Coya²

¹Instituto de Investigaciones Agrícolas El Vallecito, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno (UAGRM), Santa Cruz, Bolivia, casilla postal 702

²Fundación Trabajo - Empresa Asociado con Plan Internacional, Santa Cruz, Bolivia

*Autor de correspondencia: victorchoquecolque@gmail.com

RESUMEN

La antocianina vegetal presenta alta demanda mundial por las propiedades antioxidantes, anticancerígenas y otras propiedades benéficas para la salud humana. Para contribuir en atender esta demanda, el objetivo fue evaluar las principales características agronómicas del maíz morado en verano 2017/2018 en dos ambientes contrastantes Vallecito (380 m s.n.m.) y Mairana (1365 m s.n.m.) del departamento de Santa Cruz. Este estudio se ejecutó entre el Instituto de Investigaciones Agrícolas El Vallecito, UAGRM y la empresa AGRO SELLER S.R.L. Las parcelas fueron establecidas en enero del 2018 utilizando la variedad Moragro bajo las recomendaciones técnicas para el cultivo de maíz en Bolivia. Las variables evaluadas fueron: días a floración y cosecha, altura de planta e inserción de mazorca y los componentes de rendimiento. Los resultados permiten concluir que Moragro es una variedad de ciclo intermedio con plantas de porte medio a baja, el rendimiento en Mairana fue superior a los rendimientos que se tiene en las zonas de producción de maíz morado en Bolivia y superior a lo registrado en Vallecito. Por otra parte, no fue posible evaluar con precisión la tolerancia o susceptibilidad de

la variedad a los patógenos e insectos que causan daños en Santa Cruz.

Palabras claves: maíz morado, antocianina, rendimiento.

Plant anthocyanin is a global demand for its antioxidant, anticancer and other beneficial properties for human health. To contribute this demand, this study was carried out the objective to evaluate the main agronomic characteristics of purple corn in summer 2017/2018 in two contrasting environments Vallecito (380 m a.s.l.) and Mairana (1,365 m a.s.l.) in the department of Santa Cruz. The study was developed between Instituto de Investigaciones Agrícolas El Vallecito, UAGRM and AGRO SELLER S.R.L. company. The plots were established in January 2018 using the Moragro variety under the technical recommendations for the cultivation of corn in Bolivia. The variables evaluated were, days to flowering and harvest, plant height and ear insertion, and yield components. The results allow us to conclude that Moragro is an intermediate cycle variety with plants of medium to low size, the yield in Mairana was higher than other production areas in Bolivia, and higher than that recorded in Vallecito. On the other hand, it was not possible to accurately assess the tolerance or susceptibility of the variety to pathogens and insects that cause damage in Santa Cruz.

Key words: purple corn, antoncyanin, yield.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea Mays* L.) ocupa el primer lugar en la producción mundial de granos, seguido por el arroz y el trigo. Representa una de las fuentes principales de ingreso de medianos y pequeños productores. Siendo además el de mayor cobertura geográfica con una superficie de 185,12 millones hectáreas sembradas en todo el mundo y una producción de más de 1018,11 millones de toneladas (FAO, 2015).

En Bolivia se produce principalmente el maíz amarillo duro y el choclero. De acuerdo al INE (2020) la superficie sembrada de maíz amarillo duro híbridos y variedades comerciales fue de 468080 hectáreas, equivalente al 98% del total sembrado en Bolivia en la gestión 2018/2019, mientras que el área sembrada con maíz para choclo alcanzó las 9633 hectáreas, es decir el 2% del total de maíz sembrado en Bolivia. Según el INIAF (2020) la producción del maíz choclero, está concentrada principalmente en las macro regiones valles y altiplano. En el caso del departamento de Santa Cruz, el 100% del maíz choclero se cultiva en las provincias de los valles mesotéricos (Vallegrande, Manuel María Caballero y Florida).

Bolivia es uno de los centros de diversificación del género *Zea*, la producción como el consumo del maíz morado es importante, pero se ha estudiado muy poco las antocianinas en variedades bolivianas (UMSS, 2008). La presencia de antocianinas en las variedades pigmentadas del maíz, lo hace un producto potencial para el suministro de colorantes y antioxidantes naturales. Por ello el estudio de los pigmentos del maíz morado ha despertado un interés sin precedentes. La diversidad genética del maíz se distribuye en razas. En América se han originado el 90% de todas las razas. Dos factores son la causa de esa gran diversidad: la variación en usos y la gran variación ecológica. La diversidad fenotípica del maíz en la región andina se expresa en una extraordinaria variabilidad en color, tamaño, forma, textura del grano como de la mazorca.

Por su parte, Ortiz (2012) menciona que el maíz morado tipo Kculli es una variedad nativa perteneciente al Complejo Racial de los Maíces Harinosos de los valles templados de Bolivia; su característica más sobresaliente es el color morado oscuro de las mazorcas. Su distribución en Bolivia es muy amplia, aunque destacan los cultivos en el Departamento de Chuquisaca, en las provincias Zudañez y Tomina. Al respecto, el MACIA (2003) señala que su área de distribución se encuentra en los valles de Cochabamba, norte de Chuquisaca, valles de Tarija, Saavedra de Potosí y Caballero de Santa Cruz. Se la cultiva entre altitudes de 2000 a 3400 m s.n.m.

La antocianina presente en el maíz morado es un antioxidante natural que retarda el envejecimiento celular, principalmente por los mecanismos de acción de la cianidina-3- β -glucósido, pelargonidina-3- β -glucósido, peonidina-3- β -glucósido, ácidos fenólicos, quercetina y hesperidina (Salinas et al., 2013). Los componentes químicos en el maíz morado son: ácido salicílico, grasas, resinas, saponinas, sales de potasio y sodio, azufre y fósforo, y sus compuestos fenólicos (Arroyo et al., 2010). Los compuestos fenólicos contenidos en el maíz morado, actúan como antioxidantes, secuestrando especies reactivas de oxígeno e inhibiendo las enzimas productoras de radicales libres (Atmani et al., 2011). Dentro de los compuestos fenólicos, tenemos a las antocianinas; concretamente, pigmentos hidrosolubles ampliamente distribuidos en el reino vegetal (Aguilera et al., 2011).

El color morado del maíz, es debido a los pigmentos que posee (entre 1,5 a 6,0%), llamados antocianinas, que pertenecen al grupo de flavonoides, que se constituyen en poderosos antioxidantes naturales y anticancerígenos, con beneficios cada vez más investigados en el mundo (Guillen, et al.,

2014). El maíz morado presenta fitonutrientes (o fotoquímicos), que no son ni vitaminas ni minerales sino sustancias químicas o compuestos dentro los cuales podemos nombrar flavonoides, carotenoides, luteína, terpenos, antocianinas, sulfurorafanos, entre muchos otros. Los fitonutrientes se diferencian de las vitaminas y minerales porque carecen de valor nutricional, sin embargo, actúan como antioxidantes, protegiendo al ADN celular de los efectos dañinos oxidativos de los radicales libres y evitando mutaciones que podrían causar cáncer (Justiniano, 2010).

Ante esta situación la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno (UA-GRM) por medio de las facultades de: Ciencias Agrícolas (FCA) como Ciencias Exactas y Tecnología firmó un convenio de trabajo interinstitucional con la empresa AGRO SELLER S.R.L. para promover estudios de adaptación de maíz morado en Bolivia (Santa Cruz) desarrollado por la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) de la Universidad Nacional de Córdoba; el estudio del maíz morado comprende inicialmente la evaluación agronómica (adaptación), posteriormente el análisis del contenido de la antocianina, con los resultados se tiene previsto registrar como una nueva variedad, multiplicar semilla de alta categoría y encarar una producción comercial en el departamento de Santa Cruz, para ello el Instituto de Investigaciones Agrícolas “El Vallecito” (IIA El Vallecito) de la UAGRM tomó la iniciativa de realizar las investigaciones preliminares agronómicas de la variedad de maíz morado planteándonos el siguiente objetivo: Evaluar las principales características agronómicas del maíz morado (Moragro) en dos ambientes contrastantes del departamento de Santa Cruz, El Vallecito y Mairana, durante la campaña verano 2017/2018.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación: El trabajo de investigación fue establecido en dos ambientes, el primero en Vallecito, ubicado en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra en el km 7,5 al norte, situada a 17° 70' 53" de latitud sur y 63° 14' 91" de longitud oeste con una altitud 380 m s.n.m. El segundo fue en Mairana se encuentra 18° 08' 40" de latitud sur y 63° 56' 43" de longitud oeste con una altitud 1365 m s.n.m., ubicado en la provincia de Florida del departamento de Santa Cruz.

Material vegetal: El material vegetal utilizado en el presente trabajo fue la variedad “Moragro” obtenida por la Facultad de Ciencias Agropecuarias de

la Universidad Nacional de Córdoba, a través de seis años de ciclos de selección convergente divergente en diversos ambientes (Nazar, 2016), que fue enviado al IIA El Vallecito por la empresa AGRO SELLER S.R.L. para realizar las primeras investigaciones de adaptación.

Suelos y área experimental: Para conocer el grado de fertilidad del suelo, fue realizado el análisis físico químico en el laboratorio de suelos de la FCA, los resultados del análisis físico químico de suelos es como sigue: Mairana con textura franco arcillo arenoso y Vallecito con textura franco, la materia orgánica en ambos ambientes es moderado, el nitrógeno es bajo; el fósforo es alto en ambos ambientes; el potasio es bajo; el magnesio en Mairana es bajo y en Vallecito moderado; el sodio es moderada, el pH del suelo, en los dos ambientes es ácido (LAB-SAP, 2018). El área experimental en Vallecito fue de 396 m² y en Mairana de 198 m².

Preparación de suelos, siembra, raleo y cosecha: La preparación de suelos en Vallecito y Mairana fue realizada de forma convencional, la siembra fue el 15 de enero del 2018 en Vallecito y en Mairana el 19 de enero, la siembra fue realizada con una sembradora manual (matracas) dejando caer entre 2 a 3 semillas por golpe a una distancia de 60 cm entre surcos. A los 20 días después de la siembra se realizó el raleo dejando aproximadamente 4 plantas por metro lineal para tener una población aproximada de 65 000 plantas por hectárea. La cosecha fue de forma manual recolectando solo las mazorcas, esta labor en Vallecito fue el 10 y 11 de junio, en Mairana el 28 de junio del 2018, posteriormente fue embolsada, identificadas y trilladas por separado.

Control de malezas e insectos plaga: El control de malezas fue realizado utilizando herbicidas como *Nicosulfuron* 75% a razón de 0,1 kg ha⁻¹, Atrazina a razón de 3 l ha⁻¹ y el aporque a 20 días en ambas localidades. El control de insectos, fue realizado con insecticidas como: *Triflumuron* a razón de 1,5 l ha⁻¹ más *Thiamethoxam* 70% a razón 200 g ha⁻¹ y *Emamectin Benzoate* a razón de 300 g ha⁻¹ estos productos fueron utilizados en tres oportunidades para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

Registro de datos: Los datos climáticos fueron tomados de Senamhi (2018) para Vallecito y Mairana. Para el registro de las principales variables en cada ambiente fue demarcado cuatro puntos de muestreo y cada punto compuesto por 10 plantas, el registro de las variables agronómicas fue rea-

lizado de acuerdo a lo propuesto por CIMMYT (1985) y el color de grano según el enunciado de Rincón (2011). Los datos registrados fueron: altura de planta y mazorca, mazorcas cosechadas y podridas, longitud e hileras por mazorca, diámetro de mazorca y marlo, peso de 100 granos y rendimiento; los datos obtenidos son presentados como promedio de cada variable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Precipitación y temperatura: La precipitación en Vallecito fue 765,8 mm y en Mairana 497 mm. En Vallecito la temperatura más alta fue en los meses de febrero, marzo y abril con promedios de 27°C y la media más baja en enero y mayo con promedios de 26°C; en Mairana la temperatura media fue menor comparado con Vallecito, el promedio más alto fue en enero con 22°C, de febrero a mayo la temperatura bajó a un promedio de 18°C.

Sobre el requerimiento de agua CIAT (2008) señala que el maíz requiere a lo largo de su ciclo, entre 400 a 500 mm de precipitación bien distribuidos de acuerdo a la etapa de desarrollo del cultivo. Tolerancia a la falta de agua durante el periodo vegetativo y maduración, no así durante la formación de la inflorescencia, floración, formación de estigmas y polinización lo que origina severas pérdidas de rendimiento, el encharcamiento durante la floración, puede reducir hasta un 40% de rendimiento. Por su parte Vásquez et al. (2010) mencionan que el cultivo de maíz requiere aproximadamente 450 a 500 mm de agua con mayor cantidad en la etapa de floración y en el llenado de grano. Otro rasgo importante de la variedad morada es su mayor resistencia a periodos más prolongados de sequía, en comparación con otras variedades de maíz (Ortiz, 2012).

Sobre el maíz, Serio (2015) señala que el período crítico para la determinación del rendimiento es la floración, por ello el maíz se torna altamente dependiente de la disponibilidad hídrica en un período que se extiende aproximadamente desde 15 días antes hasta 21 días después de la floración. En esta etapa se fija el número de granos por unidad de superficie, variable estrechamente relacionada con el rendimiento. La cantidad de lluvia registrada durante el ciclo del cultivo fue favorable, aunque su distribución no fue uniforme, por lo tanto, el rendimiento obtenido en Mairana está entre la media general que se registra en las distintas zonas de producción de maíz en el departamento de Santa Cruz, en Vallecito fue menor a la media general.

La temperatura óptima diurna para el crecimiento del maíz oscila entre 21 y 25°C y la nocturna mayor a 14°C, temperaturas extremas, inferiores a 14°C y mayores a 40°C, afectan el desarrollo normal del cultivo (CIAT, 2008). Por su parte, Manrique (1997) indica que el maíz morado se adapta a las condiciones de sierra media que comprende las laderas, valles y mesetas (Perú) localizadas entre los 1800 a 2800 m s.n.m., con temperaturas medias anuales de 12° a 20°C. Con los registros realizados y la literatura consultada sobre la producción de maíz morado, se aprecia que en Vallecito las temperaturas no fueron favorables (promedio 26,5°C) para que manifieste su potencial productivo, en cambio, las temperaturas registradas en Mairana (promedio 19,4°C), favorecieron a un mejor desarrollo, este factor afecta de manera negativa a los componentes de rendimiento.

Días a floración y madurez de cosecha: Se observa diferencias mínimas entre los ambientes, en Vallecito presenta menor cantidad de días a floración masculina con 53 días y la floración femenina ocurre a los 57 días, en cambio, en Mairana fue de 56 días para la floración masculina y 60 días para la femenina (Figura 1). Los días a madurez de cosecha en Vallecito ocurrió a los 135 días y en Mairana a los 131 días. Estos valores son inferiores a lo señalado por Mamani (2021) donde, en un estudio de caracterización morfológica de 28 accesiones de maíz morado realizado a 2760 m s.n.m. Valle alto de Cochabamba Bolivia, manifiesta que la madurez de cosecha ocurrió a los 6 meses y 6 días después de la siembra.

Sobre los días a floración, en un estudio de densidad de siembra y comportamiento agronómico de tres variedades de maíz morado por Pedraza (2017) en Perú encontró 98 días a floración con un ciclo vegetativo entre 5 a 6 meses para la variedad INIA 601, posiblemente porque esta variedad tolera alturas de 2 600 y 2 900 m s.n.m. A diferencia de la variedad Caraz PMV-581 sembrado a 1 200 a 4 000 m s.n.m. (Perú), su floración femenina ocurre de 55 a 60 días después de la siembra, coincidiendo con los valores registrados en el presente trabajo. Las diferencias encontradas en el ciclo fenológico entre los ambientes, es posible atribuir a la: altitud, clima, suelo; los resultados obtenidos permiten calificar como una variedad de ciclo intermedio.

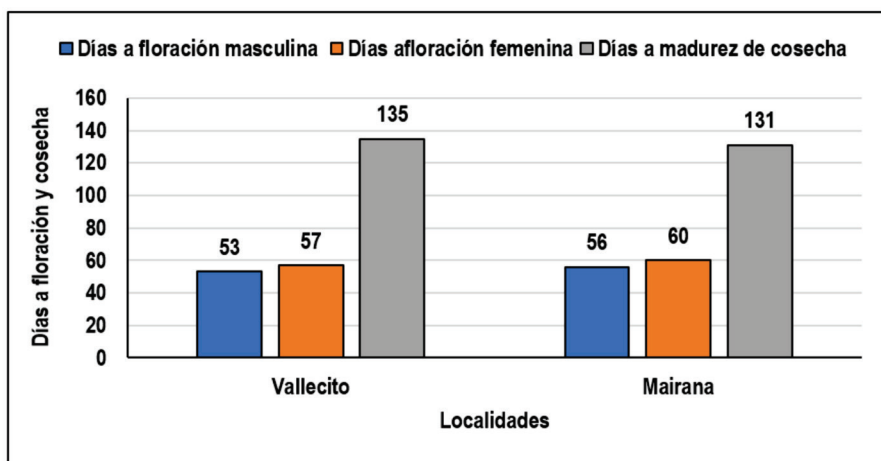


Figura 1. Días a floración y cosecha, registrada en las localidades Vallecito y Mairana en el estudio: evaluación de maíz morado, campaña verano 2017-2018.

Altura de planta y mazorca, diámetro de mazorca y marlo: Para la altura de planta en la Figura 2 se visualiza que la mayor altura de planta fue en Mairana con 1,70 m y en Vallecito alcanzó 1,29 m, también se observa diferencia en la altura de inserción de la mazorca, Mairana con un promedio de 0,86 m y Vallecito con 0,55 m. Para el diámetro de mazorca y marlo en la Figura 3 se aprecia que el mayor diámetro se registró en Mairana con 4,3 cm, en cambio, Vallecito reportó 3,0 cm de diámetro; también se observa diferencias en el diámetro de marlo, en Mairana con 2,8 cm y Vallecito 1,9 cm de diámetro.

Sobre la altura planta e inserción de la mazorca INIA (2018) señala que la variedad INIA 601 presenta una altura de planta de 2,16 m y la inserción de la mazorca a 1,24 m. En un estudio de caracterización morfológica de 28 accesiones de maíz morado realizado a 2760 m s.n.m. Mamani (2021) reporta altura de planta mayor a 2,0 m y la inserción de la mazorca superior a 1,0 m. Estos valores son superiores a los valores registrados en el presente trabajo y permiten deducir que la variedad evaluada presenta plantas de porte media a baja.

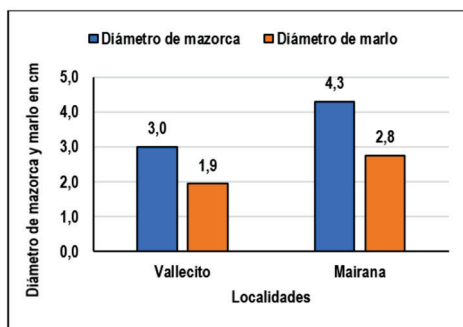
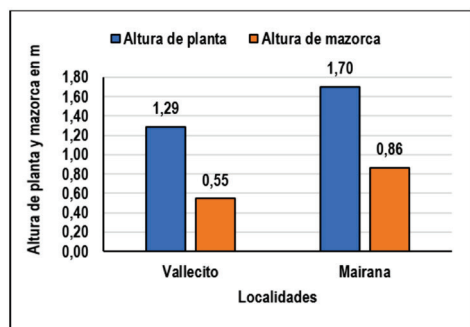


Figura 2. Altura de planta e inserción de mazorca registrada en las localidades Vallecito y Mairana en el estudio: evaluación de maíz morado, campaña verano 2017-2018.

Figura 3. Diámetro de mazorca y marlo registrado en Vallecito y Mairana en el estudio: evaluación de maíz morado, campaña verano 2017-2018.

Sobre el diámetro de la mazorca Poma (2007) menciona que para maíces morados en condiciones locales de La Molina (Perú) reportó un promedio de 4,6 cm la variedad PMV-581; y Cruzado (2009) reportó 4,82 cm bajo las mismas condiciones para la misma variedad. Por su parte INIA (2018) menciona que la variedad INIA 601 presenta 4,6 cm de diámetro. Los resultados obtenidos en el presente trabajo son inferiores a lo señalado por los autores mencionados; esta diferencia se puede atribuir al comportamiento de la variedad en cada ambiente, suelo, altitud y condiciones climáticas.

Longitud e hileras por mazorca y mazorcas podridas: Para longitud e hileras por mazorca en la Figura 4 se observa diferencias mínimas entre los ambientes, la mayor longitud se registró en Mairana con 14,0 cm y Vallecito presentó 11,4 cm; el número de hileras son similares en ambos ambientes. En la Figura 5 está la evaluación de mazorcas podridas causadas por varios hongos como: *Fusarium* sp, *Asperjillus* sp, *Pinicilium* sp y otros, la mayor incidencia fue en Vallecito con 3 puntos porcentuales superior a lo registrado en Mairana.

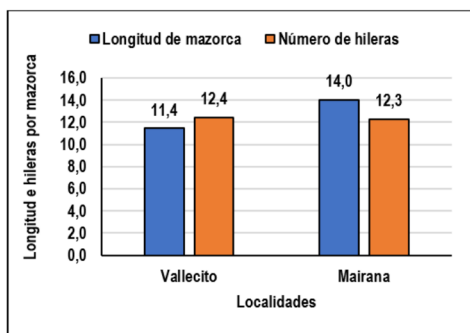


Figura 4. Longitud e hileras por mazorca registrada en Vallecito y Mairana en el estudio: evaluación de maíz morado, campaña verano 2017-2018.

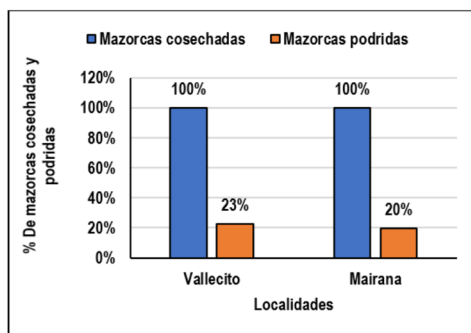


Figura 5. Mazorca cosechada y podrida registrada en Vallecito y Mairana en el estudio: evaluación de maíz morado, campaña verano 2017-2018.

En un estudio de fertilización de maíz morado Pinedo (2015) encuentra que el mayor promedio de longitud de mazorca fue de 13,81 cm con el nivel F3 (120 - 110 - 80) y el menor promedio con el nivel F2 (120 - 90 - 60) con 12,99 cm. Sobre el maíz morado tipo Kulli Ortiz (2012) menciona que las mazorcas producidas en los valles templados en Bolivia son medianas a pequeñas de forma cónica, de 10 a 14 hileras, los granos son grandes de forma ovoide de color violeta intenso casi negro y de consistencia harinosa. Por su parte Mamani (2021) reporta un rango de 10 a 14 hileras por mazorca en un estudio de caracterización morfológica de 28 accesiones de maíz morado realizado a 2760 m s.n.m. Valle alto de Cochabamba. Sobre el maíz morado raza Kulli Nogales et al., (2021) señalan que la mazorca es de forma cónica cilíndrica, tiene 10 hileras por mazorca con 26 granos por hilera, los granos son de tipo corneo dentado de color negruzco y el marlo es morado con médula blanca. El resultado alcanzado en el presente trabajo reporta valores similares a lo mencionado por los diferentes autores.

En otros trabajos de investigación realizados en condiciones de mayor altitud en maíz morado Huamán (2001) reportó 9,76 hileras para la variedad INIA 615 (Negro Canaán) y De La Cruz (2009) reportó que la variedad PMV-581 alcanzó un promedio de 10,96 hileras por mazorca. Por otra parte, sobre la longitud de mazorca INIA (2018) manifiesta que la variedad INIA

601 presenta una longitud de 17,5 cm y entre 10 a 12 hileras por mazorca; estos valores son mayores en longitud de mazorca y menores en número de hileras a los resultados alcanzados en el presente trabajo.

La diferencia en el número de mazorcas podridas entre ambientes se atribuye a la alta humedad relativa registrada en Vallecito producto de las precipitaciones, los resultados concuerdan con lo mencionado por Ortiz (2012) quien manifiesta que otro rasgo importante de la variedad es su mayor resistencia a periodos más prolongados de sequía, en comparación con otras variedades de maíz. Esta característica, a criterio de los productores, se convierte en un problema cuando hay periodos intensos de lluvias, la disminución del rendimiento repercute en los ingresos finales. Otro de los factores observado es este tipo de maíz es muy apetecido por las aves y esto fue un conducto para el ingreso de los principales patógenos que causan la pudrición de la mazorca en planta.

Peso de 100 semillas y rendimiento: En la Figura 6 se observa que existen diferencias en el peso de 100 granos; Mairana presentó el mayor peso con 29,6 g y en Vallecito el menor peso con 20,5 g; los resultados registrados en el presente trabajo permiten calificar por el tamaño de grano como una variedad con peso de 100 granos bajo, porque el CIMMYT (1985) clasifica como tamaño pequeño o bajo con pesos menores a 30 g, intermedio entre 30 a 40 g y alto mayores a 40 g. Para el rendimiento en $t\ ha^{-1}$ en la Figura 7 se observa que el mayor rendimiento se registró en Mairana con $4,8\ t\ ha^{-1}$, en cambio Vallecito presentó $1,3\ t\ ha^{-1}$ de rendimiento.

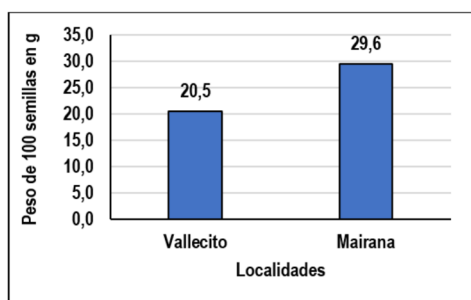


Figura 6. Peso de 100 semillas registrada en Vallecito y Mairana en el estudio: evaluación de maíz morado, campaña verano 2017-2018.

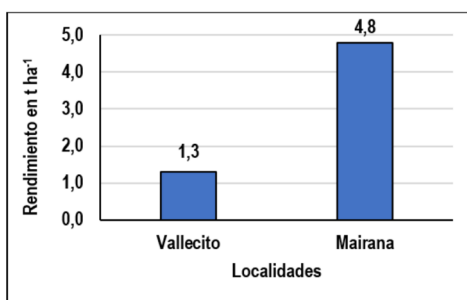


Figura 7. Rendimiento en $t\ ha^{-1}$ registrada en Vallecito y Mairana en el estudio: evaluación de maíz morado, campaña verano 2017-2018.

Al respecto Nazar (2016) menciona que en evaluaciones realizadas en Córdoba (Argentina) en trabajos de la misma variedad encontró que el peso de 100 granos es de 35,6 g. De la misma forma INIA (2018) menciona que la variedad de maíz INIA 601 (Perú, sierra norte) presenta un peso 45,62 g; los valores mencionados por los autores son mayores a lo obtenido en el presente trabajo, esta diferencia en peso es posible atribuir a la altitud, condiciones de clima y suelo.

Sobre el rendimiento en maíz morado tipo Kculli en Bolivia, Ortiz (2012) menciona que presenta una variación de 0,7 a 1,4 t ha⁻¹ dependiendo de las condiciones climáticas, suelo, manejo y las campañas agrícolas; sostiene que sería la principal desventaja para realizar la siembra en mayor escala comparado con las otras variedades nativas de maíz. Por su parte, Nazar (2016) menciona que, en evaluaciones realizadas en Córdoba (Argentina) en trabajos de la misma variedad, reporta rendimientos promedios de 3,4 t ha⁻¹.

Por su parte, en un estudio realizado por INIA (2018) se señala que la variedad INIA 601 (Perú) presenta un potencial de rendimiento de 6 t ha⁻¹ y en campo de agricultores un promedio de 3 t ha⁻¹, por su parte Medina et al. (2020) mencionan que la variedad INIA 601 con buen manejo agronómico se puede lograr rendimientos superiores a 2,8 t ha⁻¹ de grano, superior al promedio nacional (Perú) de maíz amiláceo; los rendimientos mencionados por los autores de Perú son similares a los rendimientos obtenidos en el presente trabajo, las diferencias registrada se puede atribuir a la altitud y temperatura, porque el ambiente de Vallecito está a 380 m s.n.m. y Mairana a 1365 m s.n.m., este último con mejores condiciones de altitud y temperatura para la producción maíz morado.

Color del grano: En el presente trabajo, se ha obtenido cinco colores de grano como se puede apreciar en la Figura 8, donde predomina el color azul con 37% seguido por el color negro con 31% y en menor porcentaje se ubican los colores rojo oscuro y amarillo con 8 y 6% respectivamente. Sobre los colores de grano Castillo (2018) men-

ciona que el color del maíz morado depende principalmente de la concentración de antocianinas (pigmentos) en un conjunto de granos proteicos conocidos como aleurona, que es la parte que da color al endospermo del maíz morado.

Sobre los colores de grano en el maíz morado tipo Kculli Ortiz (2012) señala que los granos que no tengan la coloración requerida (descoloridos) para la venta, son destinados a la alimentación de los animales. Por su valor comercial, los productores lo cultivan en superficies mayores en relación a otras variedades de maíz; por esta razón ocupa entre un segundo y tercer lugar en la cantidad de terreno destinado, y según la disponibilidad de recursos, puede representar de 10 a 60% de la superficie total. Recordemos que este tipo de maíces es cultivado exclusivamente en la Cordillera de Los Andes del Perú y Bolivia, tiene un color morado oscuro e intenso y aparentemente si se lo siembra fuera de su habitat natural no se obtienen mazorcas del mismo color probablemente por la temperatura elevada a menor altitud y por la interacción genotipo ambiente.

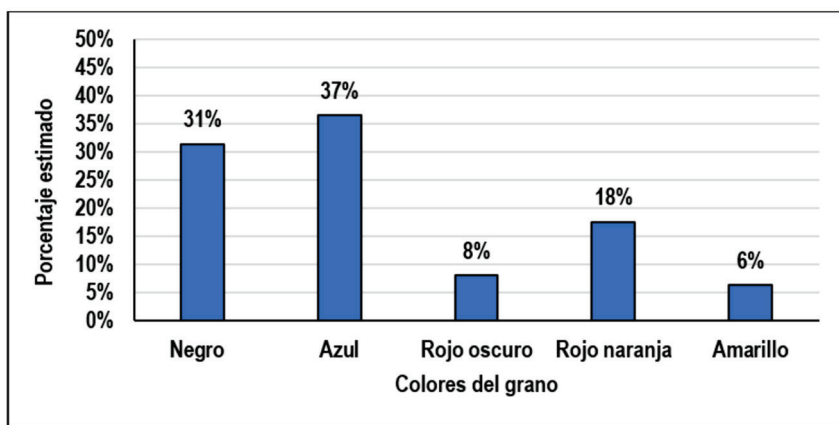


Figura 8. Estimación del color de grano obtenido en Vallecito y Mairana en el estudio: evaluación de maíz morado, campaña verano 2017-2018.

CONCLUSIONES

- El maíz morado variedad “Moragro”, se puede considerar como de ciclo intermedio con plantas de altura media a baja.
- La variedad de maíz morado “Moragro” sembrado en Mairana presenta un rendimiento superior a los rendimientos que se tiene en las zonas de producción de maíz morado en Bolivia y superior a lo registrado en Vallecito.
- En la parte sanitaria, no se observó síntomas de los principales patógenos. En insectos plaga fue observado el gusano *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero). La parte sanitaria está sujeto a posteriores evaluaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, M., Reza, M., Chew, R. y Meza, J. (2011). *Propiedades funcionales de las antocianinas*. Revista de ciencias biológicas y de la salud 13.
- Arroyo, J., Sáez, E., Rodríguez, M., Chumpitaz, V., Burga, J., de la Cruz, W. y Valencia, J. (2010). *Reducción del colesterol y aumento de la capacidad antioxidante por el consumo crónico de maíz morado (Zea mays L.) en ratas hipercolesterolémicas*. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica 24.
- Atmani, D., Ruiz-Larrea M.B., Ruiz-Sanz, J.I., Lizcano, L.J., Bakkali. F. y Atmani, D. (2011). *Antioxidant potential, cytotoxic activity and phenolic content of Clematis flammula leaf extracts*. J. Med. Plants Res. 5.
- Castillo, H. (2018). *Estudio de la diversidad genética de maíces de colores*. Científico del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). México 2018.
- Centro de Investigación Agrícola Tropical CIAT, (2008). *Manual técnico del cultivo de maíz*. Santa Cruz de la Sierra Bolivia.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT, (1985). *Manual para registro de datos agronómicos de ensayos de maíz*. México, D.F.
- Cruzado, L. (2009). *Efecto de la fertilización fosforo, potásica en el cultivo de maíz morado (Zea mays L.)*. Tesis para optar el título de Ing. agrónomo. Lima, Perú. UNALM.
- De la Cruz, E. (2009). *Determinación de la madurez fisiológica y calidad de semilla de maíz morado (Zea mays L.) en dos densidades de siembra*

- y dos momentos de siembra*. Canaán 2750 msnm. Tesis para optar el título de Ing. Agr. Huamanga, Ayacucho. UNSCH.
- FAO, (2015). *Perspectivas agrícolas referentes al maíz, trigo y arroz por sectores principales*. Santa Cruz, Bolivia. Consultado el 09 de abril de 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s08.htm>
- Guillén-Sánchez J.; Mori-Arismendi S. y Paucar-Menacho L. (2014). *Características y propiedades funcionales del maíz morado (Zea mays L.) var. Subnigroviolaceo*. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa, Ancash-Perú. Scientia Agropecuaria Sitio en internet: www.sci-agropecu.unitru.edu.pe
- Instituto de Innovación Agraria INIA, (2018). *Varietalidad maíz INIA 601, variedad mejorada de maíz morado para la sierra norte del Perú*. Boletín técnico de la estación experimental agraria Baños del Inca Cajamarca.
- Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal INIAF, (2020). *Estudio de zonificación para el uso de maíz GM en Bolivia*. Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras.
- Instituto Nacional de Estadística INE, (2020). *Bolivia, Superficie año agrícola por departamento 1984 - 2020*. Disponible en: <https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-economicas/agropecuaria/agricultura-cuadros-estadisticos/>.
- Justiniano, E. (2010). *Fenología e intensidad de color en corontas del maíz morado (Zea mays L.) en sus diferentes estados de desarrollo en la localidad de La Molina*. Tesis para optar el título de Mg. Se. EPG, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Huamán, O. F. (2001). *Estudio de la asociación de maíz morado (Zea mays L.) con tres líneas de frijol (Phaseolus vulgaris L.) en dos momentos de siembra en Canaán Ayacucho*. Tesis para optar el título de Ing. agrónomo UNSCH. Ayacucho, Perú. Huamachumo.
- LAB-SAP Laboratorio de suelos, agua y plantas (2018). *Análisis físico químicos de suelos*. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Facultad de Ciencias Agrícolas, km 8,5 al norte. Santa Cruz de la Sierra.
- Mamani, R. (2021). *Caracterización morfológica de 28 accesiones de maíz morado (Zea mays L.)*. Tesis de grado de la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Facultad Integral de Ichilo, Carrera de ingeniería agropecuaria.

- Manrique, A. (1997). *El maíz en el Perú*. Consejo nacional de ciencia y tecnología (CONCYTEC). Lima, Perú.
- Medina-Hoyos, A., Narro-León, L.A. y Chávez-Cabrera, A. 2020. *Cultivo de maíz morado (Zea mays L.) en zona altoandina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina*. Scientia Agropecuaria 11(3): 291-299.
- Ministerio de Asuntos Campesinos, Indígenas y Agropecuarios MACIA, (2003). *Cadenas productivas del maíz*. Informe final. La Paz.
- Nazar, C. (2016). *Primera variedad de maíz morado (Zea mays L.) adaptada a Córdoba MORAGRO*, Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) de la Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Nogales-Ascarrunz P., Aliaga-Rossel E. y Murillo, R. (2021). *La diversidad del maíz nativo en Bolivia*. Ministerio de medio ambiente y agua. Estado plurinacional de Bolivia. 27 de abril del 2022, artículo disponible en: <file:///C:/Users/DELL/Downloads/2021ELMAIZNATIVOENBOLIVIA2021.pdf>
- Ortiz, A. (2012). *Los maíces en la seguridad alimentaria de Bolivia*. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA). Santa Cruz, 2012.
- Pedraza G. M. (2017). *Densidad de siembra y comportamiento agronómico de tres variedades de maíz morado (Zea mays L.)*. revista ECI Perú, volumen 14, número 1.
- Pinedo, T. R. E. (2015). *Niveles de fertilización en dos variedades de maíz morado (Zea mays L.) en la localidad de Canaánayacucho*. Tesis para optar el grado de magister scientiae en producción agrícola, Lima-Perú 2015.
- Poma, I. (2007). *Efecto de la fertilización química y orgánica con y sin la aplicación de microorganismos eficientes (EM) en el rendimiento de maíz morado (Zea mays L.) cv. PMV-581*. Tesis para optar el título de Ing. Agr. Lima-Perú. UNALM.
- Rincón, F. (2011). *Guía Práctica para la Descripción Preliminar de Colectas de Maíz*. Proyecto: Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Consultado 13 de mayo del 2019. Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/...GuiaColecta/GuiaPracticaMaiz.pdf>.
- Salinas, Y., García, C., Coutiño, B. y Vidal, V. 2013. *Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul morado de poblaciones mexicanas de maíz*. Rev. Fitotec. Mexicana. Chiapas, México.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Senamhi, (2018). *Datos cli-*

máticos de Santa Cruz Bolivia. Institución técnico científica descentralizada del Ministerio de Medio Ambiente y Agua.

- Serio, L. (2015). *Desarrollo y validación de un modelo Desarrollo y validación de un modelo del sistema suelo-planta-atmósfera para la estimación de la evapotranspiración real del cultivo de maíz*. FCEN UBA. Universidad Mayor de San Simón UMSS, (2008). *Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz (Zea mays L.) boliviano*. Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.
- Vásconez, G., Calvache, A., Diaz, G. y Sabando, F. (2010). *Determinación de las necesidades hídricas de tres híbridos de maíz (Zea mays L.) bajo el efecto de tres distanciamientos entre hilera*. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.
-

Estrategias para la conservación in situ y uso sostenible de la diversidad del maíz clasificada en razas

Strategies for in situ conservation and sustainable utilization of the maize diversity classified in races

Raúl Blas* Ricardo Sevilla*

*Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)

E-mail: rsevillapanizo@gmail.com

Resumen

La diversidad del maíz se debe clasificar en razas para monitorearla in situ, en el espacio y en el tiempo, para mejorarla evitando la erosión debido a la deriva genética y a estreses bióticos y abióticos. Después de aproximadamente 60 años de la clasificación racial del maíz en todo América, es necesario una segunda aproximación. En el Perú, la diversidad se volvió a coleccionar en el 2016, encontrándose 16 razas nuevas de las que nueve se consideran diferentes de las conocidas. Se plantean una serie de hipótesis que requieren pruebas moleculares o genómicas para probarlas. Los análisis moleculares presentan congruencia con las clasificaciones raciales morfológicas y por otro lado también detectan alta mezcla de accesiones y/o flujo de genes entre las diferentes razas, lo que indica baja diferenciación genética entre ellas. Lo que las diferencia son pocos genes que gobiernan caracteres que son muy apreciados por agricultores y consumidores. Es necesario implementar conservación in situ de toda la diversidad racial del maíz y mejorarla para superar su vulnerabilidad.

Introducción

El objetivo principal es reclasificar la diversidad del maíz en el Perú. En el 2016, el Ministerio del Ambiente (MINAM), patrocinó una nueva colección de la diversidad del maíz en todo el país, con fines de bioseguridad (MINAM, 2018). El análisis de esa colección generó varios objetivos es-

pecíficos relacionados a la existencia de razas previamente clasificadas y razas nuevas, que merecen incluirse en la estrategia del banco de germoplasma de maíz para la conservación y uso sostenible.

El maíz es un cultivo muy importante en el área andina de Sudamérica, donde se cultiva aproximadamente hace 7,000 años (Grobman et al., 2012), y desde hace 4,000 años se diversificó en el Perú en diferentes razas (Grobman, 1982). De acuerdo con Goodman y Brown (1988), en los países andinos hay 132 razas de maíz, de las 252 en América. La hipótesis que se usó en el tiempo que se hizo la clasificación racial de maíz en el Perú, fue que lo que diferenciaba a las razas era la variabilidad fenotípica, principalmente de la mazorca. Eso en el área andina no necesariamente se debe a que hay una diversidad genética similar a la mitad del resto de América. Por eso es necesario usar métodos genómicos y moleculares para diferenciar las razas con métodos que reflejen la verdadera diversidad genética.

En la primera aproximación de la clasificación racial del maíz de muchos países de América se le dio mucha importancia al cruzamiento natural de dos razas distintas. Según Spiess (1977), la diferenciación de la diversidad de una especie depende de los factores que modifican la frecuencia génica; sin embargo, los cambios evolutivos no se deben a simples sustituciones de alelos. Puede haber intercambio génico entre poblaciones hasta que poblaciones aisladas se conviertan en ecotipos o razas. Las poblaciones absorben mutaciones acumulando un almacén de variación potencial en los heterocigotas. La migración o flujo de genes crea muchas posibilidades de diferenciación sobre todo en regiones como la sierra peruana donde se forman cllines o sea grandes diferencias ambientales en un área relativamente pequeña. Eso debe tener efectos en una planta alógama como el maíz (Adler, 1973).

Materiales y Métodos

El banco de germoplasma de maíz del Perú está en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), conserva en condiciones controladas de temperatura (+ 5°C) y humedad (40%), aproximadamente 3,000 accesiones que son muestras de semilla de variedades nativas de agricultores que cultivan maíz en las tres regiones naturales. La colección de esa semilla se hizo en diferentes épocas del siglo pasado. La colecta principal fue en la década de 1950 con el patrocinio del National Research Council de USA,

que también patrocinó la clasificación racial de toda la diversidad de maíz en el Perú (Grobman et al, 1961). En México se publicó primero la clasificación racial de la diversidad de Maíz (Wellhausen et al, 1951). Casi todos los demás países de Latinoamérica y el Caribe publicaron la clasificación racial del maíz siguiendo la misma metodología, lo que permite compararlos.

En la década de 1970 el International Board for Plant Genética Resources (IBPGR) y en 2016 el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM), patrocinaron otros viajes de recolección en todo el Perú. En el último viaje de recolección se caracterizaron 10 mazorcas de cada muestra colectada con los siguientes descriptores: Longitud de la mazorca; Forma de la mazorca, Diámetro de la mazorca, Número de hileras, Número de granos por hilera, Diámetro del marlo o coronta, Color del marlo, Diámetro del raquis, Diámetro de la médula, Longitud del grano, Ancho del grano, Espesor del grano, Textura del grano, Color del pericarpio, Color de la aleurona, Color del endospermo, Depresión del grano, Índice marlo/raquis, Índice gluma/grano. Los caracteres cuantitativos se midieron en centímetros (cm) o milímetros y en los cualitativos se registró el valor más frecuente.

Se compararon fenotípicamente las mazorcas de esta recolección y se encontró razas que no se habían descrito previamente, que llamamos nuevas, aunque no podemos precisar si ya existían y no se recolectaron en los viajes previos, o han sido introducciones de otros países, o recién formadas. En la Tabla 1 se muestran las nuevas razas y su correspondiente hipótesis para considerarlas razas. De las nuevas colecciones clasificamos 16 grupos o razas nuevas que se muestran en la Tabla 1. Atendiendo a las hipótesis planteadas consideramos a priori las siguientes nuevas razas mostradas en la Figura 1: Blanco semi-dentado, Blanco harinoso, Canchero Norteño, Lambayeque, Morocho norteño, Umutu, Granada Blanco, Cabanita y Tusilla.

Tabla 1 Razas nuevas no detectadas en 1961 y posibles relaciones planteadas como hipótesis

Raza	Hipótesis
Blanco harinoso	Raza de amplia distribución, incluye los blancos chocleros sin relación con Cuzco
Blanco semi- dentado	Introducida recientemente en la selva norte

Blanco Bambamarca	Es Blanco harinoso
Blanco Ayabaca	Es Blanco harinoso
Amarillo Huancabamba	Es Canchero norteño
Canchero norteño	Raza de amplia distribución, incluye todos los cancheros de la sierra norte
Huarmaca	Raza introducida del Ecuador, probablemente es Huandango
Lambayeque	En la prueba de hipótesis apareció muy cercana a Umutu y a Amarillo Huancabamba
Morocho norteño	Raza de amplia distribución. Incluye a Morocho Cajabambino
Umutu	Solo colectada en Cajamarca. No convence relación con Lambayeque ni con Amarillo Huancabamba. Ver Figura 2
Tusilla	Introducción reciente a la selva norte
Amarillo dentado	Es introducido en la década 1940 (Cuban Yellow Dent)
Granada blanco	Morfología de mazorca indica adaptación a tierras altas
Cabanita	Podrían ser una sola raza con Granada blanco
Iqueño	Todas las colectas recientes de Iqueño son Chaparreño
Pipoca	Introducido del Brasil a la región de Ucayali, pero no es reventador como el de Brasil (Brieger et al., 1958)

Hay razas consideradas en la clasificación original que no se considerarán en la segunda aproximación. La raza Kculli ya desapareció dejando una serie de razas todas bajo la denominación general de maíz Morado. Varias razas están presentes, pero en muy poca frecuencia, los agricultores no las reconocen. No tienen ninguna importancia socioeconómica y por lo tanto no van a ser consideradas en la estrategia para conservarlas y mejorarlas en forma de compuestos raciales: Enano, Shajatu, Rienda, Chimlos, Jora. Otro grupo de razas pertenecen a una raza principal y no son tan distintas como para considerarlas razas diferentes; por ejemplo: Sarco y Ajaleado pertenecen a la raza Ancashino; Chancayano amarillo es Perla. Rabo de zorro no es una raza, es una malformación de la mazorca que ocurre en áreas donde los agricultores escogen las mazorcas más grandes para obtener su propia semilla, generalmente en la sierra norte. En el centro y sur, los agri-

cultores escogen las semillas más grandes del centro de la mazorca (Sevilla et al., 1976). Perilla es otro ejemplo de esa situación.

Para aclarar la separación de razas distintas se compararon los datos de caracterización promedio de 10 mazorcas de 41 accesiones agrupados previamente en las siguientes razas: Lambayeque, 13 muestras provenientes de Lambayeque; Marañón, 4 muestras provenientes de Lambayeque; Huarmaca, 3 muestras de Lambayeque y 8 de Piura; Umutu, 3 muestras de Cajamarca; Amarillo Huancabamba, 2 muestras de Piura; Sabanero, 3 de Cajamarca; y 1 accesión de: Harinoso semi-dentado de Cajamarca; de Amarillo harinoso de Amazonas, de Proto Alazán de Lambayeque, de Amarillo semi-dentado de Lambayeque y de Blanco del Cusco. Después de hacer una matriz básica de datos de la mazorca y grano, se calcularon los coeficientes de distancia (Cristi, 1983). Luego se hizo un análisis de componentes principales donde se transforma un conjunto de variables cuantitativas en otro conjunto de variables independientes no correlacionadas llamadas componentes principales (Franco e Hidalgo, 2003).

Una pequeña muestra del germoplasma de maíz peruano conservado en el programa de maíz de la UNALM se empezó a caracterizar usando marcadores AFLP y SSR en el CIMMYT (Blas et al., 2002). Luego, en un proyecto financiado en el año 2014-2016 por KWS y en cooperación con la Universidad Hohenheim se realizó fenotipado y genotipado usando SNP de 1800 accesiones correspondientes a las regiones de costa, sierra y selva. En el 2019 se han fenotipado y genotipado usando SNP en 450 accesiones de maíz amiláceo de la sierra financiado por la STC-CGIAR. Finalmente, en 2019 se analizó el genotipo de una muestra de 89 accesiones provenientes del banco de germoplasma del Centro de investigación de cultivos andinos de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, correspondiente a seis razas: Kulli, Chullpi, Cuzco cristalino amarillo, Cuzco, Pisccorunto y Cuzco gigante. En general, estos trabajos fueron realizados con el objetivo de analizar la variabilidad molecular existente en las colecciones y la congruencia de la clasificación de las razas según la morfología previamente definida.

Para la caracterización molecular se muestrearon hojas jóvenes frescas/secas de cada accesión y la extracción del ADN se realizó mediante el método de CTAB (Doyle y Doyle, 1990). Luego la caracterización molecular se ha realizado utilizando diferentes técnicas como AFLP, SSR y SNP usando los métodos DArT-seq (Wenzl et al., 2004) and GBS (Elshire et al., 2011).

Con los datos generados se han realizado análisis usando herramientas de estadística univariada y multivariada, orientadas a estudiar el polimorfismo y estructura genética de las poblaciones, variancia molecular (Excoffier et al. 1992) y agrupamiento de las accesiones para visualizar las relaciones genéticas existentes entre las razas. Para ello se usaron programa NTSYS (Rohlf, 2001), paquete estadístico de R y para la distribución geográfica se utilizó Diva gis (<https://www.diva-gis.org/Data>).

Resultados

Análisis de agrupamientos basados en la morfología de la mazorca. - Fotos de las nueve nuevas razas se muestra en la Figura 1. La caracterización de las mazorcas de las nuevas razas y el análisis de agrupamientos fue objetivo de una tesis de ingeniero agrónomo (Chávez-Rodríguez, 2018). En la Figura 2 se muestran las tres razas que, según la autora, pertenecen a una misma raza.

En la Figura 3 se presenta el fenograma, mostrando una escala con el coeficiente de distancia que va de 0 a 2.51. De acuerdo con esos análisis, las variables de mayor grado de discriminación fueron, el número de granos por hilera, diámetro central y basal de la mazorca, longitud de mazorca y ancho del grano. Los tres primeros componentes principales mostraron un valor propio de 6.19, 1.84 y 1.55, que explican un porcentaje de la variancia total de 51.6, 15.3 y 12.9 respectivamente. Con esa información se elaboró el fenograma que lo que hizo fue juntar en un solo gráfico las accesiones parecidas.

Cuando el coeficiente de distancia es 1.3, toda la diversidad se divide en tres grupos. El grupo A es muy homogéneo; todas son de la raza Huarmaca, colectada en la sierra de Piura, muy parecida a la raza ecuatoriana Huan-dango (Timoty et al., 1966). Los grupos B y C son muy heterogéneos. Varias razas ocupan un grupo donde la raza más frecuente es Lambayeque, pero también Umutu y Amarillo Huancabamba, muy cercanas. Estas tres razas se han colectado en la sierra de Lambayeque, Cajamarca y Piura respectivamente, a alturas entre 1,000 a 2,000 m s.n.m.

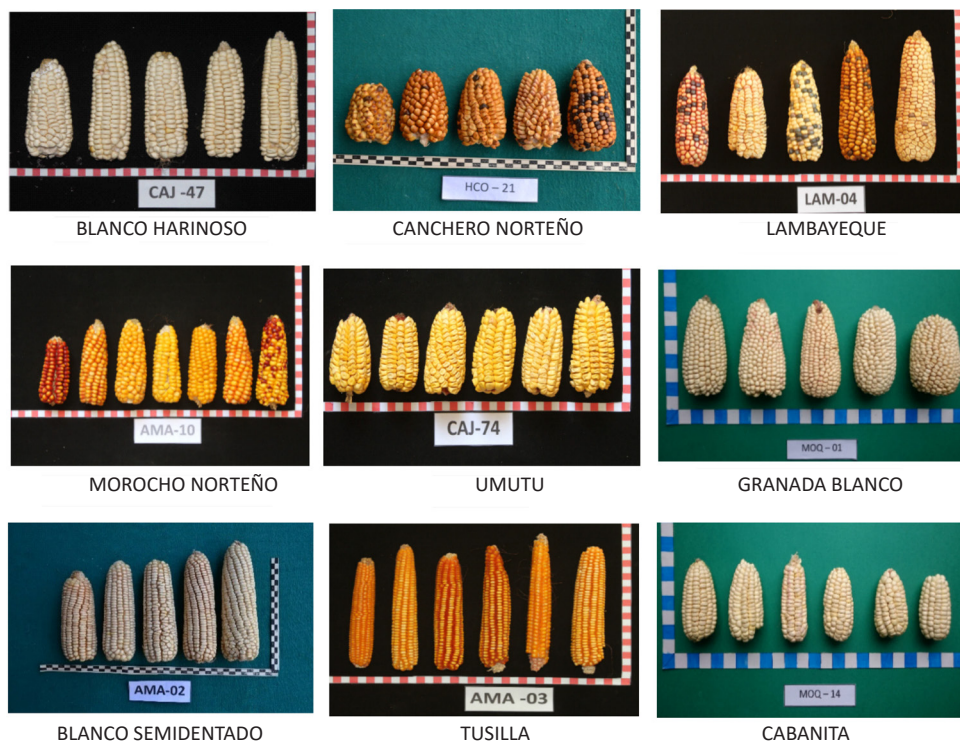


Figura 1. Razas nuevas
(no descritas en la primera aproximación: Grobman et al, 1961).

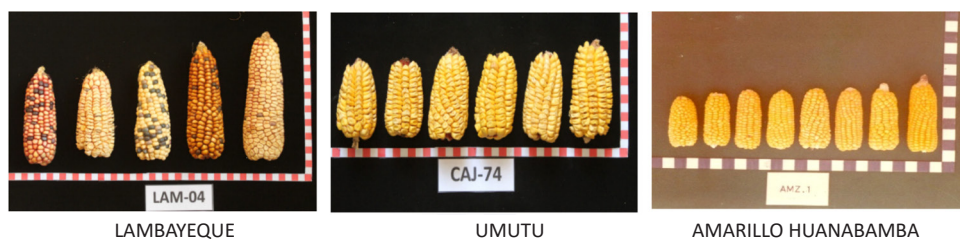


Figura 2. Tres razas de la sierra norte que pueden ser consideradas de la misma raza atendiendo a los resultados del fenograma.

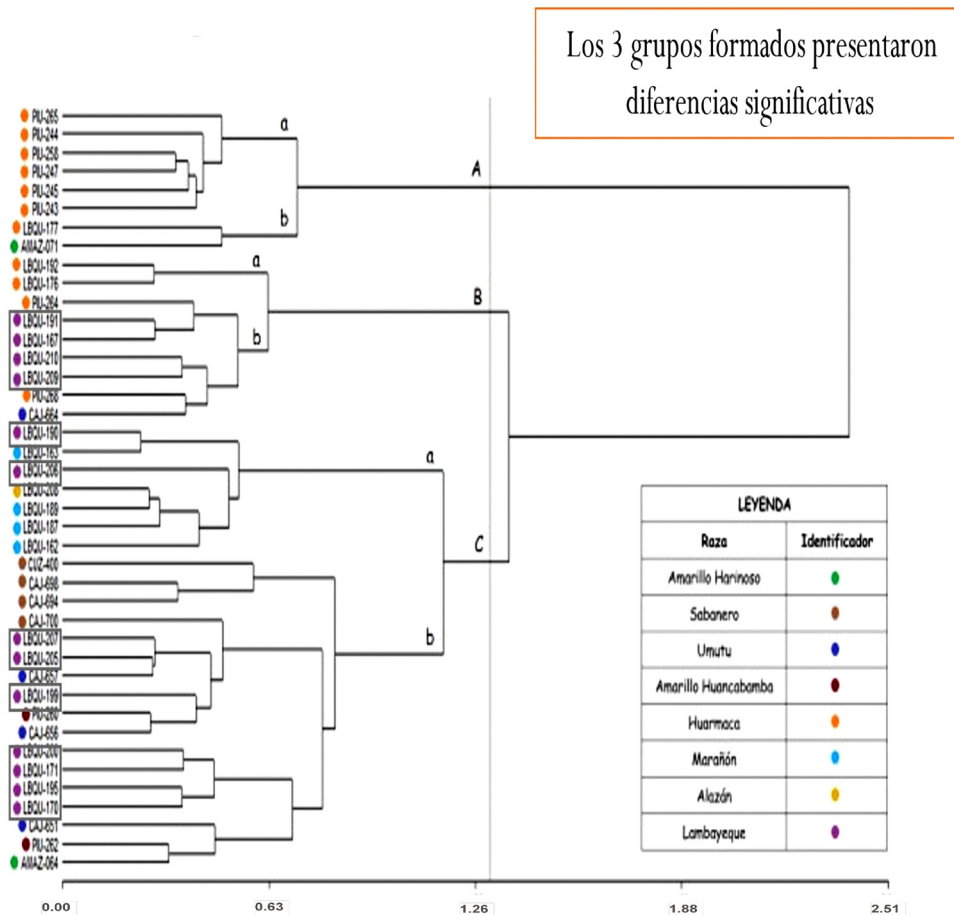


Figura 3. Fenograma de 41 accesiones pertenecientes a diferentes razas. Coeficientes de distancia de 0 a 2.5. Punto de corte: 1.30

Fuente: A.P. Chávez-Rodríguez. 2018.

Análisis de marcadores moleculares. Los análisis de AFLP y SSR muestran en general razas de costa, sierra y selva no definidas de acuerdo a la región natural de su origen (Figura 4-A y 4-B). Sin embargo, el análisis morfológico y molecular de 1 800 accesiones pertenecientes a 44 razas tanto de costa, sierra y selva permite agrupar el germoplasma según su origen geográfico o procedencia (figuras 5-A y 5-B). Los agrupamientos según las aproximaciones 20 000 SNP permiten visualizar germoplasma de acuerdo a su procedencia, aunque se observan algunas razas que se pueden distribuir entre costa y selva, costa y sierra, y selva y sierra.

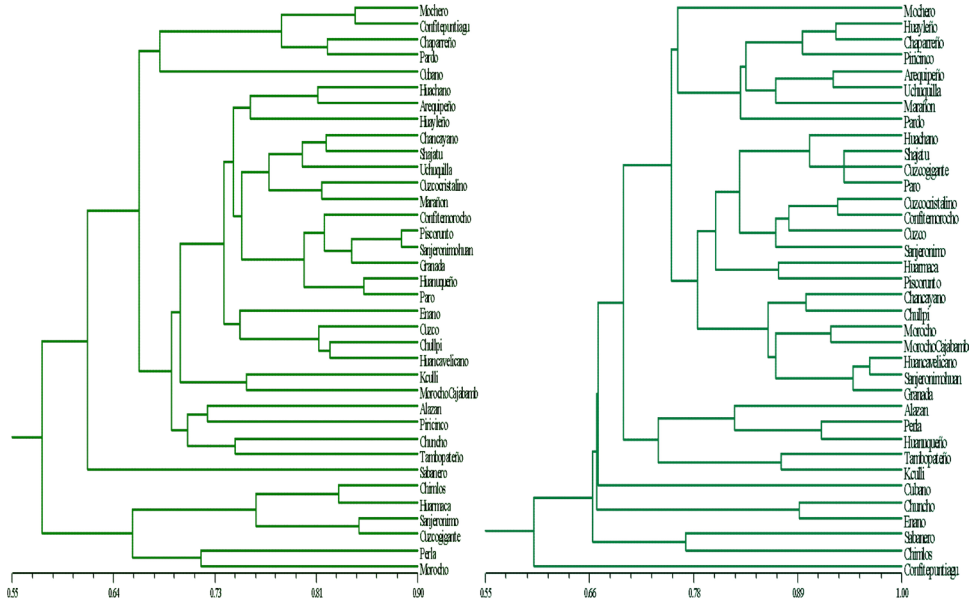


Figura 4. Dendrograma de las razas de maíz peruano. A) agrupamientos según 118 marcadores AFLP, y B) agrupamientos según 32 marcadores microsatélites (SSR).

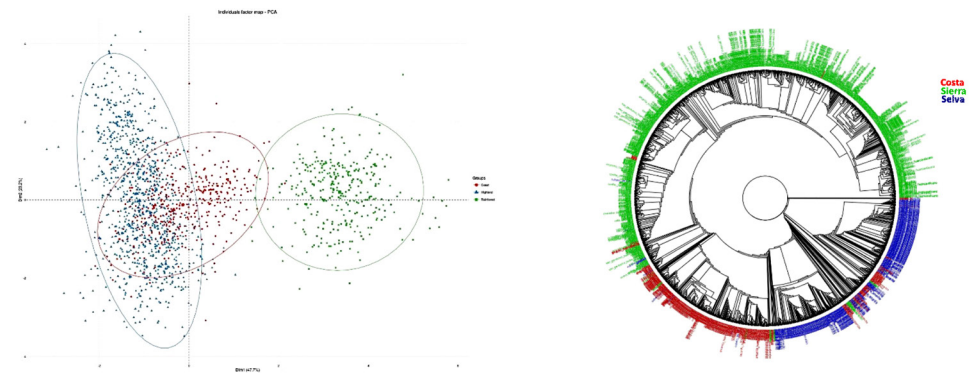


Figura 5. A) Agrupamiento de las accesiones de maíz peruana según la caracterización morfológica su origen de colección (sierra, costa y selva), y B) Agrupamiento de las mismas accesiones según la caracterización molecular (SNP)

En la caracterización molecular de las 89 accesiones de cinco razas amiláceas de la sierra peruana se observó un total de 38 alelos en los 8 iniciadores SSR (Tabla 3), el número de alelos observados ‘A’ varió en un rango de 3 a 9 con un promedio de 4.6 alelos por locus. El número de alelos

eficaz 'Ae' tuvo un promedio de 2.9 y varió entre 1.1 y 5.3. La heterocigosidad esperada 'He' vario de 0.05 con el iniciador phi034 y 0.82 en el iniciador phi026 con un promedio de 0.50. La heterocigosidad observada 'Ho' tuvo como promedio 0.48 y oscilo entre 0.04 y 1. El índice de fijación 'Fst' de las razas tiene como promedio 0.055 y varió de 0.004 a 0.146, lo que indica que la diferenciación genética entre las razas es relativamente baja. Además, el coeficiente de endogamia 'F' promedio es 0.07234 y varía desde -0.81023 hasta 0.67823, lo que indica que existe un sistema típico de polinización cruzada.

Tabla 3. Diversidad genética de las accesiones las 5 razas de maíz amiláceo

Locus	A	Ae	He	Ho	Fis	Fit	Fst	F
Phi127	3	1.0924	0.0851	0.0875	-0.2242	-0.0450	0.1464	-0.02820
phi079	3	1.255	0.2045	0.0658	0.6789	0.7192	0.1255	0.67823
phi034	3	1.0515	0.0493	0.0375	0.1920	0.2268	0.0431	0.23935
phi026	6	5.3235	0.8175	0.8816	-0.1603	-0.0974	0.0542	-0.07840
phi001	3	2.2169	0.5522	1.0000	-0.8256	-0.8189	0.0037	-0.81093
phi119	4	3.4717	0.7164	0.9625	-0.4153	-0.3576	0.0408	-0.34352
phi064	6	3.7904	0.7406	0.3133	0.5492	0.5686	0.0430	0.57696
nc003	9	4.8286	0.7990	0.5231	0.2802	0.3452	0.0903	0.34530
Media	4.62	2.8787	0.4956	0.4839	-0.0419	0.0159	0.0554	0.07234

Fuente: Tesis F. Catalán (2019)

El análisis molecular de variancia de las cinco razas se muestra en la Tabla 4, donde el porcentaje de la variabilidad entre las razas es de 2.57% y dentro de las razas es de 97.43%, lo que muestra alto flujo de genes entre las razas y la baja diferenciación entre ellas.

Tabla 4 Análisis molecular de variancia de las razas y las poblaciones

Fuente de Variancia	Suma de cuadrado	Componente de variancia	Porcentaje de variación
Entre Razas	15.667	0.05103	2.57
Dentro de las Razas	286.281	1.93326	97.43
Total	301.948	1.98428	

Fuente: Tesis F. Catalán (2019)

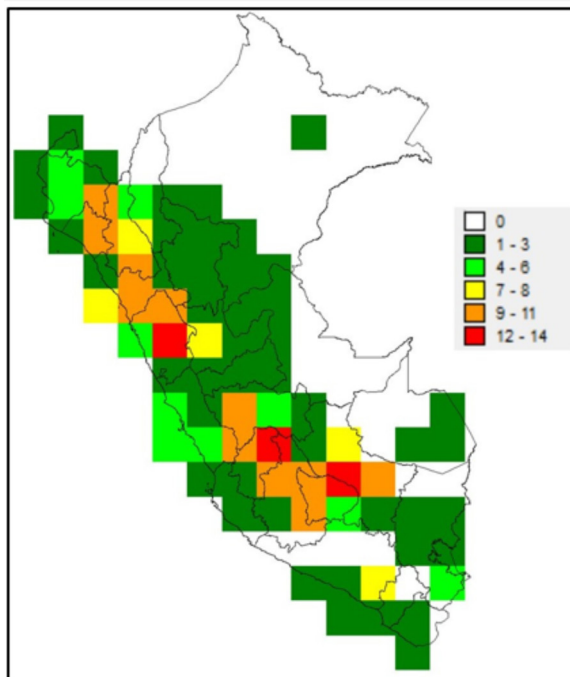


Figura 6. Riqueza de las razas de maíz peruana en los diferentes departamentos.

La riqueza de las razas según los datos de pasaporte y coordenadas geográficas, se muestra en la Figura 6, donde se observa la distribución del maíz peruano en todos los departamentos del país. Sin embargo, en algunas regiones como Arequipa o Moquegua y en la sierra norte, faltaría realizar prospecciones para completar la colección peruana. Por otro lado, las zonas de mayor diversidad de razas son: 1) Cuzco y Apurímac, 2) Ayacucho, Huancavelica y Junín, 3) Ancash, 4) Ancash, La Libertad y Cajamarca, y Piura, Cajamarca y Lambayeque. En estos lugares se debe establecer zonas de conservación *in situ* del maíz en Perú.

Discusión

Es frecuente que, en los fenogramas, algunas accesiones que aparecen muy juntas, son distintas si se usan criterios culturales y ecológicos, como en el caso de Lambayeque, Umutu y Amarillo Huancabamba. En ese caso parece que la limitación fue que el fenograma se hizo solo con datos de la mazorca. La única solución metodológica para evitar eso es el análisis molecular, para definir afinidades comparando el ADN.

Una causa importante de diferenciación es lo que Mayr (1974) llama “convergencia”. Formas comunes de la planta y la mazorca de maíz de razas distintas, no se deben a una herencia común. Se deben a que razas distintas llegaron a tener formas iguales, como las mazorcas de forma redonda globular, cuando las razas se adaptan a regiones de altura como una forma de evadir el frío. Formas de convergencia han sido consideradas para definir relaciones entre razas. La cercanía en el fenograma de Umutu, que solo se encuentra en Cajamarca, Amarillo Huancabamba y Lambayeque, que como su nombre lo indica se encuentra solo en Lambayeque, podría ser un típico caso de convergencia. Si se aplica el criterio ecológico no sería apropiado unirlas en una sola raza. Solo queda analizar estas razas con marcadores moleculares u otras técnicas genómicas para probar la hipótesis que es una sola raza.

La definición de una nueva raza tiene que estar complementada con una serie de acciones para conservarla y usarla sostenidamente. No basta la conservación ex situ; tiene que complementarse con la conservación in situ y además con el mejoramiento de la raza en la región donde se originó. Las variedades nativas tienen muchas limitaciones; en general en ellas hay muchos alelos responsables de caracteres adaptativos que están en frecuencias muy bajas (Sevilla y Hole, 2004). La estrategia que se usa para eso es la formación de compuestos raciales, que son mezclas de muchas muestras de semilla de las variedades nativas que pertenecen a una misma raza en una región. Las muestras individuales se recombinan hasta que alcanzan un equilibrio de ligamiento. La productividad de los compuestos raciales se ha probado juntos con la de sus componentes, las variedades nativas que los forman (Borbor, 1992).

Los análisis de datos moleculares de la colección peruana de maíz muestran por un lado la congruencia de las clasificaciones de las razas según la morfología, pero también muestran alto grado de mezclas y/o posiblemente errores de clasificación de algunas accesiones que no corresponden a las razas como accesiones típicas. Por ello es necesario realizar lo siguiente: 1) Organizar el germoplasma según las razas típicas, 2) La plasticidad y rango de variabilidad de las razas debe ser definida, 3) Recuperar razas faltantes e incrementar número de accesiones para algunas de las razas conservadas, 4) Establecer conservación in situ idealmente en las tres regiones naturales y en cada región en varias localidades. Lo que permitirá una mejor evaluación agronómica y potencialidades de respuesta a los estreses bióticos y abióticos.

Los resultados del análisis de marcadores muestran una base genética estrecha para el maíz amiláceo coincidiendo con los análisis de nudos cromosómicos (Moreno, 1960) y análisis de isoenzimas (Bretting et al., 1988). Sin embargo, agricultores y consumidores distinguen muy bien las razas de maíz amiláceo que son un componente muy importante de la seguridad alimentaria del país. Su estrecha base genética podría ser un factor de vulnerabilidad que se está corrigiendo, formando compuestos raciales con las variedades nativas de una misma raza. En esa forma toda la diversidad será organizada en poblaciones con más capacidades para mejorarlas.

Referencias Bibliográficas

- Adler J.A: 1973. Gen Flow and population differentiation. *Sci.* 179:243-250.
- Borbor M. 1992. Evaluación de componentes de rendimiento y características morfológicas de Compuestos Raciales de maíz (*Zea mays* L.) en la Sierra del Perú. Tesis Mg. Scientiae. UNA La Molina. Lima, Perú.
- Bretting P.K., y M.M. Goodman. 1989. Karyotypic variation in Mesoamerican races of maize and its systematic significance. *Economic Botany*, 43 (1): 107-124.
- Brieger F., J. Gurgel, E. Paterniani, A. Blumenschein y M Alleoni. 1958. Races of Maize in Brazil and other Eastern South American countries. *Nat Ac of Science, Nat Research Council. Pub.* 593. Wash. USA.
- Catalán F. 2019. Uso de marcadores microsatélites SSR para el análisis de la diversidad genética de seis razas de maíz de la provincia del Cusco. Tesis MS. UNA La Molina. Lima, Perú.
- Cristi J, V., M. López- Armengol. 1983. Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. Monografía N°26. OEA. Was. D.C. USA.
- Chávez-Rodríguez A. P. 2018. Determinación de una nueva raza de maíz (*Zea mays* L.) mediante la caracterización fenotípica de mazorcas recolectadas en el departamento de Lambayeque. Tesis Ing° Agrónomo. UNA La Molina. Lima, Perú.
- Doyle J. and Doyle L. 1990. Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus* 12:13–15.
- Elshire RJ, Glaubitz JC, Sun Q, Poland JA, Kawamoto K, Buckler ES, et al. (2011) A Robust, Simple Genotyping-by-Sequencing (GBS) Approach for

High Diversity Species. PLoS ONE 6(5): e19379. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019379>

Excoffier L., Smouse P. and Quattro J. 1992. Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics* 131:479- 491.

Franco T., R. Hidalgo. 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos: IPGRI. Cali, Colombia.

Goodman M., W. Brown (1988). Races of Corn. In: *Corn and Corn Improvement*. 3rd ed. Ed. G.F. Sprague y J.W. Dudley. Pg 33-79. *Agronomy monograph* 18. ASA. Madison, WI. USA.

Grobman A. 1982. Maíz (*Zea mays*). En: D. Bonovia. *Pre cerámico peruano. Los Gavilanes. Mar, Desierto y Oasis en la Historia del Hombre*. (Pg 157-179). COFIDE e Instituto Arqueológico Alemán. Lima, Perú.

Grobman A., D. Bonavia, T. Dillehay, D. Piperno, J. Iriarte, A. Holst. 2012. Preceramic maize from Paredones and Huaca Prieta. Perú. *Proceedings of the National Academy of Science of USA*. 109 (5). 1755-1759.

Grobman A., W. Salhuana, R. Sevilla. 1961. Races of maize in Peru. *Nat Ac of Science, Nat Research Council*. Pub. Wash. USA.

Mayr E. 1974. *Populations, Species and Evolution*. Harvard. USA.

MINAM. 2018. Línea de base de la Diversidad genética del Maíz Peruano con fines de Bioseguridad. Ministerio del ambiente. Lima, Perú.

Moreno. U. 1960 Estudio del número de cromosomas tipo B y de la frecuencia y posición de nudos cromosómicos en razas de maíz del Perú. *Agronomía*. 27:39-51. Lima-Peru

Rohlf F. 2001. NTSYS-pc. *Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System*, versión 2.01. Exeter Software, Setauket.

Sevilla R., A. Cerrate, L. Carrión, L. Narro, A. Valdez, J. Arizola, V. de la Colina. Factores de Producción y nivel tecnológico del cultivo de maíz en la Sierra del Perú. *Informativo del Maíz*. N° extraordinario de investigación. Vol II: 70-83.

Sevilla R. y M. Holle. 2004. *Recursos Genéticos Vegetales*. Ed. Luis León Asoc. Lima, Perú.

Spiess E.B. 1977. *Genes in Populations*. J. Wiley & Sons. USA.

Timoty D.H., W.H. Hatheway, U.J. Grant, M. Torregroza, D. Sarria, D. Varela. 1966. Razas de Maíz en Ecuador. Boletín Técnico N°12. ICA. Bogotá, Colombia.

Wellhausen E.J., L.M. Roberts, E. Hernández Xolocotzi. In collaboration with P.C. Mangelsdorf. 1951. Razas de Maíz en México. Su origen, caracterización y distribución.

Wenzl P., Carling J., Kudrna D., Jaccoud D., Huttner E., Kleinhofs A., and Kilian A. 2004. Diversity Arrays Technology (DArT) for whole-genome profiling of barley. PNAS 101(26) 9915-9920. <https://doi.org/10.1073/pnas.0401076101>

Representatividad de la colección de maíz de altura del Banco de Germoplasma del INIAP-Ecuador

Marcelo Tacán¹, Cesar Tapia¹, Franklin Sigcha¹, Alberto Roura¹
y Álvaro Monteros-Altamirano¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Quito, Ecuador.

RESUMEN

Este estudio permitió identificar vacíos en la colección de maíz (*Zea mays*), del Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), mediante el uso de las herramientas ELC y REPRESENTA del programa CAPFITOGEN. Se identificó seis categorías ecogeográficas, de las cuales las categorías 5 y 6 fueron las más frecuentes con 632 y 436 celdas de 5 x 5, respectivamente, y presentaron características ecogeográficas muy similares con temperaturas anuales promedio de 15,3°C, precipitación cuarto más cálida de 310 mm, elevación promedio de 2376 msnm, y un pH promedio de 6,5 ligeramente ácido. En lo relacionado a la ocurrencia, se observa vacíos geográficos en tres categorías, donde se debería realizar colectas suplementarias, esto es en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha y Napo (Sierra y Amazonia de Ecuador). Las herramientas CAPFITOGEN permitieron identificar los vacíos de entradas (accesiones) lo cual permitirá mejorar la representatividad de la colección de maíz del banco de germoplasma del INIAP.

Palabras clave: Maíz, CAPFITOGEN, categorías, ecogeográficas, representatividad.

ABSTRACT

This study identified gaps in the maize (*Zea mays*) collection of the genebank of the National Institute for Agricultural Research (INIAP). This was possible through the use of the ELC and REPRESENTA tools of the CAPFITOGEN program, allowing the identification of six ecogeographic categories, of which categories 5 and 6 were the most frequent with 632 and 436 cells of 5 x 5 km, respectively. These categories presented very similar ecogeo-

graphic characteristics with average annual temperatures of 21.3°C; precipitation of the warmest quarter of 424 mm; average elevation of 1700 meters above sea level; slope of 2.3 degrees (very gentle) and an average pH of 6.4 (acidic). Regarding the occurrence, gaps are observed in the geographical representation in three categories, that is, complementary collections should be carried out in the provinces of Carchi, Imbabura, Pichincha and Napo (Northern Sierra and Amazonia of Ecuador). CAPFITOGEN tools allowed to identify collection gaps, which will improve the representativeness of the INIAP germplasm bank's maize collection.

Keywords: Maize, CAPFITOGEN, ecogeographical categories, representativeness.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es un cereal perteneciente al género *Zea* de la familia de las gramíneas, que es extremadamente polimorfa; es decir, presenta variedades diferentes entre sí por la estructura de los granos [1]. Es originario de una parte restringida de México y los tipos más desarrollados emigraron posteriormente hacia otros sitios de América; el maíz surgió aproximadamente hace 8000 años en Mesoamérica (México y Guatemala), probablemente a lo largo del acantilado occidental de México Central o del Sur, a 500 km de la Ciudad de México [12]. No hay un acuerdo sobre cuándo empezó a domesticarse esta gramínea, pero los indígenas mexicanos mencionan que esta planta representa, para ellos alrededor de diez mil años de cultura [1].

Ecuador forma parte de uno de los centros prehistóricos de domesticación y cuna de la agricultura mundial, aunque pequeño en superficie es reconocido como uno de los países megadiversos; su diversidad geográfica, edáfica y ecológica, adicionando su diversidad cultural, han permitido que disponga de una alta variedad de especies de plantas, entre las que constan especies relacionadas con la agricultura y la alimentación como el maíz [24]. Las semillas nativas son producto de generaciones de comunidades agrícolas que las han adaptado a sus ambientes, sistemas de producción y necesidades locales, y son propias de las comunidades rurales campesinas e indígenas [28].

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador, durante el 2020 se sembraron 74.018 hectáreas de maíz en la Sierra, con un rendimiento

promedio de 3,68 toneladas por hectárea de choclo y 1,63 toneladas/ por hectárea de grano seco [20]. El Instituto Nacional de Estadística y Censo a través del sistema Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC), menciona que en Ecuador, el maíz es el cultivo más importante en superficie ya que constituye la base de la alimentación, y que en la costa existe mayor producción de variedades e híbridos de maíz duro [9].

Desde el punto de vista de seguridad alimentaria, es evidente que el maíz es un cultivo de gran importancia económica y nutricional, además es imprescindible para las futuras generaciones por que fortalece la agricultura y la seguridad alimentaria [22]. En el Ecuador se han identificado 29 razas de maíz de las cuales 16 pertenecen a la región sierra, lo que ha permitido que el INIAP genere algunas variedades de maíces mejorados como el 'Chaucho mejorado', 'Mishca mejorado', 'Blanco blandito mejorado', 'Gualgal mejorado', 'Zhima mejorado', entre otros [31]. Hoy en día varios agricultores han optado por realizar monocultivos, esto hace que exista erosión genética de las razas de maíz y pérdida de agro biodiversidad [29]. En la Sierra del Ecuador el cultivo de maíz es uno de los más importantes, debido a la superficie destinada a su cultivo y al papel que cumple como componente básico dentro de la dieta de la población ecuatoriana [8]. Conservar la diversidad genética de las variedades de maíz es de gran importancia no solo para la seguridad alimentaria, sino también como fuente de genes, tales como genes de tolerancia a factores abióticos, para los programas de mejoramiento genético de este cultivo [189].

La representatividad de una especie dentro de una colección de germoplasma puede determinarse a nivel intra e interpoblacional, para el caso de una especie cultivada, el equivalente sería niveles intra e intervarietales. Son dos conceptos que al considerar de forma global la representatividad de una colección de germoplasma son indisolubles; a pesar de esto, y por cuestiones prácticas relacionadas con la forma de conservación del germoplasma, ambos conceptos se han trabajado por separado. La representatividad intrapoblacional ha sido exhaustivamente estudiada, lo cual ha desembocado en estrategias de recolección específicas de acuerdo a la biología reproductiva de la especie, la distribución espacial de los individuos y el tamaño de la población. Básicamente lo que se busca es calcular, según el caso, el número mínimo de individuos a recolectar para asegurar la captura de la mayor parte de los alelos presentes en la población [6]. En contraste, la forma como debe representarse interpoblacionalmente una especie en una colección ha sido

menos abordada. Sin embargo, con el desarrollo del concepto de colecciones núcleo o nucleares, la representatividad interpoblacional de una especie en una colección ha ganado importancia, dado que éstas subcolecciones sólo operan a este nivel [3].

Una vez el concepto de representatividad genética de una colección de germoplasma se implanta en la comunidad de científicos y curadores en el ámbito de los recursos fitogenéticos, el siguiente paso fue determinar la forma más apropiada de calcularla [30]. Es por esto que el objetivo del presente trabajo es determinar la representatividad de la colección de maíces de altura conservados en el banco de germoplasma de INIAP-Ecuador a través de herramientas del programa CAPFITOGEN para identificar vacíos de colectas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron algunas herramientas de CAPFITOGEN para identificar los vacíos de entradas (accesiones) de la colección de germoplasma de maíz de altura conservado en el banco de germoplasma del INIAP, con la finalidad de mejorar la representatividad de dicha colección. CAPFITOGEN es una caja de herramientas de libre acceso para la conservación y promoción del uso de la biodiversidad agrícola, se enfoca en la representatividad de la conservación ex situ, incluye herramientas para apoyar la toma de decisiones sobre conservación in situ y herramientas auxiliares que facilitan el uso de otras. Para utilizar las herramientas se necesita un computador (sistema Windows), introducir los datos de pasaporte en un formato previamente establecido, definir ciertos parámetros que mediante una interfaz se carga en una programación del software R, donde se realiza el análisis, y los resultados se componen principalmente de mapas, tablas y gráficos, los cuales pueden visualizarse en otros programas informáticos de tipo gratuito como el DIVA-GIS [4].

Para la identificación de vacíos geográficos se utilizó los datos de latitud y longitud de las 1063 entradas (accesiones) de la base de datos del banco de germoplasma del INIAP y se aplicó varias de las herramientas CAPFITOGEN [15]. En primer término, se utilizó la herramienta TESTABLE que permitió encontrar los errores o desajustes en la tabla de datos de pasaporte. En segundo lugar, se utilizó la herramienta GEOQUAL que determinó el grado de certidumbre contenido en algunos descriptores de pasaporte cuya función

fue definir inequívocamente el lugar donde el germoplasma fue recolectado. De esta manera, GEOQUAL realizó una evaluación de la calidad de los datos de descripción de la localidad y de las coordenadas indicadas como sitio de recolección de las entradas. En tercer lugar, se generó el mapa de caracterización ecogeográfica del terreno (ELC) desde una cota superior a 1700 msnm, donde se visibilizó diferentes escenarios ambientales que pueden corresponderse con los diferentes procesos adaptativos para el maíz, en la Sierra ecuatoriana. En la elaboración del mapa ELC se utilizó celdas de 5 km x 5 km (30 arcsegundos), considerando 18 variables ecogeográficas cualitativas y 6 cuantitativas, importantes para el desarrollo del cultivo de maíz. Entre las cuantitativas se consideró la: bio_1.media, bio_4.media, bio_8.media, bio_9.media, bio_10.media, bio_18.media, tma_10.media, tmax_12.media, tmean_1.media, tmean_2.media, tmean_3.media, tmean_4.media, tmean_5.media, tmean_6.media, alt.media, s_gravel.media, t_cec_clay.media, s_sand.media; y entre las cualitativas la: slope.media, Wind_anual.media, t_ph_h2o.media, s_ph_h2o.media, t_oc.media, t_oc.media [3]. Para la variable elevación, se empleó el SRTM (Shuttle Radar Topography Mission - NASA Jet Propulsion Laboratory) [19].

Las capas climáticas estuvieron en formato ráster a una resolución de 5 km x 5 km las capas geofísicas en formato ráster con una resolución de 90 m y las capas edáficas en formato vectorial a una escala de 1:50000 [28]. Por último, se utilizó la herramienta REPRESENTA [3], con la finalidad de establecer la representatividad de la colección, además se utilizó el mapa ELC [15], para conocer que las condiciones ambientales presentes en un marco espacial, están representadas en la colección de germoplasma de maíz, y se comparó la distribución de la frecuencia de las colectas realizadas y las frecuencias de las categorías detectadas con el mapa ELC; esto permitió visualizar claramente qué ambientes están sub representados en la colección de maíz de altura del banco de germoplasma del INIAP-DENAREF.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mapa ELC definió 6 categorías ecogeográficas para la Sierra ecuatoriana donde se encuentran adaptados los maíces de altura, de las cuales las categorías 5 y 6 (representadas con los colores rojo y rosado en la Figura 2), son las más frecuentes con 632 y 436 celdas, respectivamente. Contrariamente las categorías 1 y 3 fueron las menos frecuentes con 4 y 5 celdas, respectivamente (Figura 1).

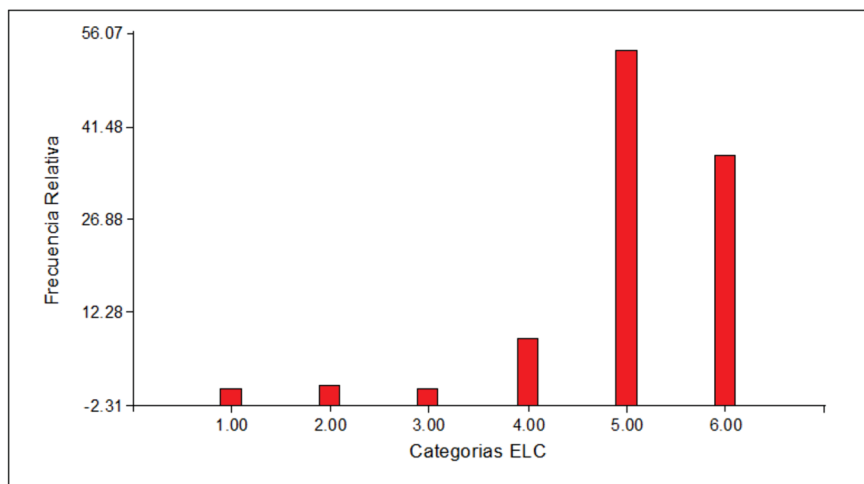


Figura 1. Frecuencias relativas de las 6 categorías ecogeográficas identificadas en la colección de *Zea mays* de la sierra ecuatoriana, conservada en el banco de germoplasma del INIAP, 2022.

Las categorías 5 y 6 tienen características ecogeográficas muy similares con temperaturas promedio anual de 13.0°C, temperatura promedio semestral de 12.4°C, precipitación anual de 279 mm, pH ácido y neutro (4,5-6.9), suelos moderadamente profundos (50-100 cm) y carbono orgánico bajo (2-4%). Al respecto, el uso de variables ambientales, edáficas y geofísicas apoyan la construcción de mapas ecogeográficos [5, 7], y se ha utilizado para determinar la capacidad de los cultivos en Iowa, Estados Unidos de América [10, 11].

En la Tabla 1 se observan los valores obtenidos para las variables geofísicas, tales como la altitud, que presentó alturas que van desde los 1 813 msnm (C1) hasta los 3 027 msnm (C5), que concuerda con lo indicado en INIAP, 2014 [1022] y Tapia, 2015 [2324], respecto a que el maíz se cultiva en diferentes pisos altitudinales y ambientes climáticos, por ello se puede encontrar en la región sierra del país, comprendida entre los 2000 y 3 000 msnm, y que la mayoría de las entradas de maíz del Ecuador se distribuyen en diferentes localidades, en altitudes desde 1 900 hasta 2 800 msnm. Para la variable de precipitación cuarto más cálido, se obtuvo un rango de 176 mm (C1) a 611 mm (C3), dentro del cual se encuentra la precipitación acumulada de 270 mm que registro Oñate, 2016 en la etapa final del ciclo del cultivo de maíz [14].

Para la variable temperatura media anual y temperatura media semestral se obtuvieron rangos que oscilaron entre 12 °C (C5) a 18 °C (C1) y 11 °C

(C5) a 18 °C (C1), respectivamente, que concuerda con lo mencionado por Williams et. Al, 2008 [27], quienes identifican a los meses de diciembre, febrero, marzo, abril, mayo y junio para el desarrollo de maíz a nivel de la zona norte del país. La temperatura óptima para el desarrollo del cultivo de maíz se considera un promedio de 15°C, además requiere de luz solar durante todo el ciclo del cultivo [16].

Tabla 1. Valores promedios de las variables geofísicas para las entradas de maíz de altura conservadas en el banco de germoplasma de INIAP-Ecuador.

V. Cuantitativas	Categoría ELC					
	1	2	3	4	5	6
Bio_1.media	18.1	16.3	16.6	15.1	11.8	14.1
Bio_4.media	15.4	18.1	29.1	28.0	36.0	37.3
Bio_8.media	18.0	16.3	16.2	15.1	11.8	14.1
Bio_9.media	17.8	15.9	16.6	14.7	11.2	13.8
Bio_10.media	18.0	16.3	16.7	152.9	119.3	14.4
Bio_18.media	176.0	289.2	611.4	225.3	275.0	283.6
Tma_10.media	24.0	22.7	22.8	20.9	17.6	20.0
Tmax_12.media	23.2	22.3	22.4	20.8	17.7	20.1
Tmean_1.media	17.8	16.2	16.5	15.0	11.9	14.3
Tmean_2.media	17.8	16.2	16.5	15.1	11.9	14.3
Tmean_3.media	18.0	16.3	16.6	15.1	11.9	14.2
Tmean_4.media	18.1	16.4	16.7	15.2	11.9	14.3
Tmean_5.media	18.1	16.3	16.6	15.2	11.8	14.1
Tmean_6.media	17.8	16.0	16.2	14.7	11.2	13.7
alt.media	1893.5	2219.6	2107.0	2403.9	3026.6	2602.8
s_gravel.media	3.0	0.0	2.2	20.5	0.8	1.2
t_cec_clay.media	140.0	50.67	69.0	140.0	47.4	39.7
s_sand.media	58.0	52.7	35.0	65.8	46.0	41.9
V. Cuantitativas	1	2	3	4	5	6
Slope.media	Muy suave	Plana	Plana	Muy suave	Muy suave	Muy suave
Wind_anual.media	Tranquilo	Suave	Suave	Suave	Suave	Suave
t_ph_h2o.media	Medianamente alcalino	Ligeramente ácido	Ácido	Ligeramente alcalino	Ligeramente ácido	Ácido
s_ph_h2o.media	Alcalino	Neutro	Ácido	Medianamente alcalino	Neutro	Ácido
t_oc.media	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Alto
s_oc.media	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Mediante la herramienta REPRESENTA se logró clasificar las categorías eco-geográficas por frecuencia de ocurrencia de la especie y por frecuencia de categoría del mapa ELC. Las frecuencias de ocurrencia de la especie para las entradas conservadas en el Banco de Germoplasma-INIAP (Tabla 2, Figura 2), fueron nula en una de las 6 categorías, baja en dos, media alta en una y alta en dos. Respecto a las frecuencias en base al mapa ELC, dos fueron baja, dos media baja, una media alta, y una alta. Con la finalidad de identificar las categorías (sitios) donde es prioritaria la colecta de germoplasma del maíz de altura de la sierra ecuatoriana, se eligió 3 categorías, una con frecuencias nula y dos baja, para el caso de la clasificación por ocurrencias de especies, y

dos con frecuencias baja y una media baja para la clasificación por frecuencia de categoría en mapa ELC. De este proceso, se seleccionaron las categorías 1, 2 y 3 marcadas con un asterisco en la Tabla 2.

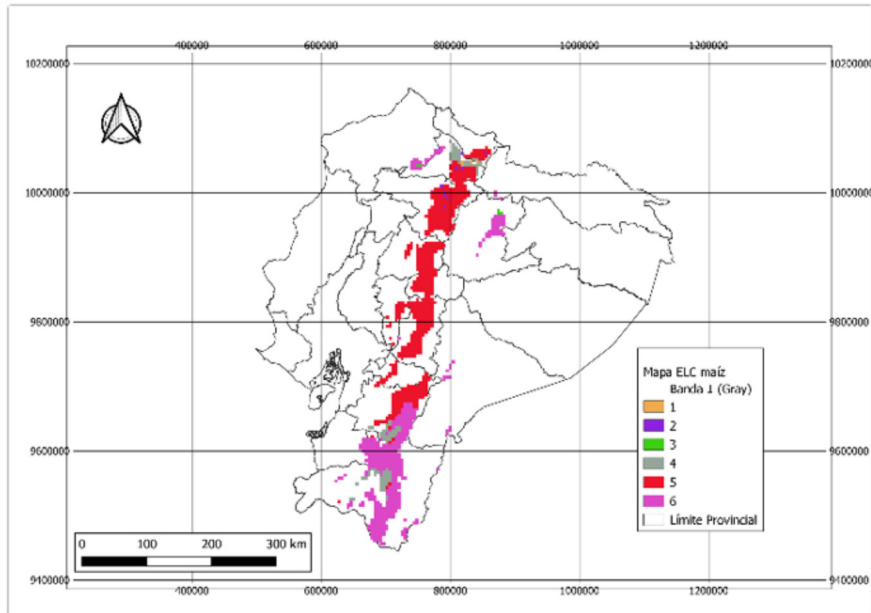


Figura 2. Mapa ELC para las categorías ecogeográficas identificadas en la colección de *Zea mays* de altura de la Sierra Ecuatoriana, conservada en el banco de germoplasma del INIAP, 2022. Estudios similares concuerdan con la presente investigación, donde identificaron 27 categorías ecogeográficas para ocho especies (*Zea mays* L., *Lupinus angustifolius* L., *Vicia sativa* L., *Pisum sativum* L., *Phaseolus vulgaris* L., *Hordeum vulgare* L., *Secale cereale* L., y *Triticum aestivum* L.), las mismas que fueron definidas por un conjunto de rangos específicos para cada una de ellas, agrupando categorías del mapa en la escala media-alta, media-baja o baja [17]. Varios estudios se han realizado, principalmente en España utilizando 6 especies de *Lupinus*, que al igual que en la presente investigación, el método incluyó la aplicación de sistemas de información geográfica, mapas ELC, modelos de distribución de especies y análisis de las deficiencias, para identificar los sitios de recolección priorizadas [13]. En Ecuador, se ha realizado este tipo de análisis en el Género *Musa* donde se aplicó sistemas de información geográfica, mapas ELC y la herramienta REPRESENTA [25].

Los sitios priorizados coinciden con las provincias de Pichincha, Imbabura y Carchi y una pequeña área de la cordillera de los Guacamayos en la pro-

vincia de Napo (Figura 3). Tapia et al. ,2017 identificó 13 razas botánicas de maíz en las provincias de Carchi e Imbabura, evidenciando que la Sierra Norte es una zona de alta diversidad de razas de maíz, y dentro del análisis general de la diversidad de maíz en Ecuador, se debería priorizar esta zona, como un área de conservación. En el mapa ELC, las categorías 1, 2 y 3 se distribuyen en 6 cantones de la provincia del Carchi , principalmente en el cantón Bolívar y Montúfar; mientras que, en la provincia de Imbabura destacan los cantones Cotacachi y Pimampiro, y en la provincia de Pichincha los cantones Quito y Pedro Moncayo (Figura 3) [21].

Tabla 2. Frecuencias por especies y frecuencias en base al mapa ELC para las seis categorías ecogeográficas identificadas en la colección de *Zea mays* de altura de la Sierra Ecuatoriana, conservada en el banco de germoplasma del INIAP, 2022.

Categorías ecogeográficas	Clasificación frecuencia por ocurrencia de especie	Clasificación por frecuencia de categoría mapa ELC
1*	Baja	Baja
2*	Baja	Media baja
3*	Nula	Baja
4	Media alta	Media baja
5	Alta	Alta
6	Alta	Media alta

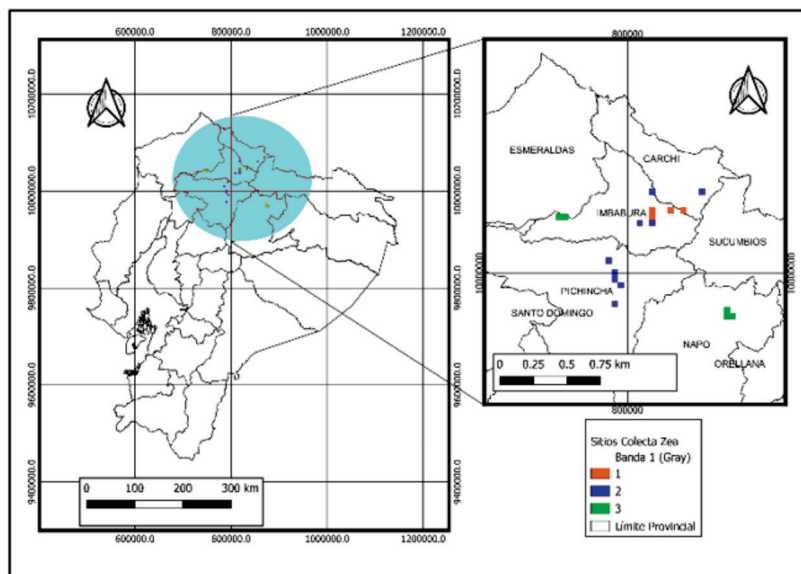


Figura 3. Sitios priorizados en la Sierra Norte Ecuatoriana para la colecta de *Zea mays*. INIAP, 2022.

V. CONCLUSIONES

Las herramientas CAPFITOGEN son de gran utilidad para mejorar la representatividad de las colecciones que se conservan en los bancos de germoplasma a nivel nacional e internacional.

El mapa ELC identificó escenarios adaptativos no homogéneos clasificados en 6 categorías ecogeográficas para la biodiversidad del maíz de altura de la Sierra Ecuatoriana, encontrándose categorías de baja frecuencia que comparten solo ciertas características en sus componentes climáticos, geofísicos o edáficos con las categorías de alta frecuencia. Asimismo, permitió discriminar correctamente escenarios adaptativos utilizando las variables ecogeográficas que más influyen en la adaptación abiótica del maíz y que por tanto, determinan su distribución, lo que contribuye a la colecta, conservación y utilización eficiente de los recursos fitogenéticos.

Las principales zonas ecogeográficas con una nula o baja frecuencia en la colección de *Zea mays* de altura conservada en el banco de germoplasma del INIAP, identificadas para la colecta suplementaria del maíz están ubicadas en las provincias de Imbabura, Pichincha y Carchi.

Los aspectos sensibles que pueden poner en riesgo una exitosa conservación ex situ de recursos fitogenéticos se pueden dar en dos momentos particulares, al momento de la colecta y durante la conservación propiamente dicha. La aplicación de técnicas apropiadas de manejo del germoplasma, reducen el riesgo de pérdidas de entradas durante el periodo de conservación. Sin embargo, el germoplasma que se lleva a conservación debe reflejar la diversidad genética lo más fiel posible de las poblaciones vegetales que ocurren en el campo; por ello es importante tener presente al momento de realizar la colecta cuan representativa es la muestra de la diversidad conservada ex situ respecto a la diversidad genética total que ocurre en la naturaleza, es lo que se denomina representatividad de una colección de germoplasma. El presente estudio pone en evidencia la importancia de realizar recolecciones de germoplasma que aseguren capturar la mayor diversidad genética posible presente en el campo.

V. REFERENCIAS

- [1] Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y su clasificación. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas-INCA, Departamento de Genética y Mejoramiento Vegetal. *Cultrop* v.30 n.2 La Habana abr-jun. 2009. Cuba
- [12] Mayorga, N. (2016). El maíz entre los pueblos indígenas. México: Organización Editorial Mexicana.
- [24] Tapia, C. and Carrera. H. (2011). Promoción de los cultivos andinos para el desarrollo rural en Cotacachi-Ecuador. Quito, INIAP, UNOR-CAC, USDA, Bioversity International, 198 p.
- [20] SIPA. (2021). Sistema de Información Pública Agropecuaria, Cifras Agro-productivas. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Quito, Ecuador. Datos disponibles del año 2020. Consultado en septiembre de 2021. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- [9] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2019). Encuesta de superficie y producción agropecuario. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccionagropecuaria-continua-bbd/>.
- [22] Tapia, C., Torres, M. and Parra-Quijano, M. (2015) Searching for adaptation to abiotic stress: ecogeographical analysis of highland Ecuadorian maize. *Crop Science* 51: 1–13.
- [2] Bogado, R. (2017). Rescate de semillas locales y técnicas de producción de maíz (*Zea mays*) en Paraguay y Bolivia. Paraguay: Ediciones lito-press. https://www.uco.es/vidauniversitaria/cooperacion/images/documentos/investigacion/RES_CATE%20DE%20SEMILLAS%20LOCALES%20Y%20TECNICAS%20DE%20PROD_UCCI%C3%93N%20DE%20MAIZ%20ZEA%20MAYS%20EN%20PARAGUAY%20Y%20BOLIVIA.pdf.
- [18] Salhuana, W. (2004). Diversidad y descripción de las razas de maíz en el Perú. En: Cincuenta años del Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz (PCIM). UNALM. Lima-Perú. p. 204-251. Disponible en: https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/50301000/Races_of_Maize/Diversidad%20y%20razas%20de%20maiz%20en%20Peru.pdf.
- [31] Zambrano, J., Velásquez, J., Peñaherrera, D., Sangoquiza, C., Cartagena, Y., Villacrés, E., Garcés, S., Ortíz, R., León, J., Campaña, D.†, López, V., Asaquibay, C., Nieto, M., Sanmartín G., Pintado, P., Yáñez, C., Racines, M. (2021). Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana. INIAP, Manual No. 122. Quito, Ecuador.
- [29] Yáñez, G., Zambrano, J., Caicedo, M. y Heredia, J. (2013). Guía de producción de maíz de altura. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Maíz. (Guía no. 96).

- [8] García, M., Cárcamo, M., Manzur, M., Montoro, Y., Pemgue, W., Salgado, A., Velásquez, H. y Vélez, G. (2011). Biodiversidad, erosión y contaminación genética del maíz nativo en América Latina.
- [6] Crossa, J. y Vencovsky, R. (2011). Chapter 5: Basic sampling strategies: theory and practice. In: Guarino, L., Ramanatha Rao, V. y Goldberg, E. (ed.) *Collecting Plant Genetic Diversity: Technical Guidelines – 2011 Update*. Bioversity International. Available online (accessed 6 November 2013) http://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/index.php?option=com_content&view=article&id=671
- [3] Brown, A.H.D. (1989). The case for core collections. In : Brown, A.H.D., Frankel, O.H., Marshall, D.R. y Williams, J.T. (ed.) *The use of plant genetic resources*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [30] Yonezawa, K., Nomura, T. y Morishima, H. (1995). Sampling strategies for use in stratified germplasm collections. P. 35-53. In : Hodgkin, T., Brown, A.H.D., van Hintum, Th.J.L. y Morales, E.A.V. (ed.) *Core collections of plant genetic resources*. John Willey & sons, Chichester, UK.
- [15] Parra-Quijano, M., Torres, E., Iriondo, M., López, F. (2015) "Herramientas CAPFITOGEN para la conservación y utilización de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura", Versión 2.0. 289 p.
- [19] Shuttle Radar Topography Mission. <http://srtm.csi.cgiar.org/>. Consultado May 2015
- [28] WorldClimate (1996). <http://www.worldclimate.com>. Consultado May 2015
- [5] Colosimo, G., Crespi, M., De Vendictis, L., Jacobsen, K. (2009). Accuracy evaluation of SRTM and ASTER DSMs. 29th Annual EARSeL Symposium, Chania Greece, 15-18 June 29th Annual EARSeL Symposium, Chania Greece, 15-18 June.
- [7] Ferguson, M.E., Jarvis, A., Stalker, H.T., Williams, D.E., Guarino, L., Valls, J.F.M., Pittman, R.N., Simpson, C.E. y Bramel, P.J. (2005) "Biogeography of wild *Arachis* (Leguminosae): distribution and environmental characterization", *Biodivers Conserv* 14:1777–1798
- [11] Jarvis, A., Yeaman, S., Guarino, L. y Tohme J. (2006) "The role of geographic analysis in locating, understanding, and using plant genetic diversity", *Methods Enzymol* 395:279–298
- [10] Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, (INIAP). (2014). *Maíz suave*.
- [26] Wang, G., Zhou, G., Yang, L. y Li, Z. (2003) Distribution, species diversity and life-form spectra of plant communities along an altitudinal gradient in the northern slopes of Qilianshan Mountains, Gansu, China", *Plant Ecol* 165:169–181.

- [23] Tapia, C. (2015). Identificación de áreas prioritarias para la conservación de razas de maíz en la sierra de Ecuador. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio digital UPM. http://oa.upm.es/35522/1/CESAR_GUILLERMO_TAPIA_BASTIDAS.pdf
- [14] Oñate, L. (2016). Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de maíz (*Zea mays*) var. Blanco harinoso criollo, bajo las condiciones climáticas del cantón Cevallos. [Título de pregrado Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio digital UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/18305>
- [27] Williams, C.L., Hargrove, W.W., Liebman, M. y James, D.E. (2008) "Agro-ecoregionalization of Iowa using multivariate geographical clustering" *Agric Ecosyst Environ* 123:161–174
- [16] Parra-Quijano, M., Iriondo, J. y Torres, E. (2011) "Ecogeographical land characterization maps as a tool for assessing plant adaptation and their implications in agrobiodiversity studies" *Genet Resour Crop Evol*, DOI 10.1007/s10722-011-9676-7.
- [17] Parra-Quijano, M., Iriondo, J. y Torres, E. (2011) "Improving representativeness of genebank collections through species distribution models, gap analysis and ecogeographical maps" *Biodivers Conserv*. DOI 10.1007/s10531-011-0167-0
- [13] Morales, T. (2021). CARACTERIZACIÓN DE RAZAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) PROCEDENTES DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL INIAP, EN EL CANTÓN COTACACHI, PROVINCIA DE IMBABURA. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11610?locale=en>
- [25] Tapia, C., Paredes, N. y Lima, L. REPRESENTATIVIDAD DE LA DIVERSIDAD DEL GÉNERO *Musa* EN EL ECUADOR. *Revista [Internet]*. 1 de agosto de 2019 [citado 28 de abril de 2022];6(1). Disponible en: <https://revistaecuadorestabilidad.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorestabilidad/index.php/revista/article/view/69>.
- [21] Tapia, C., Paredes, N., Naranjo, E., Tacán, M., Monteros, A., Pérez, C. y Valverde, Y. (2017). Caracterización morfológica de diversidad de razas de *Zea mays* en la sierra norte de Ecuador. *Repositorio digital INIAP. Revista la Técnica*: 18(6), 6-17.
- [14] CAPFITOGEN3. Disponible en <http://www.capfitogen.net/es/herramientas/>. Revisado el 11 de mayo de 2022.

CORRESPONDENCIA: Marcelo Tacán Pérez

Análisis de la producción, productividad y precios del maíz en el Ecuador

Analysis of the production, productivity and prices of corn in Ecuador

Mario Caviedes Cepeda^{1*}

¹Universidad San Francisco de Quito, Carrera de Ingeniería en Agronomía, Cumbayá, Ecuador. *Autor para correspondencia/ Corresponding autor, e- mail: mcaviedes@usfq.edu.ec

Resumen

En el Ecuador el maíz, el trigo y el arroz, son los cereales de mayor importancia y consumo para la población ecuatoriana. La producción de maíz está orientada al consumo humano y como materia prima en la elaboración de balanceados para la agroindustria; la demanda de maíz para este tipo de alimento se estima ser 1,46 millones de toneladas que cubre las necesidades para la producción principalmente de pollos, pavos, huevos y carne de cerdo. El maíz amarillo duro que se siembra y produce en la costa o litoral, abarca una superficie de 311 615 ha con una producción estimada de 1,23 millones de toneladas. El maíz para consumo humano se cultiva en la sierra y se caracteriza por su variación en cuanto a texturas, colores, contenidos de almidones, antioxidantes y usos, en una superficie de 79 018 ha y una producción estimada de 21 812 t. Los mayores niveles de productividad para el maíz amarillo duro se obtienen en las provincias de los Ríos y Guayas con un rendimiento promedio de 4,5 t ha⁻¹ y en la sierra, para los tipos harinosos, en las provincias de Chimborazo e Imbabura con un rendimiento promedio de 1,74 t ha⁻¹. Los precios de la semilla generada por el INIAP varían dependiendo del tipo de maíz. El maíz híbrido cuenta con un precio promedio de USD 70,40 (16 kg) y las variedades de polinización libre con un precio de USD 96,25 (25-30 kg). El precio de sustentación fijado por el gobierno para el año 2022 para el maíz amarillo duro fue de USD 15,57 por quintal (45,45 kg) con 13% de humedad y 1% de impurezas. Las importaciones de maíz amarillo duro para el año 2022 fueron de 100 784 t provenientes principalmente de Argentina, Estados Unidos y Tailandia.

Palabras claves: Maíz, Importaciones, Precios, Productores, Rendimiento, Semilla.

Abstract

In Ecuador, corn, wheat and rice are the most important and consumed cereals. Corn production is oriented towards human consumption and as a raw material for the production of animal feed. The demand of corn for this type of food is estimated to be 1.46 million t which covers the needs for the production of eggs, poultry, turkey and pork meat. The hard yellow corn is sown on the coast region and covers an area of 311 615 ha and has an estimated production of 1, 23 million t. On the other hand, corn for human consumption is sown in the highlands and it is characterized by its variation in terms of textures, colors, starch and antioxidant content and uses. Its production is estimated of 21 812 t and uses an area of 79 018 ha. The highest levels of productivity for hard yellow corn are obtained in the provinces of Los Ríos and Guayas with an average yield of 4,5 t ha⁻¹ meanwhile, for highland (floury) types, is reached in the provinces of Chimborazo and Imbabura with an average yield of 1,74 t ha⁻¹. The prices of the seed generated by the INIAP vary depending on the type of corn. Thus, hybrid corn has an average price of USD 70.40 (16 kg) meanwhile for open-pollinated varieties the price is USD 96,25 (25-30 kg). In this year (2022), the price support for hard yellow corn set by the government is USD 15,57 per quintal (45,45 kg) and containing up to 13% of moisture and 1% impurities. Imports of hard yellow corn in the year 2022 are so far 100 784 t and they come mainly from Argentina, the United States and Thailand.

Keywords: Corn, Imports, Prices, Producers, Yield, Seed.

Introducción

En el Ecuador el maíz, junto con el trigo y el arroz son los cereales de mayor importancia para la alimentación de los ecuatorianos. El cultivo y la producción de maíz se orienta al consumo humano y como materia prima para la elaboración de alimentos balanceados para diferentes especies animales. De acuerdo con las estadísticas de la Asociación de Productores de Alimentos Balanceados del Ecuador (APROBAL, 2020), la demanda de maíz

para este tipo de alimentos, ha crecido, la cual está orientada especialmente para la producción de pollos, patos, huevos y carne de cerdo, y se la ha estimado en 1,46 millones de toneladas que cubren las necesidades para la producción de 260 millones de toneladas de pollos de engorde y de otras especies animales. El principal componente de estos alimentos es el maíz amarillo duro, que se siembra y produce en la Costa o Litoral y en la Amazonia ecuatoriana en una superficie de 311 615 ha con una producción estimada de 1,23 millones de toneladas (INEC, 2021), esta producción se encuentra principalmente localizada en las provincias de Los Ríos, Manabí y Guayas de la Costa ecuatoriana. Sin embargo, este nivel de producción no abastece las necesidades del país, por lo que se requiere importar aproximadamente entre 90 000 y 100 000 t de maíz amarillo duro anualmente. En la Sierra del Ecuador, se cultivan otros tipos de maíz, que están dirigidos al consumo humano, y que se ven reflejados en sus diferentes colores, texturas, contenidos de almidón, antioxidantes y usos alimenticios, los cuales son producidos principalmente en las provincias de Imbabura, Cotopaxi, Chimborazo, Bolívar y Azuay, en una superficie de 74 018 ha con una producción de 51 812 t en grano seco y de 22 205 t en choclo (MAG, 2020) (Zambrano et al., 2021). El maíz es de alto consumo en el Ecuador, tanto para ingesta directa o en carne de pollo, cuyo consumo anual estimado es de 35 kg por persona (AFABA, 2020) y el de grano seco y choclo de 14,5 kg por persona al año (Zambrano et al., 2021).

Por otra parte, otros tipos de maíz como el forrajero, es utilizado para la alimentación del ganado bovino, el cual tiene una productividad de 46 t ha⁻¹ en forraje verde y de 20 t ha⁻¹ en materia seca (Zambrano et al., 2021). Así mismo, merece especial mención, el desarrollo y producción de variedades de maíz de grano negro o morado, porque además de presentar varios nutrientes, contiene antocianinas, lo que le hace que sea un producto de gran potencial para el suministro de colorantes y antioxidantes naturales (Caviedes, 2020) (Yáñez et al., 2017).

Producción de Maíz

La producción de maíz, requiere de adecuadas prácticas de manejo agronómico; en las que sobresalen, el uso de semilla de calidad; un efectivo manejo de nutrientes y un eficiente control de plagas y enfermedades, que garanticen una buena producción, y productividad, y un retorno económico significativo en función de la inversión realizada en el cultivo

(Villavicencio & Zambrano, 2014). La producción y superficie cosechada de maíz en el Ecuador, se presenta en la Tabla 1, con una producción estimada de 1.36 millones de toneladas y una superficie sembrada de 355 912 ha. En el caso del maíz duro, las provincias con mayor volumen de producción son: Los Ríos, Manabí y Guayas; las cuales aportan con el 85.10% de la producción y un volumen de 1,17 millones de t. La demanda de maíz amarillo duro por la agroindustria, se estima en alrededor de 1,46 millones de t; por esta razón, la producción de estas tres provincias cubre un 80,77% de esta demanda.

Tabla 1. Producción y superficie cosechada de maíz (grano seco) en el Ecuador 2021.

Provincia	Superficie cosechada (ha)	Producción (t ha ⁻¹)	Porcentaje participado
Los Ríos	144 109	642 761	42,2%
Manabí	90 749	280 757	26,6%
Guayas	55 511	247 712	16,3%
Loja	21 246	61 094	4,0%
Resto de provincias	44 297	126 302	10,9%
Total	355 912	1 358 626	100,0%

Fuente: (INEC, 2021) (CFN, 2021).

En la Tabla 2, se presenta la producción y superficie cosechada de maíz suave en grano seco, con registros de 82 700 t y 74 018 ha respectivamente. Las provincias que más aportan a esta producción son: Chimborazo, Bolívar e Imbabura que contribuyen con el 56,67% de la producción y un volumen de 46 948 t.

Tabla 2. Producción y superficie cosechada de maíz suave (grano seco) Ecuador 2021.

Provincia	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)
Bolívar	24 000	20 160
Imbabura	5 600	8 400
Cotopaxi	8 845	8 314
Chimborazo	9 240	18 388
Azuay	5 643	5 361
Cañar	2 369	1 374
Resto de provincias	18 321	20 703
Total	74 018	82 700

Fuente: (MAG,2021) (Zambrano et al, 2021).

En la Figura 1 se presenta la producción de maíz en grano seco con 13% de humedad y 1% de impurezas en el Ecuador en el período 2016-2020. Los años con mayor volumen de producción fueron los del 2017 y 2019, que puede atribuirse a las buenas condiciones agroclimáticas que favorecieron el incremento de la producción nacional. Sin embargo, al comparar los años 2020 y 2019, se muestra una disminución del 12,58%, debido a la mayor incidencia de plagas que afectaron el desarrollo y ciclo del cultivo. Así mismo, si se compara, la producción nacional en el período 2016-2020, el incremento de la producción fue del 14,61%, lo que puede atribuirse al uso de semilla híbrida certificada y a un mejor precio de sustentación, lo que permitió cubrir de mejor manera la demanda y disminuir el volumen de las importaciones.

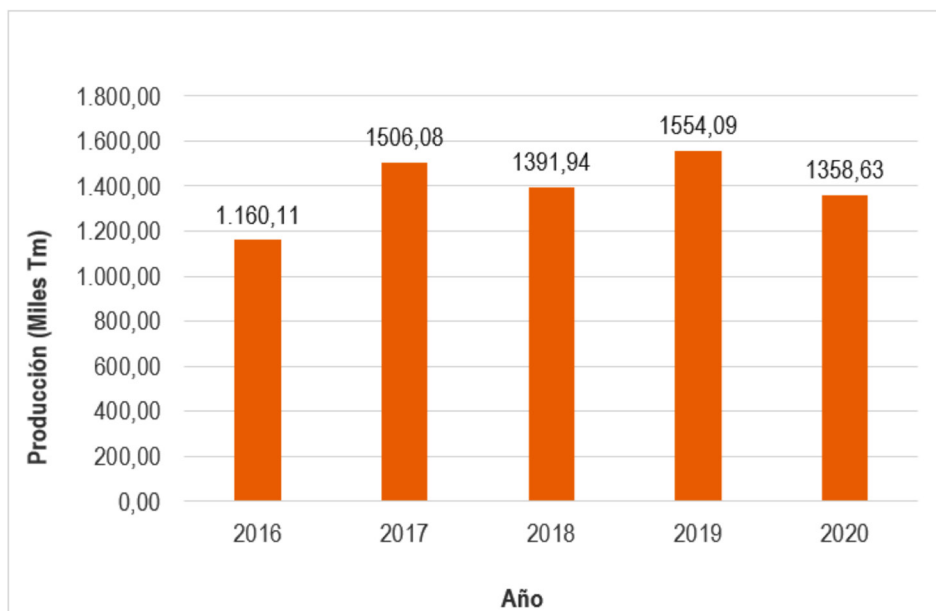


Figura 1. Producción de maíz (grano seco) en el Ecuador 2016-2020.

Fuente: (INEC, 2020) (CFN, 2021).

Productividad de Maíz

Los niveles de productividad del maíz amarillo duro, se presentan en la Figura 2; en el que se visualiza que, en las provincias de Los Ríos y Guayas, se obtiene el mayor rendimiento ($4,5 \text{ t ha}^{-1}$), que puede ser atribuido principalmente a la adopción y uso de semilla híbrida y de tecnología para la producción (Sánchez & Fernández, 2020). Los rendimientos en las provincias de Manabí, Loja y el resto de provincias disminuyen en un 31,1% y 35,5% respectivamente, en relación con las provincias con mayor productividad. Esta reducción en la productividad, podría atribuirse a la menor disponibilidad de recursos económicos y acceso a la tecnología que tienen los pequeños productores que ofertan parte de la producción de maíz en estas provincias.

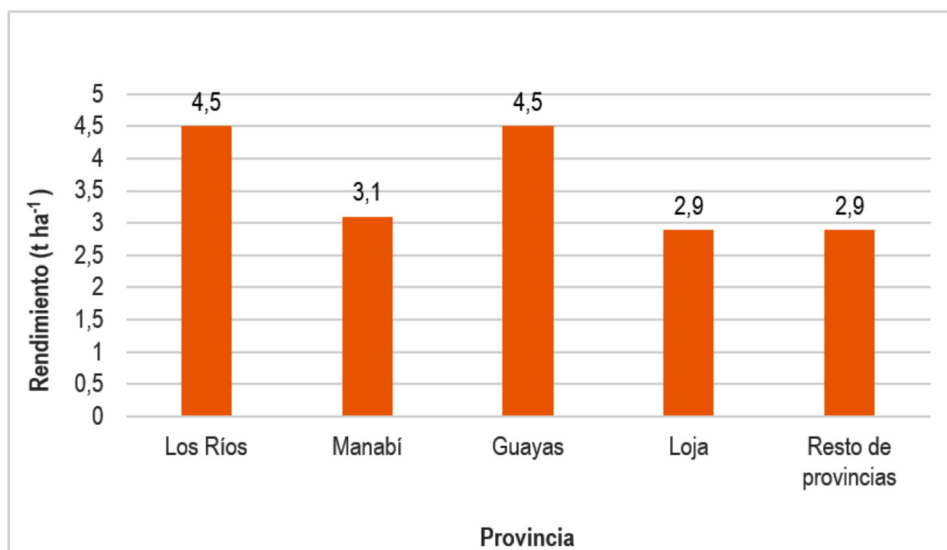


Figura 2. Productividad de maíz amarillo duro (grano seco) Ecuador 2021

Fuente: (INEC, 2021) (CFN, 2021).

En la sierra del Ecuador las principales provincias productoras son Bolívar, Imbabura, Cotopaxi, Chimborazo, Azuay y Cañar cuyo proceso productivo está en manos de pequeños agricultores con un tamaño promedio de predio de 3,3 has y un número de unidades productivas agropecuarias (UPA) que representan el 88,7% de los predios con un rango de tamaño de predio entre 1 y menos de 20 has (MAGAP, 2016). Esta realidad económica-social se ve reflejada en la baja productividad de maíz suave grano seco (Figura 3). Los mayores rendimientos se obtienen en las provincias de Chimborazo e Imbabura con productividades de 1,99 y 1,50 t ha⁻¹, que superan en un 41,2% y 34,67% respectivamente, al rendimiento promedio que se obtiene en las cuatro provincias del centro-sur de la sierra.

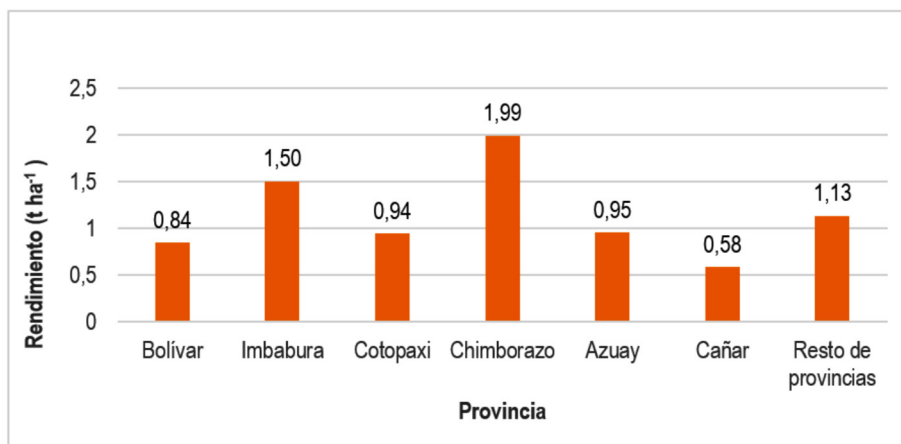


Figura 3. Productividad maíz (grano seco) Sierra del Ecuador 2021

Fuente: (MAG, 2021) (Zambrano et al, 2021).

Precios del Maíz

Los precios de maíz amarillo duro (grano seco) en el Ecuador en el período 2016-2022 se presentan en la Figura 4. Los precios más altos se fijaron en los años 2017 y 2022 con USD 16,46 y 15,57 respectivamente y el mínimo en el 2018 con USD 14,38 (Zambrano y Andrade, 2021; MAG, 2022). Estas variaciones pueden ser atribuidas a que el precio está regulado y es definido por el gobierno anualmente de común acuerdo con los diferentes actores de la cadena de producción y procesamiento.

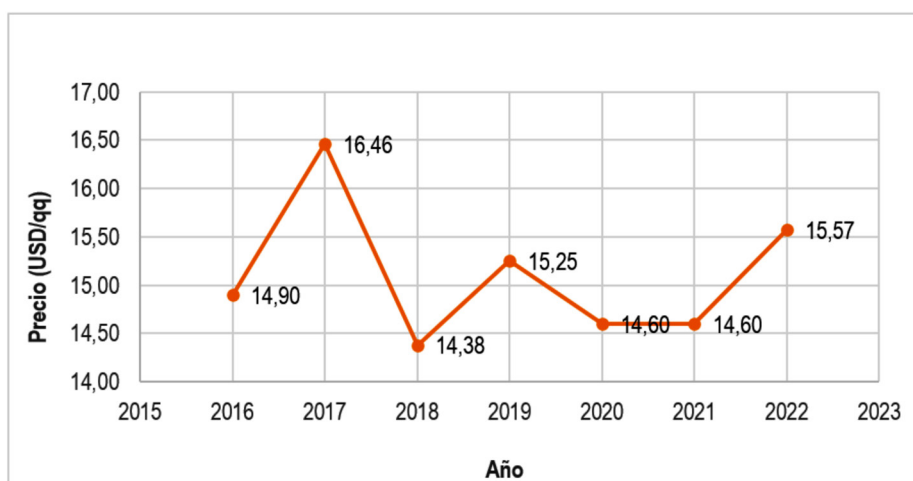


Figura 4. Precios maíz amarillo duro (grano seco) Ecuador 2016-2022.

Fuente: (Zambrano & Andrade, 2021) (MAG, 2022).

Un componente importante que garantiza una buena producción y productividad es el uso de semilla certificada. En la Tabla 3 se presenta los precios de maíz de híbridos y variedades generadas por el INIAP. Para los híbridos se presentan valores de entre 3,40 y 5,00 USD/kg y para sus parentales de entre 12 y 20 USD/kg (INIAP, 2022). En el caso de las variedades, el precio no tiene variación independientemente de la textura y el color del grano (USD 3,50). La diferencia de precios entre los dos tipos de materiales mejorados se atribuye a los niveles de productividad que es muy superior en los híbridos y a los costos relacionados con la generación de sus parentales y su semilla.

Tabla 3. Precios de semilla de maíz de híbridos y variedades INIAP-Ecuador 2022.

Híbrido/Variedad	Precio (USD/kg)	Cantidad semilla (kg)	Precio total (USD)
INIAP-H-601	3,40	16	54,40
INIAP-H-603	4,80	16	76,80
INIAP-H-554	5,00	16	80,00
PARENTALES INIAP-H-601	12,00	16	192,00
PARENTALES INIAP-H-603	15,00	16	240,00
PARENTALES INIAP-H-554	20,00	16	320,00
INIAP-180	3,50	25	87,50
INIAP-101	3,50	30	105,00
INIAP-122	3,50	30	105,00
INIAP-199	3,50	25	87,50

Fuente: (INIAP, 2022)

Importaciones de Maíz

La Tabla 4 presenta los volúmenes de importaciones de maíz amarillo duro, así como los valores FOB y CIF para el período 2017-2022. Los volúmenes para el primer semestre del año 2022 se incrementaron en un porcentaje

del 56,75% en relación al año 2021, este incremento puede atribuirse a la estacionalidad de la producción de maíz en el litoral ecuatoriano (cosecha abril-mayo) y a una disminución de la oferta por problemas asociados con la disponibilidad de agua y el ataque de plagas. Argentina y Estados Unidos son los principales países origen de las importaciones; y a partir del 2019, Tailandia es el país de origen con mayor volumen de importación, con un valor FOB de 21 813 millones de dólares (CFN, 2021).

Tabla 4. Importaciones de maíz amarillo duro en Ecuador.

Año	Volumen (t)	Valor FOB (miles USD)	Valor CIF (miles USD)
2017	78.578	13.739	16.284
2018	57.309	9.174	10.990
2019	27.585 ^[3]	4.985	5.790
2020	49.254	9.097	10.798
2021	57.200	12.113	15.109
2022	100.784	25.368	33.896
Total	370.710	74.476	92.867

[2] Importaciones provenientes de Argentina y Estados Unidos.

[3] Importaciones provenientes de Estados Unidos.

Fuente: Banco Central del Ecuador: año 2022 acumulado a febrero.

Conclusiones

- La producción de maíz en el Ecuador, se estima en 1,36 millones de toneladas, en una superficie de 355 912 ha.
- Las provincias con mayor volumen de producción de maíz amarillo duro son: Los Ríos, Manabí y Guayas, las cuales aportan con 1,17 millones de toneladas a la producción nacional.
- La demanda de maíz amarillo duro por la agroindustria, se estima en 1,46 millones de toneladas anuales.

- La producción y superficie cosechada de maíz suave en seco, se estima en 82.700 toneladas y 74 018 hectáreas respectivamente.
- Las provincias con mayor aporte a la producción de maíz suave en seco son: Chimborazo, Bolívar e Imbabura con un volumen de 46 948 toneladas.
- Los mayores niveles de productividad de maíz amarillo duro se presentan en las provincias de Los Ríos y Guayas con 4,5 t ha⁻¹.
- En la Sierra, las provincias con mayor productividad son Chimborazo e Imbabura con 1,99 y 1,50 t ha⁻¹ respectivamente.
- Los precios de maíz amarillo duro en grano seco más altos se fijaron en los años 2017 y 2022 con valores de USD 16,46 y de USD 15,57 por quintal (45,45 kg) respectivamente.
- Los precios de la semilla de cultivares mejorados generados por el INIAP, varían entre USD 3,40 y USD 5,00 por kilo para los híbridos y de USD 3,50 por kilo para las variedades de libre polinización.
- Los principales países de origen de las importaciones de maíz amarillo duro, son Argentina, Estados Unidos y Tailandia.

Referencias

- AFABA. (2020). Asociación Ecuatoriana de Alimentos Balanceados para animales. Recuperado de <https://www.afaba.org>
- APROBAL. (2020). Estadísticas de producción de alimentos balanceados. Asociación de productores de Alimentos Balanceados. Recuperado de <https://www.aprobal.org>
- BCE. (2022, febrero). Importaciones de maíz amarillo duro. Banco central del Ecuador
- Caviedes, M. (2019). Producción de Semilla de Maíz Duro. Avances En Ciencias E Ingenierías, 11(1).
- Caviedes, M. (2022). Avances de la academia en el desarrollo de nuevas variedades de plantas: caso maíz negro. Memorias: Primer Simposio De Genética Y Genómica en el Ecuador. (25)
- CFN. (2021). Ficha Sectorial Cultivo de Maíz. Subgerencia De Análisis De Productos Y Servicios Corporación Financiera Nacional B.P.
- INEC. (2021). Boletín Técnico. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Recuperado en mayo 2021 de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>

- INIAP. (2022). Precios de semilla de maíz de híbridos y variedades. Dirección de Producción, Comercialización y Servicios Especializados. INIAP. Recuperado de <https://repositorio.iniap.gob.ec>
- MAGAP. (2016). El Sector Agropecuario Ecuatoriano: Análisis Histórico y Prospectiva a 2025. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
- MAG. (2021). Cifras Agro productivas. Sistema de Información Agropecuaria (SIPA). Recuperado de <https://www.sipa.agricultura.gob.ec>
- MAG. (2022). Acuerdo Ministerial febrero. Productores de Proteína Animal. Consejo Consultivo de la Cadena Agroalimentaria de Maíz Amarillo. Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Sánchez, V. & Fernández, J. (2020). Efecto de los paquetes tecnológicos en la productividad del maíz en el Ecuador. *Revista Latinoamericana de Economía*. 1(203)
- Velásquez, J., Montero, A., & Tapia, C. (2008). Semillas. Tecnología de Producción y Conservación. INIAP.
- Villavicencio, P. & Zambrano, J.L. (2014). Guía para la producción de maíz amarillo duro en la zona central del Litoral. Estación Experimental Tropical Pichilingue INIAP. Programa de Maíz. Boletín Divulgativo. (353). Recuperado de <https://www.repositorio.iniap.gob.ec>
- Yáñez, C., Zambrano, J.L., Caicedo, M., Heredia, J., Sangoquiza, C., Villacrés, E., Racines M., & Caballero, D. (2017). INIAP -199. "Racimo de Uva" Variedad de Maíz Negro. Plegable Divulgativo. (20). INIAP. Recuperado de <https://repositorio.iniap.gob.ec>
- Zambrano, J.L., Velásquez, J., Peñaherrera, D., Sangoquiza, C., Cartagena, Y., Villacrés, E., Garcés, S.; Ortiz, R., León, J, Campaña, D., López, B., Asaquibay, C., Nieto, N., Sanmartín, G., Pintado, P., Yáñez, C., & Racines, M. (2021). Guía para la producción sustentable de maíz en la sierra ecuatoriana. Manual INIAP. (122).
- Zambrano, C. & Andrade, A. (2021). Productividad y precios del maíz duro pre y post Covid-19 en el Ecuador. *Universidad y Sociedad*. 3(4). Recuperado de <https://scielo.sld.cu>
-

Influencia de tres densidades de siembra y cuatro niveles de fertilización nitrogenada en maíz INIA 612 - Maselba

Influence of tree planting densities and four levels of nitrogen fertilization in corns INIA 612 - Maselba

**Rodrigo Gonzales Vega, Walker Augusto Cubas Pérez ¹,
Christian Córdova Díaz²**

¹ Ing. Agrónomo, Instituto Nacional de innovación Agraria INIA, Calle San Roque, N° 209, San Juan Bautista, Maynas, Loreto. rgonzalesv@inia.gob.pe
wacupe49@gmail.com

² Ing. Agrónomo, Asistente de Investigación PN. Maíz, INIA.

RESUMEN

El experimento se condujo en el Campo Experimental San Miguel de la EEA. San Roque del INIA - Loreto, con el objetivo de determinar el efecto de diferentes densidades de siembra y niveles de fertilización nitrogenada en el rendimiento de grano de maíz amarillo duro, variedad INIA 612 – MASELBA; en condiciones de suelos aluviales de restinga inundable. En el año 2019, se evaluaron tres densidades de siembra: 50 000 plantas/ha, 62 500 plantas/ha, y 75 000 plantas/ha; y cuatro niveles de fertilización nitrogenada: 0; 45; 90 y 135 kg de N/ha. Los resultados indican que la mejor densidad, fue de 9.2 toneladas de grano por hectárea. El mejor nivel de fertilización fue 90 kg N/ha, 8.1 toneladas de grano por hectárea. Los mejores rendimientos fueron con los niveles de 90 y 135 kg de N/ha; 9.7 y 9.6 toneladas de grano por hectárea, respectivamente. La interacción densidad por nivel de fertilización nitrogenada, influye en el rendimiento de grano, observándose que la variedad INIA 612 - MASELBA soporta poblaciones de 75 000 plantas/ha.

Palabras Claves: Maíz, densidad de siembra, nitrógeno, rendimiento.

ABSTRACT

The experiment was conducted in the San Miguel experimental Field of the EEA San Roque of de INIA – Loreto, with the objective of determining the effect of different planting densities and levels of nitrogen fertilization of grain yield of hard yellow corn, variety INIA 612- Maselba; in alluvial soil conditions of floodable restinga. In 2029, tree planting densities were evaluated: 50 000 plants/ha, 62500 plants/ha y 75000 plants ha; and four levels of nitrogen fertilization 0; 45; 90 y 135 kg de N/ha. The results indicate that the best density was 9.2 tons of grain per hectare. The best level of fertilization was 90 kg N/ha, 8.1 tons per grain per hectare. The best levels. The best yields were whit the levels of 90 and 135 kg de N/ha; 9.7 y 9.6 tons of grain per hectare, respectively. The interaction density by level of nitrogen fertilization influences grain yield, observing that variety INIA 612- MASELBA, supports populations of 75 000 plantas/ha.

Keywords: Corn, planting density, nitrogen, yield.

INTRODUCCIÓN:

La planta de maíz es sumamente competitiva por lo que requiere que su distribución en la superficie del suelo sea adecuada, es decir, se necesita que la densidad óptima para un cultivo en una región determinada tenga un arreglo espacial en el suelo de manera que permita un óptimo desarrollo de la máxima cantidad de plantas (sin competencia entre ellas), expresando su mayor potencial de rendimiento. Dentro del concepto de densidad de siembra, la óptima está en función de la variedad y de la condición del suelo. (Cabrera, 1999).

Andrade, et al. (1992), indican que el cultivo de maíz presenta poca plasticidad en el rendimiento por planta frente a variaciones de densidad, el cual disminuye en densidades supra óptimas, recomendando prestar especial atención a la densidad poblacional de este cultivo, adecuando la misma a las condiciones edafo-climaticas de las regiones.

El uso eficiente del nitrógeno (N), depende también del uso adecuado del número de plantas por hectárea. Una población optima proporciona suficiente superficie foliar para aprovechar al máximo la luminosidad, así como otros factores de la producción. La distribución de las plantas dentro

de la plantación es otro factor que afecta la respuesta del maíz al N. El fertilizante nitrogenado común es la urea. (INIAP, 1995).

El presente ensayo se realizó con el objetivo de determinar el efecto de diferentes densidades de siembra y niveles de fertilización nitrogenada en el rendimiento de grano de maíz amarillo duro, variedad INIA 612 – MASELBA; en condiciones de suelos aluviales de restinga inundable.

MATERIAL Y MÉTODOS:

El experimento se condujo en el Campo Experimental, San Miguel de la EEA. “San Roque” – Loreto – INIA, en el año 2019. Las condiciones de clima para el período de desarrollo del Trabajo (junio a noviembre 2019) fueron, T° máxima 31.2° C, T° mínima 21.8° C, precipitación 1223.7mm y una humedad relativa promedio de 84%. (SENAMHI – Estación Meteorológica Ordinaria San Roque – Iquitos).

Se utilizó semilla clase certificada, categoría certificada de maíz amarillo duro INIA-612 MASELBA. Urea agrícola 46% N (fuente nitrogenada). Se usó el diseño de Bloques Completos al Azar en parcelas divididas. EL factor densidad se estudió en parcelas con tres niveles y el factor nitrógeno en subparcelas con 4 niveles; en cuatro repeticiones. El método de siembra fue directo, depositando 5 granos de semilla por sitio que luego del raleo quedaron 2 y 3 plantas, de acuerdo al diseño experimental. La primera fertilización fue 50% del nitrógeno a los 20 días después de la siembra (dds) y la segunda a los 40 dds; y de acuerdo a los niveles de estudio. La cosecha se realizó cuando las plantas presentaron mazorcas con granos maduros con una humedad de 18-22%. La variable principal del estudio, fue el rendimiento de grano. Los datos se analizaron en el software SPSS, 11.5. En la Tabla N° 1, se presentan los factores en estudio.

Tabla N° 1. Factores en Estudio

Factor	Nivel	Clave
Densidad	0.80 m x .050m x 2 plantas	D1
	0.80 m x .060m x 3 plantas	D2
	0.80 m x .050m x 3 plantas	D3
Nitrógeno	0 kg N/ha	N1
	45 kg N/ha	N2
	90 kg N/ha	N3
	135 kg N/ha	N4

RESULTADOS

En la Tabla N° 2, Figura 1; aparecen los resultados del efecto principal Densidad de siembra para la variable rendimiento de grano. Con la densidad 0.80m x 0.50 con 3 plantas (75 000 plantas/ha) se logró obtener el mejor rendimiento, 9.2 t/ha, superando significativamente a las otras dos densidades estudiadas; que alcanzaron 7.5 y 6.1 t/ha, respectivamente.

Tabla N° 2. Prueba de Duncan (< 0.05). Rendimiento de grano, t/ha, según densidades de siembra.

Tratamientos	Densidades de siembra	Rendimiento de grano (t/ha)	Duncan (<0.05)
D3	0.80 m x .0.50m x 3 plantas	9.2	a
D2	0.80 m x .0.60m x 3 plantas	7.5	b
D1	0.80 m x .0.50m x 2 plantas	6.1	c

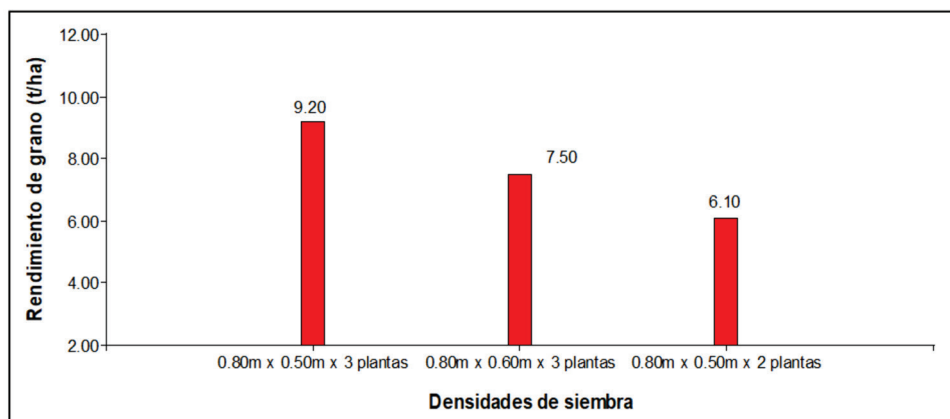


Figura N° 1. Promedios de rendimiento de grano en tres densidades de siembra.

En la Tabla N° 3, figura 2; se presentan los resultados del efecto principal niveles de fertilización nitrogenada, para la variable rendimiento de grano. Con los niveles de 90 y 135 kg N/ha, se obtuvieron los mejores rendimientos de grano, 8.1 y 8.0 t/ha; superando significativamente al nivel 0 Kg N/ha, que alcanzó un rendimiento de 6.9 t/ha.

Tabla N° 3. Prueba de Duncan (< 0.05). Rendimiento de grano, t/ha, según niveles de fertilización nitrogenada

Niveles de Nitrógeno kg/ha	Rendimiento de grano (t/ha)	Duncan (< 0.05)
90	8.1	a
135	8.0	a
45	7.4	Ab
0	6.9	b

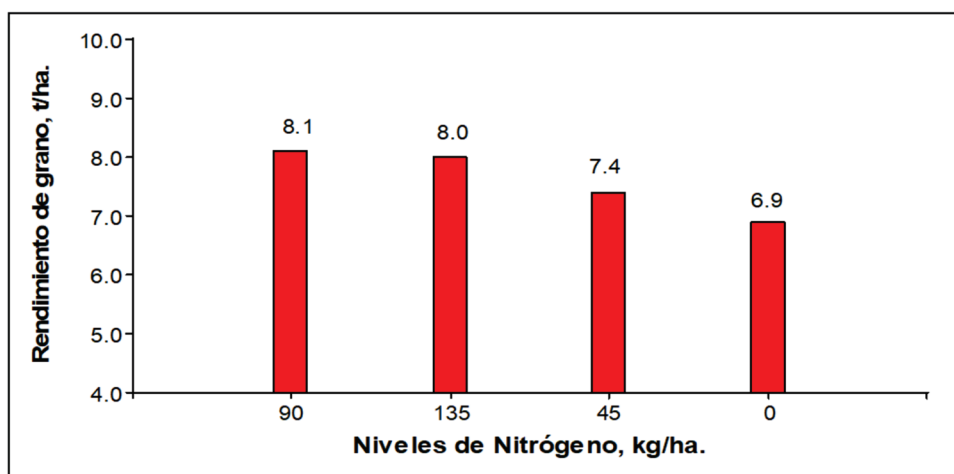


Figura N° 2. Promedios de rendimiento de grano en cuatro niveles de nitrógeno.

En la Tabla N° 4, Figura 3; se muestran los resultados de la interacción densidad de siembra por niveles de fertilización nitrogenada para variable rendimiento de grano. Con la densidad de 0.80m x 0.50m con 3 plantas por sitio y con 90 y 135 kg N/ha, alcanzaron rendimientos de 9.7 y 9.6 t/ha; superando significativamente a las otras interacciones estudiadas.

Tabla N° 4. Prueba de Duncan (< 0.05). Rendimiento de grano, t/ha, según interacciones densidad de siembra por niveles de fertilización nitrogenada

Tratamientos	Niveles de Nitrógeno kg/ha	Rendimiento de grano (t/ha)	Duncan (<0.05)
D3N3	0.80m x 0.50m x 3 plantas - 90 kg N/ha	9.7	a
D3N4	0.80m x 0.50m x 3 plantas - 135 kg N/ha	9.6	a
D3N2	0.80m x 0.50m x 3 plantas - 45 kg N/ha	9	a b
D3N1	0.80m x 0.50m x 3 plantas - 0 kg N/ha	8.5	bc
D2N3	0.80m x 0.60m x 3 plantas - 90 kg N/ha	8.1	cd
D2N4	0.80m x 0.60m x 3 plantas - 135 kg N/ha	7.9	cd
D2N2	0.80m x 0.60m x 3 plantas - 45 kg N/ha	7.4	de
D2N1	0.80m x 0.60m x 3 plantas - 0 kg N/ha	6.7	ef
D1N3	0.80m x 0.50m x 2 plantas - 90 kg N/ha	6.5	f
D1N4	0.80m x 0.50m x 2 plantas - 135 kg N/ha	6.4	f
D1N2	0.80m x 0.50m x 2 plantas - 45 kg N/ha	5.9	fg
D1N1	0.80m x 0.50m x 2 plantas - 0 kg N/ha	5.5	g

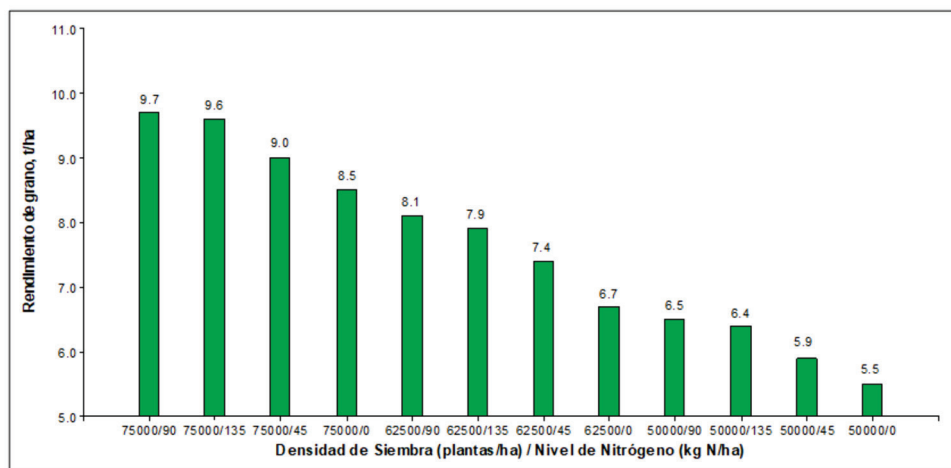


Figura N° 3. Promedios de rendimiento de grano, según interacciones densidad de siembra por niveles de fertilización nitrogenada.

DISCUSIÓN:

Los rendimientos de grano encontrados con la densidad 0.80m x 0.50m con 3 plantas por sitio y con 90 y 135 kg N/ha, alcanzaron rendimientos de 9.7 y 9.6 t/ha; similar a los resultados encontrados por el INTA – Nicaragua, (1999); quien estudio tres densidades poblacionales 25 000, 57 840, y 77 120 plantas/ha, determinando que la densidad equivalente a 57 840 plantas/ha, inducen mayores rendimientos de grano.

Dado los resultados de rendimiento de grano encontrados con los niveles de fertilización nitrogenada; 90 kg N/ha (8.1 t/ha), 135 kg N/ha (8.0 t/ha), 45 kg N/ha (7.4 t/ha), y 0 kg N/ha (6.9 t/ha), se puede evidenciar que hay una buena tendencia de respuesta por encima de los 45 kg de N/ha, siendo el más recomendable 90 kg N/ha (196 kg de urea), similar a los resultados encontrados por López (2010), quien en evaluaciones realizadas con dosis de 0, 135, 200, 250 kg/ha de urea, obtuvo rendimientos de 5.62, 6.00, 6.54, 6.81 t/ha, manifestando que la dosis de 200 – 250 kg/ha de urea, presentaron buena respuesta en el rendimiento.

CONCLUSIONES:

1. La densidad de 0.80m X 0.50m con 3 plantas por sitio (75 000 plantas/ha), obtuvo el mayor rendimiento, 9.2 t/ha.
 2. El mejor nivel de fertilización nitrogenada, fue con 90 kg N/ha, 8.1 t/ha.
 3. En las interacciones (DxN), los mejores rendimientos de grano, se lograron con 0.80m x 0.50m con 3 plantas por sitio (75 000 plantas/ha) y con 90 y 135 kg de N/ha, 9.7 y 9.6 t/ha de maíz
 4. La interacción densidad por nivel de fertilización nitrogenada, influye en el rendimiento de grano, observándose que la variedad INIA 612 - MA-SELBA soporta poblaciones de 75 000 plantas/ha.
-

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, H.F.; F.A. Margiotta, R. M. Martínez; P. Heiland; S. Uhart; A. Cirilo y M. Furgone. 1999. Densidad de plantas en maíz. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. Boletín Técnico N°108. Argentina.
- Cabrera, S. R., 1999. Siembra mecanizada. Densidad de población. Densidad óptima. p. 100-110. En. VI curso sobre producción de maíz. ASO-PORTUGUESA-FONAIAP. Venezuela.
- INIAP. 1995. Manejo de la Fertilización en Maíz Duro, Manual Técnico N° 28, EE Tropical Pichilingue. Agosto 1995. 31p. Ecuador.
- INTA. 1999. Densidades de siembra de maíz para las condiciones del trópico húmedo y suelos ácidos. Nicaragua. http://www.unica.org.ni/docs/gran_basic_04.pdf. (Consultado 21 de setiembre, 2012).
- López, R., 2010. Informe de aplicación de tres dosis de nitrógeno 46% (Urea) en maíz a secano. Bolivia. <http://es.escribd.com/doc/68134643/informe-de-aplicación-de-tres-dosis-de-nitrógeno-46-UREA-en-MAIZA-SECANO>. (Consultado 21 de setiembre, 2012).
-

La nueva variedad de Maíz Chulpi “INIAP-193”

**Carlos F. Yáñez¹, José L. Zambrano^{1*}, Carlos A. Sangoquiza¹,
Marcelo R. Racines², Victoria Lopez³,
César Asaquibay⁴, María Nieto⁵**

¹INIAP, Programa de Maíz, Estación Experimental Santa Catalina, Mejía, Ecuador

²INIAP, Departamento de Planificación, Estación Experimental Santa Catalina,
Mejía, Ecuador

³INIAP Unidad de Desarrollo Tecnológico Cotopaxi

⁴INIAP Unidad de Desarrollo Tecnológico Chimborazo

⁵INIAP Unidad de desarrollo Tecnológico Imbabura

*Autor para correspondencia/Corresponding Author,
e-mail: josezambrano@iniap.gob.ec

Resumen

El Maíz Chulpi se cultiva en las zonas maiceras de la sierra ecuatoriana. Esta variedad ha sido usada por la población andina para la preparación de alimentos y bebidas. Actualmente su consumo es en forma de snacks (maíz tostado) y en conjunto con otros maíces se utiliza para la elaboración de bebidas en rituales indígenas. Se cultiva en alturas que van desde los 2 200 a 2 900 m s.n.m. Su grano es aplanado y arrugado con endospermo dulce. Los trabajos de mejoramiento se iniciaron en el 2006, en el que se realizaron 27 colectas en cuatro provincias de la sierra ecuatoriana. Para generar la variedad se llevó a cabo un mejoramiento poblacional utilizando el método de selección de Medios Hermanos (MH), modalidad familias mazorca por surco. Se realizaron 10 ciclos de selección en los cuales se obtuvieron rendimientos que variaron desde 2,0 hasta 4,0 t ha⁻¹ dependiendo de la altitud y de las regiones donde se cultiva y un diferencial de selección constante por año de 0,5 t ha⁻¹. Las diferentes variables utilizadas en la descripción de la variedad fueron tomadas en 200 plantas al azar. Las mazorcas son cortas principalmente cónicas, con 14 a 22 hileras irregulares, en espiral o rectas. Tusas grandes, generalmente blancas. El pericarpio es de color amarillo anaranjado claro. Las plantas son altas con tallos de color violáceo claro a oscuro, de hojas anchas de color rojizo y púrpura claro.

Palabras clave: maíz dulce, mejoramiento genético, adaptabilidad, diversidad genética, germoplasma

Abstract

Chulpi corn is grown in the corn-producing areas of the Ecuadorian highlands. This variety has been used by the Andean population for the preparation of food and drinks. Currently its consumption is in the form of snacks (roasted corn) and together with other corn it is used to make drinks in indigenous rituals. It is cultivated at altitudes ranging from 2 200 to 2 900 m s. n. m. Its grain is flattened and wrinkled with a sweet endosperm. The improvement works began in 2006, in which 27 collections were made in four provinces of the Ecuadorian highlands. To generate the variety, a population improvement was carried out using the Half Sibling (MH) selection method, family modality ear by row. 10 selection cycles were carried out in which yields were obtained that varied from 2,0 to 4,0 t ha⁻¹ depending on the altitude and the regions where it is cultivated and a constant selection differential per year of 0,5 t. ha⁻¹. The different variables used in the description of the variety were taken from 200 random plants. The ears are short, mainly conical, with 14 to 22 irregular, spiral or straight rows. Large cob, usually white. The pericarp is light orange-yellow. Plants are tall with light to dark purplish stems, broad reddish and light purple leaves.

Keywords: sweet corn, genetic improvement, adaptability, genetic diversity, germplasm

Introducción

Los Andes constituyen una zona de agricultura tradicional que puede ser considerada como un MACROCENTRO de conservación de la biodiversidad de varios cultivos entre ellos los andinos como el maíz, la papa, etc. Esto se originó por el movimiento de las etnias desde el periodo prehispánico, la conquista de los incas junto a sus cultivos en la zona andina de Ecuador, Perú, Bolivia hasta el norte argentino y chileno. Se estima que la biodiversidad del maíz específicamente se ha concentrado en algunos microcentros definidos en un área geográfica donde la conservación es sostenible en el tiempo, en el espacio, dentro y entre familias. Esto sin duda ha dado origen a la formación desarrollo y conservación de las razas criollas de maíz (Yáñez *et al.*, 2011)

En la sierra del Ecuador el maíz es uno de los cultivos más importantes, debido a la superficie destinada para su cultivo y como componente básico de la dieta de la población ecuatoriana. La distribución de algunos de los tipos de maíces más cultivados en la sierra se debe a los gustos y costumbres de los agricultores. Así, en la sierra norte (Carchi, Imbabura y Pichincha) se cultiva principalmente maíces de grano amarillo harinoso, en la parte central (Tungurahua, Chimborazo y Bolívar se cultiva los maíces de grano blanco harinoso y en la sierra sur (Cañar y Azuay) el maíz blanco dentado o amorochado (Zambrano, *et al.*, 2021).

Actualmente, se han reconocido 29 razas de maíz en el Ecuador, de las cuales 17 pertenecen a la sierra, por lo que se considera a esta región como fuente de las mayores riquezas genéticas por unidad de superficie (Timothy, 1966).

El maíz Chulpi en el Ecuador

Aunque normalmente se lo encuentra escrito como “CHULPI”, la palabra original que viene del quechua de Ecuador, se escribe con doble L “CHULL-PI” (que significa callo) y es un tipo de maíz andino, casi imposible de masticarlo cuando está tierno (en mazorca), muy amarillo y crocante cuando se lo tuesta ya seco.

La primera referencia de este tipo de maíz se remonta al cronista colonial Padre Juan de Velasco, el mismo que indica que los maíces se dividían en varias categorías dentro de los cuales se señala al chulpi o maíz dulce, entre otros (Ayala, 2008). Según Martínez, (1904) divide a todas las variedades de maíz en dos grandes grupos: maíces suaves, y maíces duros o morochos. En el grupo de los duros incluye al chulpi señalándole como un cultivo restringido. Posteriormente Cordero, (1911), señala que entre las variedades comunes que se siembran en Cuenca está el chulpi o arrugado. En el año de 1960 en el libro “Las Razas de Maíz en el Ecuador”, se realiza la primera descripción botánica del maíz chulpi (Timothy, 1966). Luego Brandolini, (1963), llegó a identificar numerosos complejos raciales que coincidieron prácticamente con aquellos descritos por Timothy, entre los que se encontraba el maíz chulpi.

Entre 1979 y 1986 una misión del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y técnicos del Programa de Maíz de la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), realizaron varias colectas de maíz entre las que se incluyeron maíces tipo chulpi. En el año 2000 técnicos del Programa de Maíz del INIAP, realizaron una colecta a lo largo de la sierra del Ecuador,

obteniendo 101 accesiones de maíz entre las que se incluyeron varias accesiones de maíz chulpi (Yáñez, 2004). En el 2006, técnicos del Programa de Maíz de la EESC del INIAP y de La Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Politécnica del Chimborazo (ESPOCH) colectaron 97 accesiones: 67 de maíz negro y 26 de chulpi (Yáñez *et al.*, 2011).

El maíz dulce tipo chulpi, fue una mutación espontánea en los genes que controlan la conversión del azúcar en almidón en el endospermo del maíz silvestre y que actualmente es cultivado en varias regiones de América del Sur. Se caracteriza por presentar granos dulces y completamente arrugados cuando están maduros. Posee un gen recesivo en el cromosoma 4, el cual impide la conversión de algunos azúcares solubles en almidón (Sevilla, 1991; Paliwal, *et al.*, 2001).

Actualmente el chulpi que se comercializa y consume en el mercado nacional es en forma de grano frito, cocinado y en presentaciones dentro de bolsas empacadas al vacío para el segmento del mercado de “snacks”. También, se puede elaborar harina de chulpi, deshidratar o secar los granos. Además, es muy apreciado como un “snack especial” que se le puede añadir a ensaladas de vegetales y platos variados como acompañamiento (Zambrano, *et al.*, 2021).

Por otro lado, al igual que el maíz negro y otro tipo de maíces, culturalmente se encuentra ligado a las ceremonias religiosas indígenas del INTI RAYMI y del Yamor, utilizado principalmente como uno de los ingredientes en la preparación de la chicha para estas festividades y compartido en la Pampamesa (comida comunitaria o de todos) con otros alimentos andinos como el melloco el mote y las habas (Yáñez, 2011).

Con estos antecedentes el Programa de Maíz de la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) del INIAP estableció un programa de mejoramiento genético para generar una variedad de maíz chulpi con énfasis en mejorar la uniformidad del grano y el rendimiento; y de esta manera repotenciar el uso de variedades locales y apoyar a la conservación de los recursos filogenéticos con un enfoque de consumo urbano y agroindustrial.

Materiales y Métodos

En el proceso se utilizaron las familias seleccionadas durante cada ciclo de mejoramiento. Las localidades donde se realizó la selección fueron: Tunshi en la provincia de Chimborazo, Pastocalle en la provincia de Cotopaxi y Amaguaña en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP.

Para generar la variedad se llevó a cabo un mejoramiento poblacional, utili-

zando el método de selección de Medios Hermanos (MH), modalidad familias mazorca por surco (CIMMYT, 1999 y Paliwal, 2001). Para la descripción de la variedad se seleccionaron 200 plantas al azar, en las cuales se tomaron varias características, mediante el uso de 67 descriptores propuestos en el manual para la descripción de la variedad del CIMMYT-IBPGR (IBPGR, 1991), así como la tabla de colores de RHS (UPOV, 2018). Se estableció una fecha de siembra de la variedad, en la EESC del INIAP en el año 2020-2021.

Resultados y Discusión

Los trabajos de mejoramiento se iniciaron en febrero del 2006, con una colecta de 27 accesiones de maíz chulpi en cuatro provincias: Carchi (2), Imbabura (14), Pichincha (3) y Cotopaxi (8). El rendimiento promedio de las colectas evaluadas en el ciclo 2007-2008 en Tunshi-Chimborazo (INIAP, 2008), se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Rendimiento de colectas de maíz chulpi en la sierra ecuatoriana. EESC. 2022

Colectas	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Colectas	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Colectas	Rendimiento (t ha ⁻¹)
CDE-052	6,1	INIAP-192 (Testigo)	3,1	CDE-033	1,9
CDE-011	5,5	CDE-008	3	CDE-026	1,7
CDE-006	4,9	CDE-041	2,8	CDE-031	1,7
CDE-016	4,3	CDE-051	2,7	CIMMYT OR-06 (3) 16700	1,7
CDE-054	4,3	CDE-018	2,5	CDE-030	1,6
CDE-055	4,2	CIMMYT OR-06 (5) 23306	2,5	CDE-046	1
CDE-013	4,1	CDE-023	2,4	CDE-037	0,9
CDE-004	3,3	CDE-027	2,1	CDE-017	0,8
CDE-014	3,3	CDE-039	2,1	CDE-020	0,6
CDE-001	3,1	CDE-021	1,9	CDE-019	0,5
Promedio 2,7 t ha ⁻¹					

En la Tabla 2 se presentan los resultados de 10 ciclos de selección en años y localidades. En el ciclo agrícola 2008-2009 se inició el primer ciclo de mejoramiento en la localidad de Amaguaña de la EESC-Pichincha, donde se sembraron 120 familias y se seleccionaron 74 familias, con un promedio de rendimiento de la población de 2,3 t ha⁻¹ y de la selección de 2,8 t ha⁻¹. El diferencial de selección fue de 0,5 t ha⁻¹ (INIAP, 2009).

Tabla 2. Diez ciclos de selección de Medios Hermanos en varias localidades de la sierra ecuatoriana. EESC. 2022

LOCALIDADES D									
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA (PICHINCHA) CICLO 2008-2009		TUNSHI (MBORAZO) CICLO 2010-2011		ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA (PICHINCHA) CICLO 2011-2012		ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA (PICHINCHA) CICLO 2012-2013		ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA (PICHINCHA) CICLO 2013-2014	
120 Familias de MH (2008-2009)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	466 Familias de MH (2010-2011)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	462 Familias de MH (2011-2012)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	458 Familias de MH (2012-2013)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	372 Familias de MH (2013-2014)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
14	5	8	4,3	79	1,75	286	3,1	55	6
63	5	28	4,1	158	1,64	2	3	160	5,6
11	4,3	45	4,1	174	1,53	4	2,7	94	5,5
31	4,2	12	3,4	59	1,42	223	2,6	95	5,5
39	4,2	185	3,4	78	1,3	348	2,5	57	5,3
.
.
.
108	1	224	1	88	0,11	80	0,3	221	1,1
113	1	242	1	179	0,11	188	0,3	165	1
116	0,8	406	1	313	0,11	131	0,3	338	0,8
53	0,7	302	0,9	384	0,11	115	0,3	144	0,7
59	0,3	285	0,7	386	0,11	411	0,2	295	0,5
Promedio de la Selección	2,8		3,0		0,8		3,8		3,8
Promedio de la Población	2,3		2,2		0,6		2,6		3,1
Diferencial de Selección	0,5		0,8		0,2		1,2		0,7

SELECCION									
PASTOCALLE (COTOPAXI) CICLO 2014-2015		ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA (PICHINCHA) CICLO 2016-2017		ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA (PICHINCHA) CICLO 2017-2018		ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA (PICHINCHA) CICLO 2019-2020		ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA (PICHINCHA) CICLO 201-2021	
100 Familias de MH (2014- 2015)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	50 Familias de MH (2016- 2017)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	24 Familias de MH (2017- 2018)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	150 Familias de MH (2019- 2020)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	125 Familias de MH (2020- 2021)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
27	4,9	20	1,8	20	4,2	74	3,6	9	7,2
72	4,7	22	1,5	3	4	90	3,5	11	7,2
65	4,3	6	0,7	14	3,9	125	3,5	113	6,6
29	4	17	0,7	16	3,8	6	3,5	39	6,4
30	3,7	32	0,6	5	3,8	81	3,5	53	6,3
.
.
.
24	1,2	28	0,1	15	2,3	52	1,4	32	1,2
67	1	42	0,1	2	2,2	22	1,3	77	1,2
8	1	45	0,1	6	2	93	1,3	18	0,9
99	0,5	46	0,1	24	1,8	47	1,2	3	0,8
100	0,3	48	0,1	10	1,8	80	0,8	121	0,2
	2,8		0,7		3,5		2,5		3,6
	2,3		0,4		3,1		2,3		3,3
	0,5		0,3		0,4		0,2		0,4

Para el ciclo agrícola 2010-2011, en Tunshi-Chimborazo, se sembraron 466 familias y se seleccionaron 139 familias, con un promedio de rendimiento de la población de $2,2 \text{ t ha}^{-1}$ y de la selección de $3,0 \text{ t ha}^{-1}$. El diferencial de selección fue de $0,8 \text{ t ha}^{-1}$ (INIAP, 2011).

En el ciclo agrícola 2011-2012, en la EESC-Pichincha, se sembraron 462 familias y se seleccionaron 165 familias. La población presentó en promedio un rendimiento de $0,64 \text{ t ha}^{-1}$ y la selección $0,81 \text{ t ha}^{-1}$. El diferencial de selección fue de $0,2 \text{ t ha}^{-1}$ (INIAP, 2012).

En la EESC-Pichincha en el ciclo 2012-2013, se sembraron 458 familias y se seleccionaron 113 familias. La población presentó en promedio un rendimiento de $2,6 \text{ t ha}^{-1}$ y la selección $3,8 \text{ t ha}^{-1}$. El diferencial de selección fue de $1,2 \text{ t ha}^{-1}$ (INIAP, 2013).

En el ciclo 2013-2014 en la EESC-Pichincha, se sembraron 372 familias y se seleccionaron 77 familias. La población presentó un rendimiento promedio de $3,1 \text{ t ha}^{-1}$ y la selección $3,8 \text{ t ha}^{-1}$. El diferencial de selección fue de $0,7 \text{ t ha}^{-1}$ (INIAP, 2014).

En la localidad de Pastocalle-Cotopaxi en el ciclo 2014-2015, se sembraron 100 familias y se seleccionaron 51 familias. La selección presentó en promedio un rendimiento de $2,8 \text{ t ha}^{-1}$, mientras que el rendimiento de la población fue de $2,3 \text{ t ha}^{-1}$. El diferencial de selección fue de $0,5 \text{ t ha}^{-1}$ (INIAP, 2015).

En el ciclo agrícola 2016-2017, se sembraron 50 familias y se seleccionaron 41 familias en la EESC-Pichincha. El rendimiento promedio de la población fue de $0,4 \text{ t ha}^{-1}$, mientras que las familias seleccionadas presentaron en promedio un rendimiento de $0,7 \text{ t ha}^{-1}$; el diferencial de selección fue de $0,3 \text{ t ha}^{-1}$ (INIAP, 2017).

En la EESC-Pichincha el ciclo agrícola 2017-2018, se sembraron 24 familias y se seleccionaron 15 familias. El promedio de rendimiento de la población fue de $3,1 \text{ t ha}^{-1}$ y de la selección de $3,5 \text{ t ha}^{-1}$; el diferencial de selección fue de $0,4 \text{ t ha}^{-1}$ (INIAP, 2018).

En el ciclo agrícola 2019-2020 se sembraron 150 familias y se seleccionaron 116 familias en la EESC-Pichincha. El promedio de rendimiento de la población fue de $2,3 \text{ t ha}^{-1}$ y la selección de $2,5 \text{ t ha}^{-1}$. El diferencial de selección fue de $0,2 \text{ t ha}^{-1}$ (INIAP, 2020).

En la EESC-Pichincha en el ciclo agrícola 2020-2021 se sembraron 125 familias y se seleccionaron 105 familias. Las familias seleccionadas presentaron en promedio un rendimiento de $3,6 \text{ t ha}^{-1}$ y la población de $3,3 \text{ t ha}^{-1}$. El diferencial de selección fue de $0,4 \text{ t ha}^{-1}$ (INIAP, 2021).

El Grafico 1, presenta la evolución de los 10 ciclos de mejoramiento de la selección de MH del maíz chulpi a partir del ciclo 2008-2009 hasta el ciclo

2020-2021. Se observa que en la población el mejoramiento se inicia en el ciclo 2008-2009 con un rendimiento promedio de 2,3 t ha⁻¹ hasta llegar al ciclo 2020-2021 con 3,3 t ha⁻¹. Esta población alcanza un rendimiento máximo promedio de 3,8 t ha⁻¹ en el ciclo 2013-2014. En el caso de las familias seleccionadas en el ciclo 2008-2009 el rendimiento promedio se inicia con 2,8 t ha⁻¹, hasta llegar al ciclo 2020-2021 con 3,6 t ha⁻¹. La población seleccionada en el ciclo 2013-2014 también alcanza un rendimiento máximo promedio de 3,1 t ha⁻¹. El diferencial de selección en todos estos años mantiene un promedio de rendimiento de 0,5 t ha⁻¹.

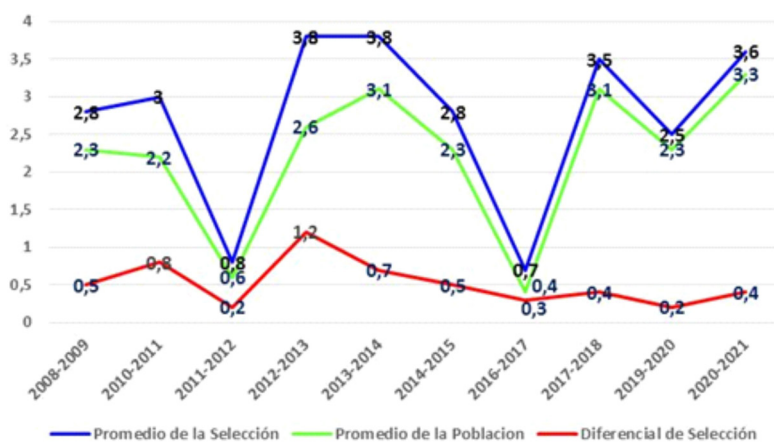


Gráfico 1. Evolución de los ciclos de mejoramiento de la Selección de MH a partir del año 2008 hasta el año 2021

Características de la variedad Chulpi INIAP-193

En la descripción de la variedad se han considerado características tales como adaptación, madurez, altura de planta, altura de mazorca, pigmentación del tallo, color, tamaño y configuración de la espiga, orientación de la hoja, color de la nervadura central, color del estigma, forma de la mazorca, color, textura y forma del grano.

En la Tabla 3 se presentan las principales características cualitativas y cuantitativas de la variedad, pudiéndose observar que INIAP-193 es una variedad tardía, su ciclo esta entre 240 a 260 días después de la siembra (dds) dependiendo de la altitud de siembra y su rendimiento (2 a 4 t ha⁻¹) varía de acuerdo al manejo agronómico y condiciones ambientales. Se adapta a los valles de la sierra interandina en altitudes que van desde los 2 200 a 2 900 m s.n.m.

INIAP-193 presenta grano aplanado y arrugado con endospermo dulce. El pericarpio es de color naranja amarillento claro. Las mazorcas son cortas de varias formas que van desde la cónica (predominante) hasta la casi esférica, con 14 a 22 hileras irregulares, en espiral o rectas. El color predominante del tallo es el violeta oscuro con tusas grandes, generalmente blancas. Las plantas son altas, de hojas anchas, de color moderadamente rojizo y púrpura claro. La principal característica de la variedad es su textura y dulzor del grano. El endospermo está formado por gránulos de almidón y su textura depende de la densidad de los gránulos dentro del endospermo. En los maíces duros de la zona andina (morochos, chulpis), el almidón duro no ocupa todo el endospermo, sino solo una capa superior muy delgada del grano. Por otro lado, se denomina maíz dulce porque el gen “su” no permite la transformación de azúcar en almidón en el endospermo, de manera que el grano permanece con alto contenido de azúcar, lo que le da sabor dulce.

Tabla 3. Principales características cualitativas y cuantitativas de la variedad INIAP-193. EESC. 2022

Carácter	Nivel de expresión	Variables Cualitativas	Variables Cuantitativas
Planta: intensidad del color verde del follaje	Medio	2	-
Tallo: color	Carta de colores RHS	77A (violeta oscuro) (23%) 92A (violáceo medio) (22%) 144 A (verde medio) (17%) 146 A (verde amarronado) (12%) Otros colores (26%)	-
Hoja: forma característica	Curvada	5	-
Índice de macollamiento	Muy baja	1	-
Tallo: diámetro (mm)	Medio (15,1 a 20,0)	3	16
Hoja: coloración de la lámina foliar	Carta de colores RHS	N139 (verde)	-
Panicula: época de la antesis	Tardía a muy tardía	8	133
Espiga: longitud (cm)	Larga (25,1 a 43,0)	7	41,5
Planta: número de nudos por planta	Muy alta	9	-
Planta: altura (cm)	Alta (221 a 300 cm)	7	278,8
Planta: altura de la mazorca superior	Muy alta (>160 cm)	9	182,2
Planta: número de mazorcas por planta	Muy bajo (0 a 20%)	1	2
Mazorca: longitud (cm)	Corta (10.1 a 15.0)	3	10,8
Mazorca: diámetro de la mazorca (cm)	Medio (5,1 a 6,0)	5	5,3
Mazorca: forma	Cónica	1	-
Mazorca: número de hileras de granos	Pocas (12 a 16)	3	16

Mazorca: número de hileras de granos	Pocas (12 a 16)	3	16
Mazorca: número de granos por hilera	Pocas (21 a 30)	3	26
Grano: tipo	Dulce	5	-
Grano: color del grano	Carta de colores RHS	17C (Naranja amarillento claro)	-
Grano: forma de la superficie	Contraído	1	-
Mazorca: Color de tuza (olote)	Blanco	1	-
Sólo variedades con mazorca con tipo de Grano: dulce o ceroso: granos: número de colores de los granos	Uno	1	-
Sólo variedades con mazorca con tipo de grano dulce: Grano: intensidad del color amarillo	Medio	5	-
Sólo variedades con mazorca con tipo de grano: dulce: Grano: longitud (mm)	Medio	5	13,2
Sólo variedades con mazorca con tipo de grano: dulce: Grano: anchura (mm)	Medio	5	7,9
Sólo variedades con mazorca con tipo de grano: dulce: Mazorca: contracción del extremo superior del grano	Fuerte	5	-
Rendimiento (t/ha)			2,0 - 4,0
Adaptación (msnm)	Valles interandinos		2 400 - 2 900

Conclusiones

La utilización del Mejoramiento Poblacional, Selección de Medios Hermanos (MH), modalidad familias mazorca por surco en los 10 ciclos de selección resultó eficiente en este proceso de mejoramiento.

Se obtuvo una variedad de maíz chulpi mejorado INIAP-193 que luego de 10 ciclos de selección de Medios Hermanos, supera a la población original en 0,5 t ha⁻¹.

Se inició con un rendimiento poblacional promedio de 2,3 t ha⁻¹ en el ciclo 2008-2009 hasta alcanzar en el ciclo 2020-2021 un rendimiento promedio de 3,6 t ha⁻¹ en los 10 ciclos de selección.

El chulpi se adapta a los valles andinos de la sierra ecuatoriana en altitudes comprendidas entre los 2 200 a 2 900 m s.n. m.

El maíz chulpi por sus excelentes características cualitativas y cuantitativas ha sido adoptado por los agricultores de la sierra interandina.

Con la obtención de la nueva variedad de maíz chulpi INIAP-193 se ha disminuido el riesgo de erosión genética de esta raza criolla.

Referencias

1. Ayala, E. (2008). Resumen Historia del Ecuador. <http://www.comunidadandina.org/bda/docs/EC-CA-0001.pdf>.
 3. Brandolini, A., 1963. – Elementos para la programación agropecuaria del Ecuador. Desarrollo de los cereales: Maíz - Organización de los Estados Americanos. Roma – Washington D.C.
 4. Caviedes C., M., Moreno A., F., y Silva C., E. (1990). Nueva variedad de maíz INIAP-192 (chulpi mejorado) para la Sierra ecuatoriana. Quito, EC, INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Maíz. (Plegable no. 110).
 5. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo-Programa de Maíz. (1999). Desarrollo, mantenimiento y multiplicación de semilla de variedades de polinización libre. Segunda edición. México, D.F.: CIMMYT.
 6. Cordero, Luis. (1911). Enumeración botánica de las principales plantas, así útiles como nocivas, indígenas o aclimatadas, que se dan en las provincias del Azuay y de Cañar de la República del Ecuador. Cuenca. Imprenta de la Universidad.
 7. Sevilla, R. (1991). Genética del maíz. En XIII Curso Corto. Mejoramiento Genético del Maíz. Edición: PROCIANDINO. Quito, Ecuador (pp. 13-14).
 8. IBPGR. (1991). Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City/International Board for Plant Genetic Resources, Rome
 9. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-INIAP. (2008). Informe Anual del Programa de Maíz. Estación Experimental Santa Catalina. Mejía, Ecuador.
 10. ----- (2009). Informe Anual del Programa de Maíz. Estación Experimental Santa Catalina. Mejía, Ecuador.
 11. ----- (2011). Informe Anual del Programa de Maíz. Estación Experimental Santa Catalina. Mejía, Ecuador.
 12. ----- (2012). Informe Anual del Programa de Maíz. Estación Experimental Santa Catalina. Mejía, Ecuador.
 13. ----- (2013). Informe Anual del Programa de Maíz. Estación Experimental Santa Catalina. Mejía, Ecuador.
 14. ----- (2014). Informe Anual del Programa de Maíz. Estación Experimental Santa Catalina. Mejía, Ecuador.
-

15. ----- (2015). Informe Anual del Programa de Maíz. Estación Experimental Santa Catalina. Mejía, Ecuador.
 16. ----- (2017). Informe Anual del Programa de Maíz. Estación Experimental Santa Catalina. Mejía, Ecuador.
 17. ----- (2018). Informe Anual del Programa de Maíz. Estación Experimental Santa Catalina. Mejía, Ecuador.
 18. ----- (2020). Informe Anual del Programa de Maíz. Estación Experimental Santa Catalina. Mejía, Ecuador.
 19. ----- (2021). Informe Anual del Programa de Maíz. Estación Experimental Santa Catalina. Mejía, Ecuador.
 20. Martínez, Luis A. (1905). Catecismo da Agricultura. Quito. Imprenta Nacional.
 21. Paliwal, L., Granados, G., Lafitte, H., Violic, A. (2001), Mejoramiento del maíz con objetivos especiales, En El Maíz en los Trópicos (pp. 227-231). Roma, Italia.
 22. ROYA L HORTICULTURAL SOCIETY. (1995). RHS color chart. Royal Horticultural Society, Londres.
 23. Timothy, D; Hatheway, W; Grant, U. 1966. Razas de maíz en Ecuador: ICA, Boletín Técnico No 12. Colombia. 132 p.
 24. UPOV. (2018). Revision of document tgp/14: section 2: botanical terms: subsection 3: color: annex: color names for the rhs colour chart. Geneva, Italy.
 25. Yáñez, C. (2004). Informe del proyecto IQ-CV-046 "Manejo Integrado de los Recursos Genéticos de Maíz en la Sierra del Ecuador. Autor. Ecuador.
 26. Yáñez, C., Racines, M., Caballero, D. (2011). Informe del Proyecto "Identificación de microcentros en el la producción, uso sostenible y conservación de dos cultivares tradicionales de maíz (chulpi y negro) en la sierra del Ecuador". Quito, Ecuador.
 27. Zambrano, J.L. Velásquez, J., Peñaherrera, D., Sangoquiza, C., Cartagena, Y., Villares, E., Garcés, S., Ortiz, R., León, J., Campaña, D†, López, V., Asaquibay, C., Nieto, M., Pintado, C., Racines, M. (2021). Guía para la producción sustentable de maíz en la sierra ecuatoriana, INIAP, Manuales No. 122. Quito, Ecuador.
-

Impacto de bacterias promotoras de crecimiento sobre el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L) en la Sierra del Ecuador

Impact of growth-promoting bacteria on the yield of corn (*Zea mays* L.) in the highlands of Ecuador

Carlos A. Sangoquiza-Caiza^{1,2*}, José L. Zambrano-Mendoza¹, Carlos F. Yáñez-Guzmán¹ María R. Nieto-Beltrán¹, César R. Asaquibay Inca¹, Verónica N. Quimbiamba Pujota², Edwin J. Naranjo-Quinaluisa^{1,2}, Chang H. Park².

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP),
Cutuglagua, Km 1½, Mejía, Pichincha, Ecuador.

² Korea Program on International Agriculture (KOPIA),
Cutuglagua, Km 1½, Mejía, Pichincha, Ecuador.

*Autor para correspondencia: carlos.sangoquiza@iniap.gob.ec / jose.zambrano@iniap.gob.ec

RESUMEN

A pesar de la importancia del maíz en la Sierra del Ecuador, el poco uso de tecnologías ocasiona bajos rendimientos en el cultivo. Por otro lado, el alto costo de los fertilizantes sintéticos y su mal uso están causando un grave impacto, por lo que es necesario racionalizar su utilización y proporcionar alternativas válidas en la nutrición de las plantas. Esta investigación evaluó la eficiencia de un biofertilizante experimental a base de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (*Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens*); para lo cual se realizaron ensayos en 22 ambientes/sitios de tres provincias de la Sierra. Los tratamientos evaluados correspondieron a: T1 (Fertilización química al 100%), T2 (Fertilización química al 50% +biofertilizante), T3 (Manejo del agricultor). Los resultados revelaron un índice de efectividad de inoculación del biofertilizante (IEI) del 45,26 %, y se presentó una disminución en los costos de producción en un promedio del 25%. El tratamiento (T2) presentó el mayor rendimiento promedio con 2,90 t ha⁻¹, seguido del tratamiento (T1) con 2,58 t ha⁻¹ y el control (T3) con 2,51 t ha⁻¹. Estos resultados indican que el biofertilizante

constituye una alternativa viable para mejorar la producción del maíz en la Sierra del Ecuador de una manera sustentable.

Palabras clave: Bacillus, Pseudomonas, microorganismos, biofertilizante, fertilización.

ABSTRACT

Despite the importance of corn in the Sierra del Ecuador, the little use of technologies causes low yields in the crop. On the other hand, the high cost of synthetic fertilizers and their misuse are causing a serious environmental impact, making it necessary to rationalize their use and provide valid alternatives in plant nutrition. This research evaluated the efficiency of an experimental biofertilizer based on plant growth-promoting bacteria (*Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens*); for which tests were carried out in 22 environments/sites of three provinces of the Sierra of Ecuador. The treatments evaluated were: T1 (100% chemical fertilization), T2 (50% chemical fertilization + biofertilizer), T3 (farmer management). The results obtained revealed a biofertilizer inoculation effectiveness index (IEI) of 45,26%, and there was a decrease in production costs of corn of an average of 25%. The treatment (T2) showed the highest average yield with 2,90 t ha⁻¹, followed by (T1) with 2,58 t ha⁻¹ and the farmer's control (T3) with 2,51 t ha⁻¹. These results indicate that the biofertilizer could be a viable and sustainable alternative to improve the production of corn in the highlands of Ecuador.

Keywords: Bacillus, Pseudomonas, microorganisms, biofertilizer, fertilization.

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, el cultivo de maíz suave o harinoso (*Zea mays* L. var. *amylacea* St.) es considerado uno de los más importantes debido a que posee la mayor superficie cultivada de cultivos transitorios en la Sierra del país. En 2017 se cosecharon alrededor de 81 692 ha de maíz suave (choclo y seco), con una producción total de 136 521 toneladas (t) de maíz choclo y de 50 000 t de maíz seco. La falta de tecnologías accesibles para los pequeños productores ha generado que se obtengan bajos rendimientos.

En los últimos años se han desarrollado tecnologías que ayudan a disminuir el uso de los fertilizantes a través de la aplicación de microorganismos

benéficos tales como bacterias, hongos y microorganismos que tiene un impacto positivo sobre el medio ambiente y sobre la productividad de los cultivos, mejorando así la parte económica de los agricultores, debido a que sus costos son menores al de los fertilizantes sintéticos (Corrales et al., 2017). El uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) para la formulación de biofertilizantes se ha convertido en una de las tecnologías limpias más promisorias para el desarrollo de la agricultura sostenible (Bashan et al., 2013). Entre las BPCV que más se destacan se encuentran bacterias que tiene la capacidad de fijar nitrógeno, solubilizar fósforo, producir citoquininas, giberelinas e índoles lo cual ayudan de manera natural a la nutrición y crecimiento de las plantas, además de ser mejoradores de suelo sin generar consecuencias negativas para el ambiente (Fibach-Paldi et al., 2012).

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar un biofertilizante experimental con BPCV durante tres años en varias localidades de la Sierra del Ecuador para determinar su impacto agronómico y económico que permita obtener conclusiones definitivas sobre su posible beneficio a escala regional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como una alternativa de nutrición y con el objetivo de reducir la cantidad fertilizantes sintéticos en el cultivo de maíz se evaluó durante tres años (2019 al 2021) el efecto agronómico y económico del uso del biofertilizante (Fertibacter- Maíz), en varias localidades de las provincias de Imbabura, Chimborazo y Bolívar. Para esta investigación se instalaron lotes de validación de entre 500 a 1500 m² en campo de agricultores con los siguientes tratamientos: T1 (Fertilización química 100 %), T2 (Fertilización química al 50% + biofertilizante), T3 (Manejo del agricultor). La producción del biofertilizante se realizó a partir de los aislados liofilizadas del género *Bacillus subtilis* (cepa C2) y *Pseudomonas fluorescens* (cepa n15). Estos aislados se obtuvieron a partir de aislamientos de la rizósfera del cultivo de maíz, las mismas que se encuentran identificadas y conservadas en el Laboratorio del Programa de Maíz en la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Los aislados utilizados para la formulación del biofertilizante se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Códigos y procedencia de los aislados de empleados en la formulación de un biofertilizante experimental evaluado en la Sierra del Ecuador.

Código	Nombre científico	Provincia	Cantón	Parroquia	Localidad
C2	<i>Bacillus subtilis</i>	Bolívar	Guaranda	Veintimilla	Laguacoto 2
n15	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Imbabura	Cotacachi	El Sagrario	Hcda. Tunibamba

Los ensayos se establecieron en 18 comunidades donde se cultiva maíz, en las provincias antes mencionadas, durante los años 2019 al 2021 (Fig. 1), con un total de 22 parcelas de validación implementadas. Se utilizó la semilla local del agricultor (grano harinoso) o semilla de variedades mejoradas, según la preferencia de los agricultores. El desarrollo del inóculo e inoculación utilizados en esta investigación están ampliamente descritos en Zambrano et al. (2021a). La dosis de fertilizante utilizado para cada localidad estuvo en relación al análisis de suelo, estimando la dosis óptima fisiológica del fertilizante, como se indica en la Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana (Zambrano et al 2021b).

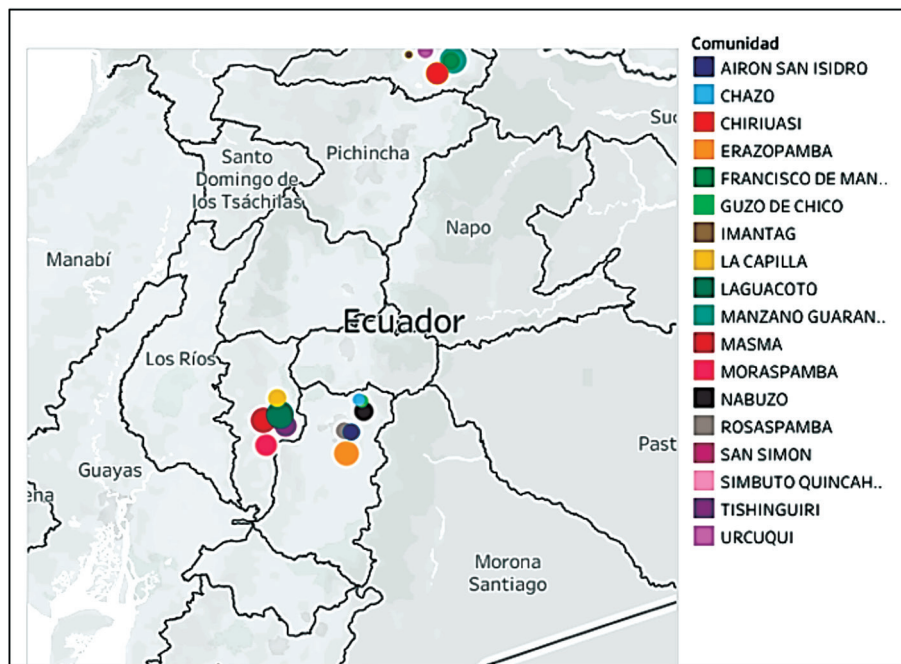
Índice de efectividad de la inoculación (IEI) para altura de planta, inserción de la mazorca y rendimiento (%)

A la cosecha en grano seco se procedió a la evaluación del índice de efectividad de la inoculación (IEI) para altura de planta, inserción de la mazorca y rendimiento. El valor se expresó en porcentaje utilizando la siguiente fórmula:

$$IEI = \frac{\text{(tratamiento inoculado} - \text{control sin inocular)}}{\text{(Control sin inocular)}} \times 100$$

Costo-Beneficio: Se estimó con base en los ingresos por la venta del maíz suave seco cosechado y el costo de producción (insumos, mano de obra, preparación del suelo y costos indirectos) de cada tratamiento. El ingreso bruto (USD ha⁻¹) se estimó multiplicando el rendimiento (t ha⁻¹) por su valor comercial (USD t⁻¹). La utilidad neta por hectárea se estimó por la diferencia entre el ingreso bruto en dólares y el costo de producción. El costo por cada dólar obtenido (CU) se calculó dividiendo el costo de producción (USD ha⁻¹) entre el ingreso bruto (USD ha⁻¹), y la relación beneficio costo (B/C) se estimó dividiendo el ingreso neto ganancia (USD ha⁻¹) por el costo de producción (USD ha⁻¹).

Figura 1. Ubicación geográfica de los ensayos de validación de un biofertilizante experimental para el cultivo de maíz en tres provincias de la Sierra del Ecuador.



Rendimiento $t\ ha^{-1}$

Al momento de la cosecha en grano seco, se procedió a calcular el rendimiento, en donde se utilizó la siguiente fórmula propuesta por el CIMMYT (1991).

$$R = \frac{(PC * D * MS)}{(AP * 86)} * 1000$$

Dónde, PC: Peso de campo expresado en kg; D: Desgrane expresado en forma decimal; MS: Materia seca expresado en forma decimal; 86: Porcentaje de materia seca (constante), y AP: área de la parcela neta en m^2 .

Para evaluar las variables agronómicas y el peso de campo se dividió el lote en micro parcelas de $16\ m^2$, tomándose entre dos y tres observaciones por cada tratamiento en cada localidad. Con el dato de rendimiento se realizó un Análisis de Varianza combinado y un Meta análisis (MA), para lo cual se utilizó el programa estadístico R y la librería (meta). Para el MA se conside-

raron los efectos aleatorios debido a que el estudio se realizó con variedades diferentes de maíz, ambientes distintos y diversos evaluadores en cada provincia, por lo que se esperaba una alta heterogeneidad en los resultados.

RESULTADOS

En la tabla 2 se muestra el (IEI), el cual indica que para las variables altura de planta e inserción de la mazorca el tratamiento (T1) obtuvo el mayor porcentaje de eficiencia con 9,44 y 6,23 %, respectivamente. Para rendimiento, el tratamiento (T2) obtuvo el mayor (IEI) con 45,26 % en comparación al tratamiento (T1) que obtuvo un 28,42 %. Estos resultados se explican debido a que los fertilizantes sintéticos son rápidamente asimilados por las plantas y ejercen un mayor desarrollo en el área foliar de la planta. La absorción de nutrientes en las primeras etapas del desarrollo del cultivo influye en el contenido de biomasa y en el área foliar, ya que los nutrientes juegan un papel importante en la morfogénesis y expansión foliar (Parra et al., 2011). En relación al (IEI) del rendimiento, se observa que el tratamiento (T2) obtuvo el mayor porcentaje con 45,26 %, en comparación al tratamiento (T1) con 28,42 %; resultados que se explican porque el biofertilizante utilizado tiene como ingrediente activo a las bacterias *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens*. Estos dos micro-organismos tienen la capacidad de producir fitohormonas, las cuales generan un mejor aprovechamiento de agua, nutrientes y un incremento en el rendimiento de grano (Tortora et al., 2011).

Tabla 2. Índice de Efectividad de la Inoculación (IEI) de maíz con el uso de un biofertilizante en la Sierra del Ecuador.

	Tratamientos	Alt. planta (cm)	IEI (%)	Alt. mz (cm)	IEI (%)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	IEI (%)
T1	Fertilización química 100%	195,08	9,44	106,74	6,23	2,58	28,42
T2	Fertilización química 50% + biofertilizante	191,88	7,65	104,77	4,3	2,90	45,26
T3	Manejo del Agricultor	178,24	0	100,48	0,0	2,51	0

*Alt. planta= Altura de planta, Alt.mz= Altura de inserción de mazorca

En la tabla 3 se muestra el análisis de los costos de producción, el cual indica que el uso del T2 (fertilización química al 50% + biofertilizante) mejoró los rendimientos y disminuyó los costos de producción promedio (en USD

kg-1 de grano producido) en un 16% sobre la fertilización química. En comparación al manejo del agricultor (T3), el tratamiento con el biofertilizante (T2) disminuyó los costos de producción en un 30% (USD kg-1), lo cual muestra que esta tecnología de fertilización a base de microorganismos benéficos puede considerarse como una alternativa de producción económicamente viable para el cultivo de maíz en la Sierra.

En términos generales, se puede decir que los biofertilizantes tienen un costo para el productor de sólo 10% del costo de la fertilización química, y en la mayoría de los casos no debe representar más del 2 a 3% del costo de producción del cultivo (Grageda et al., 2012). Los insumos biológicos agregados al momento de la siembra tienen un impacto favorable en la rentabilidad del cultivo ya que mejoran la relación costo-beneficio en favor de los productores; dicha relación alcanza un valor importante cuando se compara la fertilización completa contra la fertilización al 50%. Así mismo, los beneficios se ven reflejados en un incremento en la producción del cultivo en las parcelas que se aplicó el biofertilizante, lo que demuestra que la aplicación de estos fue rentable para los agricultores. En todos los casos, el valor del producto cosechado fue más elevado que los costos de los insumos que se le adicionaron a cada tratamiento, al igual que lo reportado por Rodríguez et al. (2018).

Tabla 3. Comparación entre los costos de producción (USD kg-1) de maíz suave seco, utilizando el 100% de la fertilización química recomendada, el biofertilizante más el 50% de la fertilización química y el control del agricultor en varias provincias de la Sierra del Ecuador.

PROVINCIA	FQ (100%)	vs.	FQ (50%) + Biofertilizante	Disminución CP (%)
Imbabura	0,56		0,48	-15
Chimborazo	0,36		0,25	-31
Bolivar	0,55		0,53	-3
	FQ (100%)	vs.	Manejo Agricultor	
Imbabura	0,56		0,46	-18
Chimborazo	0,36		0,38	4
Bolivar	0,55		0,72	32
	Manejo Agricultor	vs.	FQ (50%) + Biofertilizante	
Imbabura	0,46		0,48	4
Chimborazo	0,38		0,25	-34
Bolivar	0,72		0,53	-26

*FQ; Fertilización química, CP= costos de producción

Análisis estadístico para rendimiento t ha⁻¹

En la tabla 4 se muestra el análisis de varianza combinado para la variable rendimiento, el cual muestra que el tratamiento (T2) presentó un mayor rendimiento de maíz seco con 2,90 t ha⁻¹, mostrando diferencias estadísticamente significativas sobre los tratamientos (T1) y (T3), que presentaron rendimientos promedios de 2,58 y 2,51 t ha⁻¹, respectivamente. Para este análisis se omitió a la localidad de Guanando (provincia de Chimborazo) debido a que solo se pudo obtener datos de una repetición. El tratamiento con el biofertilizante obtuvo el mayor rendimiento debido al efecto de las bacterias promotoras de crecimiento vegetal, que tienen la capacidad de producir fitohormonas, tales como auxinas, citoquininas y giberelinas, que mejoraron el crecimiento de las plantas, generando cambios morfológicos y fisiológicos que permitieron un mejor aprovechamiento de agua, nutrientes y un incremento en el rendimiento del grano (Tortora et al., 2011). Los resultados obtenidos en estos tres años de investigación en las tres provincias muestran un incremento promedio en el rendimiento de hasta el 15,5 %, resultados inferiores a los reportados por Martínez et al. (2018), que en su investigación sobre biofertilización y fertilización química en maíz señaló, que aunque no se registraron diferencias significativas, el tratamiento con biofertilizante a base de *Azospirillum brasilense* + fertilización química 160-46-30 produjo un incremento del 38 % de rendimiento de grano de maíz por sobre el testigo absoluto. Resultados similares fueron obtenidos por Garza et al. (2003) sobre la respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México, donde se indicó que el uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal registraron incrementos en el rendimiento del 60 % en maíz, utilizando *A. brasilense* sobre la fertilización química. Resultados que muestran que los biofertilizantes tiene un efecto estimulador variado en el rendimiento debido a las diferentes condiciones edafoclimáticas y a la producción de fitohormonas tales como citoquininas, giberelinas y auxinas, de esta última, especialmente se genera el ácido indolacético el cual puede modificar el balance de fitohormonas permitiendo la germinación de la semilla de maíz y el incremento en la longitud y volumen de raíces, lo que mejora la absorción de nutrientes y finalmente la transferencia de una gran cantidad de minerales (Tortora et al., 2011).

En otro estudio, Caballero (2014) señaló que el uso de microorganismos benéficos permitió incrementar el rendimiento de grano del 5 a 30 %, en promedio bajo diferentes tipos de suelo, clima y variedad de cultivo. Estos resultados muestran que el uso de estos géneros bacterianos produce un

incremento en el rendimiento de maíz, efecto que puede atribuirse a la estimulación del crecimiento de la raíz lo cual genera una mayor superficie de absorción de nutrientes como el N-P-K en las plantas inoculadas.

Tabla 4. Análisis de Varianza combinado y media de rendimiento t ha⁻¹ de maíz en grano seco para la aplicación de un biofertilizante experimental validado en veinte ensayos en la Sierra del Ecuador.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	254,08	59	4,31	20,10	<0,0001
Localidad	193,58	19	10,19	47,56	<0,0001
Localidad*Obs	55,38	38	1,46	6,80	
Tratamientos	5,12	2	2,56	11,95	<0,0001
Error	25,71	120	0,21		
Total	279,79	179			

Tratamientos.	Media	n	E.E.	Tukey*
T2 (Biofertilizante + 50% Fertilización química)	2,90	60	0,06	A
T1 (Recomendación de fertilización convencional)	2,58	60	0,06	B
T3 (Manejo del agricultor).	2,51	60	0,06	B

C.V. (%): 17,37

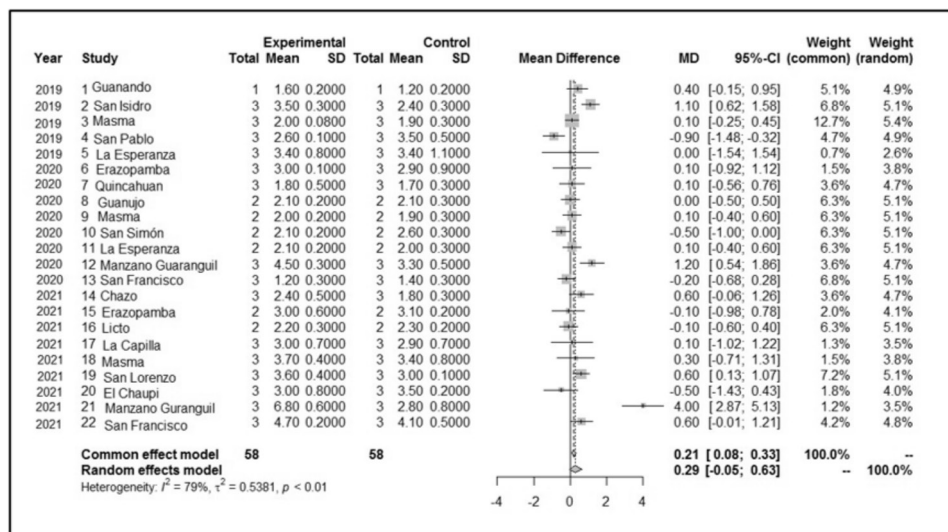
*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Meta análisis para rendimiento

La Figura 2 muestra un gráfico de árbol (forest plot) con la diferencia de medias tipificadas con el efecto entre los tratamientos T2 (Biofertilizante + 50% de fertilización química) y T1 (Fertilización química al 100%), el cual no muestra ninguna tendencia o diferencia entre ellos, como lo evidencia el meta análisis realizado en su efecto aleatorio (Random effects model) con un valor de $p = 0,0968$ (no significativo, no mostrado), y un intervalo de confianza de $-0,05$. Los modelos aleatorios suelen obtener estimados globales más amplios que los modelos fijos y mayor probabilidad de no obtener resultados estadísticamente significativos, por lo cual se consideran más conservadores (Fernandez-Chinguel et al., 2019). Estos resultados muestran que el uso del (biofertilizante + 50% de fertilización química) igualó a los rendimientos de la (fertilización química al 100%). Lo que indica que el uso de los biofertilizantes puede ser considerado como una alternativa para disminuir la utilización de los fertilizantes químicos en la producción de maíz suave lo cual genera una disminución en los costos

de producción ya que se obtienen mayores beneficios netos al aplicar el biofertilizante más la mitad de la fertilización química. Al realizar la conversión costo-beneficio, la aplicación del biofertilizante a base de aislados de *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens*, conduce a un mayor beneficio económico. Esto indica que la aplicación de los biofertilizantes puede ser una opción para mejorar y recuperar la fertilidad de los suelos; así como para disminuir la dosis de fertilización química requerido para un mayor rendimiento del cultivo (Bashan et al., 1993).

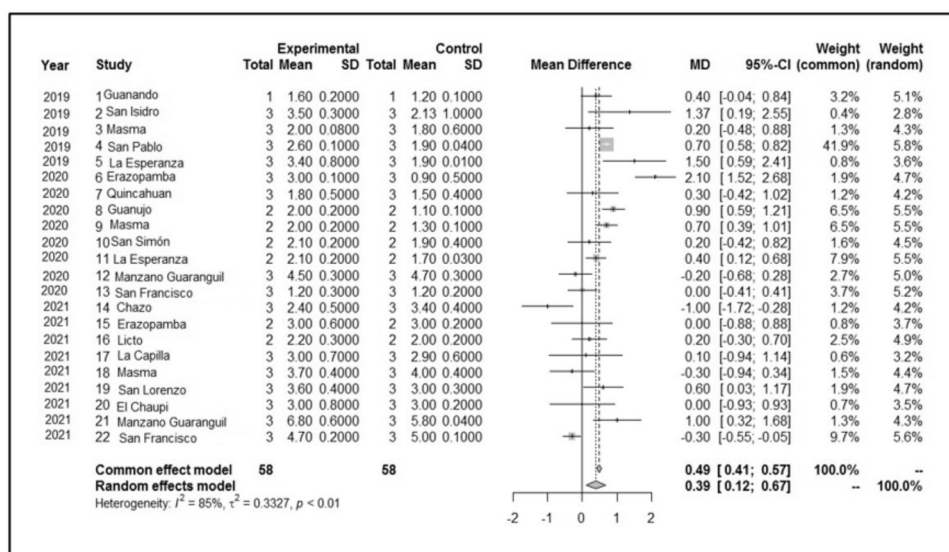
Figura 2. Diferencias de medias sobre el efecto del biofertilizante más el 50% de fertilización química (experimental) y la fertilización recomendada con el 100% del fertilizante (control) para el rendimiento de maíz suave seco en varias localidades de la Sierra del Ecuador.



La Fig. 3, muestra un *forest plot* de 22 estudios con la diferencia de medias tipificadas (MD) entre los tratamientos T2 (biofertilizante + 50% de fertilización química) (experimental) y T3 manejo del agricultor (control), el cual indicó una tendencia positiva del uso del biofertilizante. El Meta Análisis determinó que existió un efecto significativo ($p < 0,01$) del biofertilizante sobre el rendimiento del cultivo, tanto para los efectos fijos como aleatorios, donde los intervalos de confianza (95%-CI) muestran valores superiores a cero. Estos resultados muestran que el uso del biofertilizante puede ser adoptado por los agricultores para mejorar sus rendimientos reduciendo la fertilización química y los costos de producción de una manera amigable.

ble con el medio ambiente. Es importante notar que existieron localidades donde el efecto del biofertilizante no fue positivo, como por ejemplo Manzano Guaranguí 2020 o Chazo 2021, que obtuvieron valores de MD negativos. Esto demuestra que las bacterias no siempre se adaptan a las condiciones ambientales del cultivo (Zambrano et al., 2021a).

Figura 3. Diferencias de medias sobre el efecto del biofertilizante más el 50% de fertilización química (experimental) y la fertilización del agricultor (control) sobre el rendimiento de maíz suave seco en varias localidades de la Sierra del Ecuador.



CONCLUSIONES

El uso del biofertilizante con microorganismos promotores de crecimiento vegetal redujo los costos de producción en un 28 % en comparación al manejo del agricultor y 16,3 % en relación a la fertilización convencional. En cuanto al rendimiento de maíz suave seco, el uso del biofertilizante mostró incrementos promedio de 15,53 % en relación al manejo del agricultor, pasando de 2,51 a 2,90 t ha⁻¹, con un índice de efectividad en la inoculación del 45,26 %. Estos resultados nos indican que el uso de esta tecnología puede ser una estrategia sostenible para mejorar la nutrición del cultivo, reducir el uso de fertilizantes químicos e incrementar la productividad del maíz suave en la Sierra del Ecuador.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Programa Coreano para la Agricultura Internacional (KO-PIA), sede Ecuador, por financiar esta investigación mediante el proyecto: Desarrollo de tecnologías para el cultivo de maíz utilizando biofertilizantes en la Sierra de Ecuador (2019-2021).

BIBLIOGRAFÍA

1. Bashan, Y., Kamnev, A. A., & de-Bashan, L. E. (2013). Tricalcium phosphate is inappropriate as a universal selection factor for isolating and testing phosphate-solubilizing bacteria that enhance plant growth: a proposal for an alternative procedure. *Biology and fertility of soils*, 49(4), 465-479.
2. Caballero-Mellado J. (2014). El género *Azospirillum*. Programa de Ecología Molecular y Microbiana, Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno.
3. CIMMYT. (1991). Descriptor for Maize. Mexico City: International Board for Plant Genetics Resources.
4. Corrales-Ramírez MSc, L. C., Caycedo-Lozano, L., Gómez-Méndez, M. A., Ramos-Rojas, S. J., & Rodríguez-Torres, J. N. (2017). *Bacillus* spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *Nova*, 15(27), 46-65.
5. Fernandez-Chinguel JE, Zafra-Tanaka JH, Goicochea-Lugo S, Peralta CI, Taype-Rondan A. Aspectos básicos sobre la lectura de revisiones sistemáticas y la interpretación de meta-análisis. *Acta Med Peru*. 2019;36(2):157-69
6. Fibach-Paldi, S., Burdman, S., & Okon, Y. (2012). Key physiological properties contributing to rhizosphere adaptation and plant growth promotion abilities of *Azospirillum brasilense*. *FEMS Microbiology Letters*, 326(2), 99-108.
7. Garza, M. B. I., Vázquez, P. V., García, D. G., Tut, C., Martínez, I. R., Campos, A. T., ... & Medina, J. F. A. (2003). Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agricultura técnica en México*, 29(2), 213-225.
8. Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J., & Vera-Núñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1261-1274.
9. Martínez Reyes, L., Aguilar Jiménez, C. E., Carcaño Montiel, M. G., Galdámez Galdámez, J., Gutiérrez Martínez, A., Morales Cabrera, J. A., ... &

- Gómez Padilla, E. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra*, 5(1), 26-37.
10. Parra, J. B., Ramírez, R., Lobo, D., Subero, N., & Sequera, O. (2011). Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) en la etapa temprana a las formas de aplicación de fósforo. *Rev. Fac. Agron.(UCV)*, 37, 86-92.
 11. Rodríguez, Á. I. Análisis económico del uso de biofertilizantes comerciales en el cultivo del sorgo.
 12. Tortora, M. L., Díaz-Ricci, J. C., & Pedraza, R. O. (2011). *Azospirillum brasilense* siderophores with antifungal activity against *Colletotrichum acutatum*. *Archives of microbiology*, 193(4), 275-286.
 13. Tortora, M.L., Diaz-Ricci, J.C. & Pedraza, R.O. (2011). *Azospirillum brasilense* siderophores with antifungal activity against *Colletotrichum acutatum*. *Archives of Microbiology*, 193, 275-286.
 14. Zambrano-Mendoza, J. L. , Sangoquiza-Caiza, C. A. , Campaña-Cruz, D. F. , & Yáñez-Guzmán, C. F. (2021a). Use of Biofertilizers in Agricultural Production. In F. Ahmad, & M. Sultan (Eds.), *Technology in Agriculture*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98264>
 15. Zambrano, J.L., Velásquez, J., Peñaherrera, D., Sangoquiza, C., Cartagena, Y., Villacrés, E., Garcés, S., Ortíz, R., León, J., Campaña, D., López, V., Asaquibay, C., Nieto, M., Sanmartín G., Pintado, P., Yáñez, C., Racines, M. (2021b). Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana. INIAP, Manual No. 122. Quito, Ecuador.
-



TEO
CORPORACION EALUIS VISUAL S.A.S.
CORPORACION EALUIS VISUAL S.A.S.
CAMPAÑA VISUAL DE APOYO SOCIAL
DE ALTA TECNOLOGIA

CONSULTA GRATUITA Y OMBUDSMAN

- Protocolo de Atención al Cliente
- Atención al Cliente 24/7
- Atención al Cliente en Línea
- Atención al Cliente en Teléfono
- Atención al Cliente en Persona
- Atención al Cliente en Correo Electrónico
- Atención al Cliente en Mensajería Instantánea
- Atención al Cliente en Redes Sociales

USAR LENTES ANTIRREFLEJO Y ANTIRRAYOS



Iglesia de San Francisco. Se ubica en la Plaza Mayor de Cajamarca. Su construcción se inició en 1699 y concluyó en 1958 con la construcción de sus torres frontales; el diseño pertenece al arquitecto Matías Pérez Palomino.

Imagen: William Guillén Padilla

Efectividad del manejo bionutricional líquido en el rendimiento de maíces blanco y amarillo para consumo en fresco

Effectiveness of liquid bionutritional management on the yield of white and yellow corn for fresh consumption

Galo Cedeño García^{1*}, Sofía Velásquez Cedeño², Benny Avellán Cedeño³

¹Grupo de Investigación Manejo Sostenible de Suelos y Agua, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Manabí, Ecuador. gcedeno@espam.edu.ec. C.P.130704.

²Grupo de Investigación Fitogenotecnia, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Manabí, Ecuador. svelasquez@espam.edu.ec

³Núcleo de Desarrollo Tecnológico, Estación Experimental Portoviejo, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP, Portoviejo, Manabí, Ecuador. benny.avellan@iniap.gob.ec

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar la efectividad del manejo bionutricional líquido en el rendimiento de maíces blanco y amarillo para consumo en fresco. El trabajo se desarrolló en las localidades de Calceta y Rocafuerte, Ecuador, durante el 2020. Los tratamientos consistieron de dos genotipos de maíz: blanco (INIAP 543 – QPM) y amarillo (INIAP H – 603), y dos técnicas de fertilización (manejo bionutricional líquido - MBL y fertilización granulada convencional - FGC). El MBL consistió en la mezcla de fertilizantes hidrosolubles y bioestimulantes aplicados en drench. La FGV consistió en la aplicación de fuentes granuladas en banda superficial. Las variables registradas fueron rendimiento de mazorcas comerciales en almud (bultos de 150 mazorcas) y beneficio económico neto (BEN). En ambas localidades se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre genotipos y las técnicas de fertilización, donde el genotipo amarillo mostró

mayor rendimiento que el blanco. Independientemente de los genotipos, el MBL incrementó el rendimiento en un 15 y 17%, respectivamente en Calceta y Rocafuerte, con respecto a la FGC. La técnica del MBL logró mayor BEN en ambas localidades, y se presenta como una alternativa nutricional eficiente para incrementar el rendimiento y rentabilidad de maíces para consumo en fresco.

Palabras clave: *Zea mays*, *Bionutrición*, *Fertilización líquida*, *Productividad*

ABSTRATC

The aim of the work was to evaluate the effectiveness of liquid bionutritional management in the yield of white and yellow corns for fresh consumption. The present work was carried out in two fields in Calceta and Rocafuerte, from Ecuador, in 2020. The experiment was performed using two corn genotypes: white corn (INIAP 543 – QPM) and yellow corn (INIAP H – 603), with two fertilization methods (liquid bionutritional management - LBN and conventional granulated fertilization - CGF). The LBN consisted of a mixture of water-soluble fertilizers and biostimulants applied in drench. The CGF consisted in the use of fertilizers from granulated sources and their application by band placement on soil. The variables yield of commercial cobs in almud (packages with 150 cobs) and net economic benefit (NEB) were recorded. Significant statistical differences in the two Cantons were shown ($p < 0.05$) for both, between genotypes and fertilization methods, in those places, the yellow corn showed higher yield than the white corn. Regardless of the genotypes, the LBN increased the yield in 15% and 17% in Calceta and Rocafuerte, respectively, in comparison with the CGF. Thus, the LBN technique achieved higher NEB in both locations; therefore, LBN is presented as an efficient nutritional alternative to increase yield and profitability of corn for fresh consumption.

Keywords: *Zea mays*, *Bionutrition*, *Liquid fertilization*, *Productivity*

Respuesta del maíz a la aplicación de estiércol líquido fermentado de bovino “Biol” en la selva de San Martín, Perú

Percy Díaz-Chuquizuta¹, Oniel J. Aguirre-Gil¹, Edison Hidalgo-Melendez¹

¹Estación Experimental Agraria El Porvenir, Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Jr. Martínez de Compagñon 1035, Tarapoto 22200, San Martín, Perú.

*Autor corresponsal: pdiaz023@gmail.com

El uso de fertilizantes químicos en la producción de cultivos se ha convertido en un problema ambiental a nivel mundial, porque contaminan el suelo y el agua, y porque incrementan el costo de producción. Los abonos orgánicos son una alternativa al problema porque aportan materia orgánica, nutrientes y microorganismos al suelo, favoreciendo la fertilidad y la nutrición de las plantas, además de tener una relación baja de C/N (<20) y nutrimentos en alta disponibilidad. Mejoran las características físicas y previenen la erosión del suelo, reducen la dependencia de insumos externos de alto costo económico y ambiental, permitiendo el desarrollo de una agricultura sostenible. Para usar estiércol como abono, la materia orgánica debe pasar por un proceso de biodegradación para que el nitrógeno pase a formas inorgánicas y pueda ser absorbido por la planta. Los extractos líquidos producto de la biodegradación de estiércol son una alternativa viable y económica que puede ser aprovechada en la producción agrícola. Sin embargo, el principal problema del estiércol líquido es su alta conductividad eléctrica (CE) con valores cercanos a 15 dS/m, que afectan el desarrollo de las plantas. Este efecto puede ser mitigado al diluir el estiércol en agua hasta alcanzar la CE que requieren los cultivos. El objetivo de este trabajo fue determinar la respuesta del cultivo de maíz a la aplicación de diferentes concentraciones de estiércol líquido fermentado de bovino así como determinar la rentabilidad de la aplicación de la propuesta en un sistema de agricultura familiar de la región Amazónica. Se probaron 7 tratamientos bajo un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, 6 de aplicación foliar (al 20, 40, 60, 80 y 100% de “biol” y un testigo en base a agua) y uno de aplicación al suelo (100% de “biol”). Los tratamientos fue-

ron aplicados en un cultivo de maíz de la variedad Marginal 28T. El estiércol líquido fermentado de bovino “biol”, se preparó a partir de la mezcla de estiércol fresco de bovino y agua, en una proporción de 1:3 en un biodigestor modelo tubular plástico con flujo continuo tipo Taiwán. El “biol” se “cosechó” después de 40 días de fermentación anaeróbica. El tratamiento de aplicación al suelo se hizo a la siembra mientras que los tratamientos foliares se aplicaron a los 15, 25 y 35 días después de la siembra. Se evaluó peso de campo (g), peso de mazorca (g), rendimiento (t/ha) y costo de la tecnología. El rendimiento del maíz fue mayor con la aplicación foliar y con aplicación (100%) dirigida al suelo. El tratamiento con 60% de “Biol” permitió alcanzar la media más alta de rendimiento (5.24 t/ha) y la mayor rentabilidad (29.04%). En conclusión, el “Biol” es una alternativa tecnológica para el incremento del rendimiento del maíz bajo en un sistema de cultivo agricultura familiar practicado en la selva región Amazónica tropical.

Palabras clave: Agricultura familiar, fermentación anaeróbica, productividad, rentabilidad.

Ocurrencia de plagas en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) en la provincia de Cajamarca y sus principales características

Ing. Ms.C. Ronald Leonardo Llique Morales¹

¹Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA Cajamarca

E-mail: rllique@senasa.gob.pe

Anualmente, en el mundo se registran pérdidas de hasta 40% de los cultivos alimentarios por causa de las distintas plagas agrícolas, equivalente a 220 mil millones de dólares, de acuerdo con la FAO. El cultivo del maíz (*Zea mays* L.), en la provincia de Cajamarca abarca alrededor de 4 500 hectáreas sembradas considerando en ellas diversos cultivares que resultan ser de enorme importancia para la alimentación de la población. Como todo cultivo, el maíz es afectado por una serie de plagas que causan daños directos e indirectos y reducen considerablemente los rendimientos y la productividad en la zona. En el SENASA Cajamarca se realiza la Vigilancia Fitosanitaria ante la ocurrencia de plagas y merced a ello se atienden notificaciones efectuadas por los productores, quienes además de lograr la identificación de los agentes causantes de los problemas fitosanitarios, también reciben orientaciones sobre las metodologías de control. Este trabajo debe partir de un correcto reconocimiento visual de la plaga a efectos de establecer estrategias específicas de control integrado. En el transcurso de varios años, se han ido registrando diversas plagas en el maíz que han sido identificadas por el personal y la institución, de lo cual se presentan algunos registros fotográficos y características resaltantes de las plagas para conocimiento principalmente de productores y personas relacionadas a la fitosanidad de los cultivos.

El hongo *Fusarium moniliforme*, ocasiona marchitamiento vascular y bloquea el flujo normal de agua y nutrientes, lo que determina la posibilidad de muerte de las plantas. Ataca raíces, tallos y mazorcas (en estas, causa germinación prematura del grano). La mancha foliar fusiforme grande, ocasionada por el hongo *Bipolaris turcica*. Esta enfermedad es común en la zona andina entre los 2650 y 2850 m de altitud. El tamaño de las manchas

aumenta con humedad mayor a 60 % y temperatura de 14 °C. La mosca de la mazorca (*Euxesta sororcula*) causa el problema conocido como “pudrición de la punta de la mazorca”. Las larvas que emergen de los huevos se alimentan de esa zona y ocasionan proliferación de hongos. Gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*) en cuyo estado larval perfora los brotes del maíz lo cual se evidencia cuando la hoja logra desplegarse, sus excrementos se pueden observar en la planta, también se lo encuentra ocasionando raspados en el haz foliar. Roya del maíz causada por el hongo *Puccinia sorghi*, el cual forma pústulas de apariencia pulverulenta en el haz y envés de las hojas, las primeras lesiones se ubican en las hojas basales y prosperan con una humedad mayor de 80 %. Insectos raspadores de hojas (*Diabrotica spp.*) que ocasionan daños a la lámina foliar con su aparato bucal masticador, esta situación resta capacidad fotosintética a la planta. Virosis en plantas de maíz. En nuestro medio los virus que atacan el maíz son: Virus del Rayado Fino (*MRFV*), Virus del Enanismo Rayado (*MMV*), Virus del Moteado Clorótico (*MCMV*), entre otros. Estos no causan la muerte de la planta, pero sí disminuyen considerablemente el rendimiento. Los virus son transmitidos por insectos vectores de una planta a otra y también por la semilla. Mancha foliar fusiforme pequeña, ocasionada por el hongo *Bipolaris maydis*. Existen tres razas fisiológicas que difieren en el tamaño y la coloración de las manchas que inducen en las hojas. El gusano mazorquero (*Helicoverpa zea*) es un insecto que en estado larval penetra hacia la mazorca y se alimenta de ella ocasionando lesiones y pudrición.

Palabras clave: Plaga, identificación, daño.

Protocolo de crianza del biocontrolador *Chrysoperla* spp.

María E. Neira¹; Jennifer Elizabeth Rodas¹

¹ Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA),
Estación experimental Agraria Vista Florida (EEAV)

I. INTRODUCCIÓN

Los Biocontroladores son importantes en la agricultura, siendo utilizados en un manejo integrado de plagas disminuyendo su incidencia y reduciendo aplicaciones agroquímicas en los cultivos. Las larvas de crisopas en estadio II son muy voraces y de gran utilidad en el control biológico de “cogollero” *Spodoptera frugiperda* (Pérez et al, 2019). El objetivo del laboratorio de Biocontroladores es producir controladores biológicos: Crisopidos y difundir el beneficio y uso de este controlador biológico entre los agricultores.

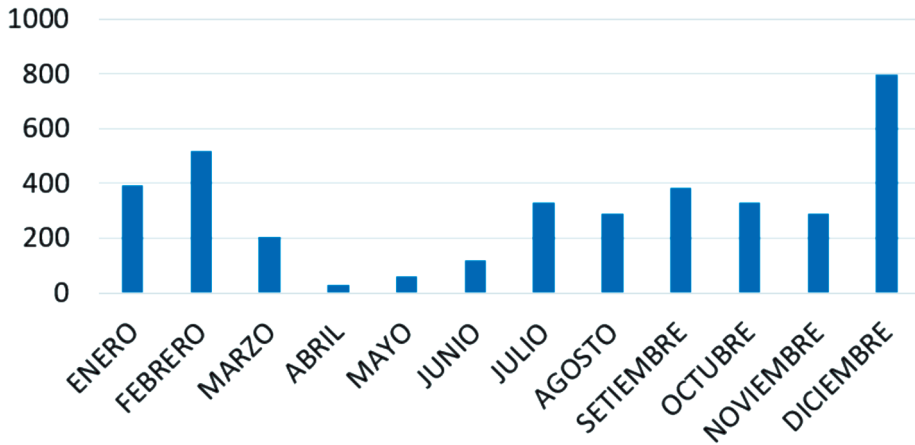
II. METODOLOGÍA

Crianza de crisopas:

- Acondicionamiento de adultos en baldes de 20 L para su posterior oviposición.
- Cosecha de posturas de un balde (30 a 50 millares).
- Acondicionamiento de 1 millar de posturas en un táper N° 5.
- Alimentación de estadios larvales (I, II y III), con huevos de Sitotroga cerealleva por 15 días hasta el tercer estadio.
- Cosecha de pupas.
- La temperatura varía de 20.6 a 31 °C y la humedad relativa varía de 69 a 82 %.

III. RESULTADOS

Producción mensual (millares) de crisopas en el Laboratorio de Biocontroladores – EEAVF, en el 2021.



IV. CONCLUSIÓN:

Con las condiciones de temperatura y humedad adecuadas, e insumos en las cantidades y momentos adecuados, se obtiene una mejor producción de huevos de *Chrysoperla* spp.

Alternativas ecológicas de control de *Spodoptera frugiperda* en cultivo de maíz amarillo duro

María E. Neira Espejo¹; Caterine P. Inoñan Yanayaco¹

¹ Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA),
Estación experimental Agraria Vista Florida

INTRODUCCIÓN

El maíz amarillo duro (MAD) es cultivo importante en la economía peruana con una superficie de siembra en 2020-2021 de 251.215.75 hectáreas. El "cogollero" *Spodoptera frugiperda* es la plaga principal del MAD por lo que se realizó un experimento con el objetivo de generar alternativas ecológicas para su control.

METODOLOGÍA

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 5 tratamientos:

T2: testigo con aplicación de químicos

T1: testigo cero sin aplicación alguna

Tratamientos ecológicos:

T3: trampas mixtas + crisopas

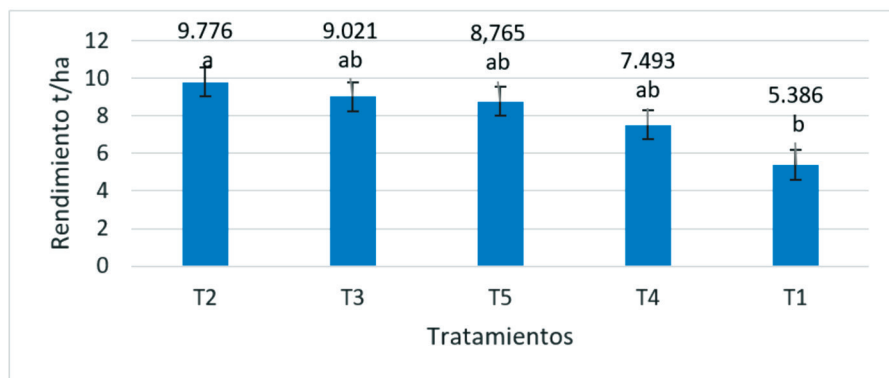
T4: trampas mixtas + *Telenomus* + nematodos entomopatógenos (NEP)

T5: trampas mixtas + *Telenomus* + crisopas + NEP

RESULTADOS

Los datos se sometieron a análisis de varianza y prueba de Tukey al 5%.

Gráfico: Rendimiento promedio de MAD (t/ha) aplicando cinco tratamientos de control de “cogollero”



Los tratamientos ecológicos no tuvieron diferencias significativas entre ellos. El "cogollero" genera pérdidas de rendimiento en el MAD, pero las alternativas ecológicas dan buenos resultados tanto como las aplicaciones de productos químicos.

CONCLUSIÓN

Los tratamientos ecológicos podrían utilizarse como una alternativa para el control de *Spodoptera frugiperda*.

Parasitoides de *Spodoptera frugiperda* (Smith) en maíz (*Zea mays* L.) presentes en ocho zonas de Lambayeque

María E. Neira¹; Esperanza Irigoín²

¹Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA),
Estación experimental Agraria Vista Florida

²Centre for Agricultural Bioscience International (CABI)

INTRODUCCIÓN

El maíz, es importante a nivel mundial, especialmente en el Perú. El desarrollo y producción de este cultivo se ve afectado por especies plaga, siendo *Spodoptera frugiperda* la principal plaga que más daño ocasiona. El objetivo de este trabajo fue identificar y reportar la diversidad de parasitoides de *S. frugiperda* en cultivos de maíz de diferentes sectores de Lambayeque, así como estimar su porcentaje de parasitismo.

METODOLOGÍA

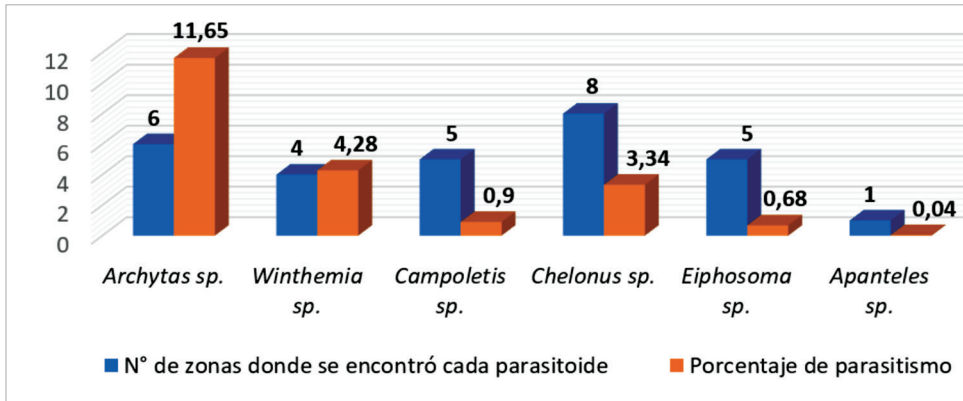


$$\% \text{ de parasitismo} = \frac{\text{Larvas parasitadas}}{\text{Larvas útiles}} \times 100$$

RESULTADOS

Se colectaron 3134 larvas, de las cuales 753 estaban parasitadas, identificando seis géneros de parasitoides: *Archytas* sp., *Winthemia* sp., *Campoleptis* sp., *Chelonus* sp., *Eiphosoma* sp. y *Apanteles* sp.

Figura 1. Distribución por género y porcentaje de parasitismo total en larvas de *S. frugiperda* de ocho sectores muestreados.



CONCLUSIONES

Existe diversidad en el parasitismo de "cogollero" en Lambayeque, se identificaron seis especies de parasitoides en cultivos de maíz amarillo duro, siendo *Archytas sp.* el que presentó mayor porcentaje de parasitismo y *Chelonus sp.* presentó mayor distribución.

Experiencias en control integrado del gusano mazorquero del maíz (*Helicoverpa zea* Boddie) en la provincia de Cajamarca con énfasis en manejo biológico

Ronald Leonardo Llique Morales¹

¹Servicio Nacional de Sanidad Agraria - Cajamarca

E-mail: rllique@senasa.gob.pe

El gusano mazorquero, también llamado “huyo” o “choclokuro” (*Helicoverpa zea*) causa importantes pérdidas económicas en el cultivo de maíz, en todas las zonas productoras de la provincia de Cajamarca. Las “polillas” de esta especie depositan sus huevos en los pistilos o “barba” de la futura mazorca, de los cuales posteriormente emergen las larvas que ingresan a la mazorca para alimentarse del grano, con lo cual restan calidad comercial al producto y además ocasionan su pudrición por la proliferación de hongos. Una vez que la larva ha culminado su proceso de crecimiento y alimentación se deja caer al suelo y forma la “pupa” que es una estructura inmóvil y constituye la etapa previa a la salida del estado adulto en forma de “polilla”. Todo este ciclo de desarrollo de la plaga tarda alrededor de 2 meses. Las actividades de control integrado del gusano mazorquero que han dado buenos resultados, enfatizando entre ellas el control biológico, son las siguientes: buena preparación del terreno para destruir larvas y pupas allí presentes; deshierbos intensivos para evitar plantas de refugio, alimentación y cópula; rotación del maíz con otras especies; uso de trampas de luz y de alimentación; aplicación de 2 a 3 gotas de aceite comestible en los pistilos para causar la asfixia de estadios inmaduros; y liberación de la avispa *Trichogramma*, la cual se encarga de parasitar los huevos del mazorquero. Esta metodología biológica consiste en liberar en el campo alrededor de 150 000 avispas por cada hectárea de cultivo de maíz, cada una de las cuales buscará una postura (un huevecillo) de gusano mazorquero y lo utilizará para depositar sus propios huevos, los cuales 7 días después generarán nuevas avispas de *Trichogramma*.

Palabras clave: Parasitismo, *Trichogramma*, huevo, *Helicoverpa*.

Paquete ecológico para el control de *Spodoptera frugiperda* en cultivo de maíz amarillo duro (MAD)

María E. Neira Espejo¹; Caterine P. Inoñan Yanayaco¹

¹ Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA),
Estación experimental Agraria Vista Florida

1. INTRODUCCIÓN

El gusano “cogollero” *Spodoptera frugiperda* es la plaga clave del cultivo de MAD, deteriorando la calidad del grano y ocasionando pérdidas en su producción. Para su control se ha realizado un uso indiscriminado de insecticidas, ocasionando resistencia de la plaga. La EEA Vista Florida – Lambayeque está ejecutando una tecnología ecológica para combatir al “cogollero”, que tiene como objetivo desarrollar una alternativa al control químico mediante el uso de control etológico y biológico.

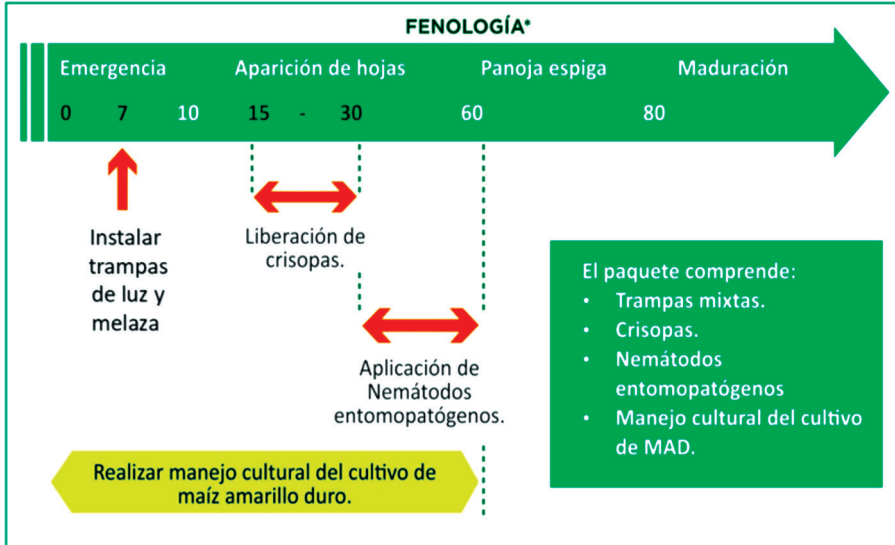
2. METODOLOGÍA

1. Control etológico (trampas de luz y melaza)
2. Control biológico utilizando larvas de crisopas (por su gran voracidad sobre el “cogollero”)
3. Nemátodos entomopatógenos (NEP) (parasitan a la larva originando su muerte)



3. RESULTADOS

Tecnología del manejo ecológico de cogollero, *Spodoptera frugiperda*, en el cultivo de maíz amarillo duro (MAD)



4. CONCLUSIÓN

El paquete ecológico resulta necesario como alternativa de control para el “cogollero” y asequible a los pequeños productores de MAD. por su bajo costo y protección al medio ambiente

Eficiencia de cuatro atrayentes trampa, para controlar mosca de la mazorca (*Euxesta* spp.) en cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Peter Chris Piña Díaz¹

¹Instituto Nacional de Innovación Agraria. Proyecto de Inversión 2361771

El objetivo del experimento es definir un atrayente eficaz para captura de adultos de mosca de la mazorca *Euxesta spp*, plaga clave actualmente en maíz amiláceo en la región de Cajamarca-Perú, con la ayuda de la trampa Macphail que actualmente es utilizada para monitoreo de mosca de la fruta. Las instalaciones de dichas trampas se encuentran en parcelas de maíz blanco INIA 603 Choclero, en 2 localidades: en el Anexo Experimental Cochamarca (L1), sembrada el 29 de octubre de 2021 y en la Estación Experimental Agraria Baños del Inca (L2) sembrada el 02 de diciembre de 2021. El inicio de las evaluaciones se realizó a la emergencia del estigma de la floración femenina, luego de ello las evaluaciones se realizan cada 7 días hasta llegar a la fase R6 (madurez fisiológica), debido que en este periodo la población de este insecto se incrementa. Las evaluaciones consisten en contar el número total de adulto de mosca de la mazorca capturadas en la trampa, así como el cambio del material atrayente (recebado) de cada tratamiento. Los tratamientos son los siguientes:

Tabla 1: Peso e insumos de cada tratamiento.

N°	Tratamiento	Ingrediente (mL)	Agua (mL)	Mezcla Total (mL)
1	Testigo (agua)	0	250	250
2	Proteína Hidrolizada + agua	18.75	231.25	250
3	Fosfato Di amónico + agua	41.6	208.4	250
4	Melaza + agua	162.5	87.5	250

La limpieza, identificación, clasificación y conservación de *Euxesta spp* se realiza en el laboratorio de entomología de la Universidad Nacional de Ca-

jamarca-Perú. Después de seis semanas de evaluación en L1 y cuatro en L2, los resultados indican que el tratamiento 3 (fosfato Di amónico + agua) es el más efectivo en ambas localidades con un promedio de 20.5 y 12.75 capturas, respectivamente. Sin embargo, el segundo lugar en L1 es el tratamiento 2 (proteína hidrolizada + agua) con 5 capturas, y en L2 el tratamiento 4 con 1.75 capturas de adultos en promedio. Las evaluaciones continuarán hasta el momento que el cultivo llegue a la madurez fisiológica (R6).

Los Compuestos Raciales de Maíz para la conservación *in situ* y uso sostenible de la diversidad

Ricardo Sevilla*, Raúl Blas, Julián Chura, Gilberto García

* rsevillapanizo@gmail.com

Los compuestos raciales de maíz se forman recombinando muestras de semilla de variedades nativas de la misma raza en una región. Originalmente se usaron los compuestos para conservación de la diversidad *ex situ*, pero mientras se formaban se probaron los ciclos y en general los compuestos rendían más que el promedio de sus componentes y el segundo o tercer ciclo superaba al primero, indicando que la recombinación mostraba un beneficio adicional a la heterosis. Actualmente se está iniciando un proyecto para formar tantos compuestos raciales como razas de maíz hay en el Perú, para, una vez recombinados, iniciar selección de medios hermanos (progenies de mazorca), con énfasis en caracteres adaptativos y caracteres de valor. Los primeros resultados indican que entre los adaptativos bióticos, las enfermedades de hoja responden a la selección haciendo a los compuestos más resistentes. La dificultad de seleccionar para tolerancia a caracteres abióticos es que los estreses no se presentan todos los ciclos. Debido a la alta heredabilidad de los caracteres externos del grano, se puede aumentar el valor uniformando esos caracteres.

Aprovechamiento de la diversidad del maíz peruano para la generación de nuevas oportunidades de negocio saludables

Harnessing the diversity of Peruvian corn to generate new healthy business opportunities

Hugo Huanuqueño^{1,2*}; Jorge Jiménez¹; Gastón Zolla¹

¹ Laboratorio de Biotecnología del Programa de Cereales y Granos Andinos,

² Programa de maíz, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, 15464, Lima. Perú;

* eh.h.coca@lamolina.edu.pe; jjimenezd@lamolina.edu.pe; gemzb@yahoo.com

RESUMEN

El consumo de alimentos nutraceuticos, como los antioxidantes, que se encuentran en el maíz morado es saludable. De las más de 50 razas de maíz que se encuentran en el Perú, la raza Kculli posee antocianinas en la mazorca, mientras que de los granos de la raza Confite se obtienen las rosetas o palomitas de maíz. Bajo la hipótesis de la posibilidad de juntar los genes de estas dos características en una sola variedad, el objetivo de este trabajo fue desarrollar híbridos simples (HS) con granos pigmentados (GP) y buen volumen de expansión (VE). Esta investigación se realizó en cuatro fases. En la fase 1, se obtuvieron 256 líneas S1 a partir de una población segregante de la cruce Kculli × Confite; luego, en la fase 2, éstas se evaluaron en cuatro ambientes y se identificaron 80 líneas superiores en GP y VE; en la fase 3 se cruzaron entre ellas, logrando formar 109 HS, los que fueron evaluados en La Molina en la fase 4. Se lograron desarrollar 21 HS promisorios, 9 de ellos presentaron más del 75% de mazorcas con GP, 5 HS tuvieron VE superior a 21 mL/g y sus rendimientos de grano variaron entre 4.8 y 6.3 t/ha.

Palabras clave: *Zea mays* L.; maíz morado; popcorn; antocianina; razas de maíz peruano.

ABSTRACT

Consuming nutraceutical foods, such as the antioxidants, found in purple corn is healthy. Of the more than 50 races of corn found in Peru, the Kculli race has anthocyanins on the cob, while rosettes or popcorn are obtained from the grains of the Confite race. Under the hypothesis of the possibility of joining the genes of these two characteristics in a single variety, the objective of this work was to develop simple hybrids (HS) with pigmented grains (GP) and good expansion volume (VE). This research was carried out in four phases: in phase 1, 256 S1 lines were obtained from a segregating population of the Kculli X Confite cross; then, these were evaluated in four environments and 80 superior lines were identified in GP and VE; in phase 3 they were crossed among them, managing to form 109 HS, which were evaluated in La Molina in phase 4. 21 promising HS were developed, 9 of them presented more than 75% of cobs with GP, 5 HS had VE higher than 21 mL/g and its grain yields varied between 4.8 and 6.3 t/ha.

Keywords: *Zea mays* L.; purple corn; popcorn; anthocyanin; Peruvian corn races.

Evaluación del potencial forrajero de cinco variedades y un híbrido de maíz (*Zea mays* L.), con tres niveles de fertilización en tres localidades del cantón Santa Isabel, Azuay - Ecuador

Rafael. Muñoz¹; Pablo W. Pintado¹; Javier A. Garófalo²

¹Programa de Maíz, Estación Experimental del Austro, ²Programa de Cereales, Estación Experimental Santa Catalina - Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. E-mail: rafael.munoz@iniap.gob.ec

El sector agropecuario es uno de los más propensos a sufrir inconvenientes por la variabilidad climática. La falta de lluvias reduce la cantidad y distribución de pasto disponible para la alimentación de los animales, provocando la pérdida de peso y la disminución en la producción de leche y carne. Uno de los métodos para contrarrestar esta problemática consiste en aprovechar el excedente de forraje para la época de escasez, lo cual puede ser logrado a través de la elaboración de heno o ensilaje. El objetivo del presente estudio fue identificar a la mejor variedad de maíz para ensilaje en el cantón Santa Isabel. Para este propósito, durante los años 2020 y 2021 se evaluó el comportamiento agronómico y el contenido nutricional de cuatro variedades de libre polinización (INIAP 103, INIAP 182, INIAP 543, Lojano – Testigo Local) y un híbrido de maíz (INIAP H-603) en tres localidades del cantón Santa Isabel (El Tablón, Peña Blanca y Hato Pilchis). Los resultados mostraron que existieron diferencias estadísticas significativas para variedades con el 100% de fertilización (112 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 20 kg ha⁻¹ de K₂O). La variedad Lojano (testigo local), presentó el mayor rendimiento promedio de materia verde (59,07 t ha⁻¹) y de materia seca (19,07 t ha⁻¹). Sin embargo, los materiales INIAP 182 e INIAP 543 presentaron altos contenidos de proteína (11,97% y 11,77% respectivamente), en comparación con el testigo local e INIAP 103, que presentaron entre 6,90% y 10,64%. Por lo tanto, podemos concluir que la variedad local presentó los niveles más altos en materia verde y seca, lo que demuestra su adaptación a esta zona; mientras que las variedades INIAP 182 e INIAP 543, son una buena alternativa productiva y nutricional.

Palabras clave: ensilaje, materia seca, materia verde, proteína

Ensayo de Adaptación y Eficiencia de maíces morados (*Zea mays* L.), en el distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc, Región Cajamarca

José Wilmer Manosalva Chugden¹, Alicia Elizabeth Medina Hoyos²

¹Agencia Agraria Hualgayoc Bambamarca, del Gobierno Regional de Cajamarca

E-mail: manosalva_29@hotmail.com

²Instituto Nacional de Innovación Agraria. Estación Experimental Agraria Baños del Inca. Cajamarca, Perú.

Resumen

Se evaluó tres variedades de maíz morado: INIA 601 Morado Mejorado, sintético derivado de INIA 601 y Canteño (Testigo) con el objetivo de evaluar la producción y la cantidad de antocianinas en la coronta y en las brácteas. El rendimiento de granos fue corregido con 14 % de humedad y ajustado a $t\ ha^{-1}$, el contenido de antocianinas se determinó utilizando el método del espectrofotómetro HPLC (High Performance Liquid Chromatography). Los ensayos se sembraron en Chala a 2 732 m s.n.m, entre los años 2018 y 2019. Los resultados muestran que la mayor producción de grano ($4,34\ t\ ha^{-1}$) y la mayor concentración de antocianinas en corontas (7,70) y brácteas (4,56) mg/100 g de cianidina-3-glucósido se obtiene sembrando la variedad INIA 601; convirtiéndose en una alternativa tecnológica para los productores, con la que puede establecer un negocio rentable ya que podría obtener ingresos cuatro veces mayores que vendiendo solo grano de otros tipos de maíz amiláceo.

Desarrollo y evaluación de híbridos de maíz morado de alto rendimiento y buena calidad

¹ Teodoro Narro León

¹ Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).
EEA. Baños del Inca-Cajamarca.

INTRODUCCIÓN

En el Perú se siembra 280,000 ha de maíz amiláceo, incluyendo al maíz morado (MINAGRI, 2020), que es sembrado mayormente en la sierra y costa. Las prácticas de cultivo usadas para producir maíz morado son diferentes en cada una de estas regiones, sin embargo, en las dos regiones se siembra variedades con rendimiento que varían de 4,490 a 5,269 kg/ha, respectivamente (MINAGRI, 2018). El desarrollo de híbridos de alto rendimiento, alto contenido de antocianina y con resistencia a enfermedades, principalmente a pudrición de mazorca causadas por *Fusarium moniliforme* y *Penicillium* sp., que producen micotoxinas nocivas para humanos (Nelson, E. 1994), es una alternativa viable para aumentar la rentabilidad del maíz morado. El maíz morado tiene importantes propiedades en la alimentación y en la salud, debido a que la antocianina que se encuentra en los granos, coronta, brácteas y otras partes de la planta previenen enfermedades en personas como la obesidad, diabetes, cáncer al colon, entre otras (Lao et al., 2016). El objetivo de la presente investigación es evaluar híbridos experimentales de maíz morado desarrollados para las condiciones de la sierra norte del Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la campaña agrícola (CA) 2018-2019 fueron desarrollados híbridos simples usando líneas de maíz morado con diferente grado de endogamia, generados a partir de las variedades INIA-601 e INIA-615 Negro Canaán. Los híbridos fueron evaluados en la CA 2020-2021, en la EEA Baños del Inca en diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones.

En la fase de campo fue evaluado altura de planta y mazorca, floración masculina y femenina al 50%, en la cosecha se evaluó peso de mazorcas

por parcela, incidencia y severidad de pudrición de mazorca usando una escala constituida por seis grados (0 a 5, 0 = sin síntoma y 5 = completamente afectada). En postcosecha, se evaluó el peso de grano, peso de coronta, diámetro y longitud de coronta. Los datos de peso de mazorca por parcela fueron convertidos a t/ha, efectuándose corrección por humedad y porcentaje de desgrane. Los análisis de variancia y correlación fueron efectuados con el software SAS 9.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rango de variación de rendimiento de 19 híbridos experimentales varió de 7.34 a 2.80 t/ha, los híbridos de mayor y menor rendimiento fueron generados del cruzamiento de líneas obtenidas de la variedad INIA 601. El cuarto y quinto lugar, 7.15 y 6.76 t/ha, respectivamente, fueron ocupados por los híbridos obtenidos con las líneas LS2Ult-(x), y LP-10-(x)-#, cruzadas con líneas derivadas de INIA 615 (Tabla 1), indicando que las líneas generadas de la línea INIA 615 deben ser usadas como probadoras para desarrollar híbridos de alto rendimiento.

Los híbridos de mayor rendimiento tuvieron la menor incidencia y severidad de pudrición de mazorca, mientras que los de menor rendimiento ocurrió lo contrario.

Tabla 1. Promedios de rendimiento de grano (t/ha) corregido al 14% de humedad, peso de grano, peso de coronta, longitud y diámetro de coronta, incidencia y severidad de pudrición de mazorca en 19 híbridos experimentales de maíz morado.

HÍBRIDOS	GRANO		CORONTA			PUDRICIÓN DE MAZORCA	
	RENDIMIENTO (t/ha)	PESO (kg)	PESO (Kg)	LONGITUD (cm)	DIÁMETRO (cm)	INCIDENCIA	SEVERIDAD (Escala 6 grados)
Línea Av-S2-S3-(x)-(x) x PL9-(x)-#	7.335	0.88	0.14	14.7	2.69	6.00	3.67
LP-10-(x)-(x) x LP-11-(x)-#	7.207	1.05	0.18	14.8	2.62	12.33	2.33
Línea S2 Ult-(x)-(x) x LP-9-#	7.175	0.96	0.22	14.3	2.88	8.00	3.00
INIA 615-(x)-# (x) x LS2 Ult (x)	7.145	1.02	0.09	13.2	2.88	12.33	3.33
INIA 615-(x)-#-(x) x LP-10-(x)-#	6.758	0.76	0.15	14.6	2.65	7.67	3.00
LP-10-(x)-(x) x LP-11-(x)-#	6.697	0.71	0.18	12.9	2.97	8.00	3.00
LP-10-(x)-# x LP-11-(x)-#	6.068	0.55	0.16	12.2	2.64	10.67	3.33
LP-10-(x)-# x L Av. S3-(x)	5.595	0.90	0.17	15.7	2.58	9.33	3.33
INIA 615-(x)-#-# x L Av. S3-(x)	5.476	1.11	0.23	18.6	2.37	9.07	3.34
INIA 615-(x)-#-# x LP-11-(x)-#	5.334	1.09	0.19	14.9	2.53	8.00	3.33
INIA 615-(x)-#-# x L Av. S3-(x)	4.680	0.92	0.22	14.5	3.08	18.33	3.67
INIA 615-(x)-#-# x LS2 Ult-(x)	4.639	1.00	0.23	15.5	2.83	11.33	3.67
Línea Av-S5-(x)-# x L Av. S3-(x)	4.291	0.69	0.16	13.7	2.56	11.00	3.67
Línea AvS3-(x)-# x LAv-S5-(x)	4.088	0.82	0.22	13.4	3.34	7.67	3.33
Línea Av-S5-(x)-# x LP-22-(x)-#	4.086	0.83	0.15	12.8	2.82	5.67	3.33
Línea AvS3-(x)-# x LP-10-(x)-#	3.566	0.75	0.15	13.5	2.73	4.00	3.67
LP-10-(x)-# x Línea AvS3-(x)-#	3.406	0.76	0.22	15.6	3.02	9.67	3.67
Línea Av-S5-(x)-# x PL9-(x)-#	3.330	0.98	0.24	16.4	2.83	11.33	3.33
Línea AvS3-(x)-# x LS2 Ult-(x)-(x)	2.799	0.67	0.18	14.7	2.74	10.00	3.67
PROMEDIO GENERAL	5.245	0.88	0.18	14.58	2.97	10.00	3.00

En los análisis de variancia fueron obtenidas diferencias significativas de rendimiento de grano e incidencia de pudrición de mazorca, para altura de planta y mazorca, floración masculina y femenina y severidad de pudrición de mazorca no fueron observadas diferencias significativas (datos no mostrados).

Las correlaciones fenotípicas de rendimiento de grano de los híbridos con la incidencia y severidad de pudrición de mazorca fueron negativas, lo que indica que tanto la incidencia como la severidad afectan negativamente al rendimiento. La correlación de peso de grano con longitud de coronta fue positiva y significativa, indicando que mayor peso de grano se consigue con mazorcas de mayor longitud. La correlación de peso de grano con peso de coronta fue baja y no significativa, con diámetro de coronta baja y negativa. La correlación de longitud de coronta con peso de coronta fue positiva y significativa, y con diámetro de coronta negativa y no significativa (Tabla 2).

Tabla 2. Correlaciones fenotípicas de rendimiento de grano, peso de grano con caracteres de coronta, e incidencia y severidad de pudrición de mazorca.

CARACTER	INCIDENCIA	SEVERIDAD	LONGITUD CORONTA	PESO CORONTA	DIAMETRO CORONTA
RENDIMIENTO	-0.231	-0.027			
PESO DE GRANO			0.582**	0.275	-0.011
LONGITUD DE CORONTA				0.58**	0.052

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado híbridos experimentales de alto rendimiento, buenas características agronómicas y adecuado grado de resistencia a pudrición de mazorca.

Se ha obtenido correlación positiva de peso de grano con longitud de coronta y de longitud de coronta con peso de coronta.

INIA 624 - Killu Suk: híbrido trilineal de maíz amarillo duro para regiones de trópico del Perú

Percy Díaz-Chuquizuta^{1*}, Edison Hidalgo-Melendez¹, Melbin Mendoza-Paredes¹, Isaac Cieza-Ruiz², Teófilo Wladimir Jara-Calvo³

¹ Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA, Perú

* Autor para correspondencia: pdiaz023@gmail.com

El maíz amarillo duro (*Zea mays* L.), es fuente principal para la elaboración de alimentos en la industria avícola y porcina, y para la nutrición humana, por lo tanto, generar nuevos híbridos, tiene gran importancia y repercusión socio económica. El uso de híbridos trilineales de maíz se ha incrementado porque cuentan con la ventaja de producir más semilla, debido a que se originan de la cruce de un híbrido simple altamente rendidor como progenitor hembra, con una línea endogámica como progenitor macho, permitiendo aprovechar las ventajas de la heterosis en la producción comercial y en la producción de semilla. El objetivo fue evaluar el comportamiento agronómico de cinco híbridos trilineales experimentales frente a la variedad tradicional Marginal 28T, en ocho localidades. Los tratamientos fueron: HTE1 (PIMLE 29♀ × PIMLE 26♂) × CML197 ♂; HTE2 (PIMLE 29♀ × PIMLE 26♂) × CL 02410 ♂; HTE3 (PIMLE 29♀ × PIMLE 26♂) × CML 165♂; HTE4 (PIMLE 29♀ × PIMLE 26♂) × CML 161 ♂; HTE6 (PIMLE 29♀ × PIMLE 26♂) × CLYN 240) y Marginal 28T (variedad de polinización libre) como testigo. En los híbridos triples, el híbrido simple hembra es PIMLE 29♀ × PIMLE 26♂, que pertenece al Programa de Maíz del INIA, y el macho polinizador es una línea endogámica procedente del CIMMYT. Se usó un diseño de bloques completos al azar, con análisis combinado y modelo AMMI. Se evaluó días a la floración, altura de planta y mazorca, acame de raíz, mala cobertura de mazorca, ataque de roya, rendimiento, diámetro, número de hileras por mazorca, color y textura de grano. El híbrido triple HTE6 destacó con mejor comportamiento agronómico, mayor rendimiento promedio (7,19 t ha⁻¹), con color de grano naranja y textura semicristalina, superando a la variedad Marginal 28T (5.16 t ha⁻¹), y por ser más estable. El híbrido triple HTE6 fue lanzado al mercado el 14 de julio de 2020, con Resolución Jefatural N° 0086-2020-INIA, autorizando su comercialización como nueva variedad comercial con la denominación de "INIA 624 - KILLU SUK", nuevo híbrido triple de maíz para las condiciones de trópico.

Mejoramiento Participativo del Maíz Dulce INIA 622 - Chullpi Sara en Cusco, Perú

Wladimir Jara^{1*}, Andrés Castelo¹, César Medina¹
y Luis Enrique Córdova¹

1 Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA, Perú

* wjara@inia.gob.pe

RESUMEN

Anualmente se produce 400 toneladas de maíz dulce de la raza Chullpi en el Perú, con un rendimiento de 2.0 t/ha de grano para exportación. En la producción se usa tecnología tradicional (grano en vez de semilla), por lo que se obtienen bajos rendimientos. En 2004 el INIA decide mejorar la variedad Chullpi Local para contribuir al uso de semilla de calidad, incrementar su productividad y rentabilidad, y mejorar la calidad de vida de los pequeños productores de la provincia Quispicanchi en Cusco, Perú. La población inicial estuvo constituida por 157 mazorcas (familias), colectadas en 2003 en Calca, Urubamba, Paruro y Quispicanchi. Desde 2004 hasta 2013 se llevaron a cabo ocho ciclos de selección recurrente de medios hermanos, sembrando 3 surcos hembra por 1 surco macho, practicando una selección participativa: los agricultores seleccionaban las mazorcas o familias para el siguiente ciclo. En cada ciclo se seleccionó el 20 % de familias superiores por mayor productividad y calidad de grano. En el octavo ciclo se formó el núcleo de semilla genética de la nueva variedad mejorada, denominada INIA 622 – Chullpi Sara, que demostró mayor rentabilidad frente al Chullpi Local (S/ 311.50 frente a S/ 250.96); con excelentes bondades agronómicas como grano de sabor dulce y diversas formas de consumo, convirtiendo al Chullpi Sara en un producto de exportación. El 2 de julio de 2019 la variedad INIA 622 – Chullpi Sara fue lanzada al mercado e inscrita como nueva variedad en el Registro de Cultivares Comerciales, apta para sembrar en la sierra sur: Cusco (Quispicanchis, Huaroo Andahuaylillas, Quiquijana y Urcos).

Palabras claves: maíz dulce, evaluación participativa, selección, productividad, rentabilidad.

ABSTRACT

Annually, 400 tons of sweet corn of the Chullpi race are produced in Peru, with a yield of 2.0 t/ha of grain for export. Traditional technology is used in production (grain instead of seed), so low yields are obtained. In 2004, INIA decided to improve the Chullpi Local variety to contribute to the use of quality seed, increase its productivity and profitability, and improve the quality of life of small producers in the Quispicanchi province in Cusco, Peru. The initial population consisted of 157 ears (families), collected in 2003 in Calca, Urubamba, Paruro and Quispicanchi. From 2004 to 2013, eight cycles of recurrent selection of half-sib families were carried out, planting 3 female rows for 1 male row, practicing a participatory selection: the farmers selected the ears or families for the next cycle. In each cycle, the 20% of superior families were selected for greater productivity and grain quality. In the eighth cycle, the genetic seed nucleus of the new improved variety was formed, called INIA 622 - Chullpi Sara, which showed greater profitability compared to Chullpi Local (S/ 311.50 versus S/ 250.96); with excellent agronomic benefits such as sweet-tasting grain and various forms of consumption, making the Chullpi Sara an export product. On July 2, 2019, the INIA 622 – Chullpi Sara variety was launched on the market and registered as a new variety in the Registry of Commercial Cultivars, suitable for planting in the southern highlands: Cusco (Quispicanchis, Huaroo Andahuaylillas, Quiquijana and Urcos).

Keywords: sweet corn, participatory evaluation, selection, productivity, profitability

Evaluación preliminar de híbridos promisorios de maíz (*Zea mays* L.) de grano amarillo para el trópico alto colombiano

Preliminary evaluation of promising hybrids of yellow grain maize (*Zea mays* L.) For the colombian high tropics

Karen Viviana Osorio Guerrero^{1,4*}; Deisy Lorena Flórez Gómez^{1,5}; Pablo Edgar Jimenez Ortega^{2,6}; Jose Jaime Tapia Coronado^{3,7}

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia. Sede Central, Km 14 vía Mosquera – Bogotá, Mosquera – Cundinamarca, Colombia. ²Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá, Km 14 vía Mosquera – Cundinamarca, Colombia. ³Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia. Centro de Investigación Turipaná, Km 13 vía Montería- Cereté – Córdoba, Colombia. ⁴kosorio@agrosavia.co, <https://orcid.org/0000-0002-9252-9993> ⁵dlflorez@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0003-3676-7564> ⁶pjimenez@agrosavia.co, <https://orcid.org/0000-0001-8258-2320> ⁷jtapia@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0002-3621-5316>

*Autor para correspondencia: kosorio@agrosavia.co

RESUMEN

En Colombia el maíz es un cultivo de gran importancia socioeconómica, no obstante, se registran bajas productividades; por lo cual es importante el desarrollo de nuevos materiales que contribuyan al incremento de rendimiento en el país. Durante el ciclo 2020-A, en el marco del proyecto “Programa de mejoramiento genético del cultivo de maíz para Colombia”, fueron evaluados en la zona Andina Colombiana tres ensayos de híbridos simples de grano amarillo del programa global de maíz del CIMMYT (HL2015-28-5, HL2015-34-5 y HL2015-36-5). Se midieron características agronómicas, siendo el rendimiento a choclo la variable preponderante de los cultivos de maíz en la zona. El análisis estadístico consideró las medidas de tendencia central y el análisis de varianza individual mediante el programa Fieldbook. Se presentaron resultados significativos para las variables

de rendimiento a choclo y a grano, sobresaliendo los híbridos HL1287-175, HL1288-145 5 y HL1289-47, cada uno con 27 t/ha a choclo; y a grano los materiales HL1287-169 (11.15 t/ha), HL1288-153 (13.91 t/ha) y HL1289-40 (10.99 t/ha) de los ensayos HL2015-28-5, HL2015-34-5 y HL2015-36-5, respectivamente. Los rendimientos encontrados tanto a choclo como a grano permitieron la identificación preliminar de los híbridos con buen desempeño productivo y promisorios para su uso como alternativa forrajera.

Palabras clave: *Zea mays* L., mejoramiento genético, trópico alto, rendimiento a choclo, rendimiento de grano.

ABSTRACT

In Colombia, maize is a crop of great socioeconomic importance, however, low productivity is recorded; For this reason, the development of new materials that contribute to the increase in yield in the country is important. During the 2020-A cycle, within the framework of the project "Genetic improvement program for maize cultivation in Colombia", three trials of simple hybrids of yellow grain from the CIMMYT global maize program (HL2015-28-5, HL2015-34-5 and HL2015-36-5) were evaluated in the Colombian Andean zone. Agronomic characteristics were measured, cob yield being the preponderant variable of maize crops in the area. The statistical analysis considered the measures of central tendency and the analysis of individual variance using the Fieldbook program. Significant results were presented for cob and grain yield variables, standing out the hybrids HL1287-175, HL1288-145 5 and HL1289-47, each with 27 t/ha of cob; and grain materials HL1287-169 (11.15 t/ha), HL1288-153 (13.91 t/ha) and HL1289-40 (10.99 t/ha) from trials HL2015-28-5, HL2015-34-5 and HL2015-36-5 respectively. The yields found for both cob and grain allowed the preliminary identification of hybrids with good productive performance and promising for use as a forage alternative.

Key words: *Zea mays* L., plant breeding, high tropics, cob yield, grain yield.

Utilización de líneas doble haploide (LDH) en programas de mejoramiento probadas en ambientes diferentes en Colombia

Alba Lucia Arcos¹, Luis Narro²

¹Exinvestigadora del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

²Universidad Nacional Agraria La Molina

Resumen

En maíz la formación tanto de híbridos como de variedades o sintéticos, requiere tener parentales llamados también líneas, con altos rendimientos, resistencia a plagas y enfermedades, y que respondan en diversas condiciones bióticas y abióticas. Además, que en los análisis estadísticos presenten una alta aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) lo que se consigue con la evaluación de cruzamientos entre las líneas (L) y probadores (P) los cuales son genotipos ya conocidos por su estabilidad en campo y características morfológicas. Este concepto de líneas, fue acuñado por Shull y East en 1909 obteniéndolas mediante autopolinización, y tomando cerca de 8 o 10 ciclos para lograr una homocigosis cercana al 97 %. Hace poco más de una década, varios programas de mejoramiento vienen utilizando una técnica que permite reducir tiempo en la obtención de líneas acortándolo a un ciclo y manteniendo una pureza del 100% de homocigosis. Esta técnica es conocida como la de los Dobles Haploides (DH) y utiliza un componente de laboratorio para doblamiento cromosómico, colchicina, y otro componente de campo que es su respuesta clave que evita hacer altas inversiones en pruebas de campo al llevar menos líneas a ser evaluadas como candidatos a parentales. Un objetivo de este estudio fue la selección de híbridos altamente rendidores y tolerantes a enfermedades formados de las cruza línea \times probador (L \times P) y la identificación de líneas con la mayor ACG para la formación de sintéticos. Fueron utilizados para este estudio veintiocho (28) líneas dobles haploide (LDH) y 4 probadores (constituidos por 2 líneas autofecundadas y 2 híbridos simples) y se realizaron los cruzamientos entre ellos. Los híbridos obtenidos de LDH \times probador, se evaluaron en 5 ambientes en Colombia. Los resultados muestran

que los más altos rendimientos fueron obtenidos cuando el cruzamiento fue realizado entre una LDH con una línea como probador, antes que un híbrido simple como probador, aunque el comportamiento de los híbridos varía de acuerdo al ambiente de evaluación. Los rendimientos más altos se obtuvieron en el Valle del Cauca (7.5 t/ha), los más bajos en los Llanos Orientales (3 t/ha), el 10 % de los híbridos tuvo un buen comportamiento en ambos ambientes. Se identificó 8 LDH con alta ACG para ser utilizadas en la formación de un sintético en programas de mejoramiento.

Palabras claves: maíz, doble haploides, híbridos, sintéticos

Aislamiento e identificación de hongos contaminantes en semillas almacenadas de maíz (*Zea mays* L.)

Isolation and identification of contaminant fungi on stored maize seeds (*Zea mays* L.)

**Manuel Alfonso Patiño Moscoso^{1,2*}; Karen Viviana Osorio Guerrero^{1,3};
Luisa Fernanda Sarmiento Moreno^{1,4}; Deisy Lorena Flórez Gómez^{1,5}**

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia. Sede Central, Km 14 vía Mosquera – Bogotá, Mosquera – Cundinamarca, Colombia.

²mpatino@agrosavia.co, <https://orcid.org/0000-0001-6147-032X> ³kosorio@agrosavia.co, <https://orcid.org/0000-0002-9252-9993> ⁴lsarmiento@agrosavia.co, <https://orcid.org/0000-0002-1083-0898> ⁵dlflorez@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0003-3676-7564>

*Autor para correspondencia: mpatino@agrosavia.co

RESUMEN

La pérdida de la calidad de las semillas se puede relacionar con la presencia de hongos contaminantes que conllevan a la disminución del poder germinativo, el vigor y la viabilidad de la semilla, a la infección de la plántula después de la germinación o a la producción de micotoxinas. En este trabajo se identificaron los hongos contaminantes en semilla almacenada de tres variedades de maíz a partir del aislamiento y la caracterización macroscópica, microscópica y molecular de los microorganismos fúngicos presentes en la semilla. Para cada variedad se determinó el porcentaje de germinación, semillas sanas, sanas germinadas, sin germinar y la prevalencia de los hongos en la semilla. Se obtuvieron en total nueve aislamientos de hongos agrupados en cuatro morfotipos. La caracterización molecular permitió identificar la presencia de especies como *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *Fusarium verticillioides*, y *Penicillium* sp. las cuales están asociadas con la producción de micotoxinas. Este diagnóstico sugiere evaluar tratamientos físicos, químicos o biológicos dirigidos a la semilla, los cuales deben estar enfocados en lograr una reducción significativa de los niveles iniciales de poblaciones de hongos junto con otras estrategias preventivas como buenas prácticas agrícolas.

Palabras clave: *Zea mays* L., calidad, sanidad, caracterización, hongos, semilla

ABSTRACT

The loss of the seed quality can be related to the presence of contaminant fungi that lead to a decrease in the germinative power, vigor, and viability of the seed, to the infection of the seedling after germination or to the production of mycotoxins. In this work, contaminant fungi present in stored seed of three maize varieties were determined. For this purpose, the isolation and macroscopic, microscopic, and molecular characterization of fungal microorganisms present in the seed were carried out. For each variety, the percentage of germination, healthy seeds, healthy germinated seeds, non-germinated seeds, and the prevalence of fungi in the seed were determined. A total of nine fungal isolates grouped into four morphotypes were obtained. The molecular characterization allowed to identify the presence of species such as *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *Fusarium verticillioides*, and *Penicillium* sp. The isolated fungal species are associated with the production of mycotoxins. This diagnosis suggests test physical, chemical, or biological treatments directed at the seed, which should be focused on achieving a significant reduction on the initial levels of fungal populations along with other preventive strategies such as good agricultural practices.

Key words: *Zea mays* L., quality, health, characterization, fungi, seed.

Efecto de condiciones de almacenamiento sobre la calidad fisiológica de semillas de maíz

José Jaime Tapia Coronado^{1*}, Liliana Margarita Atencio Solano¹; Ketty Isabel Ibañez Miranda¹; Luis Alfonso Sanchez Rodriguez¹

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia. Centro de investigación Turipana, Km. 13, vía Montería – Cereté, Montería, Colombia. Código postal 230009. Email: jtapia@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0002-3621-5316>); latencio@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0001-8425-1621>); kibanez@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0001-5107-1827>).; lasanchezr@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0002-3040-4458>)

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de condiciones de almacenamiento sobre la calidad fisiológica de la semilla de maíz. Se evaluaron 8 tratamientos con los factores: empaques (tanques plásticos con tapa de rosca de 2 litros; bolsas de papel kraft de 1 kilogramo), almacenamiento (cuarto frío con temperatura 7,0 °C y humedad relativa 77,0%; cuarto sin refrigeración con temperatura 25 °C y humedad relativa 85%) y tratamiento de semilla (con fungida y sin fungida). Se utilizó semilla de la variedad CORPOICA V-114, proveniente del campo de multiplicación. El periodo de almacenamiento fue de 120 días. Se evaluó: germinación, viabilidad, humedad y temperatura de la semilla cada 30 días. Se utilizó un diseño completamente al azar con 3 repeticiones. Se realizó un análisis de varianza utilizando el paquete estadístico SAS (versión 9.2). Se evidenció que los tratamientos afectaron la calidad fisiológica de la semilla. La germinación y viabilidad fue mayor en cuarto frío (88% y 85,9%) en comparación a los tratamientos sin refrigeración (71,5% y 68,9%), respectivamente. Los tratamientos sin refrigeración con empaques plásticos, con y sin tratamiento químico, reportaron germinación >85%. El almacenamiento en cuarto frío fue la mejor forma de conservar la calidad fisiológica, sin embargo, sin refrigeración y con envases plásticos se puede mantener la viabilidad de las semillas por 120 días.

Palabras clave: calidad fisiológica, viabilidad, germinación, almacenamiento, *Zea mays* L.

Desempeño productivo de híbridos y variedades sintéticas de endospermo blanco normal en la Región Caribe de Colombia

José Jaime Tapia Coronado^{1*}, Liliana Atencio Solano¹, Ketty Ibañez Miranda¹, Luis Sánchez Rodríguez¹

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia. Centro de investigación Turipana, Km. 13, vía Montería – Cereté, Montería, Colombia. Código postal 230009. Email: jtapia@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0002-3621-5316>); latencio@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0001-8425-1621>); kibanez@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0001-5107-1827>).; lasanchezr@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0002-3040-4458>)

*Autor para correspondencia: jtapia@agrosavia.co

RESUMEN

Colombia tiene gran potencial para sembrar y producir maíz, sin embargo, la producción total influenciada por los bajos rendimientos, no logran compensar el consumo interno. Existen 2 sistemas de producción en Colombia: el sistema tecnificado y el sistema tradicional. El primero logra un rendimiento promedio de 5,4 t ha⁻¹; mientras que el segundo solo 3,5 t ha⁻¹). En el Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA, se evaluaron dos experimentos individuales de genotipos de maíz (híbridos y variedades sintéticas de endospermo blanco normal) provenientes del banco de germoplasma de mejoramiento genético del CIMMYT, los cuales fueron comparados con testigos locales, dispuestos en un diseño experimental Lattice con 3 repeticiones. Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre genotipos (variedades e híbridos) para las variables rendimiento de grano (RG). Para el caso de las variedades sintéticas, se observó que el genotipo con mayor RG fue el S10TLWNGS HG B con un promedio de 6.13 t ha⁻¹, seguido de S10TLWNGS-HGAB y S10TLWQGSHGAB con promedios de 5.81 y 5.80 t ha⁻¹, respectivamente, superando ampliamente (hasta en un 49%) a uno de los testigos utilizados como ICA V-156; mientras que los híbridos con mayor RG fueron CLTHW18211 con un promedio de 8,07 t ha⁻¹, seguido de CLTHW18220 con

promedio de rendimiento de 8,06 t ha⁻¹, siendo superiores en más de 1 t ha⁻¹ con respecto al testigo FNC-514 (7,07 t ha⁻¹). En los resultados preliminares de este trabajo se identificaron 3 variedades sintéticas y 2 híbridos de grano blanco de alto rendimiento para la región Caribe Colombiana, logrando valores altamente competitivos y superiores con relación al promedio a nivel nacional.

Palabras clave: mejoramiento genético, región Caribe, *Zea mays* L., rendimiento de grano.

Evaluación del perfil de organizaciones de productores de maíz adscritas al Plan semillas en la región Caribe

**José Jaime Tapia Coronado^{1*}; Shirley Pérez Cantero¹,
Liliana Margarita Atencio Solano¹**

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia. Centro de investigación Turipana, Km. 13, vía Montería – Cereté, Montería, Colombia. Código postal 230009. Email: jtapia@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0002-3621-5316>); sperezc@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0001-5260-0321>), latencio@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0001-8425-1621>).

RESUMEN

El cultivo de maíz se siembra en las diferentes regiones de Colombia, de las cuales el 43% se desarrolla bajo el sistema tradicional principalmente por pequeños agricultores, quienes en muchas ocasiones hacen uso de semilla no certificada, por limitaciones en el acceso a semillas de calidad. El estudio tuvo como objetivo seleccionar organizaciones de productores de maíz en el Plan Nacional de Semillas y definir su perfil para el fortalecimiento de capacidades organizativas, productivas, ambientales, financieras y de mercado en función a la producción de semilla de calidad. Se realizó un análisis multidimensional con información obtenida en encuestas estructuradas, posteriormente, se evaluaron criterios para identificar fortalezas y debilidades de las organizaciones. Estas se calificaron conforme al estado de capacidades identificadas y experiencia en la producción de semilla en: Organizaciones en Crecimiento, Organizaciones en Desarrollo y Organizaciones en Consolidación. El análisis mostró tres organizaciones en proceso de crecimiento y una en desarrollo. La identificación del perfil de las organizaciones permitió concertar y elaborar el plan de trabajo que constituye la ruta a través de la cual se reforzarán cada uno de los componentes de la producción de semillas apalancándose de las fortalezas identificadas, para llegar a la definición de una línea de negocios.

Palabras clave: organizaciones de productores, producción de semilla, semilla de calidad, perfil de organizaciones.

Mejoramiento genético de la nueva variedad de maíz Chulpi INIAP-193

Carlos F. Yáñez¹, José L. Zambrano^{1*}, Carlos A. Sangoquiza¹, Victoria Lopez², Cesar Asaquibay³, María Nieto⁴

¹INIAP, Programa de Maíz, Estación Experimental Santa Catalina, Mejía, Ecuador

²INIAP Unidad de Desarrollo Tecnológico Cotopaxi

³INIAP Unidad de Desarrollo Tecnológico Chimborazo

⁴INIAP Unidad de desarrollo Tecnológico Imbabura

*Autor para correspondencia/Corresponding Author,

e-mail: josezambrano@iniap.gob.ec

RESUMEN

El Maíz Chulpi se cultiva en las zonas maiceras de la sierra ecuatoriana. Esta variedad ha sido usada por la población andina para la preparación de alimentos y bebidas. Actualmente su consumo es en forma de snacks (maíz tostado) y en conjunto con otros maíces se utiliza para la elaboración de bebidas en rituales indígenas. Se cultiva en alturas que van desde 2 200 a 2 900 m s.n.m. Su grano es aplanado y arrugado con endospermo dulce. Por otro lado, gran parte de la diversidad genética de maíz está en peligro de erosión genética debido a que son pocos los agricultores que aún la conservan. El programa de mejoramiento pretende repotenciar el uso del maíz chulpi y apoyar a la conservación de los recursos fitogenéticos con un enfoque agroindustrial. Los trabajos de mejoramiento se iniciaron en el 2006, en el que se realizaron 27 colectas en cuatro provincias de la Sierra ecuatoriana. El método de mejoramiento poblacional utilizado para la generación de la variedad fue el de Selección de Medios Hermanos (MH), modalidad familias mazorca por surco. Se realizaron 11 ciclos de mejoramiento en los cuales se obtuvieron rendimientos que variaron desde 2,0 a 4,0 t ha⁻¹ dependiendo de la altitud y de las regiones donde se cultiva y un diferencial de selección constante por año de 0,5 t ha⁻¹.

Palabras clave: maíz dulce, mejoramiento genético, adaptabilidad, diversidad genética, germoplasma

ABSTRACT

Chulpi corn is grown in the corn-producing areas of the Ecuadorian highlands. This variety has been used by the Andean population for the preparation of food and drinks. Currently its consumption is in the form of snacks (roasted corn) and together with other corn it is used to make drinks in indigenous rituals. It is cultivated at altitudes ranging from 2,200 to 2,900 meters above sea level, with flattened and wrinkled grains and a sweet endosperm. On the other hand, much of the genetic diversity of maize is in danger of genetic erosion because few farmers still conserve it. The improvement program intends to boost the use of chulpi maize and support the conservation of plant genetic resources with an agro-industrial approach. The improvement works began in 2006, in which 27 collections were made in four provinces of the Ecuadorian highlands. The improvement method used for the generation of the variety was Population Improvement, mejoSelection of Half Siblings (MH), family modality ear by row. Eleven improvement cycles were carried out in which yields were obtained that varied from 2.0 to 4.0 t ha⁻¹ depending on the altitude and the regions where it is cultivated and a constant selection differential per year of 0.5 t.ha⁻¹.

Keywords: sweet corn, genetic improvement, adaptability, genetic diversity, germplasm

Análisis de brechas de rendimiento en la producción de maíz en las Américas

Yield gap analysis in maize production in the Americas

María Gabriela Albán¹

¹Universidad San Francisco de Quito, Carrera de Ingeniería en Agronomía, Cumbayá, Ecuador.

*Autor para correspondencia/ Corresponding autor,
e- mail: galban@usfq.edu.ec

RESUMEN

El maíz amarillo duro (*Zea mays* L.), es el principal cereal cultivado en las Américas. En el 2020 se produjeron 582 millones de toneladas en el todo el continente, en una superficie de 74 millones de hectáreas. A pesar de ser un cultivo de gran importancia económica, social y cultural, y de contar con tecnologías avanzadas para la producción, existen en las Américas brechas importantes en productividad por el uso de tecnologías, lo cual ocasiona un bajo promedio de rendimiento en la mayoría de los países. Para este estudio se analizaron las cifras de rendimiento de varios países de América y España (FAO, 2022), y se estimaron porcentualmente las diferencias de cada uno con respecto al promedio de las diferentes regiones de las Américas y de España. En Norte América, el rendimiento promedio más alto fue de los Estados Unidos de 10,79 t ha⁻¹ (+16%), siendo México el país que reporta el más bajo rendimiento de esa región con 4,26 t ha⁻¹ (-111%). En Centro América, Nicaragua presenta la menor productividad en relación al promedio de la región 2.01 t ha⁻¹ (-107%); mientras que, en América del Sur, Bolivia alcanza el menor rendimiento promedio con 2, 26 t ha⁻¹ (-107%). Estados Unidos reporta el mayor rendimiento en las Américas con una diferencia de rendimiento de -1,47 t ha⁻¹ (-12%) con relación a España.

Palabras claves: Américas, Maíz, Producción, Productividad, Tecnologías.

ABSTRACT

Yellow dent corn (*Zea mays* L.) is the main cereal grown in the Americas. In 2020; 582 million of tons were produced in the entire continent within an area of 74 million hectares. This cereal, in despite of being a crop of great economic, social and cultural importance, and of having someplaces advanced production technologies, it has significant gaps in productivity in this continent due to the great variability in the applied technology, which causes both high, but also low yields (the last in most of the countries). For this study, the yield of several countries in the Americas and Spain were analyzed (FAO 2022), and the differences of each one respect to the average per region were estimated as a percentage. Thus, in North America, the highest average yield was for United States with 10.79 t ha^{-1} ; (+16%). On the other hand, Mexico reports the lowest yield i.e, 4.26 t ha^{-1} (-111%). In Central America, Nicaragua presents the lowest productivity in relation to the average of the region 2.01 t ha (-107%); meanwhile, in South America, Bolivia reaches the lowest yield with 2.26 t ha^{-1} (-107%). Even though, the United States reports the highest yield in the Americas, this is lower (about -1.47 t ha^{-1} or -12%) when compared to Spain.

Keywords: Americas, Corn, Production, Productivity, Technologies.

Análisis de la Producción, Productividad y Precios del Maíz en el Ecuador

Analysis of the Production, Productivity and Prices of corn in Ecuador

Mario Caviedes Cepeda¹

¹Universidad San Francisco de Quito,
Carrera de Ingeniería en Agronomía, Cumbayá, Ecuador.

*Autor para correspondencia/ Corresponding autor,
e- mail: mcaviedes@usfq.edu.ec

RESUMEN

En el Ecuador el maíz, el trigo y el arroz, son los cereales de mayor importancia y consumo para la población ecuatoriana. La producción de maíz está orientada al consumo humano y como materia prima en la elaboración de balanceados para la agroindustria; la demanda de maíz para este tipo de alimento se estima en 1.46 millones de toneladas (t) que cubre las necesidades para la producción principalmente de pollos, pavos, huevos y carne de cerdo. El maíz amarillo duro que se siembra y produce en la costa o litoral, abarca una superficie de 311.615 hectáreas (ha) con una producción estimada de 1.23 millones de t. El maíz para consumo humano se cultiva en la sierra y se caracteriza por su variación en cuanto a texturas, colores, contenidos de almidones y antioxidantes y usos, en una superficie de 79.018 ha y una producción estimada de 21.812 t. Los mayores niveles de productividad para el maíz amarillo duro se obtienen en las provincias de los Ríos y Guayas (4,5 t ha⁻¹) y en la sierra para los tipos harinosos, en las provincias de Chimborazo e Imbabura con un rendimiento promedio de 1,74 t ha⁻¹. Los precios de la semilla generada por el INIAP varían dependiendo del tipo de maíz. El maíz híbrido con un precio promedio de USD 70.40 (16 kg) y para las variedades de polinización libre de USD 96.25 (25-30 kg). El precio de sustentación fijado por el gobierno para el año 2022 para el maíz amarillo duro fue de USD 15.57 por quintal (45.45 kg) con 13% de humedad y 1% de impurezas. Las importaciones de maíz amarillo duro

para el año 2022 fueron de 100.784 t provenientes principalmente de Argentina, Estados Unidos y Tailandia.

Palabras claves: Maíz, Importaciones, Precios, Productores, Rendimiento, Semilla.

ABSTRACT

In Ecuador, corn, wheat and rice are the most important and consumed cereals. Corn production is oriented towards human consumption and as a raw material for the production of animal feed. The demand of corn for this type of food is estimated as 1.46 million metric tons (t) which covers the needs for the production of eggs, poultry, turkey and pork meat. The hard yellow corn is sown on the coast region and covers an area of 311,615 hectares (ha) and an estimated production of 1.23 million tons (t). On the other hand, corn for human consumption is sown in the highlands and it is characterized by its variation in terms of textures, colors, starch and antioxidant content and uses. Its production is estimated in 21,812t and uses an area of 79,018 ha. The highest levels of productivity for hard yellow corn are obtained in the provinces of Los Ríos and Guayas (4.5 t ha^{-1}) meanwhile that for highland (floury) types, is reached in the provinces of Chimborazo and Imbabura with an average yield of 1.74 t ha^{-1} . The prices of the seed germinated by the INIAP vary depending on the type of corn. Thus, hybrid corn has an average price of USD 70.40 (16 kg) meanwhile for open-pollinated varieties the price is USD 96.25 (25-30 kg). In this year (2022), the price support for hard yellow corn set by the government is USD 15.57 per quintal (45.45 kg) and containing up to 13% of moisture and 1% impurities. Imports of hard yellow corn in the year 2022 are so far 100,784 t and they come mainly from Argentina, the United States and Thailand.

Keywords: Corn, Imports, Prices, Producers, Yield, Seed.

Electrophoretic differentiation of the protein profile in yellow and purple corn and gluten-free bread produced with their flours

Bárbara Amorim Silva^{1,2*}, Marília Penteado Stephan³, Raúl Comettant-Rabanal^{1,4}, Alicia E. Medina Hoyos⁵, Alexsandro Araújo dos Santos³, Tatiana de Lima Azevedo³, José Luis Ramirez Ascheri³

¹Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ), Rio de Janeiro, Brazil

²Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, Brazil

³Embrapa Food Technology (CTAA), Rio de Janeiro, Brazil

⁴Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingenierías, Universidad Privada San Juan Bautista, Ica, Perú

⁵Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA, Estación Experimental Agraria Baños del Inca, Jirón Wiracocha S/No, Baños del Inca, Cajamarca, Perú

*Corresponding author: Bárbara Amorim Silva

E-mail address: barbara.amorim.silva@gmail.com

INTRODUCTION

Andean purple corn (*Zea mays* L.) is originally from Peru, has remarkable characteristics due to the high content of bioactive compounds, such as anthocyanins, phenolic acids and/or flavonoids (Cristianini & Guillén Sánchez, 2020). This differentiation in bioactive compounds is related to the expression of protein in any agronomic culture since this molecule represents the key to all metabolic pathways. This fact can happen in a quantitative and qualitative way. In general, cereals present the following classes of proteins: albumin, globulin and prolamin. The advantage of this cereal over wheat is because it has a prolamin called zein (non-allergenic) and wheat contains gluten (allergenic gliadin). The objective of this work was to use electrophoresis to identify possible differences in the proteins of yellow corn and purple corn flours and possible protein presentations when bread is made using these flours.

MATERIALS AND METHOD

In this work, purple Andean corn grains INIA 601 from the National Institu-

te of Agrarian Innovation (Cajamarca, Peru) and yellow corn from the popular market of Rio de Janeiro were used. The grains were milled to obtain fine flours that were used for protein extraction and breadmaking. The preparation of protein extracts was performed in two different ways; the first was separating the albumin and globulin in diluted 0.01M NaOH alkaline solution and the prolamin in 75% alcoholic solution in this sequential step. The procedure was modified from that described by Žilić, Barać, Pešić, Dodić, and Ignjatović-Micić (2011) to obtain a unique method for comparing the electrophoretic identity pattern of flour and bread, tests were carried out with three different extractor liquids: mercaptoethanol (ME), sodium dodecyl sulphate (SDS), dithiothreitol (DTT) following the protocol of (Ribotta, León, Pérez, & Añón, 2005).

Corn flours were obtained by grinding the grains in a ninja-type blender. The production of bread was made with rice flour, potato starch, cassava starch, purple corn flour, and yellow corn flour in the following proportions: 3:3:2:2. The dough obtained by biological fermentation was submitted to thermal processing in an industrial oven at 140 °C for 50 minutes.

RESULTS

In this work, NaOH (0.01M) extractor was used to extract albumin and globulin proteins. Notable differences were observed between purple and yellow corn. The protein profile of purple corn was well differentiated from yellow corn in relation to the fractions of albumin and globulin classes. In purple corn, four bands of 0.01M NaOH protein extract (albumin and globulin) were observed, ranging from 62.57kDa, 45.91kDa, 29.34kDa, and 23.16kDa. In yellow corn, only one stained polypeptide band of 79.64 kDa was observed, which was not observed in purple corn (figure 1). However, for the prolamin class, the extracts of purple and yellow corn showed the presence of two identical polypeptide chains of 33.87kDa and 23.16kDa. The test of different extractor liquids for comparative analysis of the identical pattern of the total proteins of flour corns showed differences. All three extractor liquids used were adequate to visualize purple corn proteins. However, for yellow corn, only mercaptoethanol was the most suitable solubilizing extractor. Similar protein profiles were observed for proteins extracted from breads. A protein profile of two bands (33.8 kDa and 23.1 kDa) was only observed using SDS as a protein extractor.

The technique of visualizing the proteins of the bread was not successful, both the purple and the yellow cornbread showed the same pattern of identity (figure 2). Possibly these identified proteins come from other protein ingredients of bread or these bands.

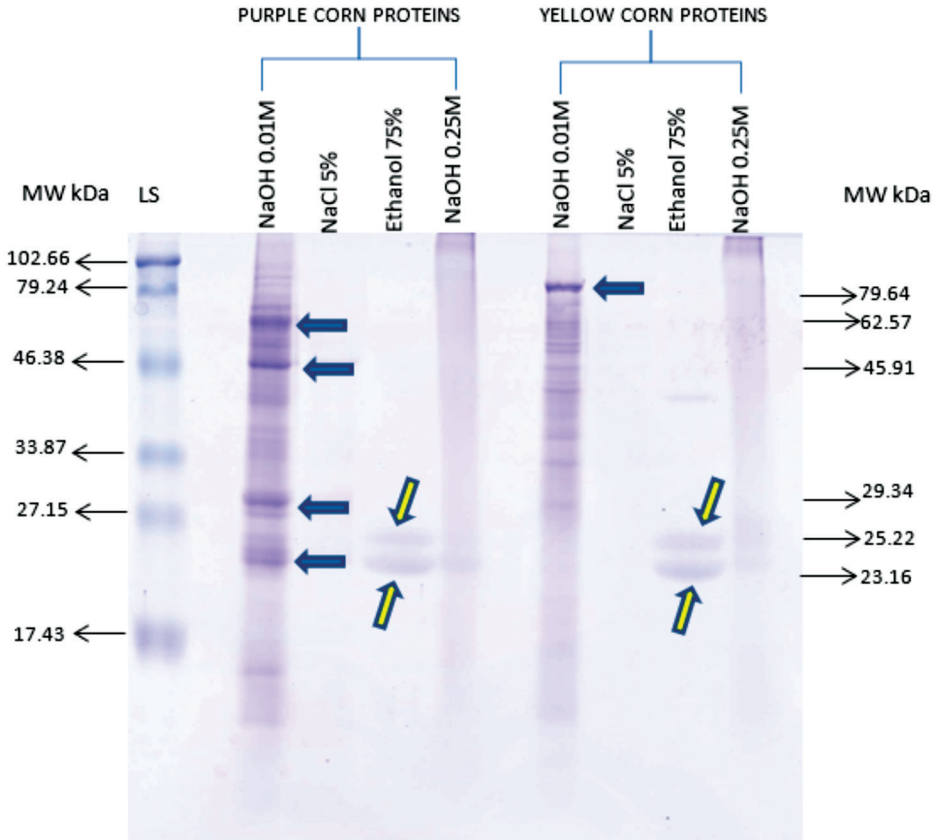


FIGURE 1 – Sequential extraction of three classes of protein: albumin and globulin, indicated by blue arrow and prolamine, indicated by yellow arrow with characterization by SDS-PAGE electrophoresis, obtained for purple and yellow. Only the stark stained proteins bands were marked does the thermal processing of bread production occur products of some protein hydrolysis.

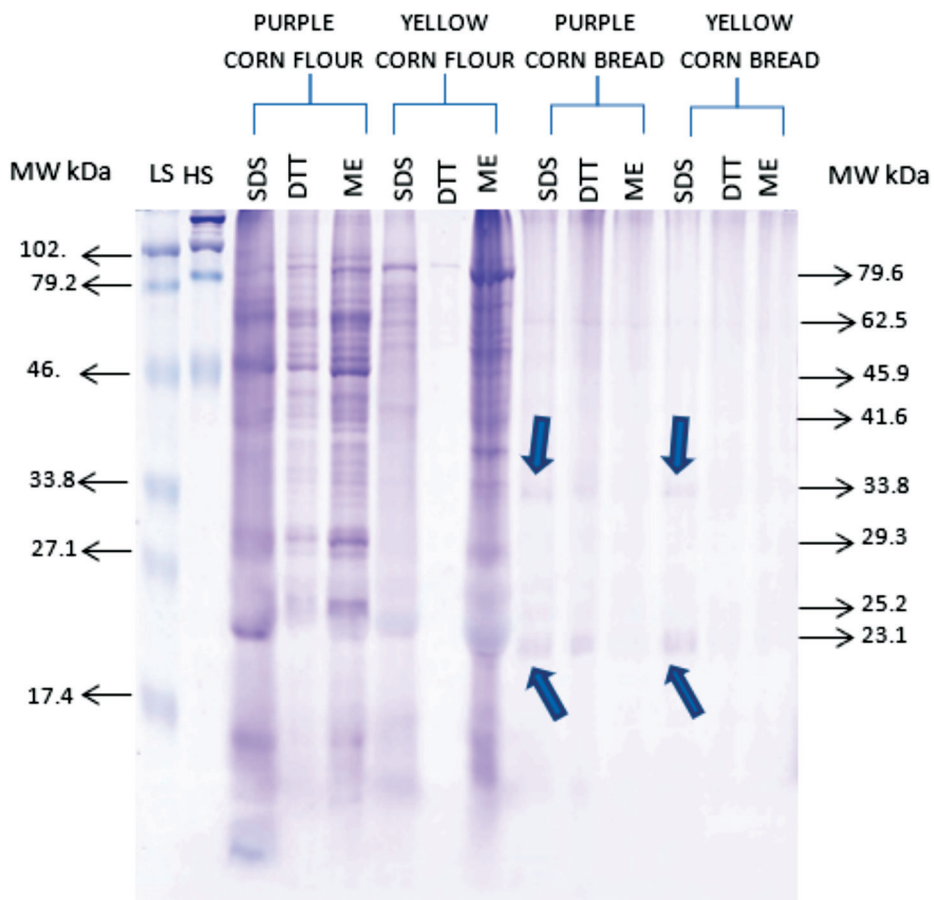


FIGURE 2 – Comparative evaluation of total proteins extracted from purple and yellow corn and its breads using different extractor liquids and SDS-PAGE Electrophoresis. The blue arrows obtained with SDS as liquid extractor indicate similar protein patterns for purple and yellow bread.

CONCLUSION

Electrophoresis proved to be a useful analysis tool to identify proteins that may be expressed in response to the presence of bioactive compounds in corn. In this paper, different protein profile was observed when comparing

purple and yellow corn. Sequential extractions of albumin, globulin, and prolamin were effective for both purple and yellow corn protein characterization. Future trials need to be carried out to improve the characterization of the protein profile of bread produced with purple and yellow flours.

REFERENCES

- Cristianini, M., & Guillén Sánchez, J. S. (2020). Extraction of bioactive compounds from purple corn using emerging technologies: A review. *Journal of Food Science*, 85(4), 862-869. doi:<https://doi.org/10.1111/1750-3841.15074>
- Ribotta, P. D., León, A. E., Pérez, G. T., & Añón, M. C. (2005). Electrophoresis studies for determining wheat–soy protein interactions in dough and bread. *European Food Research and Technology*, 221(1), 48-53. doi:<https://doi.org/10.1007/s00217-005-1135-2>
- Žilić, S., Barać, M., Pešić, M., Dodig, D., & Ignjatović-Micić, D. (2011). Characterization of Proteins from Grain of Different Bread and Durum Wheat Genotypes. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(9). doi:<https://doi.org/10.3390/ijms12095878>

ACKNOWLEDGMENTS

The present work was carried out with the support of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel - Brazil (CAPES). Post-graduate Program in Food Science and Technology – UFRRJ, and Embrapa Food Technology.

Impacto en el rendimiento de maíz por el uso de coberturas de suelo, para el control de malezas en *Zea mays* L. var. amilácea, en Cutervo-Cajamarca, Perú.

Impact on corn yield due to the use of soil covers for weed control in *Zea mays* L. var. amylacea, in Cutervo-Cajamarca, Peru.

¹Oscar Fernández-Aurazo, ²Hilda A., Del Carpio Ramos, ¹Gilberto Chávez S.

¹Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo,
Facultad de Agronomía, Lambayeque, Perú.

²Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo,
Dirección de Innovación y Transferencia Tecnológica

El uso de actual de herbicidas químicos en los cultivos ha traído serias consecuencias en los agroecosistemas y es un problema de salud pública actual, por lo que una alternativa es el uso de métodos ambientalmente amigables. El objetivo del presente fue, evaluar el uso de coberturas orgánicas en el control de malezas del cultivo de maíz choclero INIA 101. Se usaron 6 tratamientos: herbicidas pre emergente (T1) y post emergente (T2), plástico negro (T3), mulch (T4), deshierbo a lampa (T5) y testigo sin aplicación (T6). La aplicación de los tratamientos se efectuó a partir de la emergencia, momento en que empieza la edad crítica de competencia. Se usó el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los datos originales fueron transformados al seno \sqrt{x} y se llevó a cabo una prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$). Las evaluaciones de la frecuencia de las malezas se realizaron con la ayuda de un cuadrante de 1 m² a los 20, 40, y 60 dds y se evaluó la cobertura total y las especies predominantes mediante una evaluación visual, con una escala: de 0 a 100, donde 0 es igual a ausencia de malezas y 100 igual a totalmente cubierto de malezas; el porcentaje de cobertura total fue dividido según la proporción de malezas de hoja ancha y hoja angosta. Se encontró que la cobertura con plástico negro (T3), produjo un mayor rendimiento de mazorcas con 19509 kg/ha, el mayor número de mazorcas con 61096 mazorcas/ha, y la mayor altura

de planta con 1.66 m, Mientras que el testigo rindió 11850 kg/ha, 45150 mazorcas/ha y 1.46 m de altura de planta, respectivamente.

Palabras clave: Coberturas del suelo, herbicidas, *Zea mays* L, var amilácea.

Rendimiento de un híbrido de maíz en diferentes arreglos espaciales y densidades de plantas

Isaac Cieza-Ruiz¹; Teófilo Wladimir Jara-Calvo¹; Rosel Terrones-Monteza¹,
Ana M. Córdova-López¹

¹ Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA

RESUMEN

El potencial de rendimiento de un híbrido de maíz está determinado por herencia genética y su interacción genotipo-ambiente (clima, suelo, densidad de plantas, fertilización, plagas, etc.). Este estudio tiene como objetivos determinar (i) si el nuevo híbrido simple promisorio (CL02450 × CML287) responde en potenciar su rendimiento a mayores densidades de plantas, (ii) si el híbrido varía su respuesta al arreglo de dos hileras (simple-doble) y (iii) si el híbrido varía su respuesta productiva al hacinaamiento de una planta por golpe. El experimento fue cultivado el año 2019 en la campaña de otoño-invierno en la Estación Experimental Agraria Vista Florida del INIA. Para ello, se evaluó la respuesta productiva del híbrido promisorio simple (CL02450 × CML287) para determinar su máximo potencial de rendimiento, realizando riego por goteo con siembra y fertilización manual para la agricultura familiar peruana. Se evaluó el efecto de tres densidades de plantas (PD1=66,667; PD2=76,190; y PD3=88,889 plantas ha⁻¹) a dos arreglos espaciales (hilera simple = 0,75 m de ancho vs hilera melliza = 1,5 m de ancho); y dos modalidades de apiñamiento de plantas por golpe (P1= una planta golpe vs P2= dos plantas golpe). El híbrido simple promisorio produjo rendimientos significativamente mayores conforme se aumentó la densidad de plantas. La respuesta del híbrido a doble hilera nunca produjo significativamente más que las de hileras simple en cualquier combinación de densidades de plantas. La respuesta del híbrido a arreglos de una planta golpe produjeron significativamente más que las de dos plantas por golpe.

ABSTRACT

The yield potential of a maize hybrid is determined by genetic inheritance and its genotype-environment interaction (climate, soil, plant density, fertilization, pests, etc.). This study aims to determine (i) if the new promising hybrid responds in optimizing its performance at higher plant densities, (ii) if the hybrid varies its response to the two-row arrangement (Twin-Row) and (iii)) if the hybrid varies its productive response to the crowding of a plant per hit. The experiment was cultivated in 2019 in the autumn-winter campaign in clay-loam soil of the Vista Florida Agrarian Experimental Station of the National Institute of Agrarian Innovation (INIA). For this, the productive response of the simple promising hybrid (CL02450 x CML287) was evaluated to determine its maximum yield potential, performing drip irrigation with sowing and manual fertilization for Peruvian family farming. The effect of three plant densities (PD1 = 66,667; PD2 = 76,190; and PD3 = 88,889 plants [pl] ha⁻¹) at two spatial arrangements (Single row = 0.75 m row width vs twin row = 1.5 m row width) was evaluated; and two types of crowding of plants per hit (P1 = plant hit vs P2 = two plants hit). The promising single hybrid produced significantly higher yields at higher plant density. The double-row hybrid response never produced significantly more than single-row hybrids in any combination of plant densities. The response of the hybrid to one hit plant produced significantly more than those of two hit plants.

Productividad de tres híbridos experimentales de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo condiciones climáticas de la costa norte del Perú

Isaac Cieza Ruiz¹; Tito Roque Vásquez Rojas¹

¹ Instituto Nacional de Innovación Agraria –INIA

RESUMEN

El cultivo de maíz representa un alimento importante, tanto para humanos como animales. Actualmente, la producción de maíz no cubre la demanda nacional. El objetivo del trabajo fue evaluar la productividad de tres híbridos promisorios y dos híbridos comerciales en la EEA Vista Florida -Picsi. Para ello, se evaluaron cinco tratamientos: tres híbridos simples y dos híbridos comerciales, mediante el diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La densidad de siembra utilizada fue de 66,6666 plantas por hectárea. La dosis de N-P₂O₅-K₂O fue de 240-140-160 kg/ha. Se evaluaron variables agronómicas como días a la floración masculina y femenina, altura de planta, altura a la mazorca, diámetro de tallo, longitud y diámetro de mazorca, hileras de mazorca y peso de mazorca. Los resultados encontrados mostraron los mayores rendimientos expresados por los híbridos promisorios CL02450 × CML287 y CLRYN017 × CL02450 con 9 704.8 kg ha⁻¹ y 8 938.6 kg ha⁻¹, respectivamente. Los híbridos AGRHICOL XB-8010 evidenciaron ser los más precoces de todos. La mayor altura y peso de mazorca se registró en INIA 619 Megahíbrido, que presenta buena adaptabilidad a la costa norte del Perú, en relación a rendimiento de grano.

ABSTRACT

The cultivation of corn represents an important food for both humans and animals. Currently, the production of corn does not cover the national demand. The objective of the work was to evaluate the productivity of three promising hybrids and two commercial hybrids in the EEA Vista Florida -Picsi. Is evaluated five treatments: three simple hybrids and two commercial hybrids, using the completely randomized block design with four re-

plications. The sowing density used was 66.6666 plants per hectare. The dose of $N-P_2O_5-K_2O$ was 240-140-160 kg / ha. Agronomic variables such as male and female days to flowering, plant height, ear height, stem diameter, ear length and diameter, ear rows and ear weight were evaluated. The results found showed the highest yields expressed by the promising hybrids CL02450 × CML287 and CLRYN017 × CL02450 with 9 704.8 kg ha⁻¹ and 8 938.6 kg ha⁻¹, respectively. The AGRHICOL XB-8010 hybrids showed to be the earliest of all. The highest height and weight of the ear was registered for INIA 619 Megahíbrido, which represents good adaptability to the north coast of Peru in relation to grain yield.

Características agronómicas, componentes de producción y rendimiento de grano de híbridos de maíz (*Zea mays* L.)

Isaac Cieza Ruiz¹; Teófilo W. Jara Calvo¹; Rosel Terrones Monteza¹; Yaneth C. Figueroa Cobeñas¹; Alex Valdera Cajusol

¹ Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar las características agronómicas, componentes de producción y rendimiento de grano de híbridos de maíz en la región Lambayeque y determinar los de comportamiento similar o superior a dos híbridos comerciales de la zona. El diseño experimental fue bloques completos al azar con 23 tratamientos y cuatro repeticiones, cada parcela consta de cinco hileras de 4,9 m separadas a 0,75 m, con dos plantas cada 0,35 m. Las variables evaluadas fueron: rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$), altura de planta, altura de mazorca, floración masculina y femenina, índice de prolificidad, longitud y diámetro de mazorca, número de hileras, número de granos por hilera, peso de mazorca y de grano y peso de mil granos. Los híbridos que mostraron mejor rendimiento fueron CLYN240×CML451Q, CLYN240×CL02720, CLRYNO44×CML297, CLRYNO44×CL02450, CLYN205×CLYN240, CLRYNO17×CL02450, CML161×CLYN240, CL02450×CML287, CL02450×CML297, CLYN240×CML287, CLQRCY49×CL02450, CLRYNO17×CML287, CML297×CML161, siendo similares al híbrido simple INIA 619 Megahíbrido y superiores al híbrido simple INIA 605. Uno de los híbridos con mejores características fue CLYN240×CML451Q que obtuvo el mejor rendimiento de grano, una relación altura de mazorca/altura de planta de 0,51, el mayor número de hileras y uno de los más altos valores en cuanto a longitud de mazorca, peso de mazorca y peso de grano.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the agronomic traits, production components and grain yield of corn hybrids in Lambayeque region and deter-

mine those of similar or greater behavior to two commercial hybrids of the area. The experimental design was a complete randomized block with 23 treatments and four replications. Each plot consisted of five rows of 4.9 m separated to 0.75 m, with two plants every 0.35 m. The variables evaluated were: grain yield ($t\ ha^{-1}$), plant height, ear height, male and female flowering, prolificacy index, ear length and diameter, number of rows, number of grains per row, ear and grain weight and thousand grain weight. The hybrids that showed the best yield were CLYN240×CML451Q, CLYN240×CL02720, CLRYNO44×CML297, CLRYNO44×CL02450, CLYN205×CLYN240, CLRYNO17×CL02450, CML161×CLYN240, CL02450×CML287, CL02450×CML297, CLYN240×CML287, CLQRCY49×CL02450, CLRYNO17×CML287, CML297×CML161, similar to INIA 619 and higher than INIA 605. One of the hybrids with best traits was CLYN240×CML451Q had the best grain yield, a ear height/plant height ratio of 0,51, largest number of ear rows and one of the highest values in ear length, ear weight and grain weight.

Novedosas investigaciones sobre antocianinas provenientes del maíz morado (*Zea mays* L.) en los últimos años

Andrea Stephani Delgado Rospigliosi¹, Juan Mariano Díaz Alfaro¹

Instituto Nacional de Innovación Agraria
andreastephanidelros@gmail.com mariano01081998@gmail.com

Maíz morado es una planta oriunda de América, que tiene los granos y coronta de color morado, en el Perú es un producto consumido desde tiempos preincaicos, su gran adaptabilidad en la costa y en valles interandinos de la sierra hasta 3200 m de altitud, lo hacen un producto bandera en la gastronomía peruana. La peculiar coloración morada es característica de altas concentraciones de ciertos flavonoides, siendo los más importantes las antocianinas; Rabanal & Medina (2021), mencionan que la mazorca posee un alto contenido en antocianina, principalmente como cianidina-3-glucosido (C3G), que actúa como un poderoso antioxidante natural, anticancerígeno, y antiinflamatorio, además, ayuda a disminuir la presión sanguínea y el colesterol alto, mejora la circulación sanguínea y promueve la regeneración del tejido.

Además, este pigmento natural es muy utilizado en la industria textil, médica y farmacéutica, cosmética y en la industria de los alimentos. Respecto a esta última industria, se destaca su uso no solo por sus características funcionales sino también por el color que otorga a los alimentos reemplazando a los colorantes sintéticos, lo que lo hace un producto de interés actual.

La presente investigación es una revisión bibliográfica de artículos científicos de impacto en actualización de las antocianinas del maíz morado (*Zea mays* L.) en los últimos años, usos, extracción, demanda y aplicaciones.

XXIV
REUNIÓN
LATINOAMERICANA
DE MAÍZ

Cajamarca - Perú
Junio de 2022





**Memorias de la XXIV Reunión
Latinoamericana del Maíz 2022,**
edición digital, se terminó de
editar en Cajamarca, Perú,
en julio de 2022.



Instituto Nacional de Innovación Agraria

Av. La Molina 1981, La Molina
(51 1) 240-2100 / 240-2350
www.gob.pe/inia



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

ISBN: 978-9972-44-100-4



9 789972 441004