

Vol. 11, Núm. 1 (2019)

aci

avances
en ciencias e
ingenierías

Edición especial

XXII

Reunión Latinoamericana del **MAÍZ**



Vol. 11, Núm. 1 (2019)

aci
avances
en ciencias e
ingenierías

Edición especial

XXII
Reunión
Latinoamericana
del **MAÍZ**



ACI Avances en Ciencias e Ingenierías

ISSN 1390-5384 (Impreso). ISSN 2528-7788 (En línea)

<http://avances.usfq.edu.ec/>

Quito, Ecuador

Volumen 11, Número 1, Junio 2019

Número especial XXII Reunión Latinoamericana del MAÍZ

DOI: <http://dx.doi.org/10.18272/aci.v10i1>

ACI Avances en Ciencias e Ingenierías es una revista científica con revisión por pares (*peer-reviewed*), de acceso abierto (*open access*), e indexada que publica trabajos en ciencias exactas, físicas, biológicas, ambientales, ingenierías, e investigaciones en el interfaz de estas disciplinas desarrollados por científicos de cualquier institución o país.

ACI Avances en Ciencias e Ingenierías es publicada por **USFQ PRESS**, departamento editorial de la Universidad San Francisco de Quito USFQ y es parte de las siguientes bases, catálogos, índices y repositorios: DOAJ, Latindex, Redalyc, REDIB, Crossref, Google Scholar, Archive.org, Zenodo.

Editor General: Diego F. Cisneros-Heredia, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador

Editores Invitados de este número: Gabriela Albán y Mario Cavedes, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador

Asistente editorial: Mateo Flores

Corrección de estilo y ortotipográfica: Gabriela Albán, Mateo Flores, Diego F. Cisneros-Heredia

Consejo Editorial

Andrea Arias, DuPont Pioneer, Johnston, Estados Unidos
Bette Loiselle, University of Florida, Estados Unidos
Carlos Ventura, The University of British Columbia, Canadá
César Costa, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Cesar Zambrano Semblantes, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador
Diana Alexandra Pazmiño, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador
Elisa Bonaccorso, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador
Esteban Suarez, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador
Eva Lantsoght, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador
John Blake, University of Florida, Estados Unidos
Juan Manuel Guayasamín, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador
Lionel Trojman, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador
Luis Rincón, Universidad de Los Andes, Venezuela
Mauricio Rivera-Correa, Universidad de Antioquia, Colombia
Nikolay Aguirre, Universidad Nacional de Loja, Ecuador
Robert Cazar, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador
Ruth Mariela Alvarez, Universidad de Carabobo, Venezuela
Salvador Godoy, Instituto Politécnico Nacional, México
Santiago Ron, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador
Stephen J. Walsh, The University of North Carolina at Chapel Hill, Estados Unidos

Producción editorial: Gabriela Albán, Mateo Flores, Diego F. Cisneros-Heredia

Diseño de portada: Ricardo Vásquez, Krushenka Bayas

Diseño y diagramación: Krushenka Bayas

Webmaster y manejo de OJS: Jaime Páez

Impresión: Ediecuatorial, Quito, Ecuador, julio 2019



Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial- 4.0 Internacional.

Catalogación en la fuente. Biblioteca Universidad San Francisco de Quito

Reunión Latinoamericana del Maíz (22ª : 2017 : Quevedo, Ecuador)
XXII Reunión Latinoamericana del Maíz / [autores, F. E. Carvajal-Larenas, Mario Cavedes ... [y otros] ; revisores, Soraya Alvarado ... [y otros]] ; .- Edición. especial. - Quito : USFQ Press, 2019.

p. cm. ; (ACI Avances en Ciencias e Ingeniería, ISSN: 2528-7788 ; Vol. 11, no. 1 (2019))

1. Maíz - América Latina - Congresos, conferencias, etc. - 2. Maíz - Ecuador - Congresos, conferencias, etc. - I. Carvajal-Larenas, Francisco Ernesto. - II. Cavedes, Mario. - III. Alvarado, Soraya, rev. - VI. Título. - V. Título Serie.

CLC: SB 191 .M2 R48 2019
CDD: 633.15

081-075

El uso de nombres descriptivos generales, nombres comerciales, marcas registradas, etc. en esta publicación no implica, incluso en ausencia de una declaración específica, que estos nombres están exentos de las leyes y reglamentos de protección pertinentes y, por tanto, libres para su uso general.

La información presentada en esta revista es de entera responsabilidad de sus autores. USFQ PRESS presume que la información es verdadera y exacta a la fecha de publicación. Ni la Editorial, ni los editores, ni los autores dan una garantía, expresa o implícita, con respecto a los materiales contenidos en esta obra ni de los errores u omisiones que se hayan podido realizar.

USFQ PRESS / Revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías

Att. Eva Lantsoght, editora

Universidad San Francisco de Quito USFQ

Calle Diego de Robles y Vía Interocéánica, Campus Cumbayá

Quito 170901, Ecuador.

Correo electrónico: avances@usfq.edu.ec

Contenido

Introducción 7

Sección B: Ciencias Biológicas y Ambientales

Respuesta de la absorción de nitrógeno y fósforo de una variedad de maíz al inocular *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas fluorescens* 8

Response of a maize variety in the absorption of nitrogen and phosphorus when inoculating *Azospirillum* sp. and *Pseudomonas fluorescens*

Carlos A. Sangoquiza, Carlos F. Yáñez, Misterbino Borges

Variación en la absorción de macronutrientes en híbridos de maíz duro 20

Variation in the absorption of macronutrients in corn hybrids

Manuel Carrillo, Wuellins Durango, Jessica Cargua, Betty Rivadeneira, Fátima Morales

Estabilidad de rendimiento y adaptabilidad de híbridos de maíz tolerantes a suelos ácidos en base a las características del análisis GGE biplot 32

Stability of yield and adaptability of corn hybrids tolerant to acid soils based on the characteristics of the GGE biplot analysis

Carlos S. Tirado, Víctor Vásquez, Luis A. Narro

Desarrollo de un híbrido de maíz de grano blanco para consumo en fresco en Ecuador 46

Development of a white maize hybrid for fresh consumption in Ecuador

José F. Eguez, Pablo W. Pintado, Favio L. Ruilova, José L. Zambrano, Jean P. Villavicencio, Marlon B. Caicedo, Francisco D. Alarcón, Eddie E. Zambrano, Jimmy R. Limongi, Carlos F. Yáñez, Luis A. Narro, Félix M. San-Vicente

Caracterización morfológica y agronómica de dos genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en la zona media de la Parroquia Malchinguí 40

Agronomical and morphological characterization of two genotypes of corn (*Zea mays* L.) in the middle zone of the Parish Malchinguí.

Jenny V. Coral, Héctor J. Andrade, Manuel M. Pumisacho, Jorge D. Caicedo, Diego R. Salazar

Evaluación de la resistencia genética de híbridos de maíz al virus del mosaico de la caña de azúcar (SCMV) 64

Evaluation of maize hybrids to *Sugarcane mosaic virus* (SCMV)

José L. Zambrano-Mendoza, Lenín C. Paz, Margaret G. Redinbaugh

Desarrollo de una variedad de maíz tropical de grano blanco con calidad de proteína para consumo en fresco 72

Development of a tropical white grain maize variety with high quality protein for fresh consumption

Daniel F. Alarcón, Jimmy R. Limongi, Eddie E. Zambrano, José B. Navarrete

Adaptación de una variedad heterogénea de maíz a la región Alto Andina, usando la selección mazorca – hilera modificada 82

Adaptation of a heterogeneous maize variety to the Andean region, using the modified ear to row selection

Manuel de la Cruz, Ricardo Sevilla



Sección C: Ingenierías

Análisis comparativo de la eficiencia productiva del maíz en Ecuador, Sudamérica y el mundo en las dos últimas décadas y análisis prospectivo en el corto plazo 94

Comparative analysis of maize productivity in Ecuador, South America and the world in the last two decades and prospective analysis in the short term

F.E. Carvajal-Larenas, Mario Caviedes

Impacto del procesamiento sobre los compuestos con propiedades antioxidantes de dos variedades de maíz (*Zea mays* L.) 104

Impact of processing on antioxidant properties compounds of raw and processed two varieties of corn

Elena Villacrés, Irma Tanquina, Carlos Yáñez, María Quelal, Javier Alvarez, Milton Ramos

Producción de semilla de maíz duro en el Ecuador: retos y oportunidades 116

Seed production of maize in Ecuador: challenges and opportunities

Mario Caviedes

Proceso editorial 124

Introducción

La investigación y el desarrollo de tecnologías son la base para el desarrollo de los países. La presente edición de la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías publica varios artículos que reflejan el trabajo que realizan institutos y centros de investigación agrícola, universidades públicas y privadas en Latinoamérica, relacionados con el cultivo del maíz en las áreas de agronomía, recursos y mejoramiento genético, socio economía, agroindustria y producción de semilla.

El maíz cultivado en América representa el 52% de la producción mundial de este grano, y se constituye por producción y superficie sembrada en el primer cultivo de ciclo corto en América del Sur, con una producción de 160 millones de toneladas en 27 millones de hectáreas cosechadas; superando a otros cereales de importancia en la seguridad alimentaria de la región como el arroz y el trigo [1].

Durante la XXII Reunión Latinoamericana de Maíz, realizada en Ecuador en septiembre del 2017, investigadores de siete países decidieron conformar la Red Latinoamericana del Maíz dada la importancia que tiene este cultivo en el sector agroalimentario de la región, con el fin de:

- a) fortalecer el intercambio y difusión de información y conocimientos,
- b) organizar la Reunión Latinoamericana de Maíz, y
- c) desarrollar propuestas regionales de investigación, desarrollo tecnológico y gestión del conocimiento.

Los investigadores pertenecen a los principales centros de investigación de la región, entre los que constan: el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina (INTA), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Instituto Nacional de Innovación Agraria de Perú (INIA), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (INIAP), Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI), Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal de Bolivia (INIAF), Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Universidad San Francisco de Quito (USFQ), Universidad Nacional Agraria La Molina de Perú (UNALM), Universidad Central del Ecuador (UCE).

Esta publicación en la Revista Avances en Ciencias e Ingenierías de la USFQ constituye un importante apoyo al primer objetivo de la Red y contribuye a la difusión del conocimiento a través de esta edición especial con trabajos de investigación y desarrollo tecnológico en el cultivo del maíz, complementando la información publicada en la edición número 9 de la serie monográfica Archivos Académicos USFQ, en la cual se presentó un resumen de todas las ponencias de la XXII Reunión Latinoamericana del Maíz.

Referencia

- [1] [1] FAO. (2017). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Datos estadísticos. Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat>

Response of a maize variety in the absorption of nitrogen and phosphorus when inoculating *Azospirillum* sp. and *Pseudomonas fluorescens*

Salton M. Rodríguez-Giliza¹, Carolina Reyes-Palme^{1,2*}, Diego Batalla^{1,3}, María Chérrez-Muñoz¹

¹Instituto Nacional de Biodiversidad, Rumipamba 341 y Av. de los Shyris, Casilla 17-07-9976 Quito, Ecuador.
²Universidad Zoológica Tropical, Museo de Zoología, Universidad San Francisco de Quito USFQ, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales COCIBA, Quito 170901, Ecuador

³Universidad Nacional Agraria, calle Santa Rosa 158 Bl. B Dep 2, Casilla postal 17-07-9920, Quito-Ecuador

* Autor para correspondencia: carlos.yanez@map.gob.ec

* Corresponding author/ Autor principal: creyesp@usfq.edu.ec

Response of a maize variety in the absorption of nitrogen and phosphorus when inoculating *Azospirillum* sp. and *Pseudomonas fluorescens*

Abstract

Maize is the basis of the food supply of rural population in the Ecuadorian highlands. The widespread use of chemical fertilizers of tropical origin of the *Syntherisma* maize is a trend in the continent of Ecuador. In previous studies, it was demonstrated that the use of biological processes of plants is necessary to reduce the use of chemical fertilizers. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of biological fertilizers based on a mixture of *Azospirillum* sp. and *Pseudomonas fluorescens* (T1), *Azospirillum* sp. (T2), *Pseudomonas fluorescens* (T3), and a chemical fertilizer (T4) and an absolute control (T5). The highest inoculation effectiveness index (IEI) for the dry matter of the aerial part of the plant was obtained with T1 (IEI = 50%), while the best result for the dry matter of the root was obtained with T3 (IEI = 40%). In relation to the content of (N) and (P) in the leaf tissue, T1 had the highest (N) absorption with 24.49 g.planta⁻¹, while T3 had the highest (P) absorption with 10.86 P₂O₅ g.planta⁻¹. These results indicate that the microorganisms described in the present study can be used to provide nutrients and reduce the use of chemical fertilizers.

Resumen El cultivo de maíz de altura constituye la base de la alimentación de la población rural del Ecuador. El uso generalizado de fertilizantes químicos de origen tropical del *Syntherisma* maíz es una tendencia en el continente de Ecuador. En estudios previos se demostró que el uso de procesos biológicos de las plantas es necesario para reducir el uso de fertilizantes químicos. El objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de fertilizantes biológicos basados en una mezcla de *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas fluorescens* (T1), *Azospirillum* sp. (T2), *Pseudomonas fluorescens* (T3) y un fertilizante químico (T4) y un control absoluto (T5). El mayor índice de efectividad de inoculación (IEI) para la materia seca de la parte aérea de la planta se obtuvo con T1 (IEI = 50%), mientras que el mejor resultado para la materia seca de la raíz se obtuvo con T3 (IEI = 40%). En relación con el contenido de (N) y (P) en el tejido de la hoja, T1 tuvo la mayor absorción de (N) con 24.49 g.planta⁻¹, mientras que T3 tuvo la mayor absorción de (P) con 10.86 P₂O₅ g.planta⁻¹. Estos resultados indican que los microorganismos descritos en el presente estudio pueden utilizarse para proporcionar nutrientes y reducir el uso de fertilizantes químicos.

Resumen El cultivo de maíz de altura constituye la base de la alimentación de la población rural del Ecuador. El uso generalizado de fertilizantes químicos de origen tropical del *Syntherisma* maíz es una tendencia en el continente de Ecuador. En estudios previos se demostró que el uso de procesos biológicos de las plantas es necesario para reducir el uso de fertilizantes químicos. El objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de fertilizantes biológicos basados en una mezcla de *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas fluorescens* (T1), *Azospirillum* sp. (T2), *Pseudomonas fluorescens* (T3) y un fertilizante químico (T4) y un control absoluto (T5). El mayor índice de efectividad de inoculación (IEI) para la materia seca de la parte aérea de la planta se obtuvo con T1 (IEI = 50%), mientras que el mejor resultado para la materia seca de la raíz se obtuvo con T3 (IEI = 40%). En relación con el contenido de (N) y (P) en el tejido de la hoja, T1 tuvo la mayor absorción de (N) con 24.49 g.planta⁻¹, mientras que T3 tuvo la mayor absorción de (P) con 10.86 P₂O₅ g.planta⁻¹. Estos resultados indican que los microorganismos descritos en el presente estudio pueden utilizarse para proporcionar nutrientes y reducir el uso de fertilizantes químicos.

Resumen El cultivo de maíz de altura constituye la base de la alimentación de la población rural del Ecuador. El uso generalizado de fertilizantes químicos de origen tropical del *Syntherisma* maíz es una tendencia en el continente de Ecuador. En estudios previos se demostró que el uso de procesos biológicos de las plantas es necesario para reducir el uso de fertilizantes químicos. El objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de fertilizantes biológicos basados en una mezcla de *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas fluorescens* (T1), *Azospirillum* sp. (T2), *Pseudomonas fluorescens* (T3) y un fertilizante químico (T4) y un control absoluto (T5). El mayor índice de efectividad de inoculación (IEI) para la materia seca de la parte aérea de la planta se obtuvo con T1 (IEI = 50%), mientras que el mejor resultado para la materia seca de la raíz se obtuvo con T3 (IEI = 40%). En relación con el contenido de (N) y (P) en el tejido de la hoja, T1 tuvo la mayor absorción de (N) con 24.49 g.planta⁻¹, mientras que T3 tuvo la mayor absorción de (P) con 10.86 P₂O₅ g.planta⁻¹. Estos resultados indican que los microorganismos descritos en el presente estudio pueden utilizarse para proporcionar nutrientes y reducir el uso de fertilizantes químicos.

Resumen El cultivo de maíz de altura constituye la base de la alimentación de la población rural del Ecuador. El uso generalizado de fertilizantes químicos de origen tropical del *Syntherisma* maíz es una tendencia en el continente de Ecuador. En estudios previos se demostró que el uso de procesos biológicos de las plantas es necesario para reducir el uso de fertilizantes químicos. El objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de fertilizantes biológicos basados en una mezcla de *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas fluorescens* (T1), *Azospirillum* sp. (T2), *Pseudomonas fluorescens* (T3) y un fertilizante químico (T4) y un control absoluto (T5). El mayor índice de efectividad de inoculación (IEI) para la materia seca de la parte aérea de la planta se obtuvo con T1 (IEI = 50%), mientras que el mejor resultado para la materia seca de la raíz se obtuvo con T3 (IEI = 40%). En relación con el contenido de (N) y (P) en el tejido de la hoja, T1 tuvo la mayor absorción de (N) con 24.49 g.planta⁻¹, mientras que T3 tuvo la mayor absorción de (P) con 10.86 P₂O₅ g.planta⁻¹. Estos resultados indican que los microorganismos descritos en el presente estudio pueden utilizarse para proporcionar nutrientes y reducir el uso de fertilizantes químicos.

Resumen El cultivo de maíz de altura constituye la base de la alimentación de la población rural del Ecuador. El uso generalizado de fertilizantes químicos de origen tropical del *Syntherisma* maíz es una tendencia en el continente de Ecuador. En estudios previos se demostró que el uso de procesos biológicos de las plantas es necesario para reducir el uso de fertilizantes químicos. El objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de fertilizantes biológicos basados en una mezcla de *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas fluorescens* (T1), *Azospirillum* sp. (T2), *Pseudomonas fluorescens* (T3) y un fertilizante químico (T4) y un control absoluto (T5). El mayor índice de efectividad de inoculación (IEI) para la materia seca de la parte aérea de la planta se obtuvo con T1 (IEI = 50%), mientras que el mejor resultado para la materia seca de la raíz se obtuvo con T3 (IEI = 40%). En relación con el contenido de (N) y (P) en el tejido de la hoja, T1 tuvo la mayor absorción de (N) con 24.49 g.planta⁻¹, mientras que T3 tuvo la mayor absorción de (P) con 10.86 P₂O₅ g.planta⁻¹. Estos resultados indican que los microorganismos descritos en el presente estudio pueden utilizarse para proporcionar nutrientes y reducir el uso de fertilizantes químicos.

Resumen El cultivo de maíz de altura constituye la base de la alimentación de la población rural del Ecuador. El uso generalizado de fertilizantes químicos de origen tropical del *Syntherisma* maíz es una tendencia en el continente de Ecuador. En estudios previos se demostró que el uso de procesos biológicos de las plantas es necesario para reducir el uso de fertilizantes químicos. El objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de fertilizantes biológicos basados en una mezcla de *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas fluorescens* (T1), *Azospirillum* sp. (T2), *Pseudomonas fluorescens* (T3) y un fertilizante químico (T4) y un control absoluto (T5). El mayor índice de efectividad de inoculación (IEI) para la materia seca de la parte aérea de la planta se obtuvo con T1 (IEI = 50%), mientras que el mejor resultado para la materia seca de la raíz se obtuvo con T3 (IEI = 40%). En relación con el contenido de (N) y (P) en el tejido de la hoja, T1 tuvo la mayor absorción de (N) con 24.49 g.planta⁻¹, mientras que T3 tuvo la mayor absorción de (P) con 10.86 P₂O₅ g.planta⁻¹. Estos resultados indican que los microorganismos descritos en el presente estudio pueden utilizarse para proporcionar nutrientes y reducir el uso de fertilizantes químicos.



Editado por / Edited by: Gabriela Albán
Recibido / Received: 2017/11/09
Aceptado / Accepted: 2018/05/02
Publicado en línea / Published online: 2019/05/20

de las plantas. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un biofertilizante a base de una cepa fijadora de nitrógeno (*Azospirillum* sp.) y una solubilizadora de fósforo (*Pseudomonas fluorescens*). Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cinco tratamientos y seis repeticiones. Los tratamientos correspondieron a: T1 (*Azospirillum* sp.), T2 (*Pseudomonas fluorescens*), T3 (*Azospirillum* sp. + *Pseudomonas fluorescens*), T4 (fertilización química con N y P) y T5 (control absoluto, sin inoculación ni fertilizante). Los resultados obtenidos revelaron que el mayor índice de efectividad de inoculación (IEI) en materia seca de la parte aérea la obtuvo el T1 con un IEI de 50%; mientras que para la materia seca de la raíz el mejor resultado lo obtuvo el T3 con un IEI de 40%. En relación al contenido de (N) y (P) presentes en el tejido foliar, el T1 presentó la mayor absorción de (N) con 24.49 g.planta⁻¹, mientras que el T3 presentó la mayor absorción de (P) con 10.86 g.planta⁻¹. Estos resultados indican que los microorganismos contenidos en estos biofertilizantes contribuyeron a proporcionar los nutrientes requeridos por la planta para su desarrollo.

Palabras clave: Biofertilizante, Fertilización, Microorganismos.

INTRODUCCIÓN

El maíz suave (*Zea mays* L. var. *amylacea*) es uno de los cultivos más importantes en la sierra ecuatoriana debido a la gran cantidad de terreno destinado a su producción y al papel que cumple como componente básico de la dieta de la población rural [1]. Para el 2015, la superficie cosechada de maíz suave (solo y asociado) en choclo fue de 42448 ha y de maíz suave seco fue de 45874 ha [2].

El incremento en el rendimiento de esta especie está estrechamente relacionado con la fertilización. Después del nitrógeno, el fósforo constituye uno de los elementos más importantes en las primeras etapas del desarrollo normal de las plantas, una deficiencia de estos elementos en el cultivo puede provocar un crecimiento lento, poco desarrollo del sistema radicular y por ende una disminución el rendimiento de la cosecha [3].

En el Ecuador, el uso de fertilizantes en la agricultura constituye un grave problema de contaminación ambiental y perjuicio a la salud de la población expuesta a este tipo de componentes químicos [4]. Con la meta de mejorar la producción y el rendimiento agronómico de los cultivos se emplean fertilizantes químicos, los cuales al ser eficientemente asimilados por los cultivos terminan contaminando los suelos y la biodiversidad microbiana deteriorando así la calidad del suelo [5].

En los últimos años se han desarrollado alternativas para disminuir el uso de los fertilizantes sintéticos a través del uso de microorganismos benéficos que han demostrado cumplir funciones que mantienen el equilibrio del suelo y apoyan el crecimiento vegetal mediante diversos mecanismos, entre ellos está la solubilización de fosfatos y fijación de nitrógeno [6]. Actualmente, es de vital importancia investigar la microbiota del suelo



con la finalidad de obtener estrategias que mejoren la productividad agrícola y disminuyan el uso de agroquímicos. Una de estas estrategias es la aplicación de biofertilizantes provenientes de microorganismos benéficos los cuales asociados a las plantas pueden mejorar su crecimiento, desarrollo y rendimiento. Entre los géneros de rizobacterias más utilizados en la producción de biofertilizantes para gramíneas se encuentran; *Azospirillum*, *Pseudomonas* y *Azotobacter* [7].

El género *Azospirillum* y *Pseudomonas* pertenecen a la subclase alfa de las proteobacterias gram negativas. [8-9]. Estos microorganismos del suelo producen importantes efectos en la planta como una implantación más rápida, mayor crecimiento de raíces, mayor tolerancia a patógenos, fijación biológica no simbiótica de nitrógeno y solubilización de nutrientes como el fósforo [10]. Una de las bondades agronómicas más considerables que se atribuyen a *Azospirillum* es su capacidad de promover el crecimiento vegetal y fijación de nitrógeno en los primeros estadios del ciclo del cultivo, especialmente bajo estrés moderado [11]. En tanto que los efectos atribuidos a *Pseudomonas* pueden resumirse en una acción de biocontrol, secreción de sustancias inductoras y solubilización de nutrientes como el fósforo [12].

Los biofertilizantes son productos a base de microorganismos que viven normalmente en el suelo, en poblaciones bajas, y que al incrementar sus poblaciones por medio de la inoculación artificial, son capaces de poner a disposición de las plantas una parte importante de los nutrientes que necesitan para su desarrollo, así como de suministrar sustancias hormonales o promotoras del crecimiento tales como auxinas, giberelinas, citocininas, etileno y ácido abscísico [13]. El uso de biofertilizantes elaborados a base de microorganismos benéficos *Rhizobium*, *Azotobacter*, micorrizas, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, que viven asociados o en simbiosis con las raíces de las plantas, contribuyen eficientemente al proceso de nutrición de los cultivos y el mejoramiento de la fertilidad natural de los suelos proporcionando un efecto agrobiológico positivo en los cultivos agrícolas [14].

En relación a los biofertilizantes se ha generado un movimiento comercial, cuya producción y comercialización está encaminada al fortalecimiento de un sistema de producción sostenible y equilibrio ecológico del suelo al disminuir total o parcialmente el uso de fertilizantes sintéticos [15]. En este sentido, podría decirse que la microflora rizosférica es un potencial aliado de la agricultura para el uso de los recursos de manera sostenible [16]. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la aplicación de un biofertilizante a base de una cepa de (*Azospirillum* sp.) fijadora de nitrógeno y una cepa solubilizadora de fósforo (*Pseudomonas fluorescens*) en el cultivo de maíz de altura.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en dos etapas en el período comprendido entre agosto del 2016 y marzo 2017 en la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), localizada en la provincia de Pichincha, Cantón Mejía, Parroquia Cutuglagua. La primera etapa se llevó a cabo en condiciones de laboratorio con el objetivo de reactivar y purificar las cepas nativas liofilizadas de *Azospirillum* sp. (C2) y *Pseudomonas fluorescens* (n15). Varios aislados de ambos géneros

bacterianos se obtuvieron años atrás a partir de aislamientos colectados en la rizósfera del cultivo de maíz en su fenología V7 en las principales provincias maiceras de la sierra del Ecuador: Imbabura, Pichincha, Bolívar y Chimborazo. Con la ayuda de un barreno se tomó aproximadamente 3 kg de suelo a una profundidad de 15 cm. Las muestras de suelo fueron ingresadas al laboratorio del Programa de Maíz perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), en donde se realizaron los trabajos de aislamiento, purificación, identificación, liofilización y trabajos de inoculación en condiciones controladas de invernadero y campo donde se seleccionaron los aislados C2 (*A. sp.*) y nI5 (*P. fluorescens*). El lugar de procedencia de estos aislados se encuentran descritos en la Tabla 1.

TABLA 1. Códigos y procedencia de los aislados empleados en la investigación.

	Provincia	Cantón	Parroquia	Barrio	Altitud m.s.n.m.
C2	Bolívar	Guaranda	Veintimilla	Laguacoto 2	2617
nI5	Imbabura	Cotacachi	El Sagrario	Tunibamba	2422

Para la reactivación de las cepas liofilizadas se colocó 1000 μL de peptona al 1%, en los tubos Eppendorf, mediante agitación hasta homogenizar la mezcla con la ayuda del vortex. Seguidamente, se tomaron 50 μL del inóculo y se colocaron en placas *Petri* con el medio de cultivo sólido ácido málico- Agar-Rojo Congo para el caso de *Azospirillum* sp. y King B para *Pseudomonas fluorescens* y con la ayuda de un triángulo de vidrio estéril se dispersó bien hasta la sequedad. Posteriormente se lo colocó en la incubadora a una temperatura de 30 °C por 7 días, pasado este tiempo se tomaron secciones puras de la bacteria con la ayuda de un haza de platino y se colocaron en placas *Petri* con los medios de cultivos específicos para estos géneros. La preparación del biofertilizante se realizó sobre un soporte líquido a base de melaza al 2% a una concentración bacteriana de 1×10^9 UFC.g⁻¹.

La segunda fase de la investigación se realizó en condiciones de campo en un suelo Andisol, sin registros de cultivos previos. El experimento fue desarrollado en campo de agricultores de la lotización la UNIÓN, ubicada en Ecuador, Cantón Quito, Provincia de Pichincha, Parroquia Amaguaña, con una superficie neta de 900 metros cuadrados. Se ubica a -0.386075° S y -78.500944° W, con una altitud de 2675 msnm (Fig. 1).

La preparación del suelo se realizó a mediados del mes de septiembre del 2017 y la siembra se realizó el 23 de noviembre, utilizándose la variedad de maíz suave INIAP-101, cuyas principales características son la precocidad, de color de grano blanco y textura harinosa. Su progenitor es la variedad "Cacahuazintle" introducida por el INIAP desde México. Los biofertilizantes a base de las cepas de *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas fluorescens*, indicados anteriormente, fueron aplicados directamente a la semilla de maíz sin desinfectar.

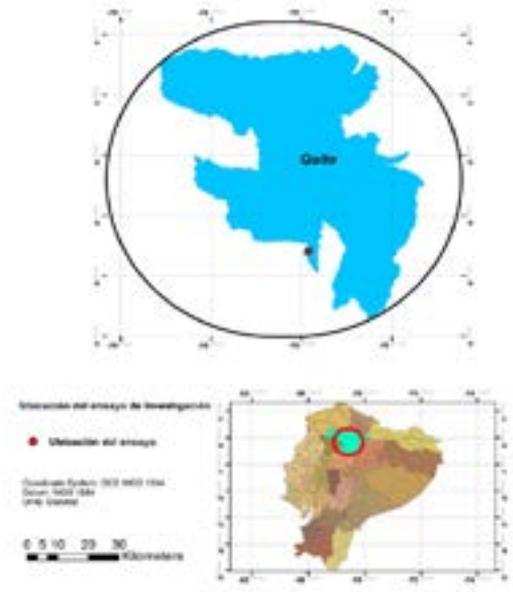


FIGURA 1. Mapa de la ubicación del ensayo de investigación en campo.

La implantación de las parcelas dentro del lote fue de 5 m x 3.20 m, con cuatro surcos, que incluyeron 80 plantas por parcela, equivalente a una densidad de 50000 plantas.ha⁻¹. La siembra se realizó a una distancia entre surcos de 0.80 m y entre planta de 0.25 m. Los tratamientos fueron cinco de acuerdo al manejo: T1 (*Azospirillum* sp.), T2 (*Pseudomonas fluorescens*), T3 (*A. sp.* + *P. fluorescens*), T4 (fertilización química con N y P) y T5 (control absoluto sin inoculación ni fertilización química), con seis réplicas, los cuales se ubicaron con un diseño experimental de bloques completamente al azar.

Las labores culturales de deshierba y aporque se realizaron de forma manual para mantener el ensayo libre de malezas. Se realizó una sola aplicación de insecticida a los cinco meses para el control del gusano del choclo (*Heliothis zea*). La cosecha se realizó a los siete meses en maíz tierno, en estado de choclo.

Adicionalmente al peso de materia seca de raíces (MSR) y de parte aérea de la planta (MSPA), se evaluaron los siguientes parámetros:

Índice de efectividad de la inoculación de la materia seca (%)

En el momento de la cosecha en estado tierno (choclo), se procedió a la evaluación de la masa seca de la parte aérea en kg por planta y se calculó el índice de efectividad de la inoculación (IEI) expresado en porcentaje utilizando la siguiente formula:

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

Análisis químico de nitrógeno y fósforo presentes en el suelo

A la cosecha del maíz en estado tierno (choclo), por cada parcela neta se realizó un análisis químico de nitrógeno y fósforo presentes en el suelo. Estas muestras fueron ingresadas al laboratorio de Suelos del INIAP, en donde fueron analizadas mediante los métodos semimicro Kjendahl para nitrógeno total y mediante Olsen para fósforo [17].

Análisis químico de nitrógeno y fósforo presentes en el tejido foliar

Se tomaron cinco plantas por tratamiento en estado lechoso (R3) para realizar el análisis de nitrógeno y fósforo presentes en la planta. Las muestras fueron secadas e ingresadas al laboratorio del Departamento Nacional de Suelos y Aguas del INIAP, donde fueron analizadas mediante los métodos (semimicro Kjendahl) para nitrógeno total y mediante el reactivo de Bartons (metavanadato y molibdato) para la determinación del fósforo [17].

RESULTADOS

Existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para la variable de materia seca de la raíz (MSR). El mejor tratamiento fue con la combinación de *Azospirillum* y *Pseudomonas* (T3) que obtuvo el mayor peso con un valor de 0.14 kg.planta⁻¹ diferenciándose estadísticamente del control absoluto sin inoculación (Tabla 2). Se debe destacar que los tratamientos con la inoculación individual de biofertilizantes y el control de químico (con fertilización N y P) no mostraron diferencias significativas entre sí. Un comportamiento muy similar se observó en la producción de materia seca de la parte aérea (MSPA) existiendo diferencias significativas entre ambos controles.

TABLA 2. Materia seca de la parte aérea (MSPA), materia seca de la raíz (MSR), e índice de efectividad de la inoculación (IEI) de una variedad de maíz con biofertilizantes.

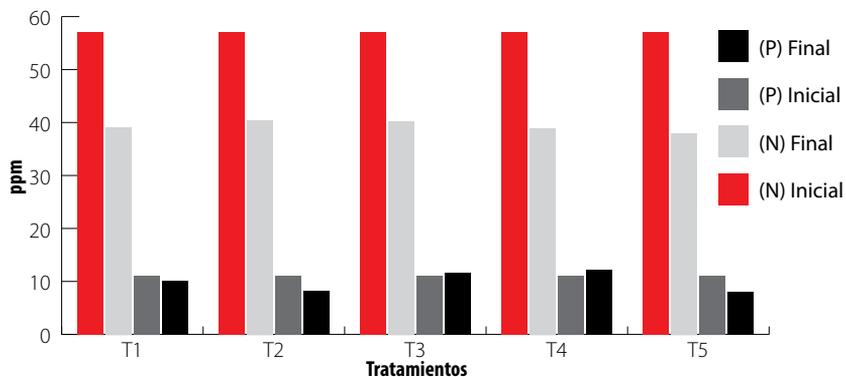
	Tratamientos	MSPA (kg.planta ⁻¹)	IEI (%)	MSR (kg.planta ⁻¹)	IEI (%)
T1	<i>Azospirillum</i> sp.	0.18 a	50	0.11 ab	10
T2	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0.17 a	42	0.13 ab	30
T3	<i>Azospirillum</i> sp. + <i>Pseudomonas fluorescens</i>	0.17 a	42	0.14 a	40
T4	Control químico con (N y P)	0.16 ab	33	0.10 ab	0
T5	Control absoluto sin inoculación	0.12 c	0	0.10 b	0

*Medias con letras iguales no difieren significativamente según la prueba de Tukey (p<0.05).

En la Fig. 2 se observa que el nitrógeno (N) disminuyó en todos los tratamientos en comparación al análisis de suelo inicial que fue de (57.00 ppm). En cuanto al fósforo (P) presente en el suelo se observó un aumento de 0.68 ppm para el tratamiento T3 y 1.13 ppm para el tratamiento T4; no así en los tratamientos T1, T2 y T5 en donde los niveles



de fósforo disminuyeron en relación al análisis de suelo inicial, el cual fue de 11.00 ppm. Por otro lado el testigo con fertilización química tuvo el mayor contenido de fósforo en la solución del suelo.



Tratamientos: T1, *Azospirillum sp.*; T2, *Pseudomonas fluorescens*; T3, *Azospirillum sp.* + *Pseudomonas fluorescens*; T4, control químico con (N y P); T5, control absoluto (sin inoculación).

FIGURA 2. Análisis químico de N y P presente en el suelo antes de la siembra y a la cosecha de una variedad de maíz inoculado con biofertilizantes.

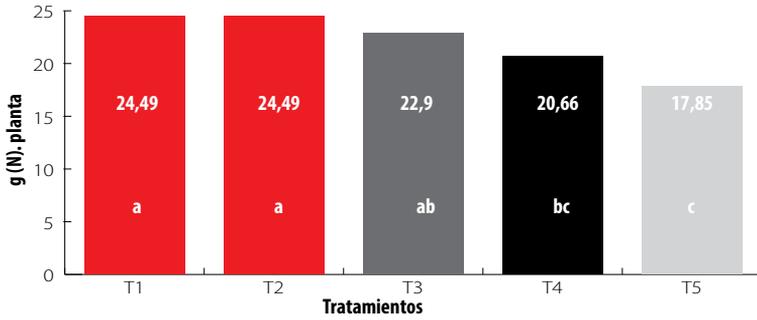
En la Tabla 3 se muestran los porcentajes de (N, P, K, Ca, Mg) presentes en el tejido foliar del cultivo de maíz en su estadio fenológico (R3). El tratamiento T3 (*Azospirillum sp.* + *Pseudomonas fluorescens*) presentó un mayor porcentaje de acumulación de (N, P, K) en el tejido foliar, en comparación con los tratamientos T4 (control químico) y T5 (control absoluto).

TABLA 3. Porcentajes de N, P, K, Ca y Mg en el tejido foliar de plantas de maíz inoculado con biofertilizantes.

Tratamientos*	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
T1	5.57	1.39	6.35	0.89	0.82
T2	5.72	1.31	6.52	0.83	0.82
T3	5.94	1.61	7.05	0.72	0.77
T4	5.61	1.45	6.00	0.73	1.18
T5	5.43	1.14	5.93	0.64	0.74

*Tratamientos: T1, *Azospirillum sp.*; T2, *Pseudomonas fluorescens*; T3, *Azospirillum sp.* + *Pseudomonas fluorescens*; T4, control químico con (N y P); T5, control absoluto (sin inoculación).

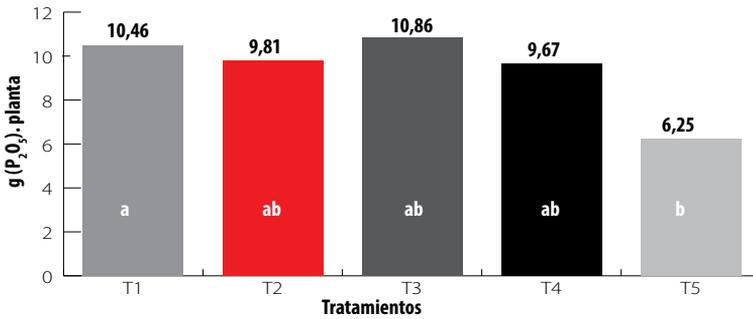
Como se observa en la Fig. 3, los mayores contenidos de nitrógeno foliar absorbido por la planta en el momento de la cosecha en estado choclo correspondieron a los tratamientos con la inoculación individual y combinada de *A. sp.* y *P. fluorescens* (tratamientos T1, T2 y T3), los cuales no difieren significativamente entre sí ($p > 0.05$), pero con diferencias significativas con respecto a los tratamientos controles con fertilización química (con N y P) y control absoluto.



Tratamientos: T1, *Azospirillum* sp.; T2, *Pseudomonas fluorescens*; T3, *Azospirillum* sp. + *Pseudomonas fluorescens*; T4, control Químico con (N y P); T5, control absoluto (sin inoculación). Medias con letras iguales no difieren significativamente según la prueba de Tukey.

FIGURA 3. Contenido de Nitrógeno en el tejido foliar de plantas de maíz inoculadas con diferentes biofertilizantes.

En cuanto al contenido de P, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4. Se observaron diferencias significativas entre el tratamiento T1 (*Azospirillum* sp.) y control absoluto T5 Fig. 4.



Tratamientos: T1, *Azospirillum* sp.; T2, *Pseudomonas fluorescens*; T3, *Azospirillum* sp. + *Pseudomonas fluorescens*; T4, control químico con (N y P); T5, control absoluto (sin inoculación). Medias con letras iguales no difieren significativamente según la prueba de Tukey.

FIGURA 4. Contenido de fósforo en el tejido foliar de plantas de maíz con diferentes biofertilizantes.

DISCUSIÓN

La materia seca de la parte aérea (MSPA) y la raíz (MSR) e índice de efectividad de la inoculación (IEI) de maíz muestran que los biofertilizantes inoculados afectaron positivamente la producción de materia seca de la parte aérea y la raíz, obteniéndose valores de índice de eficiencia a la inoculación (IEI) superiores a ambos controles.

Las hormonas de crecimiento contenidas en los biofertilizantes, a base de *Pseudomonas fluorescens*, incrementaron la longitud radicular (resultados no mostrados), mientras que la aplicación de hormonas de crecimiento contenidos en biofertilizantes a base de *Azospirillum* sp. incrementaron la biomasa vegetal al alcanzar los mayores valores en la fijación de nitrógeno, con un efecto positivo en el desarrollo vegetativo del maíz, incre-



mentando la masa seca de la parte aérea y raíces de las plantas. El incremento de la biomasa vegetal estaría relacionado con el efecto de las fitohormonas tales como: auxinas, giberelinas, citocininas, etileno y ácido abscísico, liberados en los exudados metabólicos por parte de las bacterias promotoras del crecimiento [18-19].

La absorción de fósforo en las primeras etapas del desarrollo de la planta de maíz influye en el contenido de biomasa y en el área foliar, ya que este nutriente juega un papel importante en la morfogénesis y expansión foliar, lo cual permite una mejor captación de energía radiante [20]. En estudios similares realizados sobre la caracterización y evaluación de bacterias *Pseudomonas fluorescens* presentes en la rizósfera del maíz, se mostró que las plantas de maíz inoculadas con cepas de *P. fluorescens*, al absorber fósforo eficientemente, obtuvieron altos porcentajes de materia seca y área foliar con respecto al testigo absoluto [21].

Otros estudios realizados en el cultivo del arroz (*Oriza sativa* L), con el uso de cepas nativas de *Azospirillum* sp., reportaron un incremento significativo en la masa seca de la parte aérea, respecto al control absoluto, con índices de efectividad de 102.06 % (GM-57); 88.24% (GM-86); 58.53% (GM-84) y 52.65% (GM-47) [22].

Sobre el análisis químico de N y P presentes en el suelo antes de la siembra y a la cosecha, los resultados podrían estar relacionados con el hecho de que el cultivo del maíz requiere para su desarrollo y producción cantidades importantes de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S) y en menor cantidad micronutrientes, los cuales son extraídos en su totalidad del suelo. Razón por la cual el (N) acumulado en el suelo disminuyó en un 69% al finalizar el experimento, ya que el (N) es absorbido y acumulado por la planta en pre y post floración [23].

Los resultados del análisis del contenido de fósforo en el suelo una vez finalizado el experimento muestran que los tratamientos (*Azospirillum* + *Pseudomonas fluorescens*) y el control químico (con N y P) aumentaron el contenido de fósforo, estos resultados podrían estar dados a la capacidad que tienen estos microorganismos solubilizadores de fosfato para reducir el pH mediante la secreción de diferentes tipos de ácidos, lo cual permite bajar el pH de la rizósfera y consecuentemente disociar las formas de enlaces de fosfato que vuelven este elemento no asimilable, permitiendo que el fósforo disponible en el suelo aumente en los tratamientos inoculados a base de cepas *P. fluorescens* y *A. sp* [24]. Resultados similares fueron obtenidos en estudios realizados sobre la evaluación de bacterias *Pseudomonas*, solubilizadoras de fosfato, presentes en la rizósfera del maíz (*Zea mays* L), encontrando un aumento de fósforo en un promedio de 18 ppm, para la mayoría de tratamientos. [21].

En el presente estudio, el suelo marcó un pH inicial de 6.5 y un pH final a la cosecha de 5.8. Estos resultados nos muestran que la actividad nitrogenasa de las cepas endófitas se favorecen cuando estas se cultivan a pH entre ácido y neutro (pH = 5-7) [25]. La mayor actividad nitrogenasa de estos organismos está asociada con el suelo rizosférico o con el interior de la raíz, presentando una variación estacional que en algunos casos coinciden con la etapa reproductiva de la planta [26]. Estos microorganismos son capaces de solubilizar más de 450 mg.ml⁻¹ de fósforo en suelos con altas concentraciones de metales pesados y con condiciones de alta humedad y temperatura [24]. Inclusive, algunos biofertilizantes tienen la capacidad de solubilizar fosfato en suelos con altas concentraciones de agroquímicos. El contenido total de fósforo en los suelos es de 0.05%, y únicamente el 0.1% del

total de fósforo está en forma disponible para las plantas, ya que la mayor parte está en forma insoluble como parte de fosfatos de calcio y hierro [27].

En cuanto a los porcentajes de N y P en el tejido foliar de plantas de maíz estos fueron mayores en las plantas inoculadas con los biofertilizantes con respecto a los controles (químico con N y P) y absoluto (sin inoculación). Estos resultados sugieren que las plantas inoculadas con algún microorganismo estimulan su crecimiento y desarrollo al presentar una mayor capacidad para absorber más eficientemente el agua y los nutrientes del suelo a través del estímulo provocado en el sistema radical, que se evidencia en el estado nutricional de las plantas [28].

Estudios similares sobre la evaluación del efecto de inoculación de *Azospirillum* sp. en el cultivo de maíz, muestran que las plantas presentaron un porcentaje de absorción de nitrógeno en el tejido foliar del 2.92% [29], mientras que la inoculación de *A. brasilense* y *P. fluorescens* incrementaron el contenido de fósforo total en 1698 kg. ha⁻¹ sobre el testigo con 187 Kg. ha⁻¹ [30].

Los resultados obtenidos en el presente estudio podrían atribuirse a que ambos géneros bacterianos tienen la capacidad de fijar nitrógeno y producir compuestos promotores del crecimiento vegetal (PGPR) [31]. Estos géneros bacterianos producen una generación y expansión del sistema foliar e incremento en la expansión radicular, permitiendo a las plantas promover su capacidad competitiva y de absorción de nutrientes del suelo el cual se ve reflejado en el contenido de nitrógeno absorbido por la planta de maíz variedad [32]. La absorción de fósforo y nitrógeno tiene una relación directa con la morfología de la planta es decir, que cuanto más fósforo y nitrógeno foliar fue tomado por las raíces de la planta, mejor es el desarrollo de su sistema foliar y radical [3]. En conclusión, la biofertilización a base de cepas *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas fluorescens*, solos o en combinación promovieron una mayor asimilación de contenidos de N y P en el tejido vegetal. Razón por la cual el uso de estos biofertilizantes puede ser una estrategia sostenible para complementar o reducir el uso de fertilizantes químicos e incrementar la productividad del maíz en la sierra del Ecuador.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP-Programa de Maíz, (Estación Experimental Santa Catalina) por su valiosa colaboración en el establecimiento y gestión del experimento.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Carlos Sangoquiza concibió la investigación y trabajó en la toma de datos, labores de campo, laboratorio, análisis estadístico y redacción del manuscrito; Carlos Yáñez, desarrolló la metodología de la investigación, validación y verificación de los resultados; Misterbino Borges, participó como tutor en la investigación así como en la revisión crítica del contenido intelectual del manuscrito.



REFERENCIAS

- [1] Yáñez, G.C., Zambrano Mendoza, 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 N° 96.
- [2] ESPAC. (2014). Visualizador de estadísticas agropecuarias del Ecuador ESPAC. *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Recuperado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- [3] Guzmán Estrada, E. A. (2012). *Asilamiento y Caracterización de Bacterias Solubilizadoras de Fósforo a partir de cuatro suelos de la provincia de Chimborazo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Tesis de Licenciatura). Riobamba, Ecuador.
- [4] Suquilanda, M. (2008). El deterioro de los suelos en el Ecuador y la producción agrícola. *XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorestadisticas/index.php/revista/article/view/41/74>
- [5] Bojórquez, A. D. A., Gutiérrez, C. G., Báez, J. R. C., Sánchez, M. Á. A., Montoya. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai: Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*. Recuperado de <http://uaim.edu.mx/webximhai/Ej-16articulosPDF/07%20Biofertilizantes.pdf>
- [6] Reyes, I. L., Álvarez, H., El-Ayoubi, y Valery, A. (2008). Selección y evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento en pimentón y maíz. *Bioagro*, 20(1), 37- 48.
- [7] Ojeda-Quintana, L. J., Toledo-Vázquez, L., Hernández-Rodríguez, C., Machado-Díaz, Y., y Furrázola-Gómez, E. (2016). Influencia de la aplicación de *Azospirillum lipoferum* en *Megathyrsus maximus* vc. guinea tobiatá en un suelo Pardo Grisáceo. *Pastos y Forrajes*, 39(1), 27-32. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2691/269145163003.pdf>
- [8] Fgaier, H., Eberl, H. J. (2010). A competition model between *Pseudomonas fluorescens* and pathogens via iron chelation. *Journal of Theoretical Biology*, 263(4), 566-578. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2009.12.003>
- [9] Martínez, R. Toledo, N., Arguelles, C. (2011). *Introducción al conocimiento de los biofertilizantes*. Chalahuiyapa, México: Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense.
- [10] Chaparro, J. M., Sheflin, A. M., Manter, D. K., and Vivanco, J. M. (2012). Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility. *Biology and Fertility of Soils*, 48(5), 489-499. doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0691-4>
- [11] Ferraris, G., y Faggioli, V. (2011). Inoculación con microorganismos con efecto promotor de crecimiento. *Conocimientos actuales y experiencias realizadas en la Región Pampeana Argentina*. Recuperado de http://agrolluvia.com/wpcontent/uploads/2010/01/eea-marcosjuarez-fertilizantes-biologicos-en-maiz_5.pdf
- [12] Valverde, C., & Ferraris, G. (2009). Las *Pseudomonas*: un grupo heterogéneo con diversos mecanismos promotores del desarrollo vegetal. *Uso actual y potencial de microorganismos para mejorar la nutrición y el desarrollo en trigo y maíz*, 22-43. Recuperado de https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp_inta_microorganismos_trigo_maiz.pdf#page=22
- [13] Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabrales, J. J., y Vera-Núñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1261-1274. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000600015
- [14] Ruiz Nieves, Juan. (2015). *Evaluación de cepas de (Azospirillum sp.) y mallas sombra de colores sobre la morfología y bioquímica de la lechuga* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo.
- [15] Criollo, P. J., Obando, M., Sánchez, M., y Bonilla, R. (2012). Efecto de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) asociadas a *Pennisetum clandestinum* en el altiplano cundiboyacense. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2), 189-195. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062012000200009
- [16] Juárez, I. E. M. (2014). Evaluación de las cepas experimentales *Azospirillum brasilense*, Az39, y *Pseudomonas fluorescens*, Ps6, en el cultivo de maíz—ayuisrl. Recuperado de <http://www.inoculantespalaversich.com/pdf/resultadosensayos-cultivomaiz-marcojuarez.pdf>
- [17] Bremner, J. M. (1965). Total nitrogen 1. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methods of soil analysis)*, 1149-1178.

- [18] Bashan, Y., y De-Bashan, L. E. (2010). How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—a critical assessment. *Advances in agronomy*, 108, 77-136. Recuperado de <http://www.bashanfoundation.org/gmaweb/pdfs/mechanisms.pdf>
- [19] De-Bashan, L. E., Hernández, J. P., y Bashan, Y. (2012). The potential contribution of plant growth-promoting bacteria to reduce environmental degradation—A comprehensive evaluation. *Applied Soil Ecology*, 61, 171-189.
- [20] Parra, J., Ramírez, R., Lobo, D., Subero, N., y Sequera, O. (2011). Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) en la etapa temprana a las formas de aplicación de fósforo. *Rev. Fac. Agron*, 37 (2), 86-92.
- [21] Pincay Verdezoto, A. K. (2014). *Caracterización y evaluación de bacterias Pseudomonas sp. solubilizadoras de fósforo presentes en la rizósfera del maíz (Zea mays) de los ensayos experimentales del INIAP de las provincias de Imbabura, Bolívar, Chimborazo y Pichincha* (Tesis de Ingeniería). Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.
- [22] García, F., Muñoz, H., Carreño, C., Mendoza, G. (2010). Caracterización de cepas nativas de *Azospirillum* spp. y su efecto en el desarrollo de *Oryza sativa* L." arroz" en Lambayeque. *Scientia Agropecuaria*, 1(2), 107-116.
- [23] Echeverría, H. E. S. A., Echeverría, H. E. (1998). *El rol del nitrógeno y del fósforo en la producción de maíz: diagnóstico de la fertilización nitrogenada y fosforada*. Semillas Hibridas: Morgan. Recuperado de http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDAS/dh_0032/0901b8038003272b.pdf?filepath=ar/pdfs/noreg/013-53003.pdf&fromPage=GetDoc
- [24] Misra, N., Gupta, G., Jha, P. N. (2012). Assessment of mineral phosphate solubilizing properties and molecular characterization of zinc tolerant bacteria. *Journal of basic microbiology*, 52(5), 549-558. doi: <https://doi.org/10.1002/jobm.201100257>
- [25] Aguilar Borja, M. B. (2015). *Selección de bacterias de vida libre eficientes en fijación biológica de nitrógeno como alternativa sustentable para ecosistemas terrestres* (Bachelor's thesis). Universidad Técnica de Ambato (Bachelor's thesis), Ambato, Ecuador.
- [26] Marquina, M. E., Skwierinski, R. M., & Briceño, B. E. (2002). Actividad reductora de acetileno de bacterias asociadas a las Glumifloras del páramo Loma Redonda, Mérida Venezuela. *Revista Pittieria*, 31, 57-69.
- [27] Radzki, W., Mañero, F. G., Algar, E., García, J. L., García-Villaraco, A., & Solano, B. R. (2013). Bacterial siderophores efficiently provide iron to iron-starved tomato plants in hydroponics culture. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 104(3), 321-330.
- [28] Rodríguez, V.M., dos Santos, S., Polon, V., Freitas, J.G., y Boller, P. A. Parada. (2005). Ocorrencia e efeito de bactérias diazotróficas em genótipos de trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29, 345-352.
- [29] Ortiz Bustos, G. M. (2010). *Evaluación del efecto de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de Azospirillum spp., en el cultivo de maíz (Zea mays L.), variedades Iniap 122 y 102, en las provincias de Imbabura y Pichincha*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- [30] Faggioli, V., Cazorla, C. R., Vigna, A., y Berti, M. F. (2003). Fertilizantes biológicos en maíz.: ensayo de inoculación con cepas de *Azospirillum brasilense* y *Pseudomonas fluorescens*. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. Recuperado de http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2010/01/eea-marcos-juarez-fertilizantes-biologicos-enmaiz_5.pdf
- [31] Aguirre-Medina, J. F., Moreno, J. A. E. (2016). Crecimiento y rendimiento de *Capsicum annum* L. inoculado con endomicorriza y rizobacterias. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7), 1539-1550.
- [32] Mohammadi, G. R., Ghobadi, M. E., & Sheikheh-Poor, S. (2012). Phosphate biofertilizer, row spacing and plant density effects on corn (*Zea mays* L.) yield and weed growth. *American Journal of Plant Sciences*, 3(04), 425. doi: <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2012.34051>
- [33] Cárdenas Caro, D. M., Garrido Rubiano, M. F., Roncallo Fandiño, B. A., y Bonilla Buitrago, R. R. (2014). Inoculación con *Azospirillum* spp. y *Enterobacter agglomerans* en pasto guinea (*panicum maximum jacq.*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67, 2. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v67n2.44168>

antes indicado, en la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) se realizó una investigación con el objetivo de conocer las necesidades nutricionales de cuatro híbridos promisorios de maíz duro, bajo tres niveles de fertilización. Las parcelas fueron sembradas en época lluviosa y época seca, siguiendo un diseño de bloques completos al azar en parcelas divididas con tres repeticiones. Las medias de cada tratamiento se compararon mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$). El ensayo evaluó la producción de materia seca, concentración y contenido de nutrientes en tejidos aéreos de la planta, con frecuencia de 10 días a partir de la fecha de siembra hasta la madurez fisiológica (110 días). Los resultados obtenidos mostraron que la extracción de N, K, y Mg se incrementaron a partir de los 30 días después de la siembra (DDS) hasta los 100 DDS. Para P la mayor extracción fue tardía incrementándose a partir de los 50 DDS; en cuanto al S, las mayores extracciones sucedieron entre 50 DDS y 70 DDS. Los resultados encontrados reflejan la variabilidad en la extracción de los nutrientes presentada por los materiales promisorios de maíz.

Palabras clave: Curva de absorción, Requerimientos nutricionales.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz duro tiene importancia mundial por ser un cereal que forma parte de la canasta básica familiar, además de ser un insumo importante para la industria alimenticia de animales. En el Ecuador para el 2016 se tuvieron 341254 ha sembradas y se cosecharon 306095 ha de este cereal, en las provincias de Los Ríos, Manabí, Guayas y el resto de provincias, lo que correspondió al 40.07%, 29.41%, 12.33% y 18.20%, respectivamente [1].

Los suelos destinados al cultivo varían en sus condiciones de fertilidad, donde los nutrientes disponibles generalmente limitan su rendimiento, siendo que para obtener cosechas de 5 t ha⁻¹ de grano de maíz de zona tropical, se requiere 170.0 kg ha⁻¹ de N; 68.7 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 72.6 kg ha⁻¹ de K₂O; 32.2 kg ha⁻¹ de CaO; 41.5 kg ha⁻¹ de MgO y 60.0 kg ha⁻¹ de SO₄ [2].

El comportamiento de las curvas de absorción de nutrientes son herramientas básicas que ayudan a determinar las épocas de mayor demanda de nutrientes de los cultivos durante su ciclo de crecimiento; permitiendo definir las épocas de aplicación de los fertilizantes, que generalmente deberá ocurrir un par de semanas antes del pico de alto requerimiento de nutrientes, para maximizar la eficiencia de uso de fertilizantes [3, 4].

En la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), desde el 2011 se están evaluando híbridos promisorios de maíz, próximos a ser liberados al sector agrícola, siendo necesario conocer sus requerimientos nutricionales según su potencial de rendimiento y la oferta de la fertilidad de los suelos y determinar las necesidades de fertilización [5].



La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar las variaciones en la absorción de nutrientes de cuatro híbridos promisorios de maíz, en sus diferentes etapas de crecimiento, en la zona central del Litoral ecuatoriano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo se realizó durante el año 2016 en el lote Estación Meteorológica de la EETP, sector Nuevo Pichilingue, a 74 msnm, con una temperatura media anual de 25.4 °C; humedad relativa de 83.5%; precipitación anual de 2063 mm; heliofanía de 963.7 horas luz anual [6]. Los análisis de tejidos vegetales se realizaron en el Laboratorio de Suelos, Tejidos Vegetales y Aguas del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la EETP del INIAP, ubicada en la provincia de Los Ríos, cantón Mocache, km 5 vía Quevedo-El Empalme (Figura 1).

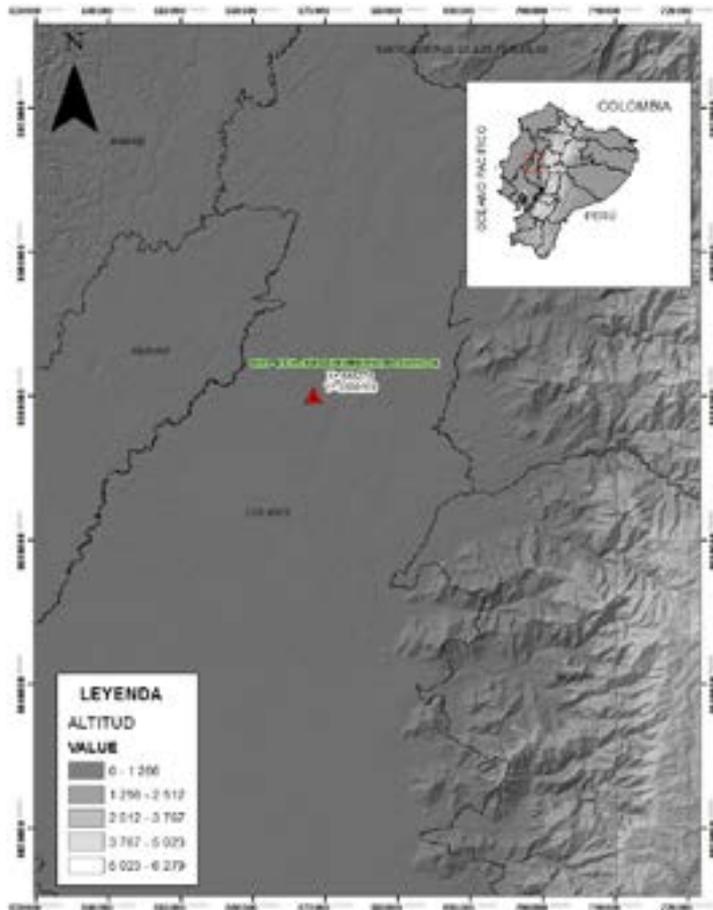


FIGURA 1. Mapa de localización del sitio experimental, en la Estación Experimental Tropical Pichilingue, cantón Mocache, provincia de Los Ríos.

Se estudiaron dos factores, el factor A que correspondió a los niveles de fertilización (testigo, NPK y fertilización completa), siendo que la fertilización con NPK, fue simulando a la utilizada por los pequeños productores 101 kg ha⁻¹ de N; 46 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 30 kg ha⁻¹ de K₂O. La fertilización completa con 180 kg ha⁻¹ de N; 46 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 63 kg ha⁻¹ de K₂O; 34 kg ha⁻¹ de MgO; 44 kg ha⁻¹ de SO₄; 1.5 kg ha⁻¹ de B; 4.0 kg ha⁻¹ de Zn; 2.5 kg ha⁻¹ de Mn y 1.0 kg ha⁻¹ de Cu. El factor B correspondió a cuatro híbridos promisorios de maíz (L-21-3-1-1-COM-2 X CML-172; L-8-2-1-1-COM-1 X CML-173; L-30-2-1-1-COM-1 X CML-174; L-58-1-3-1-COM-2 X CML-175) desarrollados por el programa de mejoramiento genético de maíz de la EETP, entre líneas nacionales e introducidas desde el CIMMYT.

Las unidades experimentales estuvieron distribuidas siguiendo un diseño de bloques completos al azar con parcelas divididas, donde las parcelas grandes fueron los niveles de fertilización y las pequeñas los híbridos promisorios con tres repeticiones. Los promedios de cada tratamiento fueron comparados mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete informático InfoStat [7].

Las siembras se efectuaron de forma manual con espeque en enero 12 (época lluviosa que tuvo 1989.6 mm de precipitación) y junio 23 del 2016 (época seca, con 42.1 mm de precipitación), dejando una planta por sitio a una distancia de 0.80 m y 0.20 m entre surcos y plantas, respectivamente (62500 pl. ha⁻¹). El P₂O₅, SO₄, MgO y micronutrientes fueron aplicados todo a la siembra; el K₂O en dos aplicaciones 50% a la siembra y 50% los 25 días después de la siembra (DDS); el N fraccionado 50% a los 15 DDS y 50% a los 30 DDS.

Determinación de la curva de absorción de nutrientes

Para la determinación de las curvas de absorción, se colectaron 10 plantas por parcela hasta los 20 DDS y en adelante dos plantas (parte aérea), cada 10 días, contados a partir de la fecha de siembra. Estas fueron lavadas con agua destilada, seguidamente secadas a 70 °C en estufa con circulación forzada de aire, durante 72 horas (peso constante), donde se registró el peso seco de las plantas (materia seca).

En esta materia seca, se determinó el contenido de N por digestión sulfúrica, según el método Kjeldahl y lectura por titulometría. El P, K, Mg, S, extraídos con mineralización nítrico-perclórica, modificado en la relación 5:1 [8], donde el P, S y B fueron determinados por turbidimetría en fotocolorímetro marca Cole Parmer 1100 Spectrophotometer; el K y Mg, en espectrofotómetro de absorción atómica marca Shimadzu AA-6800; los resultados se expresaron en dag kg⁻¹.

Se determinó la absorción de cada nutriente utilizando los datos de materia seca (kg ha⁻¹) y las concentraciones de nutrientes (X) presentes en los tejidos, mediante la ecuación (1):

$$\text{Absorción de (X)} = \frac{P \times C}{100} \quad (1)$$

Donde P es el peso de materia seca en kg ha⁻¹ y C es la concentración de nutriente X en dag kg⁻¹. Los incrementos en la absorción de nutrientes se calcularon por diferencia entre el contenido del elemento obtenido en cada evaluación, con la inmediata anterior y fueron expresados en dag kg⁻¹.



RESULTADOS

En las Figuras 2. A-B se presentan las curvas de absorción y el incremento de N, obtenidas de los cuatro híbridos promisorios de maíz, donde se observan comportamientos similares en época lluviosa (A) y seca (B), habiendo incremento de la extracción a partir de los 30 DDS hasta los 100 DDS, siendo necesario aproximadamente 180 kg ha⁻¹ de N y 140 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

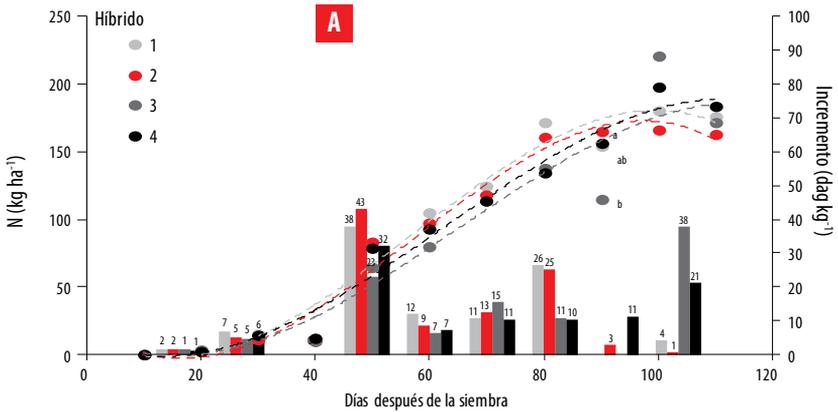


FIGURA 2A. Acumulación total (kg ha⁻¹) e incremento de absorción de N (dag kg⁻¹) en la época lluviosa (A) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.

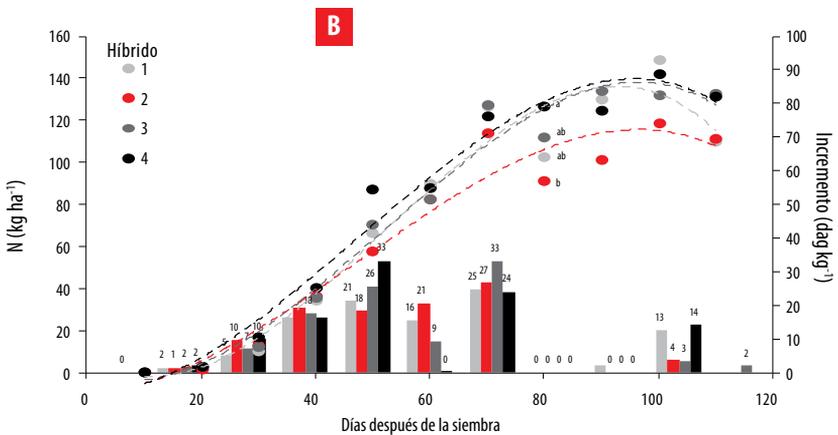


FIGURA 2B. Acumulación total (kg ha⁻¹) e incremento de absorción de N (dag kg⁻¹) en la época seca (B) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.

La acumulación de P se observó hasta la cosecha (110 DDS), donde la inclinación de las curvas indican mayor extracción a partir de los 50 DDS y después de los 80 DDS en la época lluviosa (A), habiendo en general mayor absorción a partir de la floración (60 DDS) (Figura 3. A-B). Para la época seca (B), la mayor extracción se tuvo a partir de los 40 DDS, con incrementos constantes de aproximadamente 15 dag kg⁻¹ hasta la cosecha.

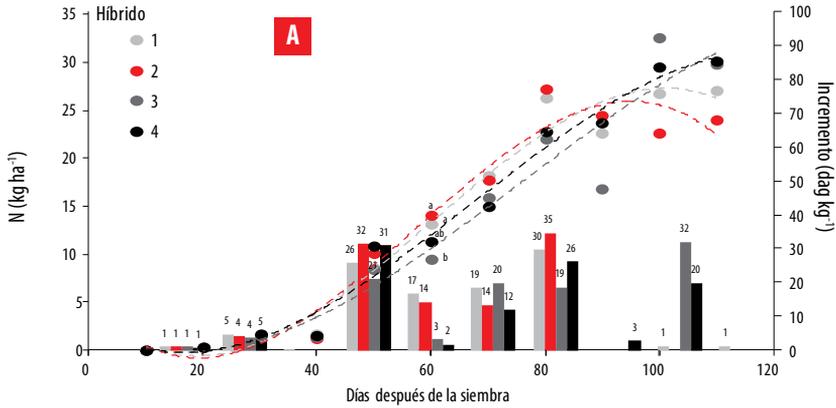


FIGURA 3A. Acumulación total (kg ha⁻¹) e incremento de absorción de P (dag kg⁻¹) en la época lluviosa (A) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.

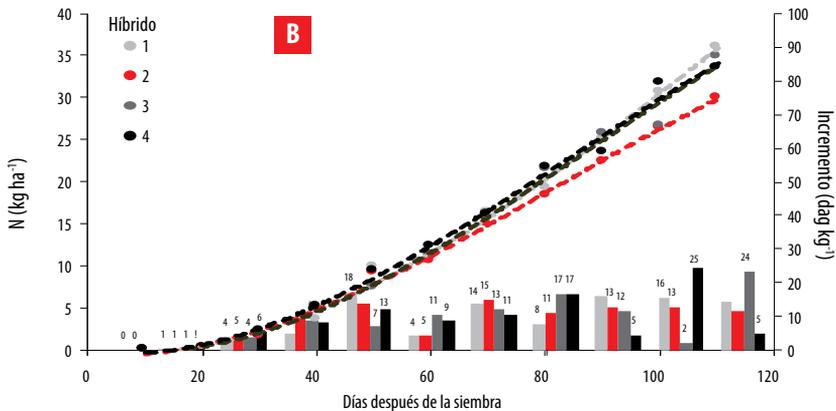


FIGURA 3B. Acumulación total (kg ha⁻¹) e incremento de absorción de P (dag kg⁻¹) en la época seca (B) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.



En las Figuras 4. A-B se observa que la absorción de K en la época lluviosa (A), fue mayor en las primeras etapas de desarrollo, concentrándose su mayor necesidad a los 50 DDS, reduciéndose sustancialmente después de los 60 DDS. Para la época seca (B), se observó mayor absorción a partir de los 30 DDS hasta los 50 DDS, luego de lo cual disminuye.

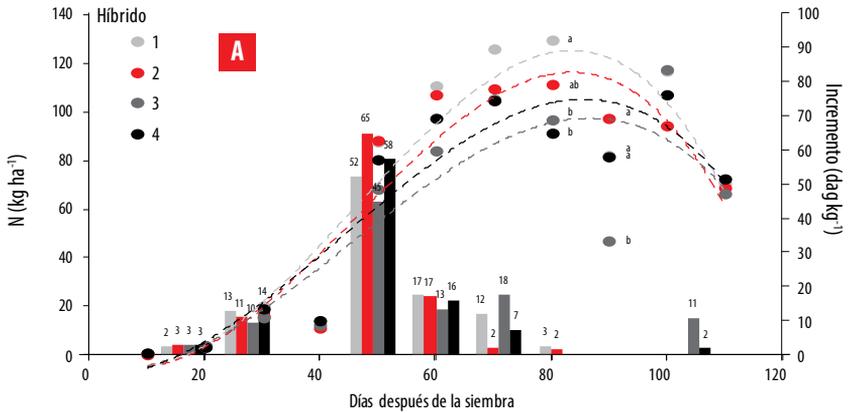


FIGURA 4A. Acumulación total (kg ha^{-1}) e incremento de absorción de K (dag kg^{-1}) en la época lluviosa (A) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.

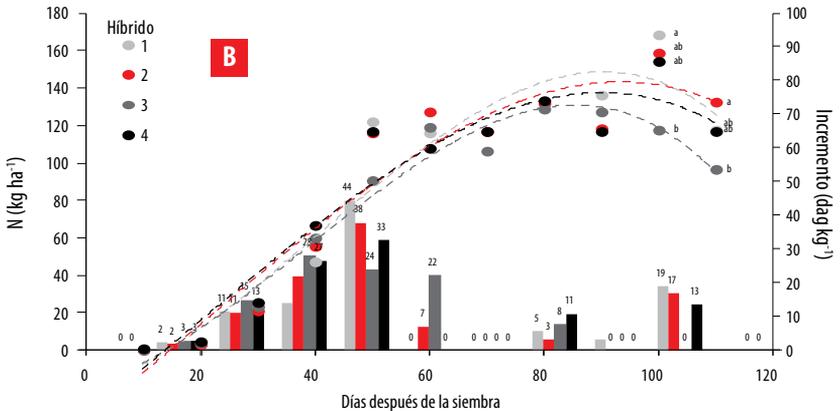


FIGURA 4B. Acumulación total (kg ha^{-1}) e incremento de absorción de K (dag kg^{-1}) en la época seca (B) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.

Para el Mg, su máxima absorción (alrededor de 32 kg ha⁻¹) en la época lluviosa (A) se registró hasta los 90 DDS, reduciéndose posteriormente hasta la cosecha (Figuras 5. A-B). A los 60 DDS se observó el mayor pico de absorción. En la época seca (B) este comportamiento varió determinando incrementos de absorción constante entre los 40 DDS hasta los 100 DDS, con el mayor pico de absorción a los 80 DDS.

La absorción de S ocurrió hasta los 70 DDS (Figuras 6. A-B), teniendo las mayores absorciones entre los 50 DDS y 60 DDS en la época lluviosa (A). Para la época seca (B), existió absorción hasta la cosecha 110 DDS, teniendo las mayores entre los 30 DDS y 60 DDS.

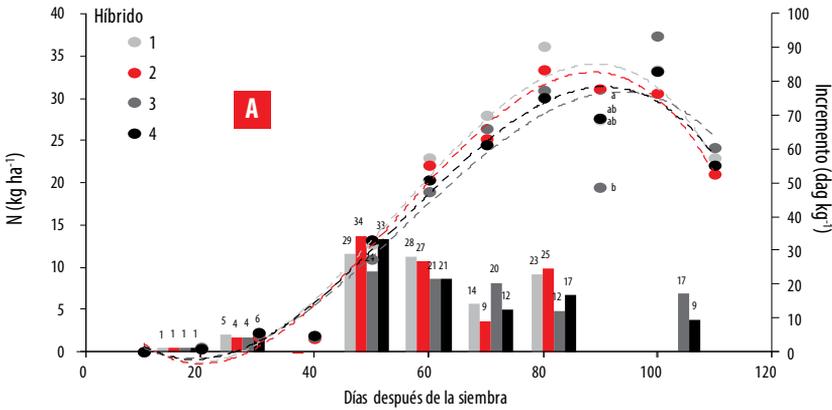


FIGURA 5A. Acumulación total (kg ha⁻¹) e incremento de absorción de Mg (dag kg⁻¹) en la época lluviosa (A) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.

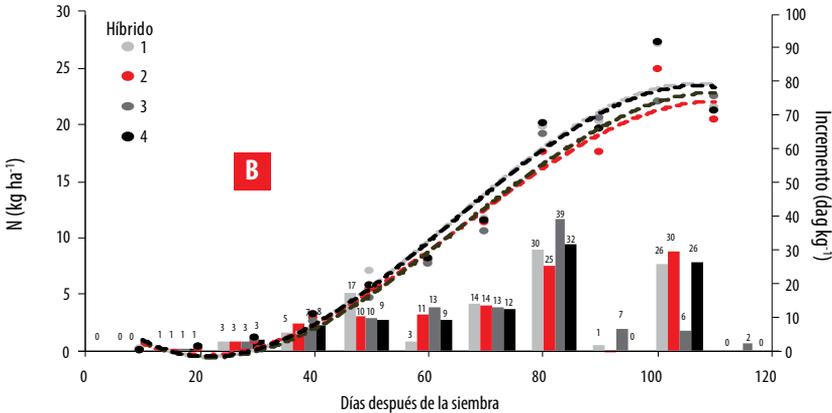


FIGURA 5B. Acumulación total (kg ha⁻¹) e incremento de absorción de Mg (dag kg⁻¹) en la época seca (B) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.

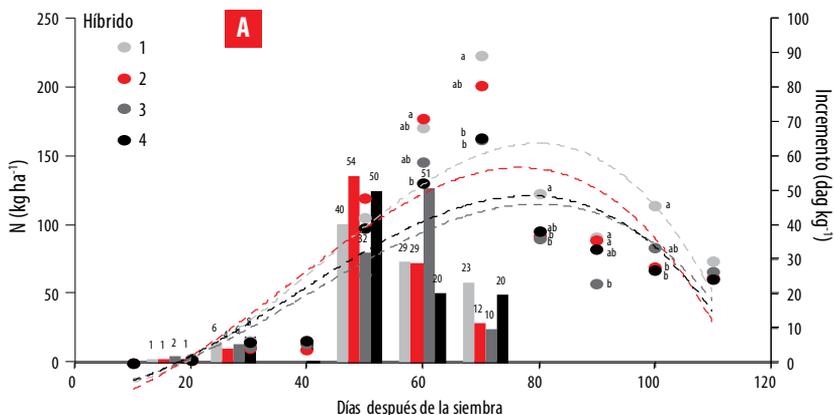


FIGURA 6A. Acumulación total (kg ha^{-1}) e incremento de absorción de S (dag kg^{-1}) en la época lluviosa (A) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.

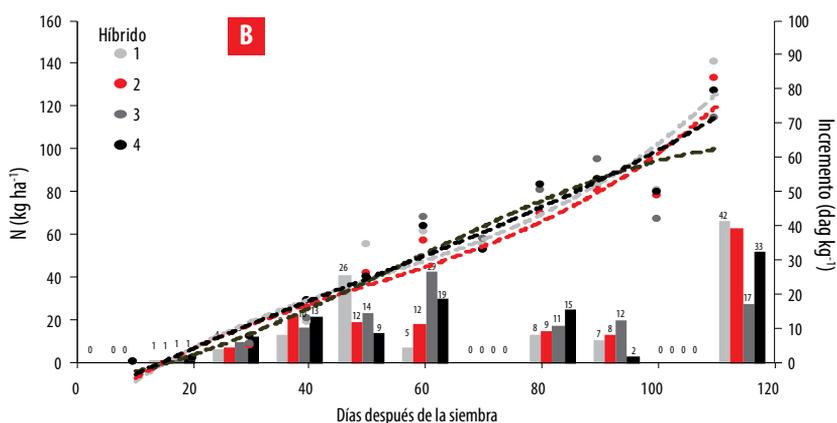


FIGURA 6B. Acumulación total (kg ha^{-1}) e incremento de absorción de S (dag kg^{-1}) en la época seca (B) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.

DISCUSIÓN

Analizando las formas de las curvas de absorción de N, entre las edades de 30 DDS a 50 DDS (cerca a la floración que fue a los 60 DDS), se observó mayor grado de inclinación (Figuras 2. A-B), indicando mayor requerimiento de N disponible para su absorción durante esta etapa fenológica. Esta dinámica se relaciona con el período de alta demanda de N (51 DDS hasta los 100 DDS) indicada para el híbrido de maíz de ciclo vegetativo tardío H-358, cuya floración se presentó a los 97 DDS [4].

Hasta la etapa de floración cerca del 50% del N fue absorbido, lo que coincide con lo reportado en anterior trabajo en el país, cuyos autores encontraron también 50% de absorción de éste elemento hasta la floración en otro híbrido promisorio de maíz [9]; por otro lado, en la literatura se encuentra que con el híbrido de maíz HC-57, a esta etapa fenológica del cultivo, había absorbido el 80% de N total requerido en el ciclo, siendo mayormente acumulado en la parte foliar; también en el híbrido de maíz PB-S, fertilizado con dosis crecientes de N, la proporción de la absorción de éste elemento varió del 70% de N a los 45 DDS a 96% de N a los 60 DDS [10, 11].

El patrón de acumulación de P (Figura 3. A-B), guarda relación con el reportado con híbridos de maíz transgénicos que después de la floración absorben alrededor de 50% de éste elemento [12]. Este comportamiento de absorción tardía de P después de la floración (60 DDS), podría deberse a que el P acumulado en el follaje, no abastece con la totalidad de requerimiento del elemento para la formación de la mazorca y llenado de grano, por lo que continúa con la absorción en forma directa del suelo [4, 10], siendo que las necesidades de éstos híbridos evaluados, variaron entre los 30 kg ha⁻¹ de P y 35 kg ha⁻¹ de P, en las dos épocas de siembra.

El comportamiento del K (Figura 4. A-B), indica que la mayor absorción ocurrió previo a la floración, concordando con trabajos anteriores [4, 9, 10, 12, 13], donde se menciona que esto es debido a la re-translocación del elemento, desde el follaje hacia la mazorca para el llenado de los granos; siendo que los requerimientos para éste elemento, en estos híbridos fueron de 100 kg ha⁻¹ de K, en época lluviosa y 120 kg ha⁻¹ de K en época seca.

El comportamiento en la absorción de Mg, parece no depender de una etapa fenológica específica, ya que éste elemento se absorbe de manera constante aún en etapa reproductiva de formación de mazorca y llenado de grano [10, 15]. La necesidad de Mg, en estos materiales se encuentra alrededor de 30 kg ha⁻¹ de Mg y 22 kg ha⁻¹ de Mg, en época lluviosa y seca, en su orden. Los valores de acumulación de Mg reportados (Figura 5. A-B), tienen una tendencia similar a la observada en híbridos de maíz tropicales introducidos a climas templados, estableciendo que la máxima absorción de este elemento varió entre 75 DDS a 90 DDS [14].

Las necesidades de S fueron de 15 kg ha⁻¹ de S y 10 kg ha⁻¹ de S, en época lluviosa y seca, respectivamente; siendo que en las dos épocas, éste elemento fue absorbido en mayor porcentaje hasta la floración del maíz (60 DDS), resultando diferente con lo reportado por otros autores [9, 10, 12, 16], quienes mencionan que más del 40% de S, se absorbe después de la floración. Sin embargo, para otros materiales como los híbridos de maíz GNZ 2004 y P 30 F33, se encontró un comportamiento lineal de absorción de S, la cual aumentó antes del final de la etapa de floración, ocurrida a los 71 DDS [15].



AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Maíz de la EETP del INIAP, por facilitar los materiales genéticos sujetos de éste estudio y al Comité Organizador y Científico de la XXII Reunión Latinoamericana de Maíz, donde se presentó un resumen del presente trabajo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Manuel C. y Wuellins D. concibieron la investigación; Jessica C. y Betty R. desarrollaron la metodología y realizaron el trabajo de laboratorio; Fátima M. desarrolló el trabajo de campo, con el apoyo de Manuel C. y Wuellins D. Manuel C. diseñó el modelo y Wuellins D. realizó el análisis estadístico. Manuel C. y Wuellins D. redactaron el manuscrito. Los otros autores indicados revisaron críticamente el contenido intelectual y realizaron aportes al mismo.

REFERENCIAS

- [1] ESPAC. (2016). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. *ESPAC*. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2016/Informe%20ejecutivo%20ESPAC_2016.pdf
- [2] Bertsch, F. (2003). *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. San José, Costa Rica: ACCS.
- [3] Sancho, H. (1999). Curvas de absorción de nutrientes: Importancia y uso en los programas de fertilización. *Informaciones Agronómicas*, 36, 11-13.
- [4] Martínez Gamiño, M. A., Jasso Chaverria, C., Osuna Ceja, E. S., Reyes Muro, L., Huerta Díaz, J. y Figueroa Sandoval, B. (2014). Efecto del fertirriego y labranza de conservación en propiedades del suelo y el rendimiento de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(6), 937-949.
- [5] Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Tropical Pichilingue, Departamento de Producción y Venta de Bienes y Servicios Agropecuarios. (2014). *Informe anual 2014*. Mocache, Ecuador: Autor.
- [6] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Ecuador. (2016). Datos registrados en la Estación Experimental Tropical Pichilingue. *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Ecuador*.
- [7] Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. y Robledo, C.W. (2016). *Infostat. Grupo InfoStat, FCA (programa informático)*. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- [8] Henríquez, C., Bertsch, F. y Salas, R. (1998). *La fertilidad de los suelos: Manual de laboratorio*. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- [9] Remache, M., Carrillo, M., Mora, R., Durango, W. y Morales, F. (2017). Absorción de macronutrientes y eficiencia del N, en híbrido promisorio de maíz. Patricia Pilar, Ecuador. *Agronomía Costarricense*, 41(2), 103-115. doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v41i2.31303>
- [10] Fallas, R., Bertsch, F., Echandi, C. y Henríquez, C. (2011). Caracterización del desarrollo y absorción de nutrimentos del Híbrido de maíz HC-57. *Agronomía Costarricense*, 35 (2), 33-47. Recuperado de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v35n2/a03v35n2.pdf>
- [11] Delgado, R. (2002). Evaluación del crecimiento del maíz y absorción de N bajo diversas condiciones de disponibilidad del elemento en un Mollisol de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 52(1), 5-22.
- [12] Bender, R.R., Haegerle, J.W., Ruffo, M.L. and Below, F.E. (2013). Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal*, 105(1), 161-170. Recuperado de <http://cropphysiology.cropsci.illinois.edu/documents/Bender,Haegerle2013Nutrients.pdf>
- [13] Coelho, A.M. (2008). Nutrição e adubação do milho. En: J. C. Cruz, D. Karam, M. a. R. Monteiro & P. C. Magalhaes (Eds.), *A cultura do milho*. (pp.131-157). Sete Lagoas, MG, Brasil: EMBRAPA Milho e Sorgo.
- [14] Duarte, A.P., Kiehl, J.C., Camargo, M.A.F. & Reco, P.C. (2003). Acumulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 2(3), 1-20.
- [15] Von Pinho, R.G., Borges, I.D., Pereira, J.L.A.R. e Reis, M.C. (2009). Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 8(2), 157-173.
- [16] Ciampitti, I.A., Boxler, M. y García, F.O. (2010). Nutrición de maíz: Requerimientos y absorción de nutrientes. *Informaciones Agronómicas*, 48, 14-18. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2EB470FD702C566D85257984005754F1/\\$FILE/14.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2EB470FD702C566D85257984005754F1/$FILE/14.pdf)

mayor capacidad de discriminación y más representativos y útiles para la selección de genotipos con adaptación amplia fueron L5-Pereira y L15-El Líbano. Se identificó siete agrupamientos de genotipos y ambientes (mega-ambientes) que son áreas que muestra condiciones ambientales homogéneas y que causa que ciertos genotipos se desempeñen similarmente.

Palabras clave: Interacción Genotipo Ambiente, Estabilidad

INTRODUCCIÓN

La demanda de maíz en los países en desarrollo superará al de trigo y arroz para el año 2020, lo que indica la importancia del cultivo en el aspecto nutricional. Este requerimiento nos hace mirar con responsabilidad el rol que tienen que desempeñar las instituciones de investigación agrícola del Perú y del mundo para dirigir esfuerzo a satisfacer el rápido crecimiento de la demanda de maíz [1].

Las sabanas de Sudamérica con una superficie de 270 millones de hectáreas representan una de las mayores extensiones con potencial para la producción agrícola [2]. Muchos profesionales que trabajan en el desarrollo del maíz tropical creen que su futuro en esas áreas es muy prometedor y que el aumento de la productividad del maíz, su producción y utilización en los trópicos no son una elección sino una necesidad [3]. La toxicidad por aluminio es el factor limitante más importante para la producción de maíz en los suelos tropicales, ya que está asociado a un bajo pH, alta saturación de aluminio, baja absorción de fósforo, deficiencias de calcio, magnesio fósforo, hierro y molibdeno [4].

Es importante, por lo tanto, desarrollar materiales genéticos que presenten una buena tolerancia a la acidez del suelo y todos los problemas edáficos asociados con ella, ya que ésta es una solución permanente, barata y que eventualmente contribuye a una mejor conservación del ambiente [4]. El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) viene desarrollando un programa de mejora genética para producir maíces tropicales con tolerancia a suelos ácidos. Entre estos materiales genéticos, el maíz híbrido de grano amarillo duro tiene una gran importancia en el incremento de la productividad y producción del maíz en estas zonas tropicales [2].

En los programas de mejoramiento genético de plantas es común evaluar la respuesta de los genotipos en varios ambientes con el fin de valorar la magnitud y tipo de la interacción genotipo por ambiente (IGE), así como la estabilidad fenotípica de los cultivares sometidos a la totalidad de los ambientes predominantes en una región potencial de adaptación. El entendimiento de la IGE observada en estos ensayos, permite identificar variedades de alto rendimiento con adaptación específica y amplia [5]. Existen varios modelos que nos permiten estudiar la estabilidad.

El Genotipo + Genotipo x Ambiente (GGE) *biplot* es una herramienta de visualización de datos que muestra la interacción en una gráfica de dos vías. El GGE *biplot* es eficaz para el análisis de mega-ambientes, por ejemplo, el patrón "quien (qué genotipo)-ganó-donde



(en qué localidad)”, la evaluación de genotipos desde el punto de vista de estabilidad y rendimiento, y la evaluación de ambientes (poder discriminante y representatividad) [6, 7].

El objetivo de esta investigación fue estudiar el comportamiento de híbridos de maíz, por su potencial de rendimiento de grano, así como su interacción con los ambientes de evaluación, localizados en la zona tropical, mediante el análisis GGE *biplo*t.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Se evaluaron 14 híbridos de maíz de grano amarillo duro Tabla 1, tolerantes a suelos ácidos, que incluye variedades experimentales (híbridos simples) e híbridos triples en calidad de testigos generales.

TABLA 1. Cultivares de maíz evaluados por adaptabilidad y estabilidad a suelos ácidos en veintisiete ambientes de selección.

N° Cultivar	Clave	Genealogía*	Tipo
1	G1	CLA149/CLA162	Híbrido Simple
2	G2	CLA153/CLA167	Híbrido Simple
3	G3	CLA155/CLA137	Híbrido Simple
4	G4	CLA148/CLA161	Híbrido Simple
5	G5	CLA153/CLA169	Híbrido Simple
6	G6	CLA156/CLA138	Híbrido Simple
7	G7	CLA7/CLA43	Híbrido Simple
8	G8	CLA37/CLA95	Híbrido Simple
9	G9	CLA37/CLA103	Híbrido Simple
10	G10	CLA81/CLA111	Híbrido Simple
11	G11	CLA87/CLA91	Híbrido Simple
12	G12	CML359/CLA94	Híbrido Simple
13	G13	CORPOICA H108	Híbrido Triple
14	G14	CORPOICA H111	Híbrido Triple

* CLA: Línea del CIMMYT, tolerante a suelos ácidos no liberada; CML: Línea del CIMMYT tolerante a suelos ácidos liberada; CORPOICA: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria; H108 y H111 híbridos liberados por CORPOICA 2001, adaptados a suelos ácidos con buen potencial de producción.

Ambientes de evaluación

Este ensayo multiambiente fue conducido en 27 ambientes: dos en Ecuador: INIAP, Pichilingue, uno en Venezuela: Tocorón y 24 en Colombia: Caicedonia, Armenia, Pereira, Villavicencio, Villavicencio, Bucaramanga, Neiva, Palmira, Montería, Puerto López, Puerto López, El Líbano, Armenia, Garzón, Puerto López, Villavicencio, Puerto Gaitán, Puerto López, Villavicencio, Menegua, Villavicencio, Puerto Gaitán, Villavicencio, La Vizcaína Tabla 2. Los suelos de estas localidades se caracterizan por tener pH ácido (4.3 - 6.5), alta

saturación de aluminio, bajo contenido de P, Ca, Mg, K, Zn, B, materia orgánica, ser suelos ligeramente ondulados (< 7%) y suelos profundos.

TABLA 2. Localidades seleccionadas para evaluar estabilidad de rendimiento y adaptabilidad de 16 cultivares de maíz tolerantes a suelos ácidos en tres países de Sudamérica.

Localidades			
Clave	Estación	Zona*	País
L1	Pichilingue	Los Ríos	Ecuador
L2	Pichilingue	Los Ríos	Ecuador
L3	Caicedonia	Valle del Cauca, Zona Cafetera	Colombia
L4	Armenia	Quindío, Zona Cafetera	Colombia
L5	Pereira	Risaralda, Zona Cafetera	Colombia
L6	Villavicencio	Meta, Llanos Orientales	Colombia
L7	Villavicencio	Meta, Llanos Orientales	Colombia
L8	Bucaramanga	Santander, Valle	Colombia
L9	Neiva	Huila, Zona Cafetera	Colombia
L10	Palmira	Valle del Cauca, Valle	Colombia
L11	Montería	Córdoba, Turipaná	Colombia
L12	Tocorón	Aragua	Venezuela
L13	Puerto López	Meta, Llanos Orientales	Colombia
L14	Puerto López	Meta, Llanos Orientales	Colombia
L15	El Líbano	Tolima, Zona Cafetera	Colombia
L16	Armenia	Quindío, Zona Cafetera	Colombia
L17	Garzón	Huila, Zona Cafetera	Colombia
L18	Puerto López	Meta, Llanos Orientales	Colombia
L19	Villavicencio	Cauca, Zona Cafetera	Colombia
L20	Puerto Gaitán	Cauca, Zona Cafetera	Colombia
L21	Puerto López	Cauca, Zona Cafetera	Colombia
L22	Villavicencio	Meta, Llanos Orientales	Colombia
L23	Menegua	Meta, Llanos Orientales	Colombia
L24	Villavicencio	Meta, Llanos Orientales	Colombia
L25	Puerto Gaitán	Meta, Llanos Orientales	Colombia
L26	Villavicencio	Meta, Llanos Orientales	Colombia
L27	La Vizcaína	Santander Costa	Colombia

* Ecuador se divide políticamente en Provincias, Colombia en Departamentos y Venezuela en Estados

Diseño y unidad experimental

Se usó un diseño en bloques completos randomizados con dieciséis cultivares de maíz y tres repeticiones en cada localidad. La unidad experimental estuvo constituida por dos surcos de 5.50 m de longitud y 0.80 m de ancho, y una separación entre golpe de 0.50 m, con tres plantas por golpe, para una densidad de población de 75 mil plantas por hectárea.



Variable de respuesta y análisis estadístico

Se utilizaron los datos de rendimiento de grano en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$) ajustados al 14% de humedad y porcentaje de desgrane, provenientes de los ensayos de evaluación de cultivares entre los años 2006 al 2009 por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. El análisis estadístico para determinar la interacción genotipo por ambiente se realizó mediante análisis de variancia combinado y para valorar la estabilidad e interacción de los genotipos de maíz con el ambiente se utilizó el modelo GGE *biplot* de regresión en los sitios (SREG) [6]. En estos métodos de análisis, sólo se consideraron catorce genotipos.

El análisis de variancia combinado se lo hizo en base a un modelo mixto (ambiente aleatorio y genotipo fijo) para el rendimiento de grano bajo el modelo aditivo lineal (1)

$$Y_{ijk} = \mu + E_k + (R/E)_{ij} + G_i + (G * E)_{ik} + e_{ijk} \quad (1)$$

Donde Y_{ijk} es el comportamiento medio del genotipo i en la repetición j en el ambiente k ; μ es la media general a través de todos los ambientes; E_k es el efecto del ambiente k ; $(R/E)_{ij}$ es el efecto de la repetición j dentro del ambiente k ; G_i es el efecto del genotipo i ; $(G * E)_{ik}$ es el efecto de la interacción del genotipo i en el ambiente k ; e_{ijk} es el error experimental combinado.

En este caso, para la prueba de F de ambientes (E) el cuadrado medio de repeticiones/ambientes se usó como denominador; para genotipos (G) el cuadrado medio de la IGE se usó como denominador y para la interacción (GxE) el error experimental combinado.

El GGE *biplot* del modelo SREG que permite la representación simultánea de la variabilidad de genotipos y ambientes, está basado en el análisis de componentes principales, cuya ecuación (2) representa el modelo básico:

$$Y_{ij} = \mu + \delta_j + \sum_{k=1} \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \epsilon_{ij} \quad (2)$$

Donde Y_{ij} es el rendimiento promedio del genotipo i en el ambiente j ; μ es el rendimiento promedio de todos los genotipos en el ambiente j ; k es el número de componentes principales retenidos en el modelo; λ_k es el valor singular para cada componente principal; α_{ik} corresponde a los valores en los vectores propios de los genotipos para cada componente principal; γ_{jk} son valores de los vectores propios de los ambientes para cada componente principal; ϵ_{ij} es el error experimental [5, 6].

El análisis de variancia combinado, y la prueba de significación de los componentes principales a través de la prueba de Gollub se resolvieron con el sistema SAS mientras que para GGE *biplot* del modelo SREG se utilizó el paquete GGEbiplotGUI del software libre R [7, 9].

RESULTADOS

Análisis de variancia combinado

El análisis de variancia combinado para rendimiento de grano Tabla 3 mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) para ambientes, genotipos y para la interacción

genotipo ambiente (IGE). La alta significación observada para la IGE evidencia que los cultivares responden diferentemente en los ambientes y que esta interacción tiene gran magnitud. En este sentido, un genotipo que tiene una expresión estable en ensayos multiambiente contribuye poco sobre la magnitud de la IGE, destacando la necesidad de identificar esos cultivares estables con alto potencial de rendimiento [8].

TABLA 3. Análisis de la variancia para el rendimiento de grano de maíz $t\ ha^{-1}$ a través de 27 ambientes, 14 genotipos con tres repeticiones por ambiente.

FV	SC	GL	CM	F	PROB
AMBIENTES(E)	2716.69613	26	104.48831	57.33420	<0.0001
REP(AMBIENTES)	98.41194	54	1.82244	2.99193	<0.0001
GENOTIPOS(G)	155.46435	13	11.95880	6.73983	<0.0001
G * E	599.72970	338	1.77435	2.91297	<0.0001
ERROR	427.60246	702	0.60912		
TOTAL	3997.90458	1133			

CV=15.996%

TABLA 4. Análisis de variancia y significación por la prueba de Gollob para los componentes principales en el modelo GGE biplot.

F.V.	G.L	SC	CM	F	Pr>F	%
Ambientes (E)	26	2716.69613	104.48831	56.5740		78.2500
Genotipos (G)	13	155.464353	11.95880	19.6370		4.4800
GE	338	599.72970	1.77435	2.9130		17.2700
G+GE	351	755.194049				
PC1	38	279.778	7.36258	12.0896	0.00000	37.0472
PC2	36	139.657	3.87936	6.3700	0.00000	18.4928
PC3	34	91.799	2.69998	4.4335	0.00000	12.1557
PC4	32	55.760	1.74249	2.8612	0.00000	7.3835
PC5	30	47.328	1.57761	2.5905	0.00001	6.2670
PC6	28	35.567	1.27024	2.0858	0.00094	4.7096
PC7	26	27.298	1.04994	1.7240	0.01443	3.6147
PC8	24	22.371	0.93215	1.5306	0.05059	2.9624
PC9	22	18.189	0.82676	1.3576	0.12689	2.4085
PC10	20	14.592	0.72958	1.1980	0.24854	1.9322
PC11	18	11.665	0.64807	1.0641	0.38494	1.5447
PC12	16	7.503	0.46895	0.7700	0.72062	0.9935
PC13	14	3.686	0.26330	0.4323	0.96448	0.4881
PC14	12	0.000	0.00000	0.0000	1.00000	0.0000
Error	702	427.602	0.60912			

$r=0.85$ ($p<0.01$)



Análisis GGE biplot del modelo SREG, contribución de los factores a la variabilidad total

El análisis GGE biplot permitió conocer la contribución de cada fuente de variación en la partición de la suma de cuadrados total: cultivares (4.5%), ambientes (78.2%) e interacción genotipo x ambiente (17.3%). Estos resultados coinciden con los mencionados por Salas et.al, quienes afirman que en ensayos multiambientes normales, el ambiente contribuye alrededor del 80% de la variación y que genotipos y la interacción, cada uno lo hace con aproximadamente con el 10% de la variabilidad total (Tabla 4) [9].

Significación de las componentes principales

Los dos primeros componentes principales, CP1 y CP2, fueron altamente significativos ($p < 0.01$) y explicaron el 55.54% del modelo GGE (CP1=37.05% y PC2=18.49%) [10]. Esta significación permitió una interpretación confiable de la IGE al usar los dos componentes principales, tanto para genotipos como para ambientes, para obtener el GGE biplot (Tabla 4).

Correlación entre las medias de rendimiento y las puntuaciones CP1 para genotipos

La correlación alta ($r=0.85$, $p < 0.01$) entre las medias de los genotipos y las CP1 Tabla 4, permitió interpretar el GGE biplot, señalando que los cultivares con puntuaciones de CP1 altos se interpretaron como aquellos que tienden a tener mayores rendimientos y los ambientes con CP1 altos y CP2 cercanos a cero como aquellos ambientes que facilitan la identificación de dichos cultivares [5, 12].

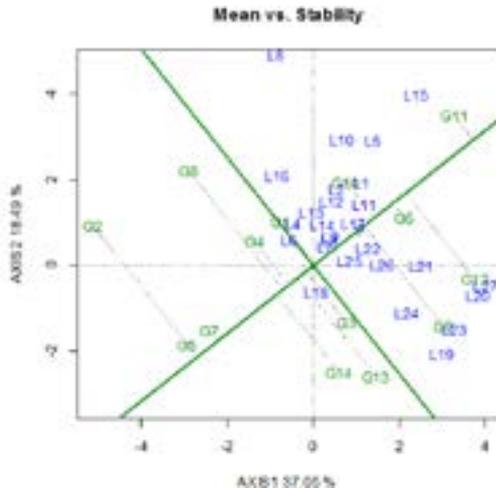


FIGURA 1A. Estabilidad de 14 genotipos de maíz (G) evaluados en 27 ambientes (L), representados en el plano de Genotipo y Genotipo x Ambiente (GGE biplot), indicando el ordenamiento de genotipos basados en el rendimiento medio y estabilidad obtenido para cada ambiente.

Evaluación de genotipos en base al GGE *biplot*, rendimiento medio y estabilidad de los genotipos

El eje de AEC (Average Environment Coordinate) o AEA (Average-Environment Axis) es la recta que pasa por origen del *biplot* y el ambiente promedio (pequeño círculo, que tiene como coordenadas a las medias de CP1 Y CP2 para ambientes). Fig.1 A permite conocer el rendimiento medio y la estabilidad de los genotipos [6,7]. Los genotipos aparecen ordenados por sus rendimientos medios a lo largo del eje con la flecha apuntando al mayor rendimiento. El genotipo G11 fue el cultivar con mayor rendimiento medio y estabilidad en la región estudiada, seguido del G12, G9, G6 y G10.

Ordenamiento de genotipos con respecto al genotipo ideal

Un genotipo ideal debe tener tanto alto rendimiento medio y alta estabilidad en los entornos. Fig. 1B define un genotipo "ideal" (el centro de los círculos concéntricos) como un punto del eje AEA ("absolutamente estable") en la dirección positiva y tiene una longitud de vector igual al vector más largo de los genotipos en el lado positivo de AEA ("mayor rendimiento medio"). Los genotipos situados más cerca del "genotipo ideal" son más deseables que otros. El genotipo G11 fue el más deseable, seguido de G6, luego con igual deseabilidad G12, G10 y G9 [6, 7].

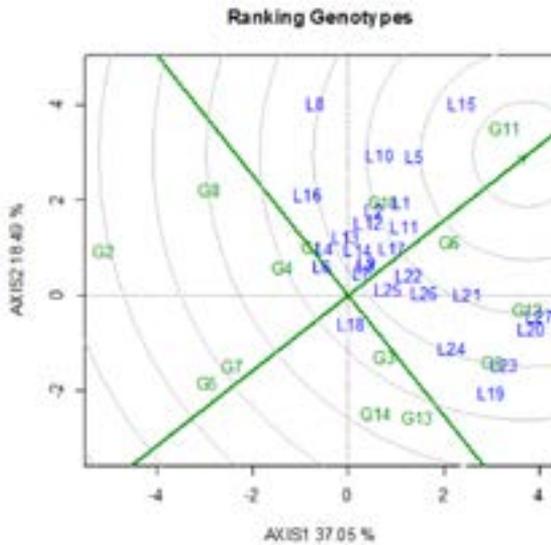


FIGURA 1B. Estabilidad de 14 genotipos de maíz (G) evaluados en 27 ambientes (L), representados en el plano de Genotipo y Genotipo x Ambiente (GGE *biplot*), indicando el ordenamiento de genotipos con respecto al genotipo ideal.



Genotipos de mayor rendimiento considerando localidades - Qué genotipo ganó y dónde

El GGE *biplot* Fig.1 F mostró un polígono de ocho lados formado por la unión de ocho genotipos (genotipos vértices o genotipos marcadores) los cuales son G11, G8, G2, G5, G14, G13, G9 y G12, que se encuentran más alejados del origen del biplot y tienen los vectores más largos que es la medida de la capacidad de respuestas a los ambientes en sus direcciones respectivas, de manera que todos los otros cultivares se encuentran dentro del polígono. Estos genotipos vértices fueron los que más aportan a la interacción, es decir, los de más alto y más bajo rendimiento. Los cultivares de mejor respuesta fueron G11, G12 y G9, que fueron cultivo vértices y debido a que están en la misma dirección de los ambientes. Los G2 y G5 fueron las de menor respuesta, debido a que están en una dirección opuesta a los ambientes [6,7].

Evaluación del medio ambiente basada en GGE *biplot*, capacidad de discriminación de los entornos de prueba

La longitud del vector ambiente informa sobre la utilidad del entorno de prueba para la discriminación de cultivares (Fig.1 C), a mayor longitud mayor capacidad de información sobre los genotipos (discriminación) [6,7]. Los entornos de prueba L7, L3, L14, L25 y L6 por tener vectores ambiente cortos, fueron poco útiles para la discriminación de genotipos, proporcionaron poca información sobre los genotipos y por lo tanto no deberían utilizarse como entornos de prueba. Los ambientes L8, L15, L27, L20, L23 y L19 tuvieron su vector ambiente más largos, informando que estos entornos discriminan adecuadamente la variedad con vector genotipo largo en la misma dirección, tal es el caso del cultivar G11 y la L15.

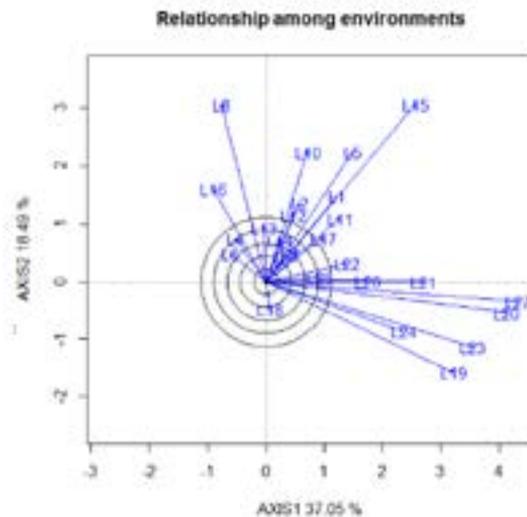


FIGURA 1C. Plano de Genotipo y Genotipo x Ambiente (GGE biplot) indicando el poder discriminante de 27 ambientes (L) de evaluación para medir estabilidad de híbridos de maíz a suelos ácidos.

Representatividad de los ambientes de prueba

Los círculos concéntricos (Fig.1 D) ayudan a visualizar la longitud de los vectores ambientes y su ángulo con el eje denominado AEA. El pequeño círculo, en cuyo centro va la dirección de la flecha, representa al "ambiente medio" y se lo obtiene promediando las coordenadas de todos los entornos de prueba (promedio de CP1 y promedio CP2 da el punto en el centro de este círculo). El eje AEA es la recta que pasa por el origen del *biplot* y el ambiente medio. Los ambientes de prueba que forman un ángulo más pequeño (agudo) con el eje AEA son los más representativos que el resto de los ambientes de prueba [6, 7]. Los ambientes de prueba más representativos fueron L17, L11, L15, L1, L22 y L5, mientras que L18 y L6 fueron los menos representativos.

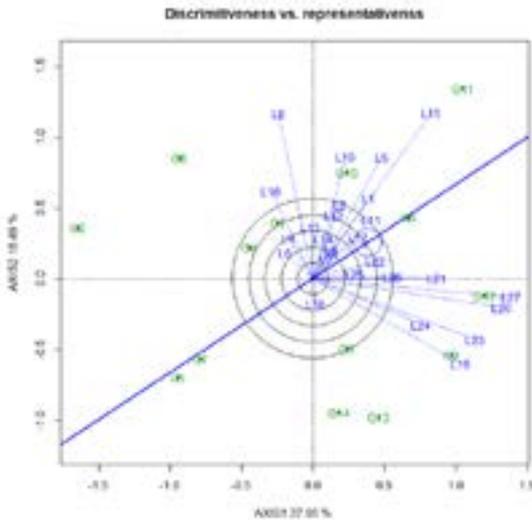


FIGURA 1D. Plano de Genotipo y Genotipo x Ambiente (GGE biplot) indicando la representatividad de 27 ambientes (L) de evaluación de estabilidad de 14 genotipos de maíz (G) a suelos ácidos.

Ambientes de prueba ideales para seleccionar genotipos de adaptación amplia

Un ambiente de prueba ideal es aquel que es el más discriminante (informativo) y también el más representativo del ambiente destino [6,7] (Fig.1). E define gráficamente un ambiente de prueba ideal, el cual es el centro de los círculos concéntricos. Es un punto sobre el AEA en la dirección positiva (el más representativo) con una distancia al origen del *biplot* igual al vector ambiente más largo de todos los ambientes (el más informativo) [6,7]. L15-El Líbano y L5-Pereira, fueron los más cercanos a este punto, por lo que fueron los mejores, mientras que L6 y L18 fueron los más pobres para seleccionar cultivos adaptados a toda la región.

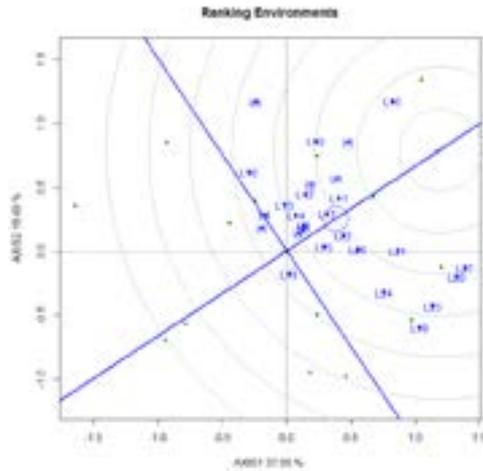


FIGURA 1E. Plano de Genotipo y Genotipo x Ambiente (GGE biplot), indicando representatividad y discriminación de 27 ambientes (L) de evaluación de la estabilidad de híbridos de maíz a suelos ácidos.

Identificación de mega-ambientes

El polígono que se muestra en Fig.1 F no solo informa qué cultivo es mejor en cada entorno de prueba, sino que también muestra dividido a los ambientes en grupos que se les llama mega-ambientes. Se aprecia que las líneas, que son perpendiculares a cada uno de sus lados, subdivide al polígono en siete sectores o mega-ambientes, formando grupos de sitios y cultivares. El cultivar situado en la esquina del sector es el que tiene la más alta respuesta en el sitio de este sector. Para maximizar la expresión del potencial de productividad de los cultivares, cuando existen regiones heterogéneas para la producción, a menudo es conveniente subdividir una región con ambientes heterogéneos en varios mega-ambientes relativamente homogéneos, con el objetivo de seleccionar cultivares adaptadas para cada mega-ambiente [8, 10].

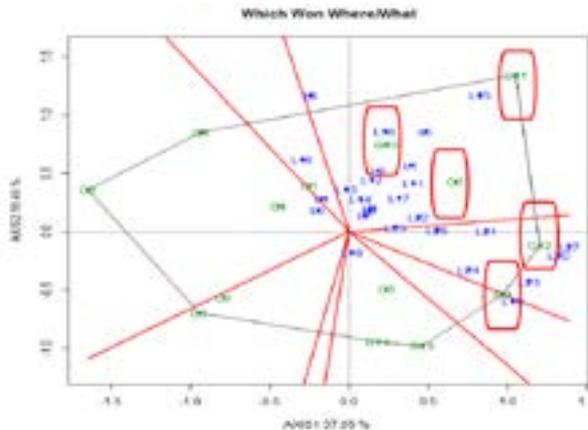


FIGURA 1F. Mega-ambientes de evaluación de estabilidad y adaptabilidad a suelos ácidos de 14 genotipos de maíz (G) evaluados en 27 ambientes (L), representados en el Plano de Genotipo y Genotipo x Ambiente (GGE biplot).

DISCUSIÓN

Para una efectiva utilización de los recursos vegetales en programas de mejora genética existe la necesidad de evaluar y describir sus variaciones fenotípicas al ser cultivados en diferentes ambientes. El problema se complica porque numerosos caracteres se heredan cuantitativamente y son muy influenciados por el ambiente, por lo que resulta necesario conseguir información sobre la Interacción Genotipo Ambiente (IGE), es decir, las diferencias genéticas entre variedades o poblaciones y sus respuestas en diversos ambientes [8].

Desde el punto de vista de la mejora de plantas, la IGE representa, un continuo reto: puede ser una eficaz ayuda, pero también puede reducir los progresos de la selección y los rendimientos esperados por el destinatario de todos los programas de mejora: el agricultor [6, 8]. Por otro lado, una falta de IGE puede significar (i) falta de diversidad genética, lo que puede ser desastroso si está asociado a vulnerabilidad genética de un cultivo a enfermedades, infestaciones de insectos u otros factores; (ii) homogeneidad de los ambientes donde se prueban los genotipos [5].

La IGE significativa (Tabla 3) indica que los genotipos no se comportaron de igual manera ante las variaciones ambientales de las diferentes localidades y, por ende, existen buenos materiales para unos ambientes pero que no responden bien en otros. La alta significación observada para ambientes ratifica la variabilidad ambiental y su significancia indica que al menos una de las localidades fue diferente al resto, atribuido a las diferentes altitudes, longitudes y latitudes en donde se ubican los ensayos; a las diferentes condiciones edafológicas, de temperatura, precipitaciones y prácticas de manejo particulares de cada una de ellas. Estas diferencias son más notorias si los ensayos multiambientales- EMA son conducidos en áreas grandes, como el presente trabajo de investigación. Estos resultados demuestran la existencia de heterogeneidad ambiental y también indican diferencias significativas entre los genotipos, ya que sus respuestas no fueron coincidentes en los entornos de prueba.

La IGE puede ocurrir debido a factores bióticos y abióticos, tales como condiciones de nutrientes y micro flora del suelo, la temperatura, incidencia de lluvias y sequía, pH, subsuelo y los factores socio-económicos que dan lugar a la aplicación de diferentes actividades de manejo en el cultivo [7, 12]. En presencia de una IGA significativa, las medias genotípicas no son la mejor representación para caracterizar el comportamiento de los genotipos ensayados sobre todos los ambientes en la identificación de genotipos superiores [5, 6, 10].

Las magnitudes relativas de los términos de variancia correspondientes a los efectos de genotipo (G), de ambiente (A) y de interacción genotipo ambiente (IGE) (Tabla 4) evidencian que el efecto atribuido al ambiente fue la fuente de variación del rendimiento de maíz más importante, explicando el 78.25% de la suma de los efectos G + E + IGE, lo que justificaría la aplicación del GGE *biplot* para la evaluación de cultivares a través de ensayos multiambientales. Por otro lado, el mayor efecto relativo de IGE (17.27%) con respecto a G (4.48%) sugiere la posible existencia de subgrupos de ambientes con capacidades discriminatorias similares (mega-ambientes) [6, 10, 12].



El GGE *biplot* se utiliza, en especial, cuando el ambiente (E) es la fuente de variación más importante en relación con la contribución del genotipo (G) y la interacción genotipo-ambiente (IGE), como lo es en el presente trabajo de investigación. Este modelo, que incluye en el término bilineal $G + GE$, contiene los efectos del genotipo G más los efectos de la IGE, de ahí que se le haya denominado como "GGE *biplot*" y proporciona un análisis gráfico del comportamiento (rendimiento y estabilidad) de los genotipos. Este gráfico permite identificar el genotipo de mayor potencial en cada ambiente y agrupar genotipos y ambientes con patrones similares de respuesta [5, 6, 10].

Los dos primeros componentes principales (Tabla 3) explican significativamente el 55.5% de la variación, los cuales se representan en el "GGE *biplot*" que exhibe los patrones de respuesta. Generalmente, los gráficos "GGE *biplot*" se confeccionan utilizando los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2), derivados en este caso, de la descomposición de los efectos combinados de $G + IGE$. La primera componente, CP1, cuando se encuentra altamente correlacionada con el efecto principal de genotipo, representa la proporción del rendimiento que se debe solo a las características del genotipo. La segunda componente, CP2, representa la parte del rendimiento debida a la interacción genotipo ambiente [5, 6]. Con estos gráficos, los genotipos pueden ser evaluados en ambientes individuales o a través de ambientes, con respecto a su comportamiento promedio, a la estabilidad y a la capacidad de adaptación general o específica [5, 6, 8, 12].

El método GGE, además del análisis de genotipos, también permite el análisis de entornos. En consecuencia, el eje PC1 indica los entornos con mayor capacidad de discriminación de genotipos, y el eje PC2, los entornos más representativos del grupo [5, 10]. Los entornos con valores altos de PC2 contribuyen más a la interacción de GE y, por lo tanto, se recomiendan para estudios de estabilidad y adaptabilidad.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) por el financiamiento y facilidades brindadas para la realización de la presente investigación y por apoyo a la organización de la XXII Reunión Latinoamericana de Maíz, donde se presentó un resumen del presente trabajo. A los colegas de los Programas de Maíz de Venezuela, Colombia y Ecuador (INIAP) que apoyaron con la realización de los ensayos.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Carlos Tirado, Víctor Vásquez y Luis Narro concibieron la investigación, Luis Narro administración del proyecto, curación de los datos y asesoría, Víctor Vásquez asesoría y Carlos Tirado análisis e interpretación de los datos, producción de tablas y figuras y redacción del manuscrito.

REFERENCIAS

- [1] CIMMYT 1999/2000 World maize facts and trends. meeting world maize needs: technological opportunities and priorities for the public sector. (2001). *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)*. México: CIMMYT.
- [2] Lopez-Hernandez, D., Hernandez-Hernandez, R. M., y Brossard, M. (2005). Historia del uso reciente de tierras de las sabanas de América del Sur. Estudios de casos en sabanas del Orinoco. *Interciencia-INCI*, 30(10), 623-632. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33910907>
- [3] Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R., y Violic, A. D. (2001). *El Maíz en los trópicos: Mejoramiento en los trópicos*. Roma, Italia: Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Recuperado de <http://www.fao.org/3/X7650S/x7650s00.htm>
- [4] Narro, L. A., y Arcos, A. L. (2010). Genetics of aluminum-induced callose formation in maize roots, a selection trait for aluminum resistance. *Crop Science*, 50, 1848-1853. doi: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2009.11.0651>
- [5] Yan, W., Hunt, L., Sheng, Q., and Szlavics, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Science*, 40, 597-605. doi: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>
- [6] Yan, W., and Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), 623-645. doi: <https://doi.org/10.4141/P05-169>
- [7] Frutos, E., Galindo, M. P., and Leyva, V. (2014). An interactive biplot implementation in R for modeling genotype-by-environment interaction. *Stochastic Environment esearch and Risk Assesment*, 28, 1629-1641. doi: <https://doi.org/10.1007/s00477-013-0821-z>
- [8] Borém, A., Condori, M., y Miranda, G. V. (2008). *Mejoramiento de Plantas* (Primera ed.). Vicosa, Brasil: Editora UFV.
- [9] Salas, E., Juárez, H., Giraldo, D., Amoros, W., Simon, R., y Bonierbale, M. (2009). *Modelos de análisis de estabilidad y definición de ambientes basados en GIS*. Lima, Peru: CIP.
- [10] Yan, W. (2002). Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. *Agronomy Journal*, 94(5), 990-996. Recuperado de <https://search.proquest.com/docview/194496393/fulltext/EEAC9BE4DD064C7CPQ/1?accountid=36555>
- [11] Gollob, H. F. (1968). A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variances technique. *Psychometrik*, 33, 73-115. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02289676>
- [12] Balzarini, M., Bruno, C., y Arroyo, A. (2005). *Análisis de Ensayos Agrícolas Multiambientales: Ejemplos en Info-Gen*. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

seleccionaron de manera sistemática al híbrido simple HEZCA 3056 (INIAP H-248 “Soberano”) en ensayos realizados en varias localidades desde el 2011 al 2015. El híbrido simple de grano blanco y textura cristalina posee las características culinarias ideales para consumo humano en fresco y en procesos agroindustriales. El híbrido INIAP H-248 “Soberano” tiene un rendimiento experimental promedio de 9.2 t ha^{-1} , con 13% de humedad, con un rango de 7.0 a 11.4 t ha^{-1} .

Palabras clave: Adaptabilidad, Mejoramiento genético, Seguridad alimentaria.

IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE MAÍZ

El maíz es uno de los cereales más importantes del mundo. Es un insumo clave para una gran cantidad de agroindustrias dedicadas a la alimentación humana y animal, cuyo producto final puede ser concentrados, aceites, almidones, bebidas alcohólicas, ácido cítrico, ácido glutámico, saborizantes, biocombustibles (etanol y biodiesel) o materia prima para elaborar productos químicos como los biomateriales. La producción mundial de maíz para el 2016 fue de 1060 millones de toneladas, donde Estados Unidos, China, Brasil, Unión Europea, Argentina, México, constituyen el 75.50% de la producción mundial; el resto de la producción lo aportan principalmente: Ucrania, India, Canadá, Rusia, Indonesia, Filipinas, Nigeria, Sudáfrica, Turquía y Egipto [1].

En Ecuador, el maíz duro de tipo amarillo es el segundo en importancia de los cultivos transitorios después del arroz y es la principal materia prima para la industria de alimentos balanceados. Se estima que entre los años 2013 al 2015 la superficie sembrada pasó las 300,000 hectáreas, siendo el Litoral ecuatoriano con cuatro provincias (Los Ríos, Manabí, Guayas y Loja) las que contribuyeron con el 78.39% de esta superficie [2,3].

Para maíces de grano blanco cultivados en el Litoral ecuatoriano no se dispone de información estadística, pero se conoce que la producción está mayormente concentrada en la provincia de Manabí, en donde los productores cultivan maíces criollos semi-cristalinos o variedades mejoradas de libre polinización; entre los cuales sobresale la variedad INIAP 528 que tiene 29 años desde su liberación comercial [4]. En el resto de provincias del Litoral o Costa se cultiva principalmente maíz de grano amarillo duro para la elaboración de balanceados, por lo que el desarrollo de un maíz blanco de consumo humano se convierte en una alternativa viable para diversificar la producción de maíz y que los productores puedan acceder a un mejor ingreso.

El Programa Nacional de Maíz del INIAP tiene como objetivo generar variedades e híbridos tolerantes a enfermedades, con alto potencial de rendimiento, para lo cual el INIAP desarrolló el primer híbrido simple de maíz blanco duro INIAP H-248 “Soberano” que reúne las características de productividad y culinarias ideales para consumo humano y procesos agroindustriales para la región Litoral o Costa del Ecuador.



Origen y desarrollo del híbrido

En el año 2007, investigadores del Programa Nacional de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) evaluaron en el sur occidente de la provincia de Loja, en los cantones Pindal, Célica y Paltas, 114 híbridos de maíz procedentes del CIMMYT. Al momento de la cosecha se realizó una evaluación participativa en la cual los productores (as) seleccionaron los tres mejores híbridos, en una matriz técnica formulada para tal propósito, las características consideradas fueron: altura de planta y mazorca, cobertura de mazorca, tamaño y profundidad de grano, facilidad a la cosecha, pudrición de mazorca y rendimiento. Los resultados obtenidos permitieron identificar entre uno de los híbridos seleccionados al HEZCA-3056 (Híbrido Experimental Zona Cafetalera), proveniente de CIMMYT, Colombia.

En el año 2008 se solicitó al CIMMYT semilla de las líneas parentales del híbrido seleccionado. El origen de la línea hembra es PM03B-23-19 y el de la línea macho es PM03B-023-20. La semilla de las líneas progenitoras se incrementó mediante autofecundaciones que se realizaron por 4 ciclos (invierno y verano) durante los años 2009 y 2010, teniendo en cuenta la tolerancia a las principales enfermedades tales como: Cercospora (*Cercospora zea-maydis*), mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*, *Monographella maydis* y *Coniothyrium phyllachorae*), Roya (*Puccinia sorghi*), Mancha de la hoja (*Bipolaris maydis*) y Pudrición de mazorca (*Fusarium* spp); además de características agronómicas como: cobertura de mazorca, tamaño y profundidad de grano y rendimiento de grano. En el año 2010, en Loja-Catacocha, Granja Experimental El Almendral "Hugo Vivar" del INIAP, se incrementó en parcelas aisladas a libre polinización la semilla de las líneas parentales. Durante los años 2011 a 2015 se formó el híbrido simple (F1) en la Granja Garza Real para su posterior evaluación en campos de agricultores, en diferentes ambientes.

En el año 2011, se implementaron ensayos de rendimiento en Pindal y Palta (Provincia de Loja) con ocho híbridos experimentales, se usó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, cuatro surcos por parcela separados a 0.80 m entre hileras, por 0.50 m entre plantas, depositando dos semillas por sitio.

En el año 2013, en Zapotillo (Provincia de Loja), se evaluaron los híbridos experimentales con un diseño látice en tres repeticiones, se sembraron cuatro surcos separados a 0.80 m entre hileras y 0.50 m entre plantas, depositando dos semillas por sitio; al momento de la cosecha se evaluaron dos surcos centrales que conforman la parcela neta de 8.32 m².

En el año 2014, se implementaron cuatro ensayos de rendimiento en las provincias de Santa Elena y Loja, en todos los ensayos se usó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, se sembraron dos surcos por cada material, separados a 0.80 m entre hileras y a 0.20 m entre plantas depositando dos semillas por sitio, con una densidad de 62500 plantas por hectárea.

En el año 2015, se sembraron cinco ensayos de rendimiento, en las provincias de Loja y Santa Elena para evaluar el comportamiento de los híbridos experimentales (seleccionados en años anteriores) en diferentes zonas. En todos los ensayos se usó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, se sembraron dos surcos por cada

material, con la misma distancia y densidad de siembra del año anterior. El manejo de los experimentos y de las parcelas de validación se realizó según las recomendaciones técnicas emitidas para el efecto [5].

Características del híbrido

Tabla 1 presenta las características morfológicas y de calidad de grano de INIAP H-248 “Soberano”, en donde se destacan algunas variables del tallo, hojas, flores y grano. El peso hectolitro de 78.6 indica que este grano sirve para la preparación de: harinas pre-cocidas (arepas, tortillas, tamales, bisquets, soufflés, etc.), coladas, pudines, pasteles, salsas y en preparaciones con requerimientos de viscosidad y *grits* para la elaboración de hojuelas. El grano sirve también para elaborar productos expandidos tipo “mafaldas” o “popetas” [6].

TABLA 1. Características morfológicas del híbrido de maíz INIAP H-248 “Soberano”.

Característica *	Promedio
Pubescencia del tallo: (% de plantas)	
Escasa	98
Media	2
Número de hojas sobre la mazorca superior	8
Color de estigmas: (% de plantas):	
Púrpura oscuro	5
Púrpura claro	95
Tipo de panoja: (% de plantas)	
Primaria	0
Secundaria	90
Terciaria	10
Color de panoja: (% de plantas)	
Púrpura claro	95
Crema	5
Longitud de mazorca (cm)	22
Diámetro de mazorca (cm)	7
Número de hileras	16
Granos/hilera	38
Color de tusa: (% de mazorcas):	
Blanca	100
Peso de 1.000 semillas (g)	400
Tamaño de grano (mm)	14
Tipo de grano	Duro
Color de grano	Blanco
Proteína (%)	10
Almidón (%)	64

* Datos promedio de localidades entre 40 a 1200 m. s.n.m, basados en descriptores para maíz [7].



Rendimientos experimentales

En el 2011, primer año de implementación de ensayos con el híbrido F1 formado en Ecuador, INIAP H-248 “Soberano” se ubicó por rendimiento en el rango más alto, según Tukey al 5%, en las dos localidades de evaluación (Pindal y Palta), lo que permitió que este material continúe con el proceso de evaluación. En el 2013, en la evaluación realizada en Zapotillo, Loja, INIAP H-248 “Soberano” obtuvo un rendimiento promedio de 10.2 t ha⁻¹, con 13% de humedad, donde superó en rendimiento de grano a híbridos comerciales como: DEKALB 1596, DEKALB 7088, PIONNER 30K75, Triunfo, Trueno, AGRI 104 y Tornado, que obtuvieron rendimientos promedios en un rango de 7.8 a 9.8 t ha⁻¹; sin embargo, no existieron diferencias estadísticas significativas, según Tukey al 5%, entre los híbridos comerciales y el INIAP H-248 “Soberano” (datos no mostrados).

TABLA 2. Rendimiento de grano al 13% de humedad de cuatro híbridos experimentales de maíz y cuatro testigos comerciales en cuatro localidades de las provincias de Santa Elena y Loja. 2014.

Híbridos	Rendimiento t ha ⁻¹			
	Santa Elena		Loja	
	Zapotal	Colonche	Pindal	Garza Real
INIAP H-824 Lojanito ^T	7.68 ab*	5.96 a	7.34 abcd	8.60 ab
Austro 1	5.84 c	2.32 ab	6.50 cd	7.61 b
HEZCA 315	8.27 ab	2.94 ab	7.72 abc	8.68 ab
HEZCA 317	7.29 bc	4.73 ab	7.35 abcd	8.69 ab
HEZCA 3056 (INIAP H-248 “Soberano”)	9.19 a	4.84 ab	8.74 a	9.87 a
AGRI 104 ^T	7.01 bc	3.63 ab	5.81 d	8.02 b
AGRI 201 ^T	6.61 bc	2.10 b	6.80 bcd	8.29 ab
SOMMA ^T	7.63 abc	3.64 ab	8.34 ab	8.33 ab
C.V. %	12.54	49.41	11.08	10.32

* Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según Tukey al 5%

^T Testigo comercial

En el 2014, INIAP H-248 “Soberano” alcanzó nuevamente los rendimientos más altos y el primer rango de significancia estadística en tres de las cuatro localidades evaluadas, con excepción de Colonche en la provincia de Santa Elena, donde el ensayo tuvo problemas de estrés hídrico (Tabla 2). En el 2015, INIAP H-248 “Soberano” reafirmó su buen comportamiento obtenido en años anteriores, alcanzando los mayores rendimientos en los cinco ensayos realizados en las provincias de Santa Elena y Loja. El análisis combinado lo ubicó en el primer lugar, con 8.8 t ha⁻¹, donde comparte el primer rango de significancia, según Tukey al 5%, con el híbrido comercial Auténtica (Tabla 3).

TABLA 3. Rendimiento de grano ajustado al 13% de humedad de cuatro híbridos comerciales y cuatro experimentales de maíz en cinco localidades de las provincias de Santa Elena y Loja. 2015.

Híbridos	Rendimiento (t/ha)					
	Sta. Elena	Loja				Combinado
	El Azúcar	Pindal	Zapotillo Añalcal	Zapotillo Alto de la Cruz	Zapotillo Garza Real	
INIAP H-824 Lojanito ^T	8.55 ab*	6.20 bcd	6.82 bc	7.91 b	8.64 c	7.62 cd
HEZCA 317	8.59 ab	5.77 cd	6.34 c	8.28 b	8.92 bc	7.59 cd
HEZCA 315	8.03 ab	5.44 d	7.20 abc	7.79 b	8.64 c	7.42 cd
Cml451 x Cml481	5.52 c	5.16 d	6.50 c	8.21 b	9.11 abc	6.90 d
HEZCA 3056 ^S	8.77 a	7.48 a	8.32 a	9.74 a	9.90 a	8.84 a
SOMMA ^T	7.17 b	6.66 abc	7.13 abc	7.79 b	8.76 c	7.50 cd
Autentica ^T	8.98 a	7.10 ab	8.08 ab	9.71 a	9.77 ab	8.73 ab
DK7088 ^T	8.59 ab	6.94 abc	6.67 c	9.28 a	8.89 bc	8.07 bc
C.V %	9.72	9.99	9.87	6.23	5.33	

* Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según Tukey al 5%

^T Testigo comercial

^S INIAP H-248 Soberano

Rendimiento en parcelas semi-comerciales

En el año 2014, se implementó una parcela de validación semi-comercial de una hectárea en el sector Zapotal, provincia de Santa Elena. En el año 2015, se continuó con la validación en la provincia de Imbabura, sector Lita, y en el sector Las Balsas y El Azúcar de la provincia de Santa Elena. Adicionalmente, se estableció una parcela en el sector El Maicito, La Guayaquil de la provincia de Guayas. Las parcelas establecidas en el 2015 tuvieron un tamaño de 400 m².

En la parcela implementada en el año 2014, en el sector Zapotal, provincia de Santa Elena, se obtuvo un rendimiento de 7.9 t ha⁻¹, con el 13% de humedad. En el año 2015, se continuó con la validación en la provincia de Imbabura, sector Lita y se obtuvo un rendimiento de 8.0 t ha⁻¹; en el mismo año se validó en el sector El Azúcar de la provincia de Santa Elena y se obtuvo un rendimiento de 8.2 t ha⁻¹; en donde se realizó un día demostrativo en el que participaron autoridades del Ministerio de Agricultura, técnicos de la empresa privada y del INIAP. Las evaluaciones que se llevaron a cabo en las localidades de: Las Balsas y El Azúcar en la provincia de Santa Elena y en el cantón Balzar, sector el Maicito de la parroquia La Guayaquil de la provincia de Guayas obtuvieron rendimientos de 11.4 t ha⁻¹, 9.5 t ha⁻¹ y 11.1 t ha⁻¹, respectivamente.



En base a la investigación y desarrollo experimental realizados desde el 2007 por investigadores del Programa Nacional de Maíz del INIAP y a evaluaciones participativas realizadas con productores (as) de la provincias de Santa Elena, Guayas y Loja, el INIAP y el CIMMYT liberaron el híbrido INIAP H248 “Soberano” el 16 de julio del 2016 en la provincia de Santa Elena. Es necesario validar el comportamiento de este híbrido en zonas maiceras de las Provincias de Los Ríos y Manabí.

AGRADECIMIENTO

A los productores que participaron en las evaluaciones participativas de las Provincias de Loja, Santa Elena, Guayas e Imbabura, por apoyarnos en la selección del Híbrido. Al Ing. M.C. Luís Minchala, por ayudarnos en el análisis de estabilidad que apoyó en la selección del híbrido. A los organizadores de la XXII Reunión Latinoamericana del Maíz, en la cual se presentó un resumen del presente trabajo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

José Egúez Moreno y Pablo Pintado diseñaron la investigación, coordinaron, ejecutaron las actividades durante el periodo de desarrollo del híbrido y realizaron los análisis y el informe técnico; Favio Ruilova apoyó en el manejo agronómico de ensayos y líneas parentales; José Luís Zambrano y Carlos Yánez escribieron el documento y realizaron el seguimiento y apoyo metodológico durante la investigación; Ricardo Limongi colaboró en la escritura del manuscrito; Paúl Villavicencio, Marlon Caicedo, Daniel Alarcón, Eddie Zambrano, apoyaron en la evaluación de ensayos; Luís Narro y Félix San Vicente contribuyeron con el material de origen y apoyaron en los análisis e interpretación de los resultados.

REFERENCIAS

- [1] FAOSTAT (2016). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *FAOSTAT Database*. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- [2] INEC (2014). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua – ESPAC. Quito, Ecuador: NEC. Recuperado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccion-agropecuaria-continua-2014/>
- [3] Aguilar, D., Andrade, D., Álava, D., Burbano, J., Díaz, M., Garcés, A., Jiménez, W., Leiva, D., Loayza, V., Muyulema, W., Pérez, P., Ruiz, V., Simbaña, B., Yépez. (2015). *Estimación de superficie sembrada de arroz (Oriza sativa L.) y maíz amarillo duro (Zea mays L.) en las épocas de invierno y verano año 2015, en las provincias de Manabí, Los Ríos, Guayas, Santa Elena, Loja y El Oro*. Quito, Ecuador: Coordinación General del Sistema de Información Nacional - CGSIN. Recuperado de <http://fliphtml5.com/ijia/gcuj/basic>
- [4] INIAP (1998). *INIAP.528, variedad de maíz blanco con alta calidad de proteína para consumo en choclo*. Plegable No. 102. Portoviejo, Ecuador: INIAP. Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1322>
- [5] Villavicencio Linzán, J. P., y Zambrano, J. (2009). Guía para la producción de maíz amarillo duro, en la zona central del Litoral Ecuatoriano. Quevedo, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue, Programa de Maíz. (Boletín Divulgativo no. 353). Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1551>
- [6] INIAP (2015). *Informe anual del Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina*. Quito, Ecuador: INIAP. Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4933>
- [7] International Board for Plant Genetic Resources-IBPGR. (1991). *Descriptors for maize*. Rome, Italy: IBPGR.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo de gran importancia económica a nivel mundial, ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales [1]. En Ecuador, se han reconocido 29 razas de maíz, 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 en este cultivo [2].

Existen en el Ecuador variedades locales de maíz que no cuentan con una descripción morfológica y agronómica que ayuden al agricultor a desarrollar sistemas eficientes de producción y establecer épocas definidas para el establecimiento del cultivo, que garanticen la seguridad alimentaria, sostenibilidad rural y supervivencia de las futuras generaciones [3]. Esta problemática se identificó en el maíz de Malchinguí, el cual es muy apetecido por su buen sabor y por ello en épocas de cosecha los intermediarios acuden a esta localidad para adquirir la mayor parte de la producción y comercializarla en zonas aledañas, inclusive es comercializado en la ciudad de Quito, teniendo muy buena acogida por parte de los consumidores, sin embargo, según los agricultores de dicha parroquia, el producto es vendido a bajos precios, debido al desconocimiento de la variedad de maíz que se cultiva y la falta de apoyo técnico hacia los productores.

La Parroquia de Malchinguí cuenta con tres pisos altitudinales: zona baja (1730-2600 msnm), media (2600-3000 msnm) y alta (3000-4300 msnm), cada uno con sus características específicas de suelo, clima y vegetación; en la zona intermedia el cultivo principal es el maíz. En la parroquia existen 1773.1 ha dedicadas a la agricultura, de las cuales 1740.8 ha son destinadas al cultivo de maíz y apenas 32.3 ha para papa, fréjol, aguacates, entre otros; es por ello que los productores tienen interés en conocer el tipo de maíz que cultivan, sus características y su identidad [4].

En respuesta al pedido de los productores, en el 2016 se realizaron trabajos orientados a la caracterización agronómica y morfológica de dos genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en la zona media de la parroquia Malchinguí, además de la descripción de las características agro-morfológicas de los maíces Pepa-Amarillo, generando así, información que permita a los agricultores de esta zona documentar y proteger su patrimonio genético. También se identificó la tecnología local de producción de la zona de intervención, con énfasis en la productividad de los genotipos en estudio, de acuerdo con las condiciones climáticas de cada productor, y finalmente se seleccionó germoplasma promisorio para futuros trabajos de investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la zona altitudinal media (2600-2900 msnm) de la parroquia Malchinguí, cantón Pedro Moncayo, provincia de Pichincha.

Factores en estudio

Los genotipos de maíz fueron proporcionados por los agricultores de la zona. A continuación, se describe brevemente a cada genotipo con su respectivo productor (Tabla 1).



TABLA 1. Genotipos de maíz (*Zea mays* L.) Pepa y Amarillo utilizados en la caracterización agro-morfológica en Malchinguí, Pichincha, 2016.

Información	Genotipo Pepa			Genotipo Amarillo		
	Productor 1	Productor 2	Productor 3	Productor 4	Productor 5	Productor 6
Propietario	Fanny Tupiza	Teresa Encalada	Margarita Boada	Gonzalo Rodríguez	Adela Sánchez	María Martínez
Superficie (m ²)	825.76	247.41	7329.83	2257.04	1055.41	707.24
Altitud (msnm)	2857	2858	2890	2786	2873	2859
Fecha de siembra	02/nov/2015	20/oct/2015	21/oct/2015	08/nov/2015	05/nov/2015	22/nov/2015
Fecha de floración*	—	M: 18/02/2016 F: 23- 24/02/2016	M: 19/02/2016 F: 24/02/2016	M: 19/02/2016 F: 24/02/2016	M: 03/03/2016 F: 08/03/2016	M: 19/03/2016 F: 24/03/2016
Distancia de siembra (cm)	Entre planta: 70 Entre surco: 70	Entre planta: 65 Entre surco: 70	Entre planta: 60 Entre surco: 70	Entre planta: 75 Entre surco: 75	Entre planta: 70 Entre surco: 76	Entre planta: 80 Entre surco: 70

*M = Masculina, F= Femenina

Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), tomando en cuenta que, cada uno de los productores es una observación dentro de cada genotipo.

Indicadores de evaluación

Se tomaron en cuenta 16 descriptores, de los cuales siete fueron cualitativos como color de tallo (CT), forma de mazorca (FM), forma del grano (FG), distribución de hileras (DH), color del raquis (CR), tipo de endospermo (TE) y color de grano (CG) y los nueve descriptores restantes son cuantitativos como altura de planta (APL), altura de mazorca (AMZ), longitud de pedúnculo de la panoja (LPe), longitud de panoja (LPa), número de mazorcas por planta (NMZ/PL), longitud de mazorca (LMZ), diámetro de mazorca (DMZ), peso de mazorca (PMZ) y peso de grano por mazorca (PG), considerados como los más representativos para identificar razas botánicas [5].

Fase inicial

Se realizó una descripción de tecnología local de producción sobre el cultivo de maíz en la parroquia de Malchinguí con la finalidad de que los participantes (agricultores) puedan compartir sus experiencias y conocimientos en dicho cultivo; la recopilación de la información fue realizada mediante una encuesta y posteriormente se procedió a ubicar productores que cultiven dichos genotipos.

Fase de campo

La parcela de evaluación estuvo formada por surcos de 14 m de largo y 5 m de ancho. La distancia entre planta fue de 0.5 m y de 0.8 m entre surcos. El área de la parcela neta fue de 70 m². En cada productor se implementó un ensayo con tres observaciones, en las cuales se trabajó con 20 plantas cada una, dando así un total de 180 plantas evaluadas por genotipo, es decir, 60 plantas por productor. En el proyecto se trabajó con 360 plantas en total para ambos genotipos (G1: Pepa y G2: Amarillo).

El registro de datos se llevó a cabo cuando el maíz se encontraba en floración femenina, donde se colocaron etiquetas codificadas en las plantas seleccionadas al azar para llevar a cabo su evaluación y cuando fue la cosecha del maíz en seco, se continuó con el registro de datos en la mazorca.

Análisis estadístico

Se realizó una Prueba de Shapiro-Wilks (modificado) a las variables cuantitativas, determinando la distribución normal de los residuos, posteriormente se calculó el análisis de varianza (ADEVA), el cual permite conocer si existen o no diferencias significativas entre los genotipos en estudio y finalmente se aplicó la prueba de DMS al 5% para la distribución de rangos en donde se logra identificar que genotipo es el mejor.

Las variables cuantitativas que no presentaron una distribución normal se les aplicó la prueba de Friedman, dado que permite comparar sin necesidad de verificar el cumplimiento del supuesto de normalidad y de esta manera saber si existen diferencias entre dichos genotipos. Para determinar la variabilidad de los descriptores cualitativos en los maíces Pepa y Amarillo, se calculó la frecuencia relativa y su moda.

Manejo del experimento

Inicialmente se hizo la preparación del suelo en donde se pasó el arado, luego se abonó con gallinaza, seguido de la rastra y finalmente se realizaron surcos de 0.80 m de distancia entre sí. La siembra se realizó con un espeque, colocando dos semillas por sitio cada 0.50 m.

La primera deshierba se realizó a los 45 días después de la siembra, de forma conjunta se ejecutó la labor del "chaspí" o medio palón (comúnmente conocido como aporque) que consiste en arrimar tierra a la planta. En el mismo momento se realizó la aplicación de urea a chorro continuo, la cual fue depositada al fondo del surco a 10 cm de la planta; no se realizaron controles fitosanitarios debido a que los agricultores de la zona prefieren minimizar gastos y producir un maíz sin pesticidas. Sin embargo, las plagas más comunes que suelen presentarse son: el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*, gusano del cholo *Heliothis zea* y la mosca del choclo *Euxesta stigmatias*; es primordial mencionar que los niveles de daño que ocasionan dichas plagas no ameritan un gasto extra para su control, dado que son mínimos.

La cosecha se realizó manualmente, verificando previamente que el grano haya llegado a su madurez fisiológica. En la recolección se utilizó fundas plásticas marcadas con una codificación específica para cada genotipo. El secado se lo hizo de forma indirecta



al sol mediante el uso de costales, hasta cuando el grano presentó 14% de humedad, posteriormente se desgranó las mazorcas y se seleccionó los granos sanos, mismos que se guardaron en sobres de papel con su respectiva identificación. Toda ésta semilla fue almacenada en una bodega con condiciones óptimas para su conservación.

RESULTADOS

Manejo tecnológico del cultivo de maíz en la parroquia Malchinguí

Al iniciar con dicha investigación era importante conocer de antemano el manejo tecnológico que le dan al cultivo de maíz los agricultores de Malchinguí, es por ello que se trabajó en un diagnóstico de dicho manejo, en el cual se determinó las principales labores culturales que se realizan en la zona, como la preparación del suelo (arada, abonado, cruzado, rastrado y surcado), seguida por la selección de semilla, y la siembra (octubre hasta noviembre) a una distancia de 0.80 m entre surco por 0.50 m entre planta (dos semillas por golpe en la zona media y alta; tres semillas por golpe en la zona baja). La primera deshierba se realiza a los 45 días después de la siembra y la segunda a inicio de la floración, conjunta con el aporque y la fertilización a base de nitrógeno (urea). Se realizan muy pocos controles sanitarios con el fin de minimizar costos. La cosecha en choclo (grano lechoso para consumo en fresco) se realiza entre abril y mayo; y en seco entre junio y julio). La post cosecha se realiza mediante un secado al sol, desgranado de la mazorca, selección y clasificación del grano para consumo y de semilla para la próxima siembra. El almacenamiento se realiza en sacos guardados dentro de la casa o bodega, además se realizan controles para gorgojo. Se comercializa para semilla dentro de la localidad en mínimas cantidades, generalmente el maíz seco es para el autoconsumo de las familias, ya sea en tostado, harina de maíz, chuchuca, etc. (datos no mostrados).

Análisis de las variables en estudio

Las variables cuantitativas, altura de planta, altura de mazorca, longitud de pedúnculo de panoja, longitud de panoja, longitud de mazorca, peso de mazorca, peso de grano, diámetro de mazorca, y las cualitativas como forma de la mazorca, distribución de hileras, color de raquis y forma de grano, presentaron diferencias estadísticas entre los genotipos Pepa y Amarillo.

Se determinó en las variables cuantitativas diferencias estadísticas entre genotipos mediante el análisis de varianza (ADEVA), donde se obtuvo un p-valor menor a 0.0001. El mismo resultado se obtuvo en la variable altura de planta, a pesar de que se trabajó con la prueba de Friedman, dado que no existían normalidad en los residuos de dicha variable. Mientras que en las cualitativas se diferenció al genotipo Pepa del Amarillo mediante la frecuencia con que cada una de estas características aparecía en los genotipos en estudio, dando como respuesta una clara diferencia visual entre éstos (Tabla 2-3).

TABLA 2. Análisis de varianza no paramétrico (prueba de Friedman) de las variables altura de planta y número de mazorcas por planta entre los genotipos Pepa y Amarillo en el estudio “Caracterización morfológica y agronómica de dos genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en la zona media de la parroquia Malchinguí”. Pichincha, 2016.

Variable	Genotipos	Promedio	p	Rango*
Altura de planta, cm (APL)	Amarillo	194.0	<0.0001	a
	Pepa	106.0		b
Número de mazorcas por planta (NMZ/PL)	Amarillo	1.52	0.2096	a
	Pepa	1.48		a

*Medios con igual letra no son estadísticamente diferentes.

TABLA 3. Análisis cualitativo de las variables tomadas en la fase vegetativa (color de tallo) y en la mazorca (forma de mazorca, distribución de hileras, color de raquis, tipo de endospermo, forma y color de grano). Malchinguí-Pichincha, 2016.

Carácter	Escala	Pepa		Amarillo	
		Fa*	Fr	Fa	Fr
Color de tallo	V-M (<10%)	18	0.100	47	0.261
	V-M (>10-<50%)	11	0.061	37	0.206
	Verde	66	0.367	40	0.222
	Morado	63	0.350	37	0.206
	M-V (<10%)	18	0.100	13	0.072
	M-V (>10-<50%)	4	0.022	6	0.033
Forma de mazorca	Cilíndrica	7	0.292	18	0.667
	Cilíndrica-cónica	1	0.042	4	0.148
	Cónica	16	0.667	5	0.185
Distribución de hileras	Regular	5	0.208	2	0.074
	Irregular	17	0.708	22	0.815
	Recta	1	0.042	0	0.000
	Espiral	1	0.042	3	0.111
Color de raquis	Blanco	8	0.333	15	0.556
	Rojo	16	0.667	12	0.444
Forma del Grano	Dentado	5	0.208	9	0.333
	Redondo	6	0.250	11	0.407
	Puntiagudo	10	0.417	4	0.148
	Muy Puntiagudo	3	0.125	3	0.111

*Fa: Frecuencia absoluta; Fr: Frecuencia relativa

La prueba de DMS al 5% se aplicó a las variables cuantitativas antes mencionadas, indicando dos rangos de significancia estadística (a y b), donde el genotipo Amarillo se ubicó en el primer lugar, demostrando tener mejores características que el Pepa (Tabla 4 y 5).



TABLA 4. Prueba de DMS al 5% para las variables altura de mazorca, longitud de pedúnculo de panoja y longitud de panoja. Malchinguí-Pichincha, 2016.

Variable	Genotipos	Promedio	Rango*
Altura de mazorca (AMZ)	Amarillo	77.82 cm	a
	Pepa	59.93 cm	b
Longitud de pedúnculo de la panoja (LPe)	Amarillo	8.30 cm	a
	Pepa	6.45 cm	b
Longitud de panoja (LPa)	Amarillo	33.35 cm	a
	Pepa	24.61 cm	b

*Medios con igual letra no son estadísticamente diferentes.

TABLA 5. Prueba de DMS al 5% para las variables altura de mazorca, longitud de pedúnculo de panoja y longitud de panoja. Malchinguí-Pichincha, 2016.

Variable	Genotipos	Promedio	Rango*
Longitud de mazorca (AMZ)	Amarillo	12.81 cm	a
	Pepa	10.65 cm	b
Peso de mazorca (PMZ)	Amarillo	136.78 g	a
	Pepa	84.08 g	b
Peso de grano (PG)	Amarillo	121.35 g	a
	Pepa	73.41 g	b
Diámetro de mazorca (DMZ)	Amarillo	4.77 cm	a
	Pepa	4.05 cm	b

*Medios con igual letra no son estadísticamente diferentes.

DISCUSIÓN

El desconocimiento de las variedades locales de maíz que se cultivan en el Ecuador es un problema que aqueja a los agricultores, dado que no pueden proteger su patrimonio genético. Malchinguí es una zona donde se ha cultivado maíz desde muchísimos años atrás, esto debido a que es un cultivo poco exigente en condiciones edafo-climáticas. Cabe recalcar que dicha parroquia posee suelos muy pobres, con condiciones climáticas muy variadas en los últimos cinco años (2012-2016), además de la ausencia de agua de riego.

Los posibles orígenes de las variedades existentes en Malchinguí son difíciles de descifrar, debido a que no existe información al respecto, por ello se ha trabajado en la caracterización agro-morfológica de dos genotipos de maíz, identificando que éstos comparten ciertas características con el maíz Mishca. En el Catálogo de Recursos Genéticos de los Maíces de Altura Ecuatorianos se llevó a cabo una caracterización agro-morfológica entre los años 1992 y 1999 para determinar las razas existentes en determinadas zonas

del Ecuador. En dicho estudio se menciona a la parroquia Malchinguí, en la cual no se logra determinar la existencia de una raza específica sino la presencia de mezclas, es decir, que no hay materiales purificados.

Posiblemente dichas mezclas mencionadas anteriormente se traten de cruza entre las razas Huandango, Mishca y Criollo, dado que estas se encuentran identificadas en zonas aledañas como San José de Minas, Tabacundo, La Esperanza, Tupigachi y Tocachi, por ello se continúa trabajando en el proceso de purificación del material seleccionado en esta investigación dentro de la misma zona para determinar si se trata de una variedad propia de la localidad o de una ya existente. Anteriormente las entidades gubernamentales dedicadas a este tipo de investigaciones no ha realizado trabajos sobre identificación de variedades locales en Malchinguí, dado que es una parroquia muy pequeña, que no cuenta con agua de riego y que la superficie sembrada del cultivo de maíz no es representativa para las entidades, por ende, no amerita que se lleve a cabo investigaciones al respecto. Sin embargo, este problema perjudica al agricultor al momento de comercializar su producto y ser duramente castigado con el precio de adquisición del mismo.

La caracterización agro-morfológica de los genotipos en estudio determinó que los maíces Pepa y Amarillo son estadísticamente diferentes tanto en variables cuantitativas como cualitativas, sin embargo hubo características como el número de mazorcas por plantas (NMZ/PL), donde no se observaron diferencias entre genotipos debido al estrés hídrico que estuvo sometido el cultivo durante el mes de diciembre y febrero, cuando el maíz estuvo en etapa de crecimiento y floración, respectivamente. Ambas etapas son muy vulnerables a la falta de agua para un buen desarrollo y producción, por ende al momento de la formación de mazorcas se observó que en su mayoría éstas eran vanas o tenían escaso llenado de granos.

El problema de la falta de agua lluvia o de riego también ocasionó la deformación de la floración femenina y mayormente en la masculina, dando como resultado una variación del 43.24% en los datos obtenidos en el carácter longitud de pedúnculo de panoja.

Pese a la falta de agua en el cultivo, éste se desarrolló a una altura de planta promedio de 1.50m y se logró observar que el "envainamiento" de las mazorcas iniciaba al ras del suelo, con un número de mazorcas entre 3 y 5, que indica que posiblemente sean plantas altamente productivas genéticamente y que los problemas anteriormente mencionados en la mazorca se les atribuya al estrés hídrico y la fertilidad del suelo.

El suelo de Malchinguí cuenta con una profundidad entre 20 a 30 cm y un nivel de materia orgánica menor al 1%. A pesar de que el cultivo de maíz no sea exigente edafológicamente, es un factor muy importante al momento de la producción puesto que los agricultores no disponen de recursos económicos para acceder a fertilizantes como para sustituir la falta de nutrientes que la planta requiere y que el suelo no los dispone. Para abonar el suelo los productores optan por usar residuos de origen animal y vegetal, los cuáles deben tener un proceso de descomposición adecuada para poder facilitar los nutrientes que la planta necesita en el momento oportuno como ocurre con la utilización de fertilizantes, lo cual ocasiona que los agricultores no tengan buena productividad en su cultivo pues incorporan materia fresca o en medio proceso de descomposición.



Algunas de las variables cualitativas como color de raquis, forma de la mazorca, forma del grano y las cuantitativas, altura de planta, altura de mazorca y diámetro de mazorca, se puede atribuir que éstas características que son de origen genético y son poco influenciadas por el ambiente, pues al recolectar datos de ambos genotipos se logró identificar que son caracteres propios, tanto del Pepa como del Amarillo y que los agricultores ancestralmente los utilizan para identificar el tipo de maíz que cultivan y clasificar el producto de sus cosechas.

Finalmente se puede mencionar que la ausencia de agua de riego es una limitante para el sector agrícola en la Parroquia Malchinguí, dado que actualmente no se puede sembrar por épocas, debido a los cambios bruscos del clima que ha venido dándose en los últimos años. Dichos cambios climáticos ocasionaron severas pérdidas de la cosecha en la zona media.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación fue realizado bajo la supervisión y colaboración de muchas personas que me han brindado su ayuda, sus conocimientos y su apoyo, especialmente a la Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, por financiar parte del proyecto de investigación mediante los fondos otorgados al macroproyecto "Vinculación comunitaria para la identificación y purificación de variedades locales de maíz en Malchinguí". También estoy especialmente agradecida con mi director de tesis, el Ing. Héctor Andrade por su gran apoyo, conocimientos y experiencia brindada en el desarrollo de esta investigación. Al Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia Malchinguí, a los agricultores de la zona por permitir la realización de dicha investigación, y por compartirme sus conocimientos y experiencias. Un resumen del presente trabajo se presentó en la XXII Reunión Latinoamericana del Maíz.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Héctor Andrade y Manuel Pumisacho concibieron la investigación; Héctor Andrade y Jenny Coral desarrollaron la metodología y realizaron el trabajo de campo; Jenny Coral y Jorge Caicedo diseñaron el modelo y realizaron los análisis estadísticos; Jenny Coral y Héctor Andrade redactaron el manuscrito; Jenny Coral, Héctor Andrade, Diego Salazar, Manuel Pumisacho y Jorge Caicedo revisaron críticamente el contenido intelectual del manuscrito.

REFERENCIAS

- [1] COTRISA (2016). Mercado Internacional-Maíz-Detalle Productivo Mundial. *COTRISA*. Recuperado de <https://www.cotrisa.cl/mercado/maiz/internacional/detalle.php>.
- [2] Yáñez, C., Zambrano, J., Caicedo, M., Sánchez, H. y Heredia, J. (2003). *Catálogo de Recursos Genéticos de Maíces de Altura Ecuatorianos*. Quito, Ecuador: INIAP. Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/43>
- [3] Gaucho, E. (2014). *Caracterización agro-morfológica del maíz (Zea mays L.) de la localidad de San José de Chazo*. (Tesis de Ingeniería Agronómica). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- [4] GAD Pichincha (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Malchinguí*: PDOT. Quito, Ecuador:GAD Pichincha. Recuperado de http://www.pichincha.gob.ec/phocadownload/LOTAIP_Anejos/Lit_K/pdot%20actualizacion%202015%20al%202019.pdf
- [5] IBPGR (1991). *Descriptors for Maize: International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City/International Board for Plant Genetic Resources*. Roma, Italy: IBPGR.
- [6] Paiwal, R. and Granados, G. (2001). *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. Roma, Italia: FAO. Recuperado de <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-maiz-en-los-tropicos.pdf>
- [7] De La Cruz, L., Castañón, G., Brito, N., Gómez, A., Robledo, V. y Del Río, L. (2009). Heterosis y aptitud combinatoria de poblaciones de maíz tropical. *Phyton*, 79 (1): 127–139. Recuperado de <http://www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/vol79/DelaCruz.pdf>
- [8] Sánchez, P., Ruiz, T., Rincón, S. y Burciaga, D. H. (2011). Caracterización física y fisiológica de poblaciones criollas de maíz bajo dos sistemas de producción. *Revista Agraria-Nueva Época*, 8 (3).
- [9] Pavón, A. (2005). Anejo V: *Generalidades del Cultivo de Maíz. Toledo, España: Universidad Castilla-la Mancha*. Recuperado de https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/AntonioPavon/07-AnejoV.pdf
- [10] Serratos, J. (2009). *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano*. México, D.F., México: Universidad Autónoma de México, D.F. Recuperado de <https://bit.ly/2STwKfz>
- [11] Serratos, J. (2012). *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano*. (Segunda edición). México: USAID.
- [12] Poehlman, J. y Sleper, D. (2005). *Mejoramiento Genético de las Cosechas*. México: LIMUSA.

fermedades virales, las técnicas de inoculación incluyen el frotamiento, punción vascular y la utilización de los vectores naturales que transmiten el virus. *Sugarcane mosaic virus* (SCMV) está entre los principales virus que afectan al cultivo de maíz en los valles altos y trópicos de Latinoamérica y alrededor del mundo. En la Estación Experimental Litoral Sur del INIAP se inocularon 32 híbridos comerciales y experimentales de maíz utilizando la técnica del frotamiento en plántulas, con un aislamiento de SCMV colectado en la Estación Experimental Portoviejo del INIAP. Dos semanas después de la inoculación se evaluó la incidencia de los síntomas de la enfermedad en las hojas nuevas. El experimento tuvo tres réplicas biológicas en un diseño completo al azar, con 20 plantas por tratamiento. No existieron híbridos resistentes, lo que indica la necesidad de incorporar genes de resistencia a SCMV en las poblaciones de mejoramiento genético de maíces tropicales de grano amarillo duro de las empresas públicas y privadas.

Palabras clave: Fitomejoramiento de maíz, Fitopatología

INTRODUCCIÓN

La enfermedad viral en un cultivo de maíz es la excepción a la regla. La planta se enferma cuando existen varias condiciones que rompen el equilibrio normal del cultivo. Para que exista una epidemia viral se requiere que los siguientes factores confluyan todos al mismo tiempo en el mismo lugar: a) la presencia del virus, b) condiciones ambientales favorables para el desarrollo del virus, c) un hospedero o planta de maíz susceptible, y d) el vector que transmita la enfermedad. Cuando estos factores ocurren en un mismo lugar los virus pueden afectar severamente el cultivo y causar importantes pérdidas al rendimiento, como los reportados en China, Kenia, Ruanda y Ecuador [1-4].

Entre los síntomas más comunes de las enfermedades virales en maíz están la clorosis en las hojas en forma de rayas, bandas, o mosaicos irregulares, plantas con visible achaparramiento o enanismo, mazorcas pequeñas con irregular llenado de grano, y en ciertas ocasiones la muerte de la planta.

En el Ecuador existen varios virus reportados en maíz. Vázquez y Mora reportaron la incidencia y pérdidas causadas por el *Maize rayado fino virus* (MRFV) en la Provincia de Imbabura [5]. Recientemente, Quito-Avila y colegas reportaron la presencia de la enfermedad conocida como necrosis letal del maíz en la Provincia de Manabí, que es causada por la interacción de dos virus: *Sugarcane mosaic virus* (SCMV) y *Maize chlorotic mottle virus* (MCMV) [4].

En el continente americano, los virus de mayor importancia por la incidencia y las pérdidas que estos causan en maíz son los Potyvirus: *Maize dwarf mosaic virus* (MDMV) y SCMV. Así mismo, la resistencia genética del maíz a estos virus son los más estudiados a nivel mundial [6]. Le sigue el *Maize rayado fino virus* (MRFV) de importancia en Centro América y en la zona andina por su incidencia y el daño ocasionado al cultivo [7]. *Maize mosaic virus* (MMV) es de relativamente menor importancia, existiendo reportes esporádicos del virus en Estados Unidos (Hawái) y Venezuela [8].



Para todos los virus anteriormente descritos existe resistencia genética disponible en ciertos genotipos de maíz, sin embargo no siempre la resistencia está disponible en los cultivares comerciales [9]. Las bases genéticas de la resistencia a virus han sido relativamente mejor estudiadas, sobre todo en lo referente a los Potyvirus, habiéndose identificado resistencia cualitativa y cuantitativa en varios genotipos [10,11]. A nivel genómico se han identificado regiones (QTLs) en los cromosomas dos, tres, seis y diez responsables por la resistencia a varias enfermedades virales, en un aparente cluster o agrupamiento de genes, o genes con efectos pleiotrópicos [12].

De entre los métodos de control o prevención de las enfermedades virales, la más efectiva y económicamente rentable para el agricultor es la resistencia genética, ya que el agricultor no requiere de ningún esfuerzo o gasto adicional para evitar o aplacar el daño que estas enfermedades puedan causar en su cultivo. Existen varios métodos que pueden usar los programas de mejoramiento genético para desarrollar variedades o líneas con resistencia a enfermedades virales [9]. El mejor método combina la selección asistida por marcadores moleculares con evaluaciones realizadas en ambientes controlados inoculando el virus. La identificación de genotipos con resistencia a la enfermedad es el primer paso para emprender programas de mejoramiento genético, y al mismo tiempo permite recomendar a los productores variedades o híbridos resistentes o tolerantes a la enfermedad. El objetivo del presente estudio fue evaluar la resistencia genética de 32 híbridos comerciales a SCMV bajo inoculación artificial, a fin de determinar la existencia de genotipos resistentes a la enfermedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Inóculo del virus

A principios de 2015, se informó que los campos de maíz en el valle del río Portoviejo y sus alrededores estaban infectados por una enfermedad desconocida. Los síntomas se observaron por primera vez en líneas endogámicas plantadas para la producción de semillas durante la estación seca de 2014, y más tarde en los campos de los agricultores plantados con híbridos de varias marcas comerciales. Fuertes síntomas de mosaico estuvieron presentes en las hojas más jóvenes de las plantas infectadas. Muestras de plantas sintomáticas fueron llevadas al laboratorio y luego congeladas. Todas las muestras fueron positivas cuando se analizaron con tiras genéricas de diagnóstico de Potyvirus (Agdia). La presencia del Potyvirus SCMV en las muestras fue confirmada por DAS ELISA, según lo descrito por McDaniel y Gordon [13].

El virus se transfirió a la línea de maíz Oh28 por inoculación con frotación [11]. Se aisló ARN de plantas Oh28 infectadas y se amplificó con *primers* cebadores para SCMV (8400F: TGYGAYGCNGATGGYTC y 9200R: CAGCWGTGTGNCGNTCWGT) usando RT-PCR. Las bandas esperadas (1600 pb) se clonaron y secuenciaron. Las secuencias de amplicones se alinearon con otras secuencias en la base de datos [GenBank](#) usando BLAST. Los resultados mostraron una alineación idéntica del 82 al 94% a un aislado de SCMV de Ohio (EEUU) para las regiones amplificadas. El virus se encuentra congelado en el Laboratorio de Protección Vegetal de la Estación Experimental Litoral Sur del INIAP.

Material vegetal e inoculación

El experimento se condujo bajo invernadero en la Estación Experimental Litoral Sur del INIAP utilizando un diseño completo al azar con 32 tratamientos, correspondientes a 32 híbridos comerciales y experimentales del INIAP, CIMMYT y empresas privadas (Tabla 1). Cada híbrido fue sembrado en cinco macetas plásticas de 500 ml, que contenía suelo estéril, empleando cinco semillas en cada maceta, para un total de 25 plantas por tratamiento. Cada planta representó una observación.

Una semana después de la siembra se realizó la primera inoculación del virus en cuatro macetas (20 plantas) utilizando la técnica de frotación [12], repitiendo dos inoculaciones adicionales pasando un día, según lo descrito por Jones et al. [11]. Una maceta (5 plantas) quedó de control y no fue inoculada. El experimento se repitió por tres ocasiones en diferentes fechas de siembra.

Análisis estadístico

A los 14 días después de la primera inoculación se evaluó la incidencia de la enfermedad, en porcentaje, registrando el número de plantas que presentaron síntomas de infección por SCMV. Con el porcentaje de incidencia de cada réplica se realizó un análisis de varianza y se estimó el promedio y error estándar para cada tratamiento utilizando el paquete estadístico R [14].

RESULTADOS

A los siete días de la inoculación se observaron los primeros síntomas de la enfermedad, con plántulas ligeramente cloróticas a manera de mosaico en el foliolo más joven (datos no mostrados). A los 14 días de la primera inoculación se registró el número de plantas con síntomas de virosis y se estimó el porcentaje de incidencia. Las plantas testigos que no fueron inoculadas no presentaron síntomas de infección viral.

El análisis de varianza realizado para el porcentaje de incidencia de plantas afectadas con el virus del SCMV detectó diferencias estadísticas significativas al 1% ($p < 0.01$) entre los híbridos de maíz inoculados. Los resultados indicaron que no existió resistencia completa a la enfermedad, presentando una distribución continua en el porcentaje de incidencia de la misma, con híbridos que presentaron resistencia parcial con 33.30% de incidencia, hasta híbridos completamente susceptibles con 96.67% de incidencia (Tabla 1).

TABLA 1. Respuesta de 32 híbridos comerciales y experimentales de maíz a la inoculación con *Sugarcane mosaic virus* (SCMV) evaluados bajo invernadero. Yahuachi, Ecuador 2016.

Híbrido	Incidencia (%)	Error Estándar
PIONEER4226	33.30	2.80
TROPI-101	33.92	10.64
DK-7088	42.70	6.80
SOMMA	44.26	10.95
INIAP H-601	46.59	5.42
TRIUNFO	48.33	13.02
2B604	48.41	12.18
TRUENO	49.02	5.14
DAS3383	53.57	3.57
INIAP H-603	53.68	20.91
INIAP-Experimental 5	54.08	6.63
INIAP-192	54.48	8.57
DK-399	54.81	17.70
INIAP-Experimental 4	55.45	6.88
INIAP-Experimental 3	56.67	6.67
INIAP H-551	59.90	4.95
DK-1596	60.92	8.55
INIAP H-602	61.67	15.90
FENIX	61.92	22.83
INIAP-Experimental 1	62.78	13.82
INIAP-Experimental 2	64.81	10.19
INIAP H-553	65.82	7.71
INIAP H-824	69.03	16.84
2B688	70.64	7.81
SYN-7050	74.44	20.76
DKN27500	74.55	2.73
30F35	76.67	8.82
DK-7500	80.48	5.37
PACL65	80.60	9.21
ADVANTA9313	81.98	4.66
PAC-105	86.67	10.93
ADVANTA9293	96.67	1.67

DISCUSIÓN

La evaluación de la resistencia genética de 32 híbridos tropicales de maíz a el virus SCMV determinó la existencia de resistencia parcial a la enfermedad (incidencia < a 40%) en solo dos de los híbridos evaluados: PIONEER 4226 y TROPI-101, que son híbridos de amplia adaptación en Latinoamérica. El 94% de los híbridos evaluados presentó susceptibilidad a SCMV (Tabla 1), lo que demuestra la vulnerabilidad de la producción comercial de maíz frente a esta enfermedad.

La resistencia genética de genotipos tropicales de maíz amarillo duro al virus SCMV mediante inoculación artificial ha sido relativamente poco estudiada en la región. Rodríguez-Osorio et al. [15] evaluó en Venezuela la reacción de 21 híbridos de maíz a SCMV, encontrando pocos cultivares de empresas privadas que mostraron resistencia a la enfermedad; además se concluyó que los híbridos obtenidos en programas nacionales de mejoramiento de maíz mostraron una susceptibilidad importante, similar a lo encontrado en este estudio con los híbridos desarrollados por INIAP; sin embargo, CIMMYT reporta trabajos de selección para resistencia a SCMV en los procesos de mejoramiento genético [16, 17], habiendo identificado varias líneas resistentes. Interesantemente, el híbrido DK-7088 que fue reportado como resistente en Venezuela con 0 % de infección, en la presente investigación mostró una incidencia de 42.70%. Esta diferencia podría estar dada por la diferencia en virulencia de la cepa utilizada.

La resistencia genética del maíz a SCMV es uno de los casos más analizados a nivel mundial [9]. La resistencia genética del maíz a SCMV está dada en ciertas líneas de origen tropical y templado por QTLs mayores ubicados en los cromosomas tres, seis y diez con genes de efecto dominante [11]. Por ejemplo, el gen *Mdm1*, ubicado en el brazo corto del cromosoma seis, confiere resistencia parcial a SCMV, dependiendo de la virulencia del inóculo y la fuente de origen de la resistencia. Dos genes dominantes, *Scm1* y *Scm2*, ubicados en el brazo corto del cromosoma seis y cerca del centrómero del cromosoma tres, respectivamente, confieren resistencia a SCMV en una línea de maíz de origen europeo [10].

Retrocruzas entre líneas élites de maíz y líneas donadoras de genes de resistencia a ciertos virus han sido utilizados para generar nuevas líneas con resistencia mediante selección asistida por marcadores moleculares [18], lo que abre la posibilidad de utilizar esta metodología para incorporar resistencia genética a la enfermedad.

La falta de híbridos con resistencia a la enfermedad y los avances en mejora genética obtenidos hasta el momento sugieren que es necesario implementar acciones en los programas de mejoramiento genético públicos y privados para desarrollar híbridos resistentes a SCMV para los trópicos latinoamericanos, ya que no se encontró germoplasma con altos niveles de resistencia. El desarrollar materiales con resistencia a SCMV será de gran beneficio para los productores latinoamericanos ya que evitarán las pérdidas que esta enfermedad está causando en ciertas regiones productoras de maíz.



AGRADECIMIENTOS

A los organizadores de la XXII Reunión Latinoamericana del Maíz, en la cual se presentó un resumen del presente trabajo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

José Luis Zambrano y Lenín Paz concibieron la investigación, desarrollaron la metodología y realizaron el trabajo de campo. J. Zambrano realizó los análisis estadísticos y escribió el manuscrito. Margaret Redinbaugh realizó el análisis molecular del virus y revisión de los resultados.

REFERENCIAS

- [1] Xie, L., Zhang, J., Wang, Q., Meng, C., Hong, J., Zhou, X. (2010). Characterization of *Maize chlorotic mottle virus* associated with Maize Lethal Necrosis disease in China. *Journal of Phytopathology* 159, 191-193. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0434.2010.01745.x>
- [2] Wangai, A.W., Redinbaugh, M.G., Kinyua, Z.M., Miano, D.W., Leley, P.K., Kasina, M., Mahuku, G., Scheets, K., Jeffers, D. (2012). First report of *Maize chlorotic mottle virus* and Maize Lethal Necrosis in Kenya. *Plant Disease* 96 (10), 1582. doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-12-0576-PDN>
- [3] Adams, I.P., Harju, V.A., Hodges, T., Hany, U., Skelton, A., Rai, S., Dekka, M.K., Smith, J., Fox, A., Uzayisenga, B., Ngaboyisonga, C., Uwumukiza, B., Rutikanga, A., Rutherford, M., Ricthis, B., Phiri, N., Boonham, N. (2014). First report of maize lethal necrosis disease in Rwanda. *New Disease Reports*, 29, 22. doi: <http://dx.doi.org/10.5197/j.2044-0588.2014.029.022>
- [4] Quito-Avila D.F., Alvarez, R.A., Mendoza, A.A. (2016) Occurrence of maize lethal necrosis in Ecuador: a disease without boundaries? *European Journal of Plant Pathology*, 146 (3), 705–710. doi: <https://doi.org/10.1007/s10658-016-0943-5>
- [5] Vásquez, J., Mora, E. (2007). Incidence and yield loss caused by Maize rayado fino virus in maize cultivars in Ecuador. *Euphytica*, 153, 339-342. doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-006-3889-4>
- [6] Ali, F. and Yan, J. (2012). Disease resistance in maize and the role of molecular breeding in defending against global threat. *Journal of Integrative Plant Biology*, 54, 134-151. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2012.01105.x>
- [7] Zambrano, J. L., Francis, D. M., and Redinbaugh, M. G. (2013). Identification of resistance to *Maize rayado fino virus* in maize inbred lines. *Plant. Dis.*, 97, 1418-1423. doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-13-0037-RE>
- [8] Lapiere, H., y Signoret P.A. (2004). *Virus and virus disease of poacea (gramineae)*. Paris, France: INRA Editions.
- [9] Redinbaugh, M.G. and Zambrano, J.L. (2014). *Control of Virus Diseases in Maize*. In: *Advances in Virus Research*, 90, 391-429. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801246-8.00008-1>
- [10] Xu, M. L., Melchinger, A. E., and Lubberstedt, T. (2000). Origin of Scm1 and Scm2—two loci conferring resistance to Sugarcane mosaic virus (SCMV) in maize. *Theor. Appl. Genet.*, 100, 934-941. Recuperado de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s001220051373.pdf>
- [11] Jones, M.W., Redinbaugh, M.G., Louie, R. (2007). The Mdm1 locus and maize resistance to Maize dwarf mosaic virus. *Plant Dis*, 91, 185-190. doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-2-0185>
- [12] Zambrano, J. L., Jones, M. W., Brenner, E., Francis, D. M., Tomas, A., and Redinbaugh, M. G. (2014). Genetic analysis of resistance to six virus diseases in a multiple virus-resistant maize inbred line. *Theor Appl Genet.* 127(4), 867-80. doi: <https://doi.org/10.1007/s00122-014-2263-5>
- [13] McDaniel, L. L., and Gordon, D. T. (1989). Characterization of the oat-infecting strain of maize dwarf mosaic virus. *Phytopathology*, 79, 113-120. Recuperado de https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1989Articles/Phyto79n01_113.pdf
- [14] R Core Team. (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <http://www.R-project.org/>
- [15] Rodríguez-Osorio, R., Garrido, M. J., Figueroa, R., Borges, O., y Brito, M. (2015). Reacción de cultivares comerciales de maíz (*Zea mays* L.) a la inoculación mecánica con tres potyvirus. *Bioagro*, 27(2), 65-74. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/857/85741585002.pdf>
- [16] Salazar, S., De León C. (2001). Selección de líneas de maíz (*Zea mays* L.) con resistencia al virus del mosaico de la caña de azúcar (SCMV). *Fitopatología Colombiana*, 25(1), 15-17. Recuperado de http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/asc6.pdf
- [17] Cruz-Perez, N. (2016). Resistencia al virus moteado clorótico del maíz y al virus del mosaico de la caña de azúcar (Tesis de Ingeniería). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila.
- [18] Brewbaker, J.L. y Josue, A.D. (2007). Registration of 27 maize parental inbred lines resistant to maize mosaic virus. *Crop Sci*, 47, 459-461.

por el CIMMYT. La variedad se desarrolló utilizando cuatro ciclos de selección, bajo el esquema de medios hermanos. El incremento en rendimiento del Ciclo 4 fue superior en 156% en relación al Ciclo 1. Para la época seca del 2017 se procedió a realizar los cruzamientos dialélicos en ambos sentidos, entre las diez mejores familias seleccionadas del Ciclo 4. Se evaluó las mejores mazorcas y se formó un compuesto evaluado a libre polinización y se obtuvo la F1 o variedad sintética. Actualmente, la variedad sintética es evaluada en campos de agricultores con el testigo comercial para determinar su interacción genotipo ambiente, sus componentes de rendimiento en choclo y seco. Adicionalmente se harán los análisis de proteína total y los aminoácidos triptófano y lisina para cada uno de los ciclos de selección.

Palabras clave: Choclo, Ciclo de selección, Medios hermanos, QPM.

INTRODUCCIÓN

La producción de maíces blancos en estado de choclo es una alternativa social y económicamente rentable para pequeños agricultores de los valles irrigables del Litoral ecuatoriano. Su siembra se da en sistemas de monocultivo o asociado con hortalizas. La mayor parte de la semilla empleada para el cultivo de esta clase de maíz proviene de los agricultores por lo que existe una demanda importante de material genético mejorado.

La única variedad existente en el país es la INIAP-528, entregada a este segmento del mercado hace 29 años, con atributos de obtener 40000 choclos comerciales a partir de los 74 días, contenidos de proteína entre 9 al 10%, con niveles de triptófano y lisina de 0.97 y 3.7% en su orden (QPM, Quality Protein Maize), tolerante a los principales insectos plagas y enfermedades [1]. Esta variedad por ser de libre polinización ha estado expuesta a un manejo inadecuado en la producción de semilla principalmente por el reclamo, lo que ha significado que el germoplasma pierda sus características intrínsecas de calidad de proteína [2, 3], así como sus características fenotípicas y genotípicas del material original QPM denominado ACROSS 8363.

En el segundo semestre del año 2011, se produjo la introducción y selección del germoplasma base desde el Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT-México) con semilla de maíz de la población original ACROSS-8363 QPM de color blanco, que fue utilizada mediante el esquema de mejoramiento genético de medios hermanos para la obtención de la variedad sintética, de acuerdo a lo propuesto por el CIMMYT [4]. El presente artículo describe el proceso de formación de una variedad sintética de maíz de grano blanco con calidad de proteína para consumo en fresco bajo la metodología de medios hermanos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo experimental se desarrolló en el Programa de Maíz de la Estación Experimental Portoviejo del INIAP, concretamente en el lote experimental "La Teodora" durante los años 2015 al 2017, ubicada a 76 msnm, coordenadas geográficas de



17M 0568813 y UTM 9871238 y variables climáticas correspondientes a cada época de formación de cada ciclo de selección que se presentan en la Tabla 1 [5-7].

TABLA 1. Características climáticas del lote experimental “La Teodomira” durante la realización de los cuatro ciclos de selección. INAHMI, 2015, 2016 y 2017.

Cantón	Parroquia / Sitio	Variable	Años			
			C1 2015	C2 2016a*	C3 2016b	C4 2017a
Santa Ana	Lodana/La Teodomira	Precipitación total (mm)	310	611.6	1.3	894.5
		Temperatura media °C	27.3	27.6	26.2	27.5
		Humedad relativa (%)	82.8	84.6	74.2	82.5
		Heliofanía (Horas luz)	505.0	530.6	618.0	468.1

*a = Época lluviosa; b = época seca

La siembra del material base se efectuó durante el ciclo de lluvias del 2015 en un lote de 1000 m² bajo condiciones de libre polinización y usando selección masal estratificada, a los 75 días con características de menor altura de planta y mazorca, floración femenina uniforme, tolerancia a las principales enfermedades foliares predominantes en la zona. Finalmente a la cosecha se procedió a otra presión de selección asociada a uniformidad y sanidad de mazorcas.

El primero (C1), segundo (C2), tercero (C3) y cuarto ciclo (C4) de selección de medios hermanos se realizaron durante la época seca del 2015, época lluviosa del 2016, época seca del 2016 y época lluviosa 2017, en su orden (Tabla 2). Posteriormente en cada ciclo de selección de medios hermanos (C1, C2, C3 y C4), las familias seleccionadas fueron sembradas bajo el sistema de mazorca por surco (familias-hembra) y un compuesto balanceado de todas las familias seleccionadas constituyó el progenitor masculino en la proporción 2:1. Al momento de la floración las hileras hembras fueron desespigadas en su totalidad y se eliminaron plantas atípicas; de igual forma se lo realizó en los surcos machos con la finalidad de eliminar plantas fuera de tipo. Durante el desarrollo del cultivo y cosecha se fueron seleccionando de manera preliminar las mejores familias, teniendo en cuenta los criterios de selección como días a floración femenina, acame de tallo y de raíz, aspecto de plantas y mazorcas, incidencia de manchas foliares como *Helminthosporium maydis*, *Puccinia sorghi*, *Curvularia lunata*, *Cercospora* spp. y fundamentalmente el rendimiento. Finalmente a la cosecha se procedió a otra presión de selección asociada a uniformidad y sanidad de mazorcas.

TABLA 2. Valores promedio de cuatro ciclos de selección de medios hermanos de la población de maíz blanco Across-8363 QPM durante el 2015 al 2017 para la formación de una variedad sintética. Estación Experimental Portoviejo del INIAP.

Selección de Medios Hermanos	Selección Base	Ciclos de Selección							
		C1		C2		C3		C4	
		PG*	FS**	PG*	FS**	PG*	FS**	PG*	FS**
Familias seleccionadas (#)	300	88	47	184	77	154	32	92	10
Familias seleccionadas (%)			53		42		21		12
Mazorcas seleccionadas	88		184		154		92		22
Altura de planta (cm)		272	275	256	257	292	284	291	290
Altura de mazorca (cm)		152	155	142	147	164	160	162	161
Floración femenina (días)		51	51	59	59	56	56	51	51
Rendimiento (kg)		2.92	3.3	1.11	1.44	4.08	4.5	6.21	7.467

* PG = Promedio general, ** FS = Familias seleccionadas

TABLA 3. Características agronómicas y rendimiento de las 10 mejores familias de la población Across-8363 QPM. Estación Experimental Portoviejo del INIAP.

Familias	Floración Femenina (días)	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	Tizón foliar (<i>H. maydis</i>)*	Roya (<i>P. sorghi</i>)*	Mancha foliar (<i>Curvularia spp</i>)*	Rendimiento (kg/ha ¹)
77	52	296	159	3.0	1.0	3.0	8127
53	50	280	158	3.0	1.0	3.0	7826
62	52	290	162	3.0	1.0	3.0	7472
66	51	282	161	3.0	1.0	3.0	7419
14	52	290	168	3.0	1.0	3.0	7384
63	50	298	154	3.0	1.0	3.0	7348
34	51	296	170	3.0	1.0	3.0	7295
6	51	291	155	3.0	1.0	3.0	7295
36	51	290	164	3.0	1.0	3.0	7278
71	52	286	162	3.0	1.0	3.0	7228
Promedio	51	290	161	3.0	1.0	3.0	7467

* Escala 1-5, donde 1 = ausencia de enfermedad y 5 = infección severa (CIMMYT, 1985).



Los cruzamientos dialélicos fueron realizados en la época seca del 2017 con las 10 familias seleccionadas, sembradas individualmente, realizando cruzamientos manuales y dirigidos a partir del polen de la primera familia hacia las nueve familias restantes, de la segunda familia para las ocho restantes y así sucesivamente (Tabla 3). Esta actividad fue realizada a plantas femeninas con buenas características fenotípicas y teniendo como criterio de selección las mismas variables utilizadas en los ciclos de selección. Durante la fase de cosecha se seleccionaron las mejores mazorcas de cada cruzamiento que fueron codificadas, desgranadas individualmente en forma manual, secadas al sol para reducir su humedad y almacenadas bajo condiciones de cuarto frío (10 °C). Posteriormente, de cada una de las 10 familias se obtuvo un número determinado de semillas que en mezcla formaron el compuesto balanceado.

RESULTADOS

Los principales resultados de la selección base y ciclos de selección de medios hermanos se presentan en la Tabla 2. Durante la selección del germoplasma base se seleccionaron 300 plantas de las cuales durante la cosecha se realizó otra presión de selección donde se obtuvieron 88 mazorcas.

El C1 de selección de medios hermanos permitió la selección del 75% de las hileras hembra que se ajustaron a la descripción fenotípica del germoplasma y en las mismas se seleccionaron cinco plantas. A la cosecha se realizó otra presión de selección del 53% y se seleccionaron 57 familias de las cuales se generaron 184 mazorcas.

En el C2 de selección de medios hermanos se realizó una presión de selección del 50% donde se seleccionaron 92 familias con cinco plantas por familia y posteriormente a la cosecha se volvió a realizar otra presión de selección del 42%, donde se seleccionaron 77 familias que generaron 154 mazorcas con un promedio de dos mazorcas por familia. Los promedios de la floración femenina, altura de planta, altura de inserción de mazorca y rendimiento fueron: 59 días, 257 cm, 147 cm y 1.44 kg por familia.

En el C3 durante su fase vegetativa y reproductiva se seleccionaron 60 familias (presión de selección del 39%) con cinco plantas por familia y durante la cosecha se escogieron 32 familias (21%) de las cuales resultaron 92 mazorcas. Los promedios de la floración femenina, altura de planta, altura de inserción de mazorca y rendimiento fueron: 56 días, 284 cm, 160 cm y 4.50 kg por familia.

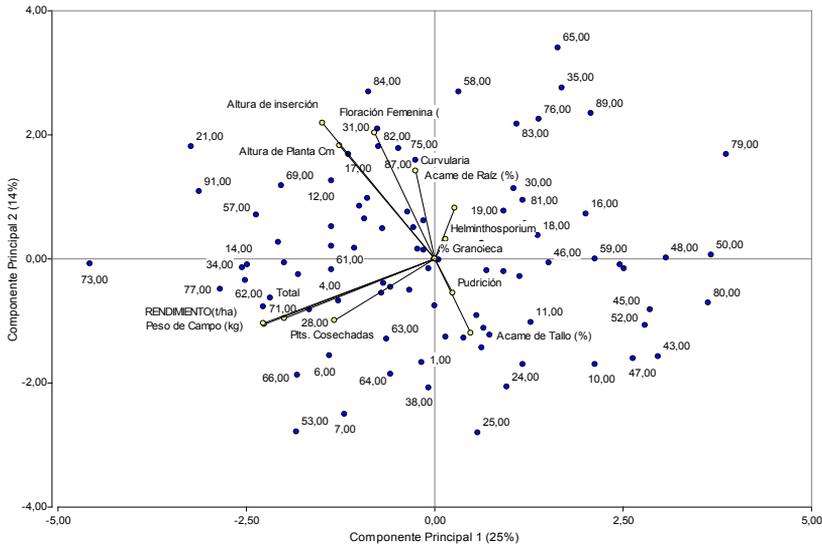


FIGURA 1. Evaluación de 92 Familias del cuarto ciclo de selección de medios hermanos de la Población ACROSS-8363. Estación Experimental Portoviejo del INIAP, 2017.

Al cuarto ciclo de selección (C4) se realizó una presión de selección del 56% dando lugar a 46 familias y posteriormente se seleccionaron las 10 mejores familias (12% de selección) con 22 mazorcas representativas. En promedio la floración femenina fue de 51 días, altura de planta 290 cm, altura de inserción de mazorca 161 cm, rendimiento de 7467 kg (Tabla 3) y manchas foliares por *Helminthosporium maydis* en escala 3, categorizada como infección moderada; *Puccinia sorghi*, en escala 1, categorizada como infección débil y *Curvularia lunata* en escala 3, categorizada como infección moderada [8].

El análisis de componentes principales presentó un 39% de la variabilidad total (Figura 1). Las familias 73, 77, 62, 71, 66, 6, fueron las de mayor rendimiento de grano y poca incidencia de enfermedades foliares. Las familias 25, 24 y 10 fueron las de mayores acame de tallo.

Los cruzamientos dialélicos dieron lugar a 45 cruzamientos y 45 recíprocos y 157 mazorcas cosechadas (Figura 2), que permitió sembrar el compuesto balanceado durante el invierno del 2018 bajo condiciones de libre polinización y obtener la variedad sintética, que actualmente se encuentra en evaluaciones a nivel de fincas de productores con el objeto de determinar su potencial productivo y su interacción genotipo ambiente.

DISCUSIÓN

La selección recurrente entre familias de medios hermanos se basa en la selección de plantas o surcos que tienen un padre en común, e incluyen evaluaciones de progenies que dependen del probador utilizado [13]. La altura de planta y de inserción de mazorca presentó incrementos del 7% y 6%, en su orden, cuando comparamos el primer y último ciclo de selección; cada ciclo presentó incrementos no significativos (1% a 4%) y en los ciclos finales se presentan reducciones en ambas variables (-1% a -3%). Estos resultados son parecidos a los obtenidos por Gamarra y Sevilla (2004) quienes evaluaron la ganancia genética por selección mazorca-hileras, observando que la altura de planta presentó reducciones del 1.09 al 2.4% por ciclo para el compuesto choclero y otros materiales en estudios. De igual forma, la altura de mazorca las reducciones fueron en orden del 2.62 al 4.21% [14]. La floración femenina fue evaluada en este proceso, no encontrándose diferencias en el C1 y C4; sin embargo, los C2 y C3 se incrementaron entre el 16% y 10%.

Los resultados presentados por *H. maydis*, *P. sorghi* y *C. lunata* en el desarrollo de la presente investigación en esta zona de estudio son similares a los reportados por Zambrano y colaboradores en el desarrollo del híbrido de maíz duro INIAP H-603 [15], lo cual nos permite deducir que el grado de infección y severidad de estas enfermedades se mantiene constante.

Los incrementos del rendimiento del 13% en el primer ciclo de selección a los 20% alcanzados en el cuarto ciclo de selección nos permiten determinar la eficiencia del método establecido. Sus incrementos de los primeros ciclos de selección de esta investigación (13% y 10%) son similares a los encontrados por Weibel y Lonquist (1967), quienes evaluaron la efectividad de la selección mazorca-hilera modificada en la variedad Hays Golden del cinturón maicero de los Estados Unidos, concluyendo que este método puede usarse para obtener rápidos incrementos en la frecuencia de genes de importancia antes de la generación de líneas de mejoramiento, con esta técnica lograron incrementar en 9.44% el rendimiento en cada ciclo de selección [16].

La respuesta de dos ciclos de selección masal estratificada (SMVE) y dos ciclos de selección de familias de medios hermanos (SFMH) en la Población F2 de la cruce de Zacatecas 58 Sm20 y Tuxpeño Crema 1 SM12 con poblaciones de 62625 y 83375 plantas ha⁻¹ fue estudiada por García *et al.*, 2002, quienes concluyeron que la respuesta genética promedio del rendimiento por ciclo de selección fue de 5.7% para SMVE y 10% para SFMH, para densidades la SMVE no muestra respuesta genética, pero en la SFMH la respuesta fue de 13.4 % en densidad baja y 7.1% para densidad alta [9].

El número de familias probadas varió de 300 a 92 y las familias seleccionadas fueron de 184 a 12 del C1 al C4 en su orden, con una presión de selección de la selección base del 53% al 12% realizado en el C4. En la sierra del Perú durante ocho ciclos de selección se desarrolló la variedad PMC-561 usando el método de selección mazorca-hilera modificado. Las poblaciones seleccionadas se evaluaron en siete experimentos. El número de familias probadas y seleccionadas varió de 137 a 140 y de 20 a 80 respectivamente, la presión de selección interfamiliar varió de 12.1 a 49.6%, siendo en promedio un 26.8%, la ganancia genética en rendimiento calculada por ciclo con datos de experimentos sembrados en diciembre fue de 11.24% por ciclo [17].



AGRADECIMIENTOS

Al Centro Internacional de Mejoramiento para el Maíz y el Trigo (CIMMYT) por el apoyo constante con asesoría y germoplasma, en especial a Luis Narro y Félix San Vicente. Al Comité Organizador y Científico de la XXII Reunión Latinoamericana de Maíz donde se presentó un resumen y un poster del presente trabajo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Daniel Alarcón diseñó la investigación. Daniel Alarcón, Ricardo Limongi y Eddie Zambrano desarrollaron la metodología y el trabajo de campo. Ricardo Limongi, Daniel Alarcón y Bernardo Navarrete redactaron el manuscrito. Todos los autores contribuyeron en los análisis y revisiones del artículo.

REFERENCIAS

- [1] Alarcón, D. (2014). *INIAP-528 Variedad de maíz blanco con alta calidad de proteína para consumo en choclo*. INIAP. Portoviejo, Ecuador: Estación Experimental Portoviejo. Tercera impresión. Plegable divulgativo 102.
- [2] INIAP. (2000). *Informe de Laboratorio*. Quito, Ecuador: Estación Experimental Santa Catalina, Laboratorio de Nutrición y Calidad.
- [3] CIMMYT. (2002). *Informe de Laboratorio*. Laboratorio de Suelos y Nutrición Vegetal. El Batán, México, D.F.: CIMMYT
- [4] CIMMYT. (1985). *Desarrollo, mantenimiento y multiplicación de semilla de variedades de maíz de polinización libre*. El Batán, México, D.F.: CIMMYT
- [5] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología-INAMHI. (2015). Registros mensuales en archivos electrónicos del sitio Lodana. *Informe Meteorológico*. Santa Ana, Manabí, Ecuador: INAMHI.
- [6] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología-INAMHI. (2016). Registros mensuales en archivos electrónicos del sitio Lodana. *Informe Meteorológico*. Santa Ana, Manabí, Ecuador: INAMHI.
- [7] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología-INAMHI. (2017). Registros mensuales en archivos electrónicos del sitio Lodana. *Informe Meteorológico*. Santa Ana, Manabí, Ecuador: INAMHI.
- [8] CIMMYT.(1985). *Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT*. México, D.F., México:CIMMYT. Recuperado de <https://repository.cimmyt.org/handle/10883/764>
- [9] García. Z. J., López R. J., Molina G. J., y Cervantes. S. (2002). Selección masal visual estratificada y de familias de medios hermanos en una cruz a intervarietal F2 de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(4), 387-391. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61025408>
- [10] Alarcón, D. (2017). *INIAP-528 Variedad de maíz blanco con alta calidad de proteína para consumo en choclo*. Portoviejo, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Portoviejo, Programa de Maíz. Plegable 102.
- [11] CIMMYT - CIAT. (1989). *Informe de Laboratorio*. Palmira, Colombia: Nutrition Quality Laboratory.
- [12] INIAP. (2011). *Informe de Laboratorio*. Quito, Ecuador: INIAP-Estación Experimental Santa Catalina. Laboratorio de Nutrición y Calidad.
- [13] Chávez, J. (1995). *Mejoramiento de plantas 2: métodos específicos de plantas alógamias*. Coahuila, México:Editorial Trillas.
- [14] Gamarra Sánchez, G. (2004). *Ganancia genética por selección mazorca hilera modificada en tres poblaciones de maíz amiláceo* (No. F30 G35-T). Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Post-Grado. Esp.
- [15] Zambrano, E., Limongi, R., Alarcón, D., Villavicencio, P., Caicedo, M., Eguez, J., Zambrano, J. (2017). Interacción genotipo ambiente de híbrido de maíz bajo temporal en Manabí y Los Ríos, Ecuador. *ESPAM Ciencia*, 8(1), 7-14.
- [16] Webel, O., y Lonquist, J. (1967). An evaluation of modified ear to row selection in a population of corn (*Zea mays* L). *Crop Sci.*, (7), 651-655.
- [17] Sevilla. R. (1975). Selección mazorca-hilera modificada en una variedad de maíz de la sierra peruana. *Inf del Maíz N. Extraordinario de Inv.*, (1), 22-26.

de desarrollo, en Jauja, Perú a 3350 metros sobre el nivel del mar (msnm). La variedad se desarrolló mediante selección por doce ciclos sucesivos usando el método selección mazorca-hilera modificada. El método de selección permitió mejorar caracteres como tolerancia al frío, manteniendo el tipo de mazorca y grano andino. Para incrementar el rendimiento, se aplicó una intensidad de selección de aproximadamente 20% entre familias e intensidad variable para caracteres de mazorca (sanidad y calidad organoléptica) dentro de las familias. La ganancia de selección promedio para rendimiento fue de 10.71% por ciclo. Como la selección se hizo para adaptar la variedad a condiciones limitantes de clima en cada ciclo de selección, cuando se hizo la evaluación de ciclos se registró la cantidad de lluvia total, cantidad de lluvia alrededor de la floración, radiación y suma de temperaturas letales durante el cultivo. Cuando los rendimientos de las poblaciones seleccionadas se ajustaron con la regresión entre el rendimiento y esos parámetros, el rendimiento del ciclo 12 fue de 10.1 toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$), mientras que el del ciclo original fue de $4.4\ t\ ha^{-1}$. La efectividad de la selección se consiguió manteniendo los caracteres de mazorca y grano y la tolerancia al frío en los últimos estados de desarrollo, propios de las variedades peruanas y la tolerancia al frío de los primeros estados de desarrollo, propio del germoplasma foráneo.

Palabras clave: Ciclos de selección, Ganancia de selección, Germoplasma foráneo, Parámetros meteorológicos, Tolerancia al frío.

INTRODUCCIÓN

En el Perú, el frío es el principal factor limitante en las zonas productoras de la región alto andina. Se manifiesta con heladas o temperaturas bajo $0\ ^\circ C$ con mucha intensidad y frecuencia. Para enfrentar el efecto de las heladas se usan tecnologías agronómicas tradicionales y variedades adaptadas. A mediados de la década de 1970, el Programa de Maíz de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), concentró el mejoramiento genético en Jauja, a 3350 metros sobre el nivel del mar (msnm). Aunque los métodos de selección intra-poblacional han mostrado ser exitosos en el mejoramiento de variedades de la sierra del Perú [1], la selección por adaptación a las condiciones alto andinas se hace con una intensidad de selección muy baja y un efecto muy fuerte del ambiente, sobre todo el efecto de años, que no permite una ganancia sostenible. Por lo tanto, hay la necesidad de evaluar el efecto de la selección a largo plazo, o sea con más de diez ciclos de selección.

El maíz producido principalmente en la Sierra del país tiene que ser muy suave y grato al paladar. Variedades de maíz formadas con germoplasma foráneo desmejoran notablemente la calidad del grano y la mazorca de los maíces peruanos que se consumen directamente. Es necesario por lo tanto mantener los caracteres de las variedades peruanas en el proceso de aumentar el rendimiento, la tolerancia al frío y otros caracteres importantes que provienen del germoplasma foráneo. Ese factor reduce también la intensidad de selección, de manera que no se puede esperar ganancias notables para rendimiento. El mejoramiento del maíz en la sierra del Perú se ha orientado a la adaptación a las condiciones limitantes de clima y suelo [2].



Para mejorar la metodología de selección intra-poblacional, la cual no producía ganancias cuando se aplicaba a variedades de maíz, Lonquist en 1964 propuso la selección mazorca-hilera modificada. Básicamente, esta metodología consiste en una combinación de selección entre y dentro de familias de medios hermanos, evaluadas en uno o más lugares, llevándose a cabo simultáneamente la recombinación de familias o progenies de mazorcas. Cada ciclo dura una sola generación. En un solo año se hace la selección, recombinación y formación de familias. Como la población que aporta el polen (macho) se forma con la mezcla de semillas de las mejores mazorcas del año anterior, es posible estimar directamente el progreso de selección comparando machos de años o ciclos sucesivos [3]. El método de selección permite mejorar otros caracteres como tolerancia al frío, manteniendo el tipo de mazorca y grano andinos.

Webel y Lonquist en 1967 publicaron la utilización de este método para mejorar la variedad Hays Golden en Nebraska; mostraron que en cuatro ciclos se obtuvieron ganancias de 9.9% por ciclo de selección [4]. Paterniani también en 1967 reportó una ganancia promedio por ciclo de 13.6% en la variedad Paulista Dentada durante tres años sucesivos [5]. Romero en 1968 reportó una ganancia de 10.3% por ciclo en tres ciclos de selección en Honduras [6]. Darrah *et al.* en 1972 aplicaron el método en tres poblaciones de maíz en Kenya, obteniendo durante cuatro ciclos, una ganancia de 8% en el Sintético Kitale II, 39% en la accesión Ecuador 573 y 23% en el Compuesto Kitale A [7]. O sea diez años después que Lonquist publicó el nuevo método de mejoramiento de maíz, los resultados mostraron que la aplicación del método era muy efectiva cuando las poblaciones de maíz no han sido mejoradas previamente para aumentar el rendimiento.

La selección mazorca-hilera modificada ha mostrado ser muy efectiva para el mejoramiento de las variedades en la región andina. Sevilla en 1975 reportó una ganancia promedio de 9.5% en ocho ciclos de selección en la variedad PMC-561, obteniendo un aumento de 11.2% por ciclo en la siembra de diciembre con fuertes heladas en la época anterior a la cosecha y 7.6% en siembras de Octubre [8]. La investigación de Gamarra publicada en el 2004, en la que seleccionó la variedad PMS-636, mostró también que no hubo ganancia de selección para rendimiento cuando la siembra fue realizada en octubre, pero si encontró una ganancia notable, de 6.1% por ciclo, en cuatro ciclos cuando la selección fue hecha a partir de una siembra en diciembre. Además, encontró ganancias considerables en caracteres asociados a la adaptación del maíz a zonas alto andinas, tales como, altura de mazorca (-2.6% por ciclo) y precocidad en base a días de floración (-0.2% por ciclo) [9].

La tolerancia al frío es un carácter complejo que compromete la reacción de muchos caracteres de la planta a bajas temperaturas. Dos son los componentes para que una planta resista a factores abióticos: evasión y tolerancia [10]. La evasión al frío hace que la planta reduzca el estrés usando caracteres morfológicos y fisiológicos propios de la planta. Los mecanismos de evasión son variados y dependen del estado de desarrollo de la planta. Así tenemos, los de los primeros estados de la planta, desde la germinación hasta el estado de plántula, y los del último estado de desarrollo. Ambos son importantes, porque la planta los ha desarrollado en su proceso de adaptación a regiones donde el frío es más intenso en la época de siembra y cosecha. Sevilla en 1988, al revisar la literatura sobre tolerancia al frío en los primeros estados de desarrollo, confirmó sus propias observaciones de campo con los resultados encontrados en laboratorio de otros países, en el sentido que el germoplasma de maíz peruano no tiene tolerancia al frío en los primeros estados de desarrollo

[11]. Se formó para ello, la variedad PMD-638, para introducir genes de tolerancia, provenientes principalmente de zonas nórdicas a las variedades peruanas de maíz [12]. En esa variedad se aplica ese método de selección desde 1987.

El germoplasma peruano no tiene un buen nivel de tolerancia en los primeros estados de desarrollo, pero si tiene mecanismos para tolerar el frío en los últimos estados de desarrollo de la planta [13]. Es por eso, que en todos los ciclos de selección se puso especial atención a los caracteres de la mazorca que según Greenblatt y Evaristo, son factores de evasión al frío [13, 14]. La productividad del PMD-638 se ha probado en condiciones del Valle del Mantaro en comparación con una muestra representativa de variedades de las razas San Gerónimo y San Gerónimo Huancavelicano [15]. El rendimiento de PMD-638 sólo fue superado, por una colección (muestra de semilla de agricultores) de un total de 59 probadas. Los objetivos de esta investigación fueron adaptar a la región alto-andina a una variedad de maíz formada con germoplasma andino y foráneo, a través de la selección para elevar el rendimiento manteniendo los buenos caracteres agronómicos y los caracteres de valor organoléptico del germoplasma andino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos de los 13 ciclos de selección reportados en este estudio se realizaron en los campos del Instituto Regional de Desarrollo de la Sierra de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicado en la provincia de Jauja, departamento de Junín, a una altitud de 3350 msnm. Los trece ciclos de selección, incluyen desde la siembra del ciclo 0 y selección del ciclo 1 (1986-1987) hasta la siembra y selección del ciclo 13 (2001-2002). PMD-638 se originó del cruce de la Población C por PMS-636. El PMS-636 es un sintético formado por líneas extraídas de la cruz Blanca Urubamba x San Gerónimo, las cuales fueron seleccionadas por tolerancia al frío durante dos ciclos, en base a los ensayos de rendimiento de líneas *per se*. La Población C se formó principalmente con el material seleccionado para tolerancia al frío que a partir de 1967 el Dr. Grogan formó en la Universidad de Cornell. El germoplasma seleccionado en la Universidad de Cornell se cruzó por San Gerónimo. La F_1 se retrocruzó a esa variedad y en 1983 se volvió a retrocruzar al San Gerónimo, y las progenies seleccionadas constituyeron la Población C, que fue seleccionada en base al comportamiento de medios hermanos durante varias generaciones. El cuarto ciclo de la selección por mazorca-hilera de la Población C, se cruzó como hembra con el cuarto ciclo de la variedad sintética PMS-636. La población resultante es la Población D, que se selecciona por selección mazorca hilera desde 1987. La Población D, se ha seleccionado de preferencia en época normal de siembra. Después de 8 ciclos de selección mazorca-hilera se liberó la variedad PMC-638.

Los experimentos para probar las familias de medios hermanos (progenies de mazorca) fueron dispuestos en un diseño de látice y analizados como bloques completos aleatorizados, con dos a más repeticiones. En cada año de selección, también se probaron como testigos, las semillas cosechadas de ciclos anteriores, del macho polinizador, con el fin de comparar el progreso de selección (Tabla 1). En la mayoría de los ciclos, dos repeticiones se sembraron en octubre y dos en diciembre, porque las siembras en ese mes son afectadas por bajas temperaturas generalmente en el último estado de desarrollo, dañando a la mazorca, permitiendo la selección para tolerancia al frío. En todos los casos



las parcelas tuvieron 3.60 m de largo y 0.8 m de ancho. Se sembró tres a cuatro semillas por golpe y se raleó para dejar 30 plantas por parcela.

TABLA 1. Característica de los experimentos de ciclos de selección y número de repeticiones.

Año de siembra - cosecha	Ciclo de Selección	Población seleccionada	Número de repeticiones	Testigos Probados
1986 - 1987	C0	1	2	---
1987 - 1988	C1	2	2	C0
1988 - 1989	C2	3	2	C0, C1
1989 - 1990	C3	4	2	C0, C1, C2
1992 - 1993	C4	5	2	C0, C1, C2, C3
1993 - 1994	C5	6	2	---
1994 - 1995	C6	7	4	C4
1995 - 1996	C7	8	4	C5, C6
1996 - 1997	C8	9	4	C5, C6, C7
1997 - 1998	C9	10	4	C7, C8
1998 - 1999	C10	11	2	C9
1999 - 2000	C11	12	3	C9, C10
2000 - 2001	C12	13	2	C10, C11
2001 - 2002	C13		4	C10, C11, C12

El método de selección usado fue la selección mazorca-hilera modificada, la cual consiste en seleccionar mazorcas en el bloque de recombinación, a partir de plantas superiores de familias seleccionadas por su comportamiento, en ensayos con repeticiones (selección entre y dentro de familias). A la cosecha, se pesa el rendimiento de cada parcela hembra y se seleccionan las más rendidoras; dentro de cada una de estas parcelas seleccionadas, se escogen las mejores mazorcas; que en el caso de la selección del PMD-636, son las más parecidas a la variedad local San Gerónimo para mantener los mecanismos de tolerancia al frío de las mazorcas. Esas mazorcas son las que pasan al siguiente ciclo. El macho se cosecha por separado y se guarda para que sirva como comparación o testigo de los siguientes ciclos. En todos los casos la selección entre familias fue por rendimiento y dentro de familias fue por aspecto y sanidad de mazorca. Se consideraron dos tipos de presión de selección: presión de selección inter-familiar, que incluyó solo las familias seleccionadas para el siguiente ciclo y presión de selección intra-familiar que consideró el número promedio de mazorcas seleccionadas dentro de cada familia, sobre el número total de plantas de cada parcela de las familias seleccionadas.

Se realizaron análisis de regresión para estimar la ganancia por ciclo en porcentaje, en los siguientes años: 1990, comparando los ciclos C0, C1, C2; 1993, comparando los ciclos C0, C1, C2 y C3; en 1997 comparando los ciclos C5, C6 y C7; en el 2002 comparando los ciclos C10, C11, C12 (Tabla 1). En todos los casos, la ganancia de selección se estimó con

el valor de la regresión, donde b = porcentaje de ganancia por cada ciclo de selección; x = ciclo de selección; y = porcentaje de rendimiento respecto a CO.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) combinado con el fin de estimar el efecto de años (aleatorio) en los ciclos seleccionados (fijo) y se analizó con un diseño de bloques completos al azar y con un modelo aditivo lineal que incluía el efecto de años y de la interacción ciclo por año. Cuando la selección recurrente se hace durante muchos ciclos como en el presente caso, se puede probar la hipótesis que no hay interacción ganancia por ciclo, o sea que la ganancia siempre es igual a través de los ciclos. En las diferentes generaciones se probaron semillas de las poblaciones machos de uno o dos ciclos anteriores. Se utilizó la Prueba de Tukey para comparar las medias de diferentes caracteres evaluados en ciclos ya seleccionados y probados en el mismo año experimental, considerando como nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Para expresar la ganancia a través de todos los ciclos de selección fue necesario juntar las ganancias ocurridas en años diferentes. Para eso fue necesario estimar la relación entre el rendimiento y las variables meteorológicas: b = ganancia de rendimiento en cada ciclo de selección por variación de la unidad meteorológica; x = unidad meteorológica; y = rendimiento en cada ciclo de selección. Luego, con la finalidad de corregir el efecto de años en los ciclos, se realizaron cálculos de las correlaciones y regresiones entre los promedios obtenidos y los siguientes factores meteorológicos: 1) Unidades de calor, que son las estimaciones de energía o calor requeridas por las plantas para alcanzar cada etapa de su desarrollo fenológico [16], 2) Precipitaciones pluviométricas totales (PP) o cantidad de lluvia total registrada en la etapa fenológica del cultivo, y 3) Sumatoria de temperaturas Lletales (STL), suma calculada a partir de temperaturas mínimas y de heladas consideradas letales para el cultivo. Para facilitar los cálculos de regresión se trabajó con signo positivo las temperaturas bajo cero. Los cálculos se realizaron en forma mensual, y son sumados para obtener el total correspondiente a la campaña de cada año. El cálculo se hizo en base al promedio obtenido de cada generación en su respectivo año experimental. La regresión permitirá conocer la magnitud con la que fue afectado o favorecido el rendimiento, con lo cual su corrección será resuelta en sentido inverso a lo que indique dicha regresión. Así se tiene que si determinado factor meteorológico influyó de manera negativa en el rendimiento, la corrección será sumar el valor de regresión calculado de acuerdo a las unidades en las que se dio determinado factor. Fue necesario convertir cada valor meteorológico en base de esas unidades de variación.

En algunos ciclos de selección se evaluó el número promedio de mazorcas por planta (número de mazorcas dividido entre el número de plantas de cada familia), aspecto de la mazorca (se tuvo en cuenta que el mejor aspecto de la mazorca es el tipo peruano, por el tamaño y suavidad de grano, con un valor de 9: muy bueno, y con 1: muy mal aspecto). En otros ciclos se registró, cuando el cultivo fue afectado, el número de mazorcas dañadas por heladas, el número de mazorcas afectadas por *Fusarium moniliforme* y *Heliothis zea*, calculando el porcentaje de mazorcas afectadas. En todos los ciclos de selección, el rendimiento de parcela fue evaluado y se corrigió la humedad del grano al 14%; siendo la humedad de cosecha igual para todas las parcelas. Para ello, se tomó una muestra representativa de todo el campo y se determinó la humedad del grano. No se corrigió por número de plantas en la parcela porque la tendencia es que las familias más susceptibles al frío tengan menos plantas en la parcela.



RESULTADOS

Ganancia de Selección del rendimiento

En el análisis combinado se consideraron los años en los cuales se dispuso de semilla correspondientes a ciclos seleccionados. En los tres casos en que se analizó el rendimiento, el efecto de años fue altamente significativo y la interacción de ciclos por años fue altamente significativa cuando se probaron los ciclos superiores de selección; en esos casos la diferencia entre ciclos dependió del nivel de selección. En las campañas (1995-1996) y (1996-1997) así como en (2000-2001) y (2001-2002) no existieron diferencias significativas entre ciclos por la alta interacción ciclos por años.

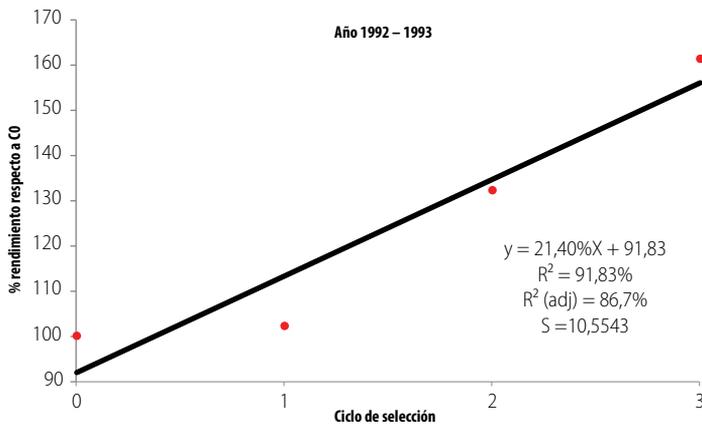


FIGURA 1A. Ganancia de selección obtenida entre el ciclo C0 a C3 de una variedad de maíz utilizando el método de selección mazorca-hilera modificada. Regresión lineal de rendimiento y ciclos seleccionados, expresados en porcentaje respecto al ciclo inicial (C0). Jauja, Perú.

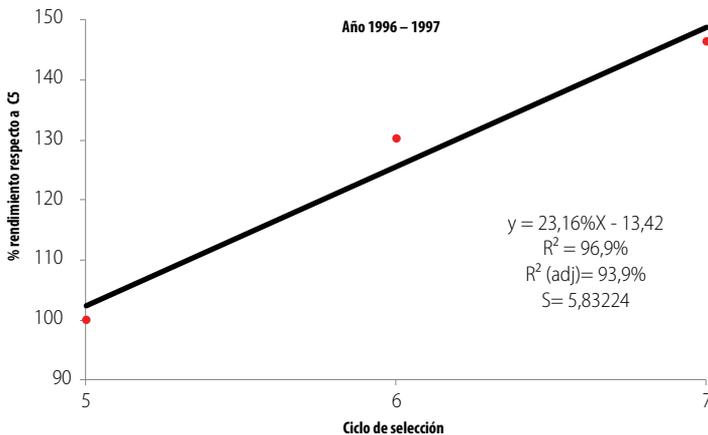


FIGURA 1B. Ganancia de selección obtenida entre el ciclo C5 a C7 de una variedad de maíz utilizando el método de selección mazorca-hilera modificada. Regresión lineal de rendimiento y ciclos seleccionados, expresados en porcentaje respecto al ciclo cinco (C5). Jauja, Perú.

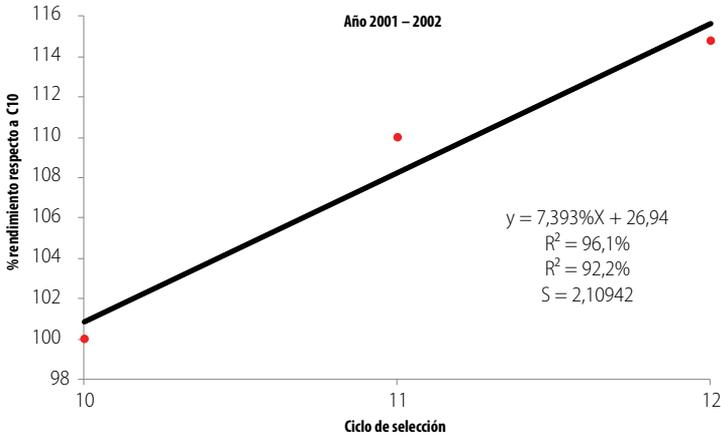


FIGURA 1C. Ganancia de selección obtenida entre el ciclo C10 a C12 de una variedad de maíz utilizando el método de selección mazorca-hilera modificada. Regresión lineal de rendimiento y ciclos seleccionados, expresados en porcentaje respecto al ciclo diez (C10). Jauja, Perú.

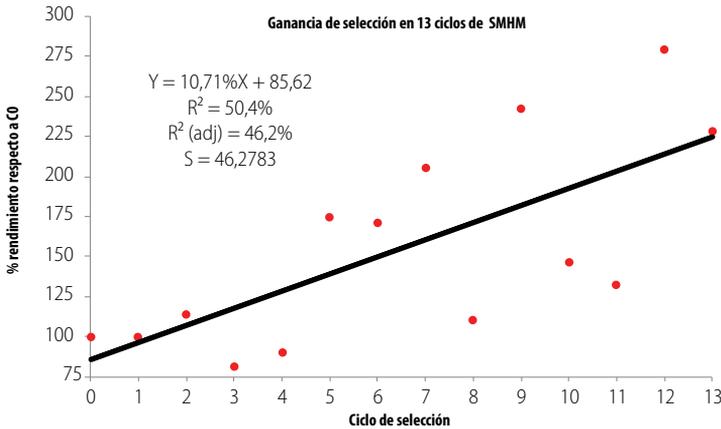


FIGURA 1D. Ganancia de selección de una variedad de maíz utilizando el método de selección mazorca-hilera modificada considerando 14 ciclos de selección, desde 1986 a 2002. Regresión lineal de rendimiento y ciclos seleccionados, expresados en porcentaje respecto al ciclo inicial (C0). Jauja, Perú.

En el año 1997 cuando se probaron los ciclos seleccionados C5, C6 y C7 se encontró un incremento estadísticamente significativo de los rendimientos promedios a medida que avanza la selección. En la campaña 1997-1998 cuando se compararon los ciclos C7 y C8, las diferencias fueron significativas a favor de C8. En cambio, los rendimientos promedios de la campaña 1999 – 2000 resultaron en un retroceso de la selección para los ciclos seleccionados C9 y C10, con diferencias estadísticas significativas. En la campaña 2001-a2002, la comparación entre los ciclos C10, C11 y C12 resultó



significativa: C12 rindió 11034 kilogramos por hectárea (kg ha^{-1}), C11 rindió 10572 kg ha^{-1} , mayor a C10 que rindió 9613 kg ha^{-1} ; todas las diferencias fueron estadísticamente significativas. Cuando se ajustaron los rendimientos con las correlaciones entre rendimientos y parámetros meteorológicos resultó en una ganancia por ciclo de selección de 10.7%. Estos cálculos fueron hechos en porcentaje y tomando como referencia el ciclo original (100%). La "Fig. 1" muestra la ganancia de selección en tres tramos: 1a (inicial), 1b (medio), 1c (final) y 1d considerando todos los ciclos ajustados con los parámetros ambientales.

El rango de número de mazorcas en la parcela entre número de planta fue de 0.68 en el ciclo 1 a 1.16 en el ciclo 2. Ese valor dependió más de las condiciones del clima, principalmente del frío, que del ciclo de selección. Se notó una tendencia del mejoramiento del aspecto de la mazorca hacia el patrón andino a través de los ciclos, con valores de 3.3 en el C8, a 6.5 en el C9. Los daños de pudrición de la mazorca causada por *Fusarium moniliforme*, por el gusano mazorquero (*Heliothis zea*) y por el frío, se evaluaron solo en los ciclos cuando ocurrió el daño, en las parcelas donde se compararon los ciclos en el experimento de familias. El porcentaje de daños por pudrición fue bajo: 2.1% en C7 y 2.9% en C8. Fue mucho mayor el daño del mazorquero: aproximadamente 35% en C7, C8, y C9. El porcentaje de daños causados por el frío se redujo de 31% y 30% en C5 y C6 a 20 y 24% en C7 y C8, respectivamente.

Los rendimientos fueron afectados por variables meteorológicas en diferentes proporciones y en todos los ciclos. La correlación fue negativa y significativa entre el rendimiento y la suma de temperaturas letales, y positiva y significativa entre el rendimiento y la cantidad de lluvia y las unidades de calor.

DISCUSIÓN

La ganancia de selección en la variedad PMD-638 es similar a las ganancias obtenidas en otras poblaciones en la sierra del Perú o en el extranjero. Además, en el caso de PMD-638 se mejoraron otras características como la tolerancia al frío y el aspecto de la mazorca; así como la capacidad de asociación del cultivo con habas. Las regresiones significativas entre el rendimiento y las variables meteorológicas permiten concluir que la variedad ha ganado estabilidad a través de años haciéndola más adaptable a ambientes con limitaciones impredecibles [17]. La estabilidad a través de años le permite a la variedad enfrentar las amenazas de climas extremos [18].

Un análisis preliminar de la adaptación a zonas alto andinas con temperaturas extremas permitió diferenciar marcadores para la tolerancia al frío y adaptación a bajas temperaturas. Chacón analizó los ciclos C9, C10, C11 de la variedad PMD-638, abriendo la posibilidad de marcar genéticamente la tolerancia al frío. También probó molecularmente que los ciclos de selección más avanzados de PMD-638 se parecían a PMS-636, una variedad formada con germoplasma enteramente peruano [19].

Como la selección se evaluó por tramos, se nota la diferencia entre tramos: del C0 a C3 la ganancia fue de 21.4% por ciclo; de C5 a C7 de 23.2% por ciclo, y de C10 a C12 de 7.4% por ciclo. En ese caso fue conveniente parar la selección poblacional probar

otros métodos que aprovechen mejor la variancia no aditiva. Así mismo es necesario en estas variedades que van a cultivarse en las tierras alto-andinas seguir la selección para tolerancia al frío, sequía y resistencia a enfermedades y plagas. Eso requiere un buen control con el diseño estadístico para reducir el error experimental, controlar las interacciones genotipo por ambiente, estratificar el ambiente experimental, controlar la heterogeneidad del suelo, evaluar solo plantas con competencia completa y precisar la evaluación fenotípica. Gardner en 1976 (citado por Hallauer y Miranda) [20] mostraron los resultados de doce generaciones de selección mazorca hilera modificada en la variedad Hays Golden observándose una respuesta curvilínea con una reducción de la ganancia a partir del ciclo 7. Los resultados mostrados en esta investigación confirman que a largo plazo las ganancias por selección de los ciclos más avanzados podrían ser menores.

La selección mazorca-hilera modificada aplicada a la variedad PMD-638 incrementó el rendimiento por ciclo en 10.7%. La población seleccionada después de 13 ciclos de selección rindió 128% más que la población original. Además del rendimiento se mejoraron otras características, como el aspecto de la mazorca, manteniendo los caracteres morfológicos de evasión al frío. La tolerancia al frío de la variedad PMD-638 se evidenció desde los primeros ciclos de selección y continuó el mejoramiento de la tolerancia al frío en el último estado de desarrollo durante todos los ciclos de selección. La efectividad de la selección manteniendo las características propias de las variedades chocleras peruanas y la tolerancia al frío mostrada en los resultados de esta investigación permiten concluir que ya se cuenta con una variedad de alta productividad adaptada a las condiciones más adversas del cultivo de maíz en la sierra del Perú.

AGRADECIMIENTOS

Al Comité Organizador y Científico de la XXII Reunión Latinoamericana de Maíz donde se presentó un resumen del presente trabajo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Ricardo Sevilla planificó la investigación. Ricardo Sevilla y Manuel de la Cruz realizaron el trabajo de campo, los análisis estadísticos y redactaron el manuscrito.

REFERENCIAS

- [1] Sevilla, R. (2016). Mejoramiento poblacional del maíz amiláceo en la Sierra del Perú. Implicancias en la conservación de la diversidad y utilización sostenible. *XXI Reunión Latinoamericana de Maíz*.
- [2] Sevilla, R. (2004). Mejoramiento del maíz en la sierra del Perú. En Salhuana, W., Valdez, F., Scheuch, J., Davelouis (Ed.), *Cincuenta años del Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz (PCM), 1953-2003* (pp.158-187). Lima, Perú: UNA La Molina.
- [3] Lonnquist, J. (1964). A modification of the ear to row procedure for the improvement of maize populations. *Crop Sci* (4), 227-228.
- [4] Weibel, O. y Lonnquist, J. (1967). An evaluation of modified ear to row selection in a population of corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci* (7), 651-655.
- [5] Paterniani, E. (1967). Selection among and within half-sib families in a Brazilian population of Maize. *Crop Sci* (7), 212-216.
- [6] Romero, J. (1968). *Selección mazorca por hilera en Maíz*. Honduras: Informe de la Secretaría de Recursos Naturales.
- [7] Darrah, L.L., S.A. Eberhart, Penny, L.H. (1972). A maize breeding method study in Kenya. *Crop Sci* (12), 605-608.
- [8] Sevilla, R. (1975). Selección mazorca-hilera modificada en una variedad de maíz de la Sierra Peruana. *Informativo del Maíz Ext de Investigación* (1), 22-26.
- [9] Gamarra, G. (2004). *Ganancia genética por selección mazorca-hilera modificada en tres poblaciones de maíz amiláceo* (Tesis Mag. *Scientiae*). UNA La Molina, Lima, Perú.
- [10] Levitt, J. (1980). *Responses of plants to environmental stress Vol 1*. New York, United States of America: Academic Press.
- [11] Sevilla, R. (1988). Selección para tolerancia al frío en maíz. En Ramakrisna, B. (Ed.), *III Seminario sobre Mejoramiento a factores ambientales adversos en el cultivo de maíz* (pp. 1-52). Quito, Ecuador: PROCIANDINO, IICA.
- [12] Sevilla, R. (1995). Germoplasma foráneo de maíz tolerante al frío en los primeros estados de desarrollo, para adaptar las variedades de maíz de la Sierra del Perú a siembras tempranas. *III Reunión Latinoamericana y VI Reunión de la Zona Andina de investigadores de maíz*.
- [13] Greenblatt, I. (1985). The ear of maize as a heat conserving device. In *Northeastern Corn Improvement Conference*. New York, United States of America. University of Miss.
- [14] Evaristo, J. (1995). *Características morfológicas de la mazorca de maíz asociadas a la tolerancia al frío en germoplasma peruano y foráneo* (Tesis Mag. *Scientiae*). UNA La Molina.
- [15] Quispe, W. (2004). *Comparativo de razas y variedades de maíz (Zea mays L.) del compuesto San Gerónimo Huancavelicano* (Tesis Ing. Agrónomo). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.
- [16] Altet, A. (2007). *Determinación de zonas potenciales para el cultivo de maíz amiláceo en Departamentos de Cuzco y Junín, mediante el uso de la teledetección*. (Tesis Mag. *Scientiae*). UNA La Molina. Lima, Perú.
- [17] Allard y Bradshaw. (1964). Implications of Genotype-Environment Interactions in Applied Plant Breeding. *Crop Sci* (4), 502 - 508.
- [18] Sevilla, R. y Holle, M. (2004). *Recursos Genéticos Vegetales*. Lima, Perú.
- [19] Chacón, A. (2002). *Caracterización molecular de germoplasma de maíz nativo de región alto andina y de variedades mejoradas con germoplasma introducido* (Tesis Mag. *Scientiae*). UNA La Molina. Lima, Perú.
- [20] Hallauer, A.R., y Miranda, J.B. (1981). *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa, United States of America: Iowa State Un. Press.

maize, there are many factors influencing on it. However, in a stable scenario, short-term forecast would show stability or even a small reduction.

Keywords: Forecast, Maize Production, Planted Area, Price,

Resumen

La producción mundial del maíz en el año 2014 fue de 1037.8 millones de toneladas métricas superado únicamente por la caña de azúcar y la producción de vegetales. De ese total, la producción de Sudamérica representó alrededor del 12.1%. El maíz en el mundo es muy importante y será fundamental en el futuro porque cumple muchos roles. Así, es usado para alimentación humana, animal y elaboración de derivados (etanol, almidón, glucosa, maltodextrinas, biogás, biocombustibles, bioplásticos, fertilizantes y más). Actualmente, los principales países productores en el mundo son (en millones de toneladas métricas) Estados Unidos (361.1), China (215.8), Brasil (79.9), Argentina (33.1), Ucrania (28.5), India (24.2), México (23.3), Indonesia (19.0), Francia (18.3) y Sudáfrica (14.2), siendo los tres primeros responsables del 63.3% de la producción mundial. En la región, Brasil y Argentina producen cerca del 90% de lo que produce Sudamérica (120). El análisis de productividad y de tendencia en las dos últimas décadas (expresado como variación porcentual del rendimiento agrícola) muestra que la producción maicera de la región sudamericana se ha incrementado en 105.8%, un ritmo de casi tres veces el promedio mundial (36.2%), lo que mostraría una creciente influencia de la región en el volumen ofertado global, las reservas mundiales del grano y su precio internacional. Pese a ello, la región muestra gran variabilidad en cuanto a sus niveles de agro industrialización y de rendimientos productivos agrícolas los que pueden ser superiores a los de países industrializados (sobre 10 toneladas por hectárea) hasta otros tan bajos como 2.12 toneladas por hectárea. El nivel de mecanización, la variedad/ híbrido usado, la topografía del suelo, el tipo de agricultura usada, el ecosistema, serían algunas explicaciones para la variación de la productividad en la región. Sin embargo, países con bajas productividades como Bolivia, Perú y Ecuador contrariamente poseerían gran riqueza genética con posibles aplicaciones alimenticias, farmacéuticas e industriales que aún no se ha aprovechado, por esta razón, Sudamérica puede incrementar su productividad y su influencia estratégica global. Además, considerando que la tendencia de oferta mundial y regional superaría a la demanda, Sudamérica debería analizar el diversificar su industria de derivados del maíz y aprovechar su diversidad genética, sin descuidar por supuesto su seguridad alimentaria. Respecto al precio internacional del maíz, el mismo está sujeto a muchas variables, sin embargo, en un escenario estable la tendencia sería a mantenerse o incluso disminuir levemente en el corto plazo.

Palabras clave: Área sembrada, Precio, Pronóstico, Producción de maíz

INTRODUCCIÓN

Durante el período 1994-2014, el promedio de la producción de maíz en la región sudamericana (73.8 millones de toneladas métricas, MTM) ocupó el tercer lugar, luego de



la producción promedio de la caña de azúcar (579.6 MTM) y soya (88.6 MTM) pero sobre el total de la producción de frutas (73.7 MTM) y de raíces y tubérculos (46.6 MTM). De igual manera, la producción promedio del maíz en el mundo en el mismo período ocupó el tercer lugar con 723.6 MTM, luego de la producción de la caña de azúcar (1464.2 MTM) y vegetales (868.9 MTM) pero fue superior a la producción de raíces y tubérculos (716.8 MTM), arroz (634.7 MTM) y trigo (621.7 MTM) [1]. Como puede notarse la producción de maíz en el mundo y en la región ocupa un lugar predominante e importante. Además, el maíz es importante en el mundo porque a más de ser usado para la alimentación de los seres humanos, es empleado para la alimentación animal y para la producción de derivados utilizados en la industria farmacéutica, alimenticia e industrial [2,3]. En el caso de la región sudamericana el maíz también tiene importancia cultural. De ahí que analizar su eficiencia productiva es vital para el mantenimiento del cultivo y para optimizar toda su cadena de valor.

Volumen de la producción mundial del maíz y sus principales productores

Respecto al volumen de producción por región, en el período 1994-2014. Todo el continente americano produjo en promedio el 53.1% del volumen mundial, luego estaría Asia con el 28.2%, seguido por Europa (11.4%), África (7.25%) y finalmente Oceanía con el 0.1%. Es claro notarse la importancia del continente americano en la producción global del maíz.

Revisando ahora los principales productores a nivel mundial, se puede observar que Estados Unidos es de largo el principal productor. Sólo para tener una idea, del volumen total producido en 2014 (1037.8 MTM), Estados Unidos aportó con 361.1 MTM, lo que representaría algo menos del 34.8%. China con una producción de 215.8 MTM ocuparía el segundo

TABLA 1. Producción (MTM) y área cultivada (Mha) en Sudamérica, Estados Unidos y el mundo en el 2014.

País/ Región	Área cultivada		Producción		Rendimiento t.ha ⁻¹
	(Mha)	%	(MTM)	%	
Brasil	15.40	64.71	79.9	63.30	5.18
Argentina	4.80	20.28	33.1	26.22	6.84
Paraguay	0.80	3.35	3.2	2.54	4.00
Venezuela	0.59	2.46	2.3	1.80	3.87
Colombia	0.51	2.12	1.8	1.43	3.57
Ecuador	0.49	2.04	1.7	1.32	3.43
Perú	0.48	2.03	1.5	1.21	3.16
Bolivia	0.47	1.97	1.0	0.79	2.12
Uruguay	0.13	0.55	0.6	0.45	4.31
Chile	0.12	0.49	1.2	0.94	10.10
Sudamérica	23.80	100.00	126.0	100.00	5.29
USA	33.60	141.00	361.0	286.16	10.73
Mundo	184.80	774.90	1038.0	822.43	5.62

Fuente: [1]

TABLA 2. Variación del rendimiento productivo del maíz en el período 1994-2014 del mundo, Sudamérica y los principales países productores.

	Rendimiento t.ha ⁻¹		Variación
	1994	2014	Período (%)
Mundo	4.12	5.61	36.17
Sudamérica	2.57	5.29	105.84
USA	7.98	10.73	34.46
China	4.70	5.81	23.62
Brasil	2.36	5.18	119.49
Argentina	4.20	6.84	62.86
Ucrania	2.36	6.16	161.02
India	1.49	2.56	71.81
México	2.23	3.30	47.98
Indonesia	2.21	4.95	123.98
Francia	7.79	10.05	29.01
South Africa	2.85	5.30	85.96

Fuente: [1]

lugar con el 20.8%, seguido por Brasil con 79.9 MTM que representarían el 7.7%. Un tanto más alejados estarían Argentina, Ucrania, India, México, Indonesia, Francia y Sudáfrica los que produjeron 33.1; 28.5; 24.2; 23.3; 19.0; 18.3 y 14.2 MTM, respectivamente en el indicado año [1]. La producción combinada de tres países: Estados Unidos, China y Brasil representaría el 63.3% de la producción mundial en el año indicado.

Respecto al volumen de producción de Sudamérica en 2014, Brasil y Argentina produjeron los dos combinados cerca del 90% del total de la región. De igual forma, considerando el uso del suelo los dos países utilizan más del 84% de la tierra de la región dedicada a ese propósito (Tabla 1). También se puede apreciar en esta tabla que la producción de la región es inferior a la producción de Estados Unidos. Más aún, si se relaciona el uso del suelo y el volumen producido se puede ver que Estados Unidos dedicaría un 41% más de tierra a la producción de maíz, sin embargo, el volumen producido es casi tres veces lo que se produce en Sudamérica. La explicación se halla en su nivel de productividad expresada como rendimiento en toneladas por hectárea (t ha⁻¹) como se analizará más adelante. Finalmente, la producción mundial total ocupa un área de terreno casi ocho veces la de la región y produce más de ocho veces lo de la región.

Rendimiento productivo del mundo, Sudamérica y los principales productores a lo largo de las dos últimas décadas

En el año 1994 el mundo produjo 569 MTM en un área sembrada de 138 millones de hectáreas (Mha) y con un rendimiento de 4.12 t.ha⁻¹ (Tabla 2). Veinte años más tarde, en 2014, el volumen de producción subió a 1037.8 MTM (incremento del 82%), el área sembrada subió a 185 Mha [1] (incremento del 34%) lo que se traduce en un



incremento del rendimiento a 5.61 t.ha⁻¹. Es decir, hubo una variación (incremento) del rendimiento por hectárea del 36.2%. Se puede decir entonces que el mundo ahora es un 36% más productivo de lo que era hace 20 años. Más aún, al analizar ésta tabla se puede ver que si el mundo en este período de tiempo fue 36.2% más productivo, Sudamérica sola fue 106% más productiva. Es decir, la región en este período de tiempo ha crecido en su productividad casi tres veces respecto al promedio del mundo. Por otro lado, si bien el crecimiento de la región es muy destacado y depende mucho del desempeño de Brasil [4] y Argentina principalmente, ese crecimiento, es inferior al presentado por países como Ucrania e Indonesia con valores muy destacables (161 y 124% respectivamente). Eso ha hecho que en los últimos 20 años Ucrania desplace a México en el ranking de los productores.

Por otro lado, países desarrollados como Estados Unidos y Francia, han crecido en su productividad en el periodo de tiempo indicado únicamente alrededor del 30%, esto se debe a que estos países ya 20 años atrás tenían rendimientos cercanos a 8 t.ha⁻¹, rendimiento que Brasil y Argentina aún no alcanzan [1]. Adicionalmente, esto parecería indicar que para la disponibilidad tecnológica de las dos últimas décadas crecer más allá de 8 t.ha⁻¹ es posible, pero con una pendiente menos pronunciada.

TABLA 3. Variación del rendimiento en el período 1994-2014

País/ Región	Rendimiento t ha ⁻¹				Variación 1994-2014 (%)
	1994	2004	2009	2014	
Brasil	2.36	3.37	3.71	5.18	119.3
Argentina	4.23	6.40	5.57	6.84	61.7
Paraguay	2.11	2.55	2.40	4.00	89.6
Venezuela	2.85	3.35	3.80	3.87	35.9
Colombia	1.57	2.64	2.68	3.57	127.1
Ecuador	1.10	1.88	2.20	3.43	212.1
Perú	2.09	2.67	3.03	3.16	51.2
Bolivia	1.81	1.71	2.81	2.12	17.0
Uruguay	1.63	4.96	3.08	4.31	164.2
Chile	8.94	11.07	10.49	10.10	13.0
Región	2.57	3.69	3.83	5.29	105.9
U.S.A	8.70	10.06	10.33	10.73	23.4
Mundo	4.12	4.94	5.17	5.62	36.4

Fuente: [1]

Un análisis más detallado de Sudamérica, en el período indicado (Tabla 3), muestra que los países que más variaron su rendimiento fueron Brasil, Colombia, Ecuador y Uruguay. En el caso de Brasil nótese que hace dos décadas su rendimiento era muy similar a lo que tuvo Bolivia en 2014. Colombia y Ecuador hace dos décadas tenían los rendimientos más bajos de la región, lo que explicaría al menos parcialmente su incremento en el rendimiento. Es decir, sin perjuicio del trabajo desarrollado en el campo y en el laboratorio, que se podría incrementar el rendimiento más fácilmente cuando los valores de partida son muy bajos. Uruguay por su parte, muestra fluctuaciones marcadas durante las dos décadas, posiblemente también por razones de registro. En el otro extremo se hallan Bolivia y Chile con los incrementos más bajos en rendimiento, pero con una explicación distinta. Así, Bolivia muestra un crecimiento en dos décadas de solo el 17% al pasar de 1.81 t ha⁻¹ en 1994 a 2.12 t ha⁻¹ en 2014, mostrando una leve mejora y que podría deberse (entre otras cosas) a un limitado mejoramiento tecnológico y al gran aporte del cultivo de maíz suave de bajo rendimiento. Por el otro lado Chile muestra un crecimiento de sólo 13%, sin embargo, a diferencia de la región, esto es porque Chile desde hace 20 años ya alcanzó valores de rendimiento comparables a los de Estados Unidos y esto se debe a que Chile tendría ecosistemas muy similares a las regiones maiceras de Estados Unidos, por lo que los híbridos y material genéticamente modificado usado para altos rendimientos en USA, se adaptaría muy bien a Chile, lo que explicaría (al menos en parte) rendimientos similares a USA y Francia. Lamentablemente, el volumen de producción de maíz en Chile es bajo (apenas 1.19 MTM en 2014 equivalentes a menos del 1% de la producción de la región). Otras consideraciones a tomarse en cuenta en la región, aparte de valiosos aportes de investigación y mejoramiento en el campo y laboratorio y en conjunto con acciones de difusión, capacitación y más, hace que países como Brasil y Argentina tengan una estructura productiva orientada a fines comerciales principalmente, es decir grandes planicies con un importante aporte de mecanización, usando híbridos o material genéticamente modificado, cultivando maíz duro y estructuras de comercialización definidas [2, 4]. Por otro lado, los países Andinos (Ecuador, Bolivia y Perú) principalmente cultivarían no sólo maíz duro; sino también maíz de altura (suave o harinoso) el que tiene un rendimiento menor que el duro [5]. Entonces al registrarse el rendimiento promedio, el rendimiento del maíz suave, generaría un efecto negativo en su productividad. Más aún, en estos países, en especial en las zonas altas de la región andina, la mecanización no siempre es posible por la topografía (terrenos con pendientes). Además, las unidades de producción agrícola (UPAs) son de menor tamaño y el uso de variedades (de menor rendimiento) está más extendida; adicional a esto, la gran cantidad de variedades sembradas dificultaría (dispersan) los esfuerzos e impacto de la investigación. Finalmente, en éstos países se practicaría más (en comparación con otros países) la agricultura de subsistencia [5]. En contraste, en estos países, sin embargo, la gran cantidad de variedades cultivadas ofrecería una alta riqueza genética que debería ser estudiada para la generación de productos con mayor valor agregado (principios activos, antioxidantes y más). Los otros países de la región, estarían entre los extremos detallados anteriormente.



Tendencias del rendimiento de maíz en el mundo, latinoamericana, USA, Brasil y Argentina en las dos últimas décadas y análisis prospectivo al corto y mediano plazo

La gráfica de los rendimientos ($t \cdot ha^{-1}$) globales, de la región, y tres de los principales productores mundiales muestran que, la tendencia global es influenciada por la de Estados Unidos (principalmente) (Fig. 1). Otro aspecto a resaltar es que la tendencia de Sudamérica está influenciada por las de Brasil y Argentina. Más aún, la tendencia de la región presenta una pendiente superior a la tendencia de crecimiento del mundo y Estados Unidos, lo que significa un incremento del volumen de producción de la región a una tasa superior a la del mundo, Estados Unidos y China. La importancia de esta situación es también una mayor influencia estratégica de la región en las relaciones oferta y demanda, en la determinación de precios y en las reservas mundiales.

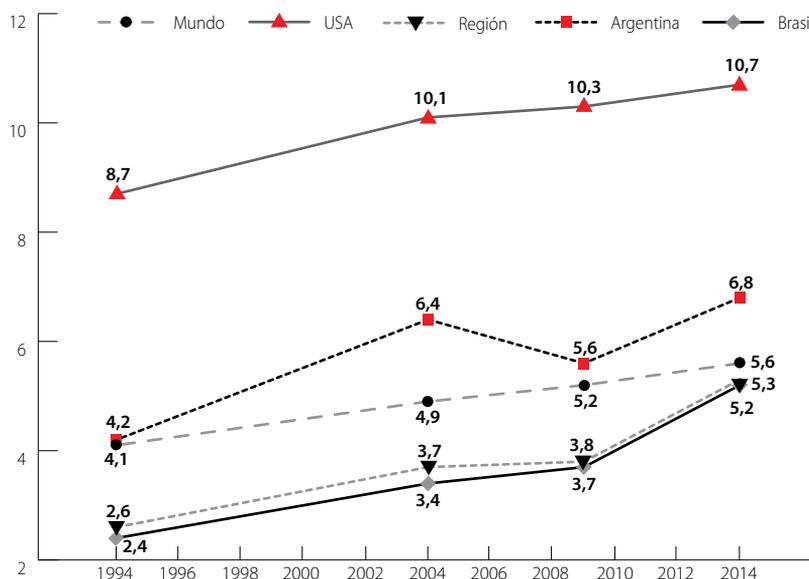


FIGURA 1. Tendencia de rendimientos ($t \cdot ha^{-1}$) en el período 1994-2014 del mundo y Sudamérica.

Análisis de precios en el corto plazo

Si se considera que el precio del maíz depende de diversos factores como política agrícola de Estados Unidos, consumo mundial de cárnicos y lácteos, precio del petróleo versus costo de producción de etanol y substitutos de la caña de azúcar, precio referencia de bolsas de productos internaciones, más la posibilidad de que se genere especulación financiera, el precio internacional futuro del maíz es difícil de predecir [3, 6, 7]. Por otro lado, el análisis de la oferta y consumo mundial del período 2009 al 2016 muestra una tendencia creciente, así como del stock final en el período 2009-2013 (Tabla 4). Respecto al precio, se puede apreciar una tendencia creciente hasta el año 2012 y a partir de ahí una disminución en los mismos [1, 6, 7]. Si sumamos a ello un

escenario con precios del petróleo estables, demanda y oferta creciente, pero manteniendo un inventario de maíz estable, y sin considerar el apareamiento de plagas o factores externos como conflictos armados, especulación financiera, o pérdidas por efectos ambientales atípicas harían suponer que el precio permanecería estable o incluso con una ligera variación hacia la baja [8].

TABLA 4. Producción, stocks, oferta y consumo mundial (MTM) y precios del maíz en el período 2009-2018

Año	Producción mundial	Stock inicial	Oferta	Consumo	Stock final	Precio \$/ton
2009	976.5					
2010	832.5	146.0	978.5	850.3	128.2	
2011	883.0	128.2	1011.0	878.9	132.3	275
2012	858.0	132.2	990.3	863.9	126.3	261
2013	956.7	126.3	1083.0	936.7	146.3	198
2014	1038.3	146.3	n.d	n.d	n.d	193*
2015	1010.6	n.d	n.d	n.d	n.d	177*
2016	1060.1	n.d	n.d	n.d	n.d	164*
2017	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	165*
2018	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	161*

n.d. = no disponible,
Fuente: [1, 6, 8]; * Valor promedio de proyecciones de [8].

Usos actuales del maíz en Sudamérica y su potencial futuro

La producción maicera de Brasil y Argentina (principalmente) no sólo es para consumo humano y animal; sino con fines de industrialización. Por ejemplo, la producción de alcohol y otros derivados se han incrementado [2-4]. Por otro lado, en los países andinos el maíz es usado extensamente en la alimentación de las personas en una amplia variedad de productos alimenticios en fresco mayormente (en especial las variedades harinosas). Las variedades de textura duras se usarían en esta región para alimentación animal y un limitado nivel de industrialización (extruidos) [5]. Los otros países de la región estarían entre los extremos indicados y con las particularidades propias de cada país. Entonces, si se considera que la molienda húmeda principalmente ofrecería la posibilidad de generar un importante número de productos para uso industrial, farmacéutico y alimenticio de derivados del almidón, gluten y germen y si por otro lado se observa la poca variedad de productos industrializados que actualmente existen (a más de alimento para humanos y animales) se puede notar que la región en general tiene un bajo desarrollo de la industrialización. Más aún, si se analiza la región andina, se podrá ver la existencia de muchas variedades, penosamente poco se conoce de su potencial industrial, por ejemplo,



como fuente de colorantes, antioxidantes y material genético [5]. Sería muy interesante entonces se desplieguen esfuerzos en esa dirección para darle un mayor valor agregado a la producción primaria de la región.

Por otro lado, se debe considerar que Sudamérica aún tiene deficiencias calóricas (medida en kcal/ per cápita/ día, promedio de niños de 3 años, período 2014-2016) que van desde 9 en el caso de Uruguay hasta 136 en el caso de Bolivia [1].

Por ello la industrialización del maíz debería considerarse a la par de completar las necesidades alimenticias y nutricionales de la población.

En conclusión, el maíz es un grano muy importante en el mundo y en Sudamérica, en este último no sólo es importante por ser uno de los granos base de la alimentación de varios países, así como por ser usado en la alimentación animal; sino por su significado cultural e histórico. La gran diversidad que ofrece Sudamérica en cuanto a niveles de rendimiento, nivel de agro industrialización, riqueza genética de potencial económico debería ser aprovechada por la región. Lugares aptos para producir maíz duro de alto rendimiento (temperatura óptima entre 25 a 30 °C y mínima de 8 °C, con 5 mm de suministro de agua al día y suelo con pH entre 6 y 7 con buen drenaje) [9] deberían ser cultivados de forma extensiva para la obtención de mayores recursos económicos. Por otro lado, la gran cantidad de variedades de maíz locales deben ser a más de clasificadas, catalogadas y patentadas; investigadas a fin de poder aprovechar su potencial alimenticio, farmacéutico, industrial y genético. Así, por ejemplo, variedades de maíz de colores oscuros con posibles componentes de capacidad funcional que podría ser aplicada a la industria farmacéutica y alimenticia. Residuos como la tusa y follaje podrían ser usados como fuentes de combustible y para la alimentación de conejos generando entonces cadenas con mayor valor y con menos residuos, y por lo tanto más productivas y sustentables.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad San Francisco de Quito, por facilitar los recursos para realizar la presentación de este trabajo de investigación. A los revisores anónimos por sus valiosas sugerencias. Un resumen de este trabajo se presentó en la XXI Reunión Latinoamericana de Maíz.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Francisco Carvajal, concibió la investigación, realizó el trabajo de campo (tabular información, producción de tablas), redactó y revisó críticamente el manuscrito. Mario Cavie- des, concibió la investigación, redactó y revisó críticamente el manuscrito.

REFERENCIAS

- [1] FAO. (2017). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Datos estadísticos. Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/>
- [2] Brieva, S., Costa, A.M. (2013). Visión prospectiva de la cadena del maíz al 2030. Proyecto MINCYT-BIRF: Estudios del sector agroindustria. Buenos Aires. Recuperado de: <http://www.mincyt.gov.ar/adjuntos/archivos/000/036/0000036229.pdf>
- [3] ODEPA. (2007). Estudio, análisis y evolución de la competitividad y transparencia del mercado nacional del maíz. Informe de resultados. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias del Ministerio de Agricultura de Chile. Recuperado de: <http://www.odepa.cl/wpcontent/filesmf/1389707495informeMaiz2007.pdf>.
- [4] PricewaterhouseCoopers Brazil Ltda. (2013). Agribusiness in Brazil: an overview. Sharing agribusiness knowledge to create value. Recuperado de: <https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/setores-atividade/assets/agribusiness/2013/pwc-agribusiness-brazil-overview-13.pdf>
- [5] Huamanchumo de la Cuba, C. (2013). La cadena de valor del maíz en el Perú. Diagnóstico del estado actual, tendencias y perspectivas. *IICA*. ISBN: 978-92-9248-499-6. <http://www.iica.int/es/content/lacadenadevalordema%C3%ADz-en-el-per%C3%BA>
- [6] Rivera, R. (2014). Cadenas de valor de maíz blanco y frijol en Centroamérica. Actores, problemas y acciones para su competitividad. *IICA, RED SICTA*. Recuperado de: <http://www.iica.int/es/content/lascadenasdevalordema%C3%ADzblancoyfrijolencentroam%C3%A9ricaactoresproblemasyacciones>.
- [7] MAGAP. (2014). Boletín Situacional de Maíz Duro seco 2014. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador, Coordinación General de Sistemas de Información Nacional. Recuperado de: <https://bit.ly/2LT0438>
- [8] ODEPA. (2017). Precios futuros y FOB golfo de trigo y maíz. Recuperado de: <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/precios-futuros-y-fob-golfo-de-trigo-y-maiz>
- [9] INFOAGRO. (2018). El cultivo del maíz (primera parte). Recuperado de: <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.htm>

a prevenir enfermedades degenerativas como el cáncer. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del procesamiento en el contenido de compuestos y la actividad antioxidante del grano y raquis de las variedades de maíz: INIAP-199 y Sangre de Cristo. En estado crudo, el grano de INIAP-199 presentó el mayor contenido de fenoles ($276.24 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) y antocianinas totales ($241.97 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$), zinc ($3.72 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) y carotenoides ($281.42 \text{ ug} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). Igualmente, en el raquis de esta variedad se registró un mayor contenido de flavonoides ($210.73 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), taninos ($100.54 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) y ácido ascórbico ($503.87 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$). El extracto del raquis de INIAP-199 presentó un mayor poder antioxidante reductor férrico ($1.92 \text{ mg} \cdot \text{ml}^{-1}$), este valor superó al extracto del grano ($2.90 \text{ mg} \cdot \text{ml}^{-1}$). En los extractos del raquis y grano de la variedad Sangre de Cristo se registró una menor capacidad para reducir el ión férrico (6.59 y $6.92 \text{ mg} \cdot \text{ml}^{-1}$), lo cual podría guardar relación con la menor concentración de compuestos fenólicos en sus extractos. En general, el proceso de remojo afectó en menor grado a la concentración de compuestos con capacidad antioxidante del grano, el efecto contrario se determinó con el perlado, lo que hace suponer que los componentes con las mencionadas propiedades se concentran en el pericarpio del grano.

Palabras clave: Antioxidantes, Antocianinas, Fenoles, Flavonoides, Radicales libres

INTRODUCCIÓN

En la sierra ecuatoriana se han identificado 17 razas criollas de maíz, entre ellas se encuentran las variedades INIAP-199 y Sangre de Cristo, los cuales han sido cultivados por los agricultores, campesinos e indígenas de la sierra alto andina desde la época de la colonia hasta nuestro tiempo y lo vienen empleando para el consumo en fresco en la elaboración de bebidas y harinas [1].

En los últimos años países industrializados como Japón, Alemania y USA investigan el gran potencial en la utilización de variedades de color oscuro, como fuente de pigmentos naturales para alimentos y bebidas. La coloración morada o negra que presentan las plantas, corontas y pericarpio de los granos de maíz, son el resultado de un trabajo complejo realizado por muchos genes ubicados en diferentes cromosomas, lo que da como resultado la formación de pigmentos antocianínicos de diferente color, los mismos que al combinarse forman el color púrpura [2]. La antocianina que se encuentra en mayor proporción en el maíz negro, es la cianidina-3- β -glucósido, que junto con otros compuestos como los carotenoides, la vitamina C, el zinc y los taninos, han sido valorados por sus propiedades antioxidantes [3]. Su función primordial es proteger al organismo del daño oxidativo que causan los radicales libres, los que alteran el buen funcionamiento de las células del organismo, atacando componentes estructurales claves de las mismas, como lípidos y proteínas de la membrana celular, enzimas e incluso al ADN, responsable del funcionamiento y renovación celular [4]. El daño oxidativo es el responsable de enfermedades de carácter degenerativo, cardiovasculares, cataratas, envejecimiento precoz y cáncer, todas las cuales actualmente son la principal causa de muerte [5]. El objetivo del presente estudio fue evaluar el impacto del procesamiento en la concentración de compuestos con propiedades antioxidantes del grano y raquis de dos variedades de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental "Santa Catalina, EESC", localizada en la provincia de Pichincha, Cantón Mejía, Parroquia Cutuglagua. Se trabajó con el grano y el raquis de las variedades de maíz: INIAP-199 "racimo de uva" y "Sangre de Cristo". La primera es una variedad semi tardía, su ciclo vegetativo está entre 240 a 260 días, su rendimiento varía de 2 a 4 t.ha⁻¹, dependiendo del manejo agronómico y las condiciones ambientales. El método de mejoramiento utilizado para la generación de la variedad fue el mejoramiento poblacional, selección de Medios Hermanos (MH), modalidad familias mazorca por surco. La principal característica de esta variedad es el color morado oscuro de la mazorca y el grano, éste es de tipo redondo, semejante a un racimo de uva. La variedad "Sangre de Cristo", es originaria de la provincia de Cotopaxi, su ciclo vegetativo está entre 260-270 días, su rendimiento es de 2.2 t.ha⁻¹, el grano es alargado y de color rojizo [2]. Los dos materiales fueron proporcionados por el Programa de Maíz, EESC, con un contenido de humedad del 15%. Los procesos que se aplicaron tanto al grano como al raquis fueron: remojo en agua a 17 °C por 10 horas, cocción en agua a 91 °C por 1 hora, en olla abierta, cocción con vapor a 121 °C, 15 psi por 20 minutos, en un autoclave marca *Webeco* y perlado del grano en un equipo *Strong Scott 07810*, durante 2 minutos. Después de cada proceso, tanto el grano como el raquis fueron liofilizados en un equipo *Labconco* (-40 °C, -1 Barr), entonces el contenido de humedad de las muestras se redujo a 4.5%. Las muestras fueron molidas en un molino de cuchillas, marca *Retsch GM 200*, a un tamaño de partícula de 200 µm, luego se envasaron en recipientes herméticos y se almacenaron a 5 °C, hasta los análisis químicos. Las determinaciones espectrofotométricas, excepto el Zinc, se realizaron en un espectrofotómetro UV-Visible, Evolution 201, marca *Thermo Scientific*. En estado crudo y procesado, se cuantificó los siguientes compuestos químicos:

Fenoles totales

El método de determinación se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo Folin-Ciocalteu, a pH básico, dando lugar a una coloración azul susceptible de ser determinada espectrofotométricamente a 765 nm. Este reactivo contiene una mezcla de wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico que reaccionan con los compuestos fenólicos presentes en la muestra. El ácido fosfomolibdotúngstico (formado por las dos sales en medio ácido) de color amarillo, al ser reducido por los grupos fenólicos da lugar a un complejo de color azul, cuya intensidad se mide para evaluar el contenido en fenoles totales. Esta prueba es específica para fenoles totales. La diferenciación más pequeña de absorbancia para la prueba es 0.010 unidades de absorbancia. Esta corresponde a 1g de ácido gálico de solución de la muestra a un volumen máximo de 1 ml. El límite de detección es 1 g de ácido gálico. La prueba es lineal en el rango 5 a 100 g de ácido gálico por prueba. Para determinaciones en duplicado usando una solución de la muestra, la diferencia en la absorbancia es de 0.005 a 0.010. Con un volumen de muestra de 1 ml, esto corresponde a una concentración de ácido gálico de aproximadamente 0.05 a 1 mg.ml⁻¹ de solución de muestra. Si la muestra es diluida durante su preparación, el resultado se multiplica por el factor de dilución [6]

Flavonoides totales

La determinación se basa en la reacción de coloración de estos compuestos con tricloruro de aluminio; el complejo formado presenta absorbancia en el espectro ultravioleta, por lo que puede ser cuantificado mediante la técnica de espectrofotometría UV-visible. Esta prueba es específica para flavonoides totales. La diferenciación más pequeña de absorbancia para la prueba es 0.008 unidades de absorbancia. Esta corresponde a 1 g de quercetina de solución de la muestra a un volumen máximo de 1 ml. El límite de detección es 1 g de quercetina. La prueba es lineal en el rango 2 a 100 g de quercetina por prueba. Para determinaciones en duplicado usando una solución de la muestra, la diferencia en la absorbancia es de 0.005 a 0.010. Con un volumen de muestra de 1ml, esto corresponde a una concentración de quercetina de aproximadamente 0.05 a 1 mg.ml⁻¹ de solución de muestra. Si la muestra es diluida durante su preparación, el resultado se multiplica por el factor de dilución [7].

Antocianinas totales

La cuantificación se realizó por el método de pH diferencial, el cual se basa en la transformación estructural de las antocianinas con el cambio de pH. La extracción de antocianinas totales se realiza con una solución de etanol y HCl mientras que la cuantificación se realiza espectrofotométricamente. Se realizó un barrido espectral de 400 a 700 nm [8]. Se estableció una correlación lineal significativa entre los valores de la concentración y la absorbancia, puesto que el valor de t_c (168.285) calculado es superior al valor t obtenido de tablas (3.18) con un 95% confianza.

Taninos

La determinación se realizó a partir de un extracto acuoso, el cual reacciona con el reactivo Folin-Denis en medio alcalino. Se utilizó ácido tánico como estándar y se realizaron las lecturas en un espectrofotómetro UV- VIS a 680 nm. Esta prueba es específica para taninos totales. La diferenciación más pequeña de absorbancia para la prueba es 0.010 unidades de absorbancia. Esta corresponde a 1g de ácido tánico de solución de la muestra a un volumen máximo de 1 ml. El límite de detección es 1g de ácido tánico. La prueba es lineal en el rango 1 a 50 g de ácido tánico por prueba. Para determinaciones en duplicado usando una solución de la muestra, la diferencia en la absorbancia es de 0.005 a 0.010. Con un volumen de muestra de 1ml, esto corresponde a una concentración de ácido tánico de aproximadamente 0.005 a 1 mg.ml⁻¹ de solución de muestra. Si la muestra es diluida durante su preparación, el resultado se multiplica por el factor de dilución [9].

Ácido ascórbico

Se determinó por espectrofotometría. En este método, el ácido ascórbico de la muestra reacciona con el 2,6 dicloroindofenol (2,6 DCIP) y lo reduce. Conforme el 2,6 DCIP es reducido, su coloración azul característica disminuye hasta rojo. El cambio de coloración es registrado a 520 nm y la concentración de ácido ascórbico de la muestra se calcula usando una curva de calibración que emplea el L-ácido ascórbico como estándar. Esta prueba es específica para ácido ascórbico. La diferenciación más pequeña de absorbancia para la prueba es 0.010 unidades de absorbancia. Esta corresponde a 1 g de



ácido L-ascórbico de solución de la muestra a un volumen máximo de 1 ml. El límite de detección es 1 g de ácido L-ascórbico. La prueba es lineal en el rango 5 a 200 g de ácido L-ascórbico por ml. Para determinaciones en duplicado usando una solución de la muestra, la diferencia en la absorbancia es de 0.005 a 0.010. Si la muestra es diluida durante su preparación, el resultado se multiplica por el factor de dilución [10].

Zinc

Las muestras fueron incineradas y luego sometidas a digestión ácida, el digerido se aforó a 100 ml y se realizó el análisis de zinc [10]. Se realizó una curva de calibración, con los valores obtenidos de la lectura del estándar (concentración vs. absorbancia). Los valores de absorbancia se midieron en un espectrofotómetro GFA-7000, marca *Shimadzu*, se interpolaron en la curva de calibración, considerando la respectiva dilución. Se estableció un valor de pendiente de la curva (0.0042) y de la ordenada en el origen (0.0124). Se determinó que los valores de la desviación estándar de la pendiente y desviación estándar de la ordenada en el origen, corresponden a 0.01 y 0.572, respectivamente. Con base a estos datos, se establecieron los límites de confianza con un 95% de significación mediante el parámetro estadísticos "t student"

Carotenoides totales

Se determinó espectrofotométricamente a 450 nm, basados en el coeficiente de extinción (E1%) de estos compuestos en éter de petróleo. La extracción se realiza con acetona y para la determinación se transfieren los carotenoides a éter de petróleo previa saponificación, la cual ayuda a liberar los carotenoides esterificados. La cuantificación de carotenoides totales se realiza por espectrofotometría a 450 nm, usando el coeficiente de absorción recomendado para mezclas de carotenoides (2500). Esta prueba es específica para carotenoides totales. La diferenciación más pequeña de absorbancia para la prueba es 0.010 unidades de absorbancia. Esta corresponde a 1g de carotenoides totales de solución de la muestra a un volumen máximo de 1 ml. El límite de detección es 1 g de carotenoides totales. Para determinaciones en duplicado usando una solución de la muestra, la diferencia en la absorbancia es de 0.005 a 0.010. Con un volumen de muestra de 1 ml, esto corresponde a una concentración de carotenoides totales de aproximadamente 0.01 a 1 mg.ml⁻¹ de solución de muestra. Si la muestra es diluida durante su preparación, el resultado se multiplica por el factor de dilución [11].

Capacidad antioxidante

El análisis se basa en el poder reductor de un antioxidante que reduce el ion férrico (Fe³⁺) a ion ferroso (Fe²⁺). De este modo se genera una coloración de intensidad proporcional a la actividad reductora de la muestra. La capacidad para reducir el hierro se considera un índice del poder antioxidante de la muestra. El poder reductor de los extractos guarda una relación directa con el valor de la absorbancia. En este método conocido como FRAP, el valor EC50 (mg extracto.ml⁻¹) es la concentración efectiva a la cual la absorbancia es la mitad del poder reductor, por lo que valores inferiores a 10 mg.ml⁻¹ se traducen en una mejor capacidad antioxidante. En esta prueba la diferenciación más pequeña es 0.010 unidades de absorbancia. Esta corresponde a 1 mg de extracto de la muestra aforado a un volumen de 1 ml. El límite de detección es 1 mg de cloruro

férrico. La prueba es lineal en el rango 1 a 50 mg.ml⁻¹ por prueba. Para determinaciones en duplicado usando una solución de la muestra, la diferencia en la absorbancia es de 0.005 a 0.010. Si la muestra es diluida durante su preparación, el resultado se multiplica por el factor de dilución [12].

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en el Programa InfoStat [13]. La distribución normal de los datos se verificó a través de la prueba de bondad de ajuste de Shapiro-Wilks. Para el análisis de resultados relacionados con los compuestos y propiedades antioxidantes del grano y raquis en estado crudo, se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), con tres repeticiones. Para las variedades procesadas se aplicó un DCA en arreglo factorial 2x2x4 con tres repeticiones.

RESULTADOS

Se determinó diferencias significativas en el contenido de fenoles totales, flavonoides, antocianinas totales, taninos, ácido ascórbico, zinc y carotenoides totales del grano y raquis entre las dos variedades de maíz, en estado crudo. Los mayores contenidos de estos compuestos se registraron en el grano y raquis de la variedad INIAP-199, a excepción de los carotenoides totales del raquis, que se presentaron en mayor concentración en la variedad Sangre de Cristo (63.32 µg.100 g⁻¹). El análisis comparativo realizado entre el grano y el raquis de INIAP-199, determina que en estas últimas se presentó un mayor contenido de compuestos con propiedades antioxidantes (flavonoides, antocianinas, taninos y ácido ascórbico) mientras que en el grano predominaron los fenoles totales, el zinc y carotenoides, como se muestra en la Tabla 1. Estos resultados incidieron en la mayor capacidad antioxidante tanto del raquis como del grano de INIAP-199, como se muestra en la Tabla 2.

TABLA 1. Contenido de compuestos con propiedades antioxidantes en dos variedades de maíz, en estado crudo.

Compuesto (mg.100 g ⁻¹ , base seca)	Grano		Raquis	
	INIAP-199	Sangre de Cristo	INIAP-199	Sangre de Cristo
Fenoles totales	276.24 ± 1.80 ^a	245.83 ± 0.90 ^d	270.82 ± 1.80 ^b	260.86 ± 1.80 ^c
Flavonoides	200.91 ± 1.40 ^b	10.13 ± 0.07 ^d	210.73 ± 1.40 ^a	77.73 ± 0.40 ^c
Antocianinas totales	426.72 ± 12.90 ^b	32.38 ± 0.10 ^d	1052.60 ± 11.60 ^a	65.04 ± 1.20 ^c
Taninos	69.90 ± 0.20 ^b	7.64 ± 0.20 ^d	100.54 ± 0.40 ^a	33.14 ± 0.20 ^c
Ácido ascórbico	117.58 ± 0.10 ^c	104.01 ± 0.10 ^d	503.87 ± 0.10 ^a	260.61 ± 0.10 ^b
Zinc	3.72 ± 0.20 ^a	2.72 ± 0.20 ^b	2.98 ± 0.20 ^b	2.80 ± 0.20 ^b
Carotenoides totales (µg.100 g ⁻¹)	281.42 ± 6.60 ^a	85.45 ± 6.60 ^b	55.03 ± 6.60 ^c	63.32 ± 6.50 ^c

Los datos representan la media de tres determinaciones. Las medias con letras diferentes en una misma fila indican



diferencias significativas (p<0.05)

TABLA 2. Capacidad antioxidante de dos variedades de maíz en estado crudo

Variedad	Parte	Capacidad antioxidante (mg.ml ⁻¹ Base Seca)
INIAP-199	Grano	2.90 ± 0.12 ^b
	Raquis	1.92 ± 1.8 ^a
Sangre de Cristo	Grano	6.92 ± 0.2 ^d
	Raquis	6.59 ± 0.2 ^c

Los datos representan la media de tres determinaciones. Las medias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (p<0.05).

TABLA 3. Efecto del procesamiento en el contenido de compuestos antioxidantes de dos variedades de maíz

Parte/Variedad	Proceso	Fenoles Totales	Flavo-noides	Antocia-ninas Totales	Taninos	Ácido ascórbico	Zinc	Carote-noides Totales
(mg.100 g ⁻¹ base seca)								(µg.100 g ⁻¹ base Seca)
Grano INIAP-199	Macerado en agua	253.55 ^a	0.66 ^{ab}	329.67 ^b	15.32 ^b	44.01 ^b	3.55 ^a	77.30 ^a
	Cocido a presión normal	101.70 ^d	0.37 ^{ab}	88.09 ^c	9.66 ^c	32.42 ^d	2.61 ^b	26.44 ^e
	Cocido con vapor	119.72 ^b	0.95 ^a	400.98 ^a	18.86 ^a	35.83 ^c	2.59 ^b	66.46 ^b
	Perlado	39.25 ^g	0.20 ^b	3.70 ^g	1.48 ^f	25.61 ^f	2.99 ^{ab}	40.37 ^d
Grano Sangre de Cristo	Macerado en agua	69.07 ^e	0.20 ^b	30.19 ^d	3.67 ^{de}	94.67 ^a	2.49 ^b	60.69 ^c
	Cocido a presión normal	67.53 ^f	0.20 ^b	12.67 ^f	3.14 ^e	31.55 ^e	2.42 ^b	20.22 ^f
	Cocido con vapor	102.51 ^c	0.20 ^b	29.00 ^e	3.97 ^d	32.82 ^d	2.52 ^b	16.86 ^g
	Perlado	36.29 ^h	0.20 ^b	1.54 ^h	1.63 ^f	31.28 ^e	2.31 ^b	13.81 ^h
Raquis INIAP-199	Macerado en agua	245.29 ^a	0.42 ^a	199.37 ^a	27.02 ^a	87.14 ^d	2.90 ^{ab}	53.78 ^b
	Macerado en la mezcla agua-etanol (1:1)	57.85 ^f	0.37 ^{ab}	86.82 ^c	10.55 ^e	89.40 ^c	2.36 ^{bc}	45.15 ^d
	Macerado en la mezcla agua-etanol (7:3)	73.78 ^d	0.35 ^a	72.94 ^d	19.20 ^c	152.90 ^a	2.79 ^{ab}	40.51 ^f
	Cocción a presión normal	90.33 ^c	0.49 ^a	155.76 ^b	21.35 ^b	53.06 ^g	2.47 ^{abc}	22.97 ^h
Raquis Sangre de Cristo	Macerado en agua	166.48 ^b	0.22 ^b	17.72 ^e	14.91 ^d	146.46 ^b	2.70 ^a	60.86 ^a
	Macerado en la mezcla agua-etanol (1:1)	42.31 ^h	0.20 ^b	18.10 ^e	10.60 ^e	82.28 ^e	2.30 ^{bc}	51.38 ^c
	Macerado en la mezcla agua-etanol (7:3)	43.36 ^g	0.25 ^b	8.67 ^g	10.14 ^e	64.29 ^f	2.19 ^{bc}	44.33 ^e
	Cocción a presión normal	59.76 ^e	0.20 ^b	15.27 ^f	8.80 ^f	27.33 ^h	2.03 ^c	25.80 ^g

Los datos representan la media de tres determinaciones. Superíndices diferentes en una misma columna indican diferencias significativas (p<0.05)

Las diferentes condiciones de procesamiento afectaron a los compuestos químicos del grano y el raquis, por lo que se determinaron diferencias significativas en los compuestos antioxidantes evaluados (Tabla 3). El zinc fue el componente que experimentó menos pérdidas durante el procesamiento del grano y el raquis; en contraste los flavonoides sufrieron las mayores pérdidas, al igual que el ácido ascórbico, los fenoles totales y antocianinas, lo que influyó en la disminución de la capacidad antioxidante de los materiales procesados, con relación a los crudos como se observa en la Tabla 4.

TABLA 4. Efecto del procesamiento en la capacidad antioxidante de dos variedades de maíz.

Variedad	Componente	Proceso	Capacidad antioxidante (mg.ml ⁻¹)
INIAP-199	Grano	Remojo en agua	6.37 ^a
		Cocido a presión normal	26.13 ^g
		Cocido a vapor	8.63 ^b
	Raquis	Remojo en agua	13.40 ^c
		Remojo en la mezcla agua (50%)-etanol (50%)	16.61 ^c
		Remojo en la mezcla agua (70%)-etanol (30%)	16.97 ^c
		Cocido a presión normal	21.90 ^d
Sangre de Cristo	Grano	Remojo	18.29 ^d
		Cocido a presión normal	19.54 ^d
		Cocido a vapor	23.42 ^f
		Perlado	28.02 ^h
	Raquis	Remojo en agua	22.70 ^e
		Remojo en la mezcla agua (50%)-etanol (50%)	24.50 ^f
		Remojo en la mezcla agua (70%)-etanol (30%)	25.37 ^g
		Cocido a presión normal	30.02 ^h

Los datos representan la media de tres determinaciones.
Superíndices diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

DISCUSIÓN

En estado crudo, el grano y el raquis de la variedad INIAP-199, presentaron el mayor contenido de compuestos con propiedades antioxidantes, con relación a la variedad "Sangre de Cristo". Para los fenoles totales se registró 276.24 mg ácido gálico.100g⁻¹, en el grano y 270.82 mg.100g⁻¹ en el raquis; estos valores son similares a los reportados por otros autores [15-16].

Los flavonoides, las antocianinas totales, los taninos y el ácido ascórbico se presentaron en mayor concentración en el raquis de INIAP-199, con valores de 210.73 mg querce-



tina.100g⁻¹, 1052.60 mg.100g⁻¹, 100.54 mg.100g⁻¹ y 503.87 mg.100g⁻¹, respectivamente; mientras que en el grano se registraron los siguiente contenidos: flavonoides totales 200.91 mg.100 g⁻¹, antocianinas 426.72 mg.100 g⁻¹, taninos 69.90 mg.100g⁻¹ y para el ácido ascórbico 117.58 mg.100g⁻¹. Estos valores se enmarcan en el rango reportado por varios autores [16]. El zinc y los carotenoides totales también sobresalieron en el grano de INIAP-199, con valores de 3.72 mg.100g⁻¹ y 281.42 µg.100g⁻¹. Sin embargo, el contenido de zinc, es menor que el valor reportado por otros autores para especies, como el sangorache (Zinc, 4.59 mg.100g⁻¹) [15]. En cuanto, a la capacidad antioxidante, el raquis de la variedad INIAP-199, presentó el mayor valor (1.92 mg.ml⁻¹), lo cual se correlacionó con la mayor concentración de compuestos antioxidantes en esta fracción de la planta. Los estudios realizados por varios investigadores muestran la participación específica de los flavonoides en la actividad antioxidante de los vegetales e indican que la naturaleza química de estos compuestos ayuda a predecir su actividad estabilizante de radicales libres, debido a que los potenciales reductores de sus radicales son más bajos que aquellos de los radicales peroxilos y superóxido, lo que significa que estos metabolitos secundarios pueden inactivar dichas especies pro-oxidantes y prevenir así sus efectos dañinos [16-19]. El procesamiento provocó una pérdida sustancial de todos los compuestos referidos en este estudio. Los fenoles totales del grano disminuyeron un 70% por efecto del perlado, lo que hace suponer que estos compuestos se localizan en el epicarpio y mesocarpio del grano, componentes que se eliminaron durante la operación de perlado.

Una pérdida del 50.47% de fenoles totales, se determinó en el raquis de INIAP-199, maceradas en una solución hidro-etanólica en proporción 1:1, lo cual refleja la solubilidad de estos compuestos en solventes polares y el grado en el cual pueden estar esterificados y/o glicosilados. La maceración acuosa, fue el proceso menos deletéreo para los compuestos antioxidantes tanto del grano como de las corontas en relación a los materiales cocidos y perlados. En los primeros coadyuva el efecto de la temperatura y en los segundos el desprendimiento del pericarpio. En general, los flavonoides, taninos, ácido ascórbico y carotenoides totales experimentaron pérdidas entre 50% a 80% por efecto de los procesos aplicados. El zinc, fue el compuesto más estable en el procesamiento, registrándose pérdidas del 4.56% y 2.68% en la maceración acuosa del grano y raquis, respectivamente.

La cantidad de antioxidante necesaria para reducir en un 50% la cantidad de radicales libres IC50 para las corontas de INIAP-199 fue 1.92 mg.ml⁻¹. Según el método FRAP, valores inferiores a 10 mg.ml⁻¹ se traducen en una mejor capacidad antioxidante. En general los extractos metanólicos de la variedad INIAP-199 (grano y raquis), presentaron una mayor capacidad antioxidante que los extractos de grano y corontas de la variedad Sangre de Cristo con 6.92 mg.ml⁻¹ y 6.59 mg.ml⁻¹. Entre los procesos de cocción, la operación con vapor preservó un mayor contenido de compuestos bioactivos; en la cocción a presión normal se determinó una mayor pérdida, atribuible a la hidrosolubilidad y termolabilidad de la mayoría de compuestos considerados en este estudio [20].

El proceso de menor afectación en la capacidad antioxidante fue la maceración acuosa del grano de INIAP-199, para cuyos extractos, se determinó un valor de 6.37 mg.ml⁻¹, concentración efectiva a la cual la absorbancia fue la mitad del poder reductor.

En conclusión, se analizaron los compuestos funcionales de dos variedades de maíz y las actividades antioxidantes de sus extractos. Se determinó que existe una relación general entre el contenido de fenoles totales, flavonoides, antocianinas totales, taninos, ácido ascórbico, zinc y el nivel de actividad antioxidante relativa. El raquis de la variedad INIAP-199, en estado crudo, mostró mayor cantidad de los mencionados compuestos y consistentemente exhibe la mayor capacidad antioxidante ($1.92 \text{ mg}\cdot\text{ml}^{-1}$). Esta fracción de la planta es objeto de estudios más profundos sobre su efecto potencial como promotor de la salud, así como de la identificación de los compuestos fenólicos responsables de las actividades antioxidantes. De los procesos tecnológicos considerados en este estudio, se destaca que la maceración acuosa a 17°C afecta en menor grado a los compuestos y actividad antioxidante, con relación a los procesos de cocción en los que coadyuva la temperatura y la pérdida de compuestos localizados en el pericarpio en la operación de perlado del grano.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), por el apoyo financiero para realizar la presente investigación. Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP- Programa de Maíz, (Estación Experimental Santa Catalina), por la provisión oportuna de las variedades de maíz para realizar el estudio. Un resumen del presente trabajo se presentó en la XXII Reunión latinoamericana de Maíz.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Elena Villacrés; mentalizó la investigación, diseñó los experimentos, redactó el manuscrito y participó como tutor y revisor de los resultados. Irma Tanquina realizó los ensayos de laboratorio, la toma de datos y análisis estadístico de resultados. María Belén Quelal participó en la validación de las metodologías aplicadas. Javier Álvarez, contribuyó en el desarrollo de ensayos de laboratorio. Carlos Yáñez participó en la verificación del análisis estadístico de resultados. Milton Ramos contribuyó en la revisión de los resultados de la investigación.

REFERENCIAS

- [1] Yáñez, C. (2003). *Informe final del proyecto IQ-CV-046: Manejo de los Recursos Genéticos de maíz*. Quito, Ecuador: INIAP.
- [2] Yáñez, C., Zambrano, J., Caicedo, M., Heredia, J., Sangoquiza, C., Villacrés, E., Racines, M., Caballero, D. (2016). *Ficha Técnica de la Variedad de maíz negro INIAP-199 "Racimo de Uva"*. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Maíz.
- [3] Yoshida, K., Y., Sato, R., Okuno, K., Kameda, M., Isobe, y Kondo, T. (1996). Structural analysis and measurements of anthocyanins from coloured seed coats of Vigna, Phaseolus and Glycine legumes. *Biosci. Biotech. Biochem.* 60(4),589-593.
- [4] Martínez, P. A. H., Naranjo, F. A., y Nugaray, A. J. (2003). Antocianinas, flavonoides y ácidos fenólicos presentes en frijol negro Querétaro y Mayocoba y su estabilidad durante el cocimiento industrial [Anthocyanins, flavonoids and phenolic acids present in Querétaro and Mayocoba black beans and their stability during industrial cooking]. In *Proceedings of the X Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería [X National Congress of Biotechnology and Bioengineering]* (pp. 8-12). Puerto Vallarta Jalisco, México: Proceedings of the X Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería
- [5] Joshua, D., Lambert, Chung, S., Yang. (2003). Cancer chemopreventive activity and bioavailability of tea and tea polyphenols. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis. Volumes*, 523-524,201-208.
- [6] Garry, G. D., Susan, J. D., y Janet, A. M. (2000). Plant polyphenols in cancer and heart disease: implications as nutritional antioxidants. *Nutrition Research Reviews*, 79-106.
- [7] Taga, M., Miller, E. E., Pratt, D. E. (1987). Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. *Journal of American Oil Chem. Society*, (61), 928-931.
- [8] Quettier-Deleu, C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, C., Luyckx, M., et al. (2000). Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of Ethnopharmacology*, 35-42.
- [9] Giusti, M., Wrolstad, R. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. En R.Wrolstad, T. Acree, H. An, E. Decker, M. Penner, D. Reid, S. Schwartz, C. Shoemaker, P. Sporns (Eds.), *Current Protocols in Food Analytic Chemistry*. New York, United States of America: Wiley.
- [10] A.O.A.C. (2000). *Manual on Policies and Procedures*. Association of Official Analytical Chemist. Arlington, Estados Unidos: A.O.A.C.
- [11] Klein, B., y Perry, A. K. (1982). Ascorbic acid and vitamin A activity in selected vegetables from different geographical areas of the United States. *Journal of Food Science*, (47), 941-948.
- [12] Rodríguez, Amaya, Mieko, Kimura. (2004). *Harvest Plus Technical Monograph 2: Handbook for carotenoid analysis*. Washington, DC and Cali: International Food Policy Research Institute (IFPRI) and International Center for Tropical Agriculture (CIAT).
- [13] Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzales, L., Robled, C. (2016). *InfoStat versión 2015 (computer Program)*. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat. Universidad Nacional de Córdoba.
- [14] Oyaizu, M. (1986). Studies on products of the browning reaction: Antioxidative activities of browning reaction products prepared from glucosamine. *Japanese Journal of Nutrition*, (44), 307-315.
- [15] Tanquina, I. (2013). *Efecto de la especie y el procesamiento sobre el contenido de compuestos y propiedades antioxidantes del maíz (Zea mays L.) negro, frejol (Phaseolus vulgaris L.) negro, sangorache (Amaranthus spp.), de papas nativas (Tuberosum grupo andigenum)* (Tesis de Ingeniería). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- [16] Mex-Alvarez, R., Bolívar-Fernández, N., Garma-Quen, P., Tut-Heredia, J., y Romero, K. (2013). Actividad antioxidante de cinco variedades de maíz, cultivadas en Campeche, México. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/856/85629226001/>
- [17] López-Martínez, L., García-Galindo, H. (2009). *Actividad antioxidante de extractos metanólicos y acuosos de distintas variedades de maíz mexicano*. Guanajuato, México: Nova scientia

- [18] Giraldo, B., Hernández, M. M., Angulo, P, y Fuertes, C. (2003). Actividad antinitrosativa y antiinflamatoria de los flavonoides de las hojas de *Uncaria tomentosa* Willd. D.C. (Uña de gato). *Rev. Soc. Quím. Perú.*, 69 (4), 229-242.
- [19] Murillo, E., Tique, M., Ospina, L. F., y Lombo, Ó. (2006). Evaluación preliminar de la actividad hipoglucemiante en ratones diabéticos por aloxano y capacidad antioxidante in vitro de extractos de *Bauhinia kalbreyeri* Harms. *Rev. Col. Cienc. Quím. Farm.*, (35), 64-80.
- [20] Kähkönen, M., Anu, I., Heikki, J., Vuorela, Jussi-Pekka, R., Kalevi, P., Tutti, S. K., y Heinonen, M. (1999). Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.*, (47), 954-962.
- [21] Dinis, T., Madeira, V., Almerida, L. (1994). Action of Phenolics derivatives (acetaminophen, salicylate and 5-amino-salicylate) as inhibitors of membrane lipid peroxidation and as peroxy radical scavengers. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, (315), 161-169.
- [22] Shimada, K., Fujikawa, K., Yahara, K., Nakamura, T. (1992). Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (40), 945-948.

perficie sembrada fue de 485696 hectáreas con una producción de 1`667704 toneladas y un rendimiento de 3.17 t.ha⁻¹. En la actualidad, la producción nacional está orientada principalmente a los tipos duro y suave de color amarillo; el rendimiento promedio del maíz amarillo duro en los años 2015 y 2016, considerando dos ciclos de siembra fue de 5.76 t.ha⁻¹ según estimaciones del Ministerio de Agricultura; estas mejoras en la productividad podrían atribuirse principalmente a dos factores: utilización de semilla de híbridos de alto potencial de rendimiento y una política de precios mínimos de sustentación para el productor, que permitieron incrementar significativamente los ingresos de pequeños y medianos productores de maíz. Un sistema de producción de este cereal requiere obtener el máximo beneficio de cada insumo que inicia con la semilla, ya que, una población adecuada garantiza la obtención de óptimos rendimientos. Las nuevas leyes de semillas y su reglamento promulgadas en el 2017, permitirán diseñar programas de certificación para la promoción, acondicionamiento, almacenamiento y distribución de semilla de calidad para la producción agrícola del Ecuador y contribuirán a la soberanía y seguridad alimentaria del país. Por otra parte, al sector maicero ecuatoriano se le presentan nuevas oportunidades para su desarrollo debido a la ley y reglamento de agro biodiversidad, semillas y fomento de la agricultura sustentable que garantiza y promueve la producción y productividad; disponibilidad de tecnología en híbridos de alto potencial de rendimiento; aumento de la oferta y demanda de semilla de calidad; creación de un fondo que promueve la investigación en semillas; la apertura a la investigación con organismos genéticamente modificados; y, la apertura comercial a la Unión Europea y a los Estados Unidos.

Palabras clave: Híbridos, Ley de Semillas, Productividad

Entorno político

El sector agrícola ecuatoriano, denominado sector primario dentro de la economía, es una de las actividades económicas más importantes especialmente por su representatividad en el Producto Interno Bruto (PIB) que en el año 2014 aportó con el 7.33% de la riqueza del país [13]. Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), los retos más relevantes que el sector agropecuario deberá enfrentar en las zonas rurales son: la inequidad en el acceso, distribución y gestión de riego; las barreras en el acceso a los canales de comercialización e información de precios por parte de los agricultores; la insuficiencia de recursos económicos asignados a la investigación, desarrollo tecnológico, e innovación; el limitado desarrollo de los mercados de productos e insumos para la producción agropecuaria; la débil institucionalidad pública y privada; y la falta de asignación de prioridad fiscal al sector agrícola [8].

En este mismo aspecto, el MAG plantea como objetivos estratégicos para un desarrollo eficaz y eficiente del sector agropecuario las siguientes políticas para el sector: contribuir a reducir la pobreza y vulnerabilidad socioeconómica de los habitantes rurales, particularmente, mejorar la inclusión social de aquellos agricultores de pequeña y mediana escala; mejorar la contribución de la agricultura para garantizar la seguridad alimentaria y nutricional de la población en cada zona (en el presente y futuro); y



potenciar la contribución de la agricultura al desarrollo rural y al crecimiento económico nacional. Así mismo, debe considerarse la importancia que tienen las tendencias mundiales y los desafíos futuros en lo que respecta al incremento de la población mundial, y por lo tanto, en la demanda de alimentos; a la seguridad y escasez energética; el encarecimiento de los alimentos y elevada volatilidad de los precios; al cambio de las estructuras agrarias, la agro-industrialización y globalización de la producción de alimentos; al cambio y evolución de las políticas comerciales; y al incremento de la vulnerabilidad para la producción agrícola debido al cambio climático [8, 2].

La semilla y los sistemas para garantizar la calidad de las semillas

La semilla constituye el material de partida para la producción agrícola y es indispensable que esta tenga una buena respuesta a las condiciones de siembra y que promueva la formación de plantas vigorosas con la finalidad de alcanzar el máximo rendimiento. Así mismo, este insumo es el principal componente para la producción y abastecimiento de alimentos, lo que representa un significativo desafío en la historia de la humanidad, ya que, tiene que alimentar a una población que supera los 6 billones de habitantes de los cuales 17 millones son ecuatorianos [3]. Para enfrentar un desafío de tal naturaleza, se debe adoptar tecnologías modernas que garanticen la máxima utilización de los potenciales genéticos en el área de la fitotecnia. Los nuevos y más productivos cultivares desarrollados a través del mejoramiento genético de las plantas necesitan de un vehículo de diseminación de sus características agronómicas y morfológicas hacia el agricultor; la semilla es el único puente estable y responsable del traslado de estas características y es una entidad organizada, con un contenido de informaciones genéticamente codificadas, que se transmiten de forma estable y continua y es la forma más eficiente y práctica de preservar las especies [3, 6].

Las semillas son el punto de partida de la producción agrícola y requiere de controles específicos de calidad para obtener un producto que transmita estas cualidades de generación en generación. Los atributos de calidad están relacionados con la genética, la pureza física, la fisiología y la sanidad; todos estos atributos permiten garantizar una agricultura productiva y eficiente a partir de una semilla de calidad. Las leyes de semillas y sus reglamentos deben proporcionar estándares mínimos de calidad de las mismas para garantizar al usuario que la calidad que exige es la calidad que recibe. Por otra parte, los programas de certificación de semilla tienen estándares más cercanos a los exigidos por el mercado, que los estándares mínimos establecidos por las leyes de semillas y sus reglamentos [3, 6].

Los programas de certificación de semillas sirven como guía para la producción, el acondicionamiento y el mercadeo de semilla de calidad y no solo se deben considerar como reguladores, sino también como programas diseñados para contribuir al abastecimiento de semilla con atributos de calidad para la producción agrícola. Por otra parte, los sistemas de control de calidad deben comenzar en el campo y continuar hasta que el agricultor haya recibido y /o sembrado la semilla. El control de calidad es clasificado en dos tipos [3, 14]: control externo (oficial) que tiene como base las leyes y reglamentos gubernamentales; y el control interno que son una serie de actividades sistemáticas y

continuas que posibilitan la toma de decisiones gerenciales de carácter preventivo y correctivo [9]. El objetivo del control interno de calidad es garantizar la producción y comercialización de semillas de calidad física, fisiológica genética y sanitaria e involucra acciones positivas de las empresas de semillas, los productores y comercializadores en concordancia con las regulaciones oficiales.

En el Ecuador el esquema de producción y certificación de semillas se basa en categorías: fitomejorador, básica, registrada y certificada; las primera categoría puede ser generada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), la empresa privada o una Universidad, y su proceso de producción y control de calidad corresponde a estas instituciones; las otras tres categorías son desarrolladas también por el INIAP, sin embargo, su proceso de producción y control de calidad es fiscalizado por el MAG a través de las inspecciones de los campos de multiplicación de semilla y evaluación de los estándares mínimos de calidad a nivel de laboratorio. La semilla de fitomejorador y pre-básica en el caso de raíces y tubérculos es la semilla original obtenida de un proceso de mejoramiento genético, capaz de garantizar la identidad y pureza genética de un cultivar, la cual ha sido generada y conducida por un fitomejorador a partir de cual se produce semilla básica [14]. La semilla básica es obtenida a partir de la semilla de fitomejorador y producida bajo la responsabilidad de la entidad generadora y sometida al proceso de certificación y es la base para la producción de la semilla registrada.

Las semillas registradas y certificadas son las dos últimas generaciones del proceso y cumplen con los estándares mínimos de calidad establecidos para cada categoría. La semilla certificada es la que se comercializa para uso del productor [1,14].

En este proceso los cultivares importados por parte de la empresa privada, deben pasar un proceso de evaluación nivel de campo y laboratorio por parte del INIAP como un requisito previo para su comercialización [10].

Según estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) la productividad promedio del maíz en el Ecuador fue de 3.17 t.ha⁻¹ y la producción de semillas tanto de cultivares nacionales como importados fue de 12000 toneladas, volumen insuficiente para cubrir las necesidades de los productores ecuatorianos [9]. El incremento más importante y significativo en productividad se ha visto reflejado en la producción de maíz duro, gracias al aporte de híbridos de maíz de alto rendimiento y buenas características agronómicas generados por el INIAP y por la introducción de nuevos híbridos por parte de la empresa privada Tabla 1.

La utilización de tecnología con híbridos de alto rendimiento y de materiales genéticamente modificados en varios países ha incrementado la productividad y disminuido las pérdidas causadas por plagas y en el caso del Ecuador, adicional a la utilización de la semilla híbrida, un precio de sustentación atractivo para el productor, han permitido el incremento de la producción y productividad nacional de maíz duro y la disminución de las importaciones de este cereal, generando un gran beneficio para el país [4, 5, 12].


TABLA 1. Híbridos de maíz duro liberados por INIAP y la empresa privada en el Ecuador.

Nombre	Tipo de híbrido	Institución	Rendimiento (t.ha ⁻¹)
INIAP H-248	Simple	INIAP	8.160
INIAP H-551	Triple	INIAP	6.345
INIAP H-553	Simple	INIAP	7.785
INIAP H-601	Simple	INIAP	5.472
INIAP H-602	Simple	INIAP	8.595
INIAP H-603	Simple	INIAP	7.300
ADV-9313	Simple	Privada	9.900
2B-688	Triple	Privada	9.000
COPA	Simple	Privada	6.800
BATALLA	Simple	Privada	6.300
DK-7508	Simple	Privada	7.400
EMBLEMA	Simple	Privada	6.800
TROPI-101	Simple	Privada	7.500
CENTECLA	Simple	Privada	6.800

Ley orgánica de agrobiodiversidad, semillas y fomento de la agricultura sustentable

Una de las más caras aspiraciones del sector agrícola ecuatoriano ha sido el contar con un instrumento legal que garantice la producción, certificación, uso, comercialización, importación y exportación de semilla. En la actualidad, el Ecuador ya cuenta con una nueva ley de semillas aprobada por la Asamblea Nacional e inscrita en el Registro Oficial el 8 de junio del año 2017, que incluye seis títulos y 63 artículos [10]. Los principales fines de esta ley incluyen: fomentar el desarrollo de la investigación de la agro diversidad con el fin de facilitar el acceso y disponibilidad de semilla de calidad y garantizar la soberanía y seguridad alimentaria; fortalecer el Banco Nacional de Germoplasma y los Centros de Bioconocimiento de Recursos Fitogenéticos para la conservación de la agrobiodiversidad; regular y fomentar la producción, certificación, uso, comercialización, importación y exportación de semilla; y, establecer precios de sustentación para el productor de semillas que permitan sostener y mejorar su producción.

Un aspecto relevante a resaltarse es la creación de un fondo de investigación para la agrobiodiversidad, semillas y agricultura sustentable, lo que permitirá incrementar los trabajos de investigación en estas tres áreas y garantizar su continuidad a través de los años. Así mismo, es importante mencionar que este instrumento legal permite el ingreso de semillas y cultivos transgénicos al territorio nacional únicamente para ser utilizados con fines de investigación, previa autorización de la Presidencia de la República.

Estimación de costos de producción de maíz duro y de semilla certificada

La estimación del costo de producción de maíz duro se presenta en la "Tabla 2", que indica que los costos más altos para la producción de grano comercial en términos porcentuales corresponden a los rubros de fertilización y cosecha (21.16% y 20.66%, respectivamente), con una relación beneficio/costo de 1.20 "Tabla 3", lo que refleja su rentabilidad. En lo que se refiere a los costos de producción de semilla híbrida certificada, los porcentajes más altos corresponden a los rubros de siembra (15.29%) y fertilización (14.94%), con una relación beneficio/costo de 5.0, lo que es un indicativo del alto retorno económico que representa el producir semillas de calidad "Tabla 2 y 3" [7,11].

TABLA 2. Costos de producción de maíz duro para grano comercial y semilla en el Ecuador (2017).

Rubro	Grano comercial		Semilla	
	Costo (USD ha ⁻¹)	Costo (%)	Costo (USD ha ⁻¹)	Costo (%)
Preparación del suelo	109.50	6.65	240.00	8.57
Siembra	325.00	19.74	428.00	15.29
Fertilización	348.25	21.16	418.00	14.94
Desespigamiento	--	--	340.00	12.15
Labores culturales	170.00	10.33	170.00	6.07
Control de insectos	138.50	8.41	138.50	4.95
Cosecha	340.00	20.66	340.00	12.15
Poscosecha	--	--	359.00	12.83
Costo fijo	219.68	13.05	364.95	13.04
Costo total	1645.93	100.00	2798.52	100.00

TABLA 3. Ingresos y relación beneficio costo de la producción de maíz duro para grano comercial y semilla en el Ecuador (2017).

Variable	Grano comercial	Semilla
Rendimiento esperado (t ha ⁻¹)	6.00	3.50
Costo por kilogramo (USD)	0.27	0.80
Precio venta por kilogramo (USD)	0.33	4.00
Ingreso total (USD)	1980.00	14000.00
Relación beneficio/costo	1.20	5.00



Finalmente, el análisis realizado determinó que al sector maicero ecuatoriano se le presentan los siguientes retos para el futuro: inequidad en el acceso, distribución y gestión del riego; insuficiencia de recursos económicos asignados a la investigación, desarrollo tecnológico e innovación; limitado desarrollo de los mercados de productos, insumos y servicios para la producción agropecuaria y la falta de asignación de prioridad fiscal al sector agrícola. Asimismo, se presentan las siguientes oportunidades: una Ley y Reglamento de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable que garantiza y promueve la producción y productividad; tecnología disponible y a generar híbridos de alto potencial de rendimiento; aumento de la oferta y demanda por semilla de calidad; creación de un fondo que promueve la investigación en semilla; apertura a la investigación en organismos genéticamente modificados; y, apertura comercial a la Unión Europea y los Estados Unidos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad San Francisco por el apoyo para la realización de la XXII Reunión Latinoamericana del Maíz, en la cual se presentó un resumen del presente trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Borja, M. J., y Caviedes, M. (2013). Evaluación de dos ciclos de producción de semilla en dos variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) en Tumbaco - Pichincha. *ACI: Avances en Ciencia e Ingenierías*, 5(2), C61-C66.
- [2] Carvajal-Larenas, F. E. (2016). El futuro de los alimentos en el 2025. Una perspectiva global. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*. Recuperado de http://rraae.org.ec/Record/0001_1c102cf7e1eca4dbcea3de4580698ea
- [3] Mendoza, Alejandro (Ed). (1990). *Reunión de Trabajo sobre Fortalecimiento de Sistemas para Mejorar la Calidad de Semillas (1987, Montevideo, Uruguay)*. Cali, Colombia: Memorias. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- [4] Galeano, P., Debat, C. M., Ruibal, F., Fraguas, L. F., y Galván, G. A. (2011). *Interpolinización entre cultivos de maíz transgénico y no transgénico comerciales en Uruguay*. Uruguay: Universidad de la Republica. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/228497946_Interpolinizacion_entre_cultivos_de_maiz_transgenico_y_no_transgenico_comerciales_en_Uruguay
- [5] Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-INIAP. (2014). *Boletines divulgativos de híbridos de maíz duro*. Quito, Ecuador: INIAP.
- [6] Morris, M. (Ed). (1998). *Maize Seed Industries in Developing Countries*. United States of America: Lynne Rienner Publishers, Inc.
- [7] MacRobert, J., Setimela, P., Gethi, J., y Worku-Regasa, M. (2015). Manual de producción de semilla de maíz híbrido. *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo*. Recuperado de <http://libcatalog.cimmyt.org/Download/cim/57179.pdf>
- [8] Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2016). *El sector agropecuario ecuatoriano: análisis histórico y prospectiva a 2025*. Quito, Ecuador: MAGAP.
- [9] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *La guía voluntaria para la formulación de políticas nacionales de semillas*. Roma: FAO.
- [10] Órgano del gobierno del Ecuador. (2017). *Registro Oficial*. Quito, Ecuador: Órgano del gobierno del Ecuador.
- [11] SICTA. (2010). *Experiencia en la producción de semilla certificada de maíz híbrido de la Asociación de Productores Nueva Esperanza*. Municipio de Ixcán, departamento de Quiché, Guatemala: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Recuperado de <http://repiica.iica.int/docs/B3214e/B3214e.pdf>
- [12] Sierra-Macías, M., Rodríguez-Montalvo, F. A., Palafox-Caballero, A., Espinosa-Calderón, A., Andrés-Meza, P., Gómez-Montiel, N. O., y Valdivia-Bernal, R. (2016). Productividad de semilla y adopción del híbrido de maíz H-520, en el trópico de México. Texcoco, México: Colegio de Posgraduados México. Recuperado de <http://www.colpos.mx/asyd/volumen13/numero1/asd-14-022.pdf>
- [13] Uribe, F. (2014). Informe sectorial, Ecuador: Agrícola. Ecuador. *Pacific Credit Rating*. Recuperado de: <https://tinyurl.com/y44pko93>
- [14] Velásquez, J. S., Monteros, A. R., y Tapia, C. G. (2008). *Semillas, Tecnología de producción y conservación*. Quito, Ecuador: INIAP.

Proceso editorial

ACI Avances en Ciencias e Ingenierías recibe manuscritos que presentan información original y la evaluación de los manuscritos se realiza a través de un proceso de revisión por pares (peer-reviewed) que toma en consideración una determinación objetiva de la robustez científica y metodológica, no en factores subjetivos como “impacto” o “interés”.

Revisar los criterios de publicación de la revista y nuestras políticas del proceso de evaluación por pares en el siguiente enlace:

<http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/about/editorialPolicies>

Para la organización de los artículos y comunicaciones, la revista se divide internamente en tres secciones:

Sección A: Ciencias Exactas y Físicas

Sección B: Ciencias Biológicas y Ambientales

Sección C: Ingenierías.

ACI Avances en Ciencias e Ingenierías se adhiere a los lineamientos de autoría de la ICMJE. Revisa más detalles sobre los requisitos de autoría en el siguiente enlace: <http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/about/editorialPolicies>

DIRECTRICES PARA AUTORES/AS

Por favor, revise estas directrices para preparar su manuscrito, pues todos los manuscritos enviados a la revista **ACI Avances en Ciencias e Ingenierías** deben cumplirlas. Estas directrices le ayudarán a estar seguro que su manuscrito está completo y que el proceso editorial se conducirá lo más ágil posible. Asegúrese de revisar el Enfoque y Alcance de ACI Avances en Ciencias e Ingenierías así como nuestros Criterios de Publicación, nuestras Políticas Editoriales, incluyendo las Políticas de Sección, Proceso de Evaluación por Pares, Frecuencia de Publicación, Política de Acceso Abierto, y Requisitos de Autoría en el siguiente enlace: <http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/about>

La revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías publica contribuciones en español e inglés, todas son sujetas a un proceso de revisión por pares, y se pueden enmarcar en una de las siguientes categorías:

Artículo: Un manuscrito que reporta conclusiones substanciales para el entendimiento de un problema, debiendo ser actualizado y exhaustivo en sus análisis y conclusiones, e incluir el conjunto completo de datos empíricos que soportan las ideas expuestas (se incluyen revisiones sistemáticas de la literatura y meta-análisis). Estos manuscritos usualmente tienen más de 2000 palabras y no hay límite máximo de palabras, figuras o tablas. Estos manuscritos deben tener divisiones con subtítulos (ver sección Organización del manuscrito).

Comunicación: Corresponde a un reporte conciso de un tema de investigación específico destinado a la presentación rápida de resultados novedosos pero de interés puntual. El tipo de información reportada es flexible, y puede incluir manuscritos que prueban nuevas metodologías, que describen observaciones de historia natural, o que presentan datos empíricos puntuales y novedosos. Estos manuscritos usualmente tienen menos de 2000 palabras y pueden incluir máximo tres tablas y tres figuras. El texto de estos manuscritos no tiene divisiones (ver sección Organización del manuscrito).

Ciertos manuscritos podrían ser reclasificados entre Artículos y Comunicaciones a discreción de los Editores de la revista y con el permiso del autor.

Revisión de Libro: Corresponde a una crítica objetiva que analiza el contenido y estilo de un libro recientemente publicado y de relevancia dentro del enfoque de la revista. Cada revisión resume, evalúa y discute el contenido del libro a la luz de las necesidades actuales de la comunidad científica. No se incluyen datos originales o sin publicar. Las revisiones son solicitadas por invitación de los Editores de la revista y tienen máximo 1500 palabras. Si está interesado en realizar una revisión o en sugerir un libro para revisión, por favor póngase en contacto con la revista: avances@usfq.edu.ec

Números especiales: La revista publicará números especiales sobre un tema específico o en honor a un académico (Festschrift). Cada número especial será coordinado por un Editor Invitado, quien trabajará junto a los Editores de la revista. Personas interesadas en liderar un número especial deben enviar su propuesta al Editor en Jefe de la revista. Todos los manuscritos aprobados del número especial serán publicados en versión digital y, dependiendo de la cantidad se imprimirán como parte del siguiente número de la revista o como un número impreso por separado.

PREPARACIÓN DEL MANUSCRITO

Formato de archivo. Para el envío inicial, los manuscritos pueden estar en cualquiera de los siguientes formatos: DOC, DOCX., RTF, o PDF.

Si utiliza Mendeley para sus referencias, debe transformar los campos de Mendeley en texto simple.

Se recomienda que los manuscritos que contengan ecuaciones sean producidos en LaTeX. Manuscritos producidos en LaTeX

deben ser enviados en formato PDF (si el manuscrito es aceptado, se le solicitará el archivo *.TEX).

Tipo de letra. Times de 12 puntos

Los encabezados deben ir en mayúsculas y centrados (aquellos descritos en la sección Organización del manuscrito).

En caso de incluir subtítulos adicionales a los encabezados, se los colocará en negrillas y con estilo de oración (primera letra en mayúscula y el resto en minúsculas).

El resto del texto no debe tener ningún tipo de formato adicional, excepto colocar palabras en negrillas y en cursiva. No usar tabulaciones, diferentes tamaños de letra, numeración o estilos para subtítulos, etc.

Diseño de página. Alineación a la izquierda (no justificado), textos a espacio seguido, hojas tamaño A4, márgenes de 2,5 cm a cada lado.

Encabezados. Los encabezados principales se especifican en la sección Organización del manuscrito. Adicionalmente puede haber hasta dos niveles más de subtítulos.

Números de página. Todas las páginas deben estar numeradas de manera secuencial en la esquina inferior derecha.

Notas al pie. No se debe colocar notas al pie, pues toda la información debe estar en el texto principal o en las referencias.

Abreviaciones. Defina las abreviaciones en la primera vez que las usa en el texto (incl. acrónimos, acortamientos, abreviaturas, y siglas).

Mantenga al mínimo el número de abreviaciones. No utilice abreviaciones no estandarizadas al menos que las utilice más de tres veces en el texto.

Formato de referencias. Siga el estilo APA (6a edición). Revise las directrices para citas y referencias.

Ecuaciones. Manuscritos que contengan ecuaciones se recomienda sean producidos con LaTeX.

Utilizar MathType para generar y desplegar ecuaciones, caso contrario también es adecuado Equation Editor.

Numere las ecuaciones al lado derecho entre paréntesis. Por ejemplo: $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3$ (1)

No utilice MathType o Equation Editor para colocar signos de variables, símbolos griegos, u operadores matemáticos en el texto general del manuscrito. En estos casos, inserte los símbolos como texto normal con los valores Unicode (hex) correctos.

Lenguaje. Escriba el texto y las leyendas de tablas y figuras de manera clara y sin ambigüedades, enfocado en una audiencia internacional. Siga las normas de escritura académica establecidas en el campo al cual corresponde el manuscrito.

Manuscritos en Inglés pueden usar Inglés Americano o Inglés Británico pero de manera consistente.

Manuscritos en Español deben seguir las recomendaciones de la Real Academia de la Lengua Española (con excepción del uso de tilde en "et al.").

Medidas, fechas y hora. Use el Sistema Internacional de Unidades. Puede usar unidades específicas a la disciplina que no son SI solo cuando estas han sido ampliamente adoptadas en dicho campo científico. Coloque un espacio entre el número y el símbolo de la unidad, no coloque un punto al final del símbolo de la unidad, ejemplo: 4 km

Las fechas deben indicarse como Día Mes Año. No abrevie el mes. Ejemplo: 12 de febrero 2015, 14 January 2013

La hora debe seguir el formato de 24 horas, ejemplo: 13h00

Numeración y porcentajes. Escribir los números del 1 al 9 en palabras, a menos que sean unidades.

No incluya un espacio entre el valor y el símbolo de porcentaje, ejemplo: 45%

Coordenadas geográficas. Expresé las coordenadas geográficas en grados decimales. No reporte coordenadas en grados-minutos-segundos o en UTM. Incluya el sistema de referencia geodésico.

Use N/S para denotar latitud y E/W para denotar longitud, independiente el idioma del manuscrito.

Nomenclatura

Nombres científicos de especies se escriben en cursiva. Escriba el género y la especie de manera completa en el título del manuscrito y la primera vez que mencione al organismo en el texto, abstract, resumen, y leyendas de tablas y figuras. Así mismo, escriba el género completo cada vez que lo mencione por primera ocasión en un párrafo o cuando inicie una oración. Luego de la primera mención en el párrafo se puede abreviar género utilizando sólo la primera letra.

Genes, mutaciones, genotipos o alelos se escriben en cursiva. Utilice el nombre recomendado consultando la base de datos apropiada de nomenclatura genética. Usualmente es recomendable indicar los sinónimos para el gen la primera vez que aparece en el texto. Los prefijos de genes tales como los usados para oncogenes o la localización celular deben mostrarse en caracteres de tipo romano (e.g., v-fes, c-MYC).

Compuestos químicos deben tener un nombre sistemático correcto, siguiendo los convenios de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). Una vez que se ha proporcionado el nombre sistemático, es aceptable definir un nombre común o un acrónimo y para esto ser utilizado para el resto del texto, tablas y figuras. Los nombres generados por ChemDraw u otro software a partir de fórmulas gráficas introducidas deben ser verificados para guiones adicionales y otras desviaciones de las convenciones de la IUPAC. Los nombres sistemáticos o genéricos deben usarse para productos comerciales en lugar de nombres patentados o de marca registrada.

Sustancias farmacéuticas deben mencionarse bajo la Denominación Común Internacional (DCI, o INN International Nonproprietary Name)

Evidencia en estudios biológicos. Si su manuscrito utiliza datos de organismos biológicos, se debe declarar explícitamente la disponibilidad de la evidencia bajo una de las siguientes opciones:

Especímenes voucher depositados en colecciones científicas abiertas al público (es necesario indicar el nombre de la colección y los números de catálogo de los especímenes).

Secuencias de aminoácidos o genes depositadas en GenBank o un repositorio equivalente (indicando el nombre del repositorio y los códigos de acceso).

Fotografías, grabaciones de audio o vídeo enviadas como parte de las figuras o como material suplementario del manuscrito. Fotografías, grabaciones de audio o vídeo que han sido depositadas en un repositorio institucional o público (por ejemplo, Macaulay Library, o xeno-canto), para las cuales es necesario indicar el nombre del repositorio y citar el registro usando el formato de citación APA para recursos electrónicos e incluirlo en la sección de Referencias.

La colección de datos de organismos biológicos debe realizarse de acuerdo a la legislación nacional e internacional vigente. Es imprescindible que los permisos de investigación y colección otorgados por las autoridades competentes se indiquen en la sección de Agradecimientos del manuscrito.

Datos y códigos. Si su manuscrito se basa en análisis de datos sin procesar (raw data) o códigos, estos deben estar a disposición de los revisores. Por favor, envíelos por una de las siguientes vías:

- Como enlaces a un repositorio donde los datos son accesibles y citados en el manuscrito. Este repositorio puede ser institucional, comercial o de acceso abierto (por ejemplo, figshare o Dryad)
- Como archivos de Material Suplementario.

Si el manuscrito es aceptado, los datos deberán hacerse públicos de tal forma que los datos estén disponibles públicamente para todos los investigadores interesados.

Sin embargo, entendemos que pueden haber restricciones éticas y legales que prohíban la apertura de los datos, por lo que cuando exista legislación o marcos éticos locales que llamen a evitar o limitar la liberación de datos, los autores deben dejar estas limitaciones claras al momento del envío de su manuscrito (en la sección de Comentarios para el editor/a).

Posibles excepciones a la disponibilidad de datos públicos incluyen: datos que no pueden ponerse a disposición del público pues comprometería la confidencialidad o la privacidad del participante; o datos que de ponerse a disposición pública podrían presentar alguna amenaza, como revelar las ubicaciones de depósitos fósiles, especies en peligro de extinción, etc.

Si los datos sin procesar o los códigos pertenecen a terceros y Ud. no tiene permiso para publicarlos, debe presentar la fuente y la verificación del permiso de uso de los datos así como la Información de contacto donde un investigador interesado tendría que aplicar para obtener acceso a los datos pertinentes, en la sección Materiales y Métodos. Sin embargo, tenga en cuenta que los autores son responsables de asegurarse de que los datos estarán disponibles a partir de la publicación, de la misma manera que los autores obtuvieron los datos.

ORGANIZACIÓN DEL MANUSCRITO

1. La primera página del manuscrito debe incluir las siguientes partes, cada una separada por una línea:

- **Título del artículo:** En negrillas, con máximo 300 caracteres, debe ser específico, descriptivo, conciso y comprensible para los lectores fuera del campo. Sólo la primera palabra y los nombres propios empiezan con mayúsculas. Puede dividirse en título y subtítulo, separados por el signo de puntuación dos puntos (:). Para revisiones sistemáticas o meta-análisis, el subtítulo debe incluir el diseño del estudio.
- **Título abreviado:** En negrillas, con máximo 100 caracteres, describe el tópico de estudio. Sólo la primera palabra y los nombres propios empiezan con mayúsculas.
- **Nombres de los Autores:** Presente los nombres de los autores tanto en la primera página del manuscrito como en la plataforma de la revista. Para cada autor debe incluir el primer nombre, el segundo nombre (o su inicial, si la usa) y los apellidos. Los autores se separan entre sí por comas (no colocar y, and, &).
- **Afiliaciones:** Cada autor de la lista debe tener una afiliación. La afiliación debe incluir al menos el nombre de la organización o universidad y su ubicación. Las afiliaciones se asociarán con los autores por medio de superíndices numéricos. Múltiples afiliaciones por autor se separarán en líneas diferentes y con superíndices propios. Se marcará al autor responsable del manuscrito con un asterisco junto a los superíndices, asociado con la frase "Autor para Correspondencia / Corresponding Author, e-mail:" seguido por el correo electrónico. Si todos los autores comparten la misma afiliación o si hay un solo autor no usar superíndices numéricos. Si hay un solo autor, no incluir la frase "Autor Principal / Corresponding Author"

Todos los autores deben cumplir con los requerimientos de autoría establecidos de la política de [Requisitos de Autoría de ACI Avances en Ciencias e Ingenierías](#). Aquellos que hayan contribuido al trabajo pero que no cumplan estos requisitos puede ser mencionados en los Agradecimientos.

El Autor para correspondencia debe ingresar su identificador único ORCID al momento del envío del manuscrito (óptimamente, todos los doctores del manuscrito deberían contar su propio ORCID). [+Info sobre ORCID](#).

Los nombres de los autores se publicarán exactamente como aparecen en el manuscrito. Por favor revise la información con cuidado para asegurarse de que es correcta.

- **Título en idioma alternativo:** Si su manuscrito es en Español, el título alternativo es la traducción en Inglés, y viceversa.
 - **Abstract:** En Inglés, redactado como un párrafo continuo de máximo 400 palabras. Detalla brevemente los principales objetivos del estudio; explica cómo se realizó el estudio, incluyendo cualquier organismo modelo utilizado, pero sin entrar en detalles metodológicos; resume los resultados más importantes y su significado. No debe incluir citas bibliográficas ni abreviaciones y no debe estar separado en párrafos.
 - **Key words:** Máximo 10 palabras o grupos de palabras en Inglés. Deben ser diferentes a lo que aparece en el título del manuscrito.
 - **Resumen:** Es la traducción al Español del Abstract, y tiene sus mismas características.
 - **Palabras clave:** Máximo 10 palabras o grupos de palabras en Español. Deben ser diferentes a lo que aparece en el título del manuscrito.
 - Se puede incluir un tercer resumen en Portugués, Francés, Italiano, Alemán u otra lengua, si lo considera necesario.
2. Desde la siguiente página se presentarán el texto organizado por encabezados, luego las tablas y las figuras del manuscrito. La organización dependerá del tipo de contribución. Se sugiere usar una organización según el método científico, por ejemplo:

Organización de un manuscrito sometido como

Artículo

Introducción
Materiales y métodos
Resultados
Discusión
Agradecimientos
Referencias
Contribuciones de los autores
Tablas
Figuras

Organización de un manuscrito sometido como

Comunicación

Texto (sin divisiones)
Agradecimientos
Referencias
Contribuciones de los autores
Tablas
Figuras

Otras secciones pueden ser: revisión de literatura, conclusiones, recomendaciones. La estructura del artículo será revisado por y evaluado el/los editor(es) y los revisores.

3. En los **Agradecimientos** se incluye:

- Declaración explícita de las fuentes de financiamiento que permitieron el desarrollo del trabajo.
- Los detalles de los permisos o autorizaciones para el desarrollo de la investigación y las instituciones que los emitieron.
- Aquellos que hayan contribuido al trabajo pero que no cumplan con los requisitos de autoría pueden ser mencionados en los Agradecimientos con una descripción de sus contribuciones.
- Los autores son responsables de asegurarse que toda persona nombrada en los agradecimientos está de acuerdo con eso.

4. La sección de **Contribuciones de los Autores** es necesaria cuando hay más de un autor. Se debe describir la contribución de cada uno de los autores para el desarrollo del artículo de manera explícita pero sucinta. La contribución puede ser:

- concepción de la investigación;
- diseño de la metodología;
- curación de datos para la investigación;
- administración del proyecto;
- adquisición, análisis o interpretación de los datos, incluyendo las labores de campo, laboratorio, experimentales, estadísticas, o el soporte técnico;
- adquisición de fondos;
- provisión de recursos, incl. equipos, materiales, reactivos, entre otros;
- desarrollo de software;
- supervisión o tutoría;
- validación y verificación de los resultados;
- redacción del manuscrito;
- revisión crítica del contenido intelectual del manuscrito;

- producción de tablas, figuras o material complementario.

Ejemplo:

María Álvarez y Pedro Pérez concibieron la investigación; Juan Norton y María Álvarez desarrollaron la metodología y realizaron el trabajo de campo; Juan Norton, Jonathan Castro y Pedro Pérez diseñaron el modelo y corrieron los análisis; Jonathan Castro y María Álvarez realizaron los análisis moleculares; Pedro Pérez proveyó reactivos; Juan Norton y Jonathan Castro redactaron el manuscrito; Juan Norton, Jonathan Castro, Pedro Pérez, María Álvarez y Pedro Pérez revisaron críticamente el contenido intelectual del manuscrito; Juan Norton tomó las fotografías de las figuras 1 y 3.

Recuerde que la autoría del manuscrito debe seguir los lineamientos de autoría de la ICMJE.

DIRECTRICES PARA REFERENCIAS

- En el texto, usar citas numeradas colocadas al final de la oración entre corchetes. Los números de citas diferentes deben separarse por comas, a menos que sea un rango continuo de citas en cuyo caso se usará un guion. Ejemplos: [10] [10,15,22] [12–20].
- Numerar las citas secuencialmente según aparecen en el texto (NO en orden alfabético de las referencias).
- Citar los trabajos sin publicar, en preparación o en proceso de revisión como “(datos sin publicar)”, precedido por las iniciales y apellido del autor. Por ejemplo: A. Suárez (datos sin publicar)
- Se debe evitar las citas de información proveniente de correos electrónicos, cartas o documentos enviados entre colaboradores, pero si es absolutamente necesario, se deben referir como “com. pers.” cuando corresponden a comentarios sin respaldo de correspondencia, y como “in litt.” cuando hubo correspondencia escrita. En ambos casos, precedidos por las iniciales y apellido del colaborador y seguida del año. Por ejemplo: (J. Muñoz in litt. 2009) (J. Muñoz com. pers. 2010)
- Subtitular la lista de referencias como Referencias (no Bibliografía o Literatura Citada).
- Ordenar la lista de Referencias de acuerdo al orden secuencial que aparecen en el texto del manuscrito (NO en orden alfabético).
- El formato de las referencias debe seguir el estilo APA (6a Edición). Este estilo arma cada referencia con los siguientes componentes generales:
- Autores. (Año). Título de la obra. Datos de publicación.
- Ejemplos:

Artículo en revista impresa:

Andersson, L. G. (1945). Batrachians from East Ecuador, collected 1937, 1938 by Wm. Clarke-Macintyre and Rolf Blomberg. *Arkiv för Zoologi (Stockholm)*, 37A(2), 1–88.

Artículo en revista con URL:

Ahlman, R. (2016). Green-winged Teal *Anas crecca carolinensis*, first record for Ecuador. *Cotinga*, 38, 40. Recuperado de <http://www.neotropicalbirdclub.org/wpcontent/downloads/C38online/Ahlman.pdf>

Artículo en revista con DOI:

Jacobsen, D., Schultz, R., & Encalada, A. (1997). Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude. *Freshwater Biology*, 38(2), 247–261. doi: <http://www.dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00210.x>

Libro impreso:

Diamond, J. (2006). *The Third Chimpanzee: The evolution and future of the human animal*. New York: Harper Perennial.

Libro con URL:

Suber, P. (2102). Open Access. The MIT Press Essential Knowledge Series. Cambridge: The MIT Press. Recuperado de <http://bit.ly/oa-book>

Libro con editores con DOI:

Walsh, S. J., & Mena, C. F. (Eds.). (2012). *Science and conservation in the Galapagos Islands: frameworks & perspectives*. Vol. 1. New York: Springer Science & Business Media. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-5794-7>

Capítulo de un libro impreso:

Minogue, K. (2014). Does the idea of “self-interest” explain the character of modern free societies? En P. Lucio Paredes & S. Oleas (Eds.), *The Complexity of Liberty: Selected essays from the Mont Pelerin Society Special Meeting in Galápagos June 2013*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.

Capítulo de un libro con DOI:

Maldonado, M., Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega, H., Encalada, A. C., Carvajal-Vallejos, F. M., Rivadeneira, J. F., Acosta, F., Jacobsen, D., Crespo, A. & Rivera-Rondón, C. A. (2011). Biodiversity in aquatic systems of the Tropical Andes. En S. K. Herzog, R. Martinez, P. M. Jorgensen, & H. Tiessen (Eds.), *Climate change and biodiversity in the tropical Andes* (pp. 276–

294). Paris/São José dos Campos: Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). Recuperado de <http://www.iai.int/wp-content/uploads/2014/06/book.pdf>

Disertación:

Brandt, M. (2003). Influencia del erizo lapicero (*Eucidaris thouarsii*) en la estructura de la comunidad submarina de la cara norte del Isote Caamaño, Galápagos (Tesis de Licenciatura). Universidad San Francisco de Quito USFQ, Quito.

Enciclopedia en línea (cita global de toda la enciclopedia):

Frost, D. R. (2016). Amphibian Species of the World: an Online Reference (Version 6.0). American Museum of Natural History. Recuperado el 5 de febrero de 2017 de <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>

Ficha en enciclopedia en línea con URL:

Frost, D. R. (2016) *Nymphargus buenaventura* (Cisneros-Heredia and Yáñez-Muñoz, 2007). En Amphibian Species of the World: an Online Reference (Version 6.0). American Museum of Natural History. Recuperado el 5 de febrero de 2017 de <https://web.archive.org/web/20170206001235/http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/Amphibia/Anura/Centrolenidae/Centroleninae/Nymphargus/Nymphargus-buenaventura>

Noticia en periódico en línea:

En el limbo futuro de telescopio en Arecibo (2017, enero 30). El Universo. Recuperado de <https://web.archive.org/web/20170206002227/http://www.eluniverso.com/vida-estilo/2017/01/30/nota/6023449/limbo-futuro-telescopio-arecibo>

- Separar cada autor con una coma, y colocar "&" antes del último autor. Las iniciales de los nombres de los autores van después de los apellidos. Indicar todos los autores y no usar et al.
- Incluir el número de la revista entre paréntesis luego del volumen, si está disponible.
- Separar el rango de páginas por un guion n (-). No confundir esto con un guion simple (-).
- Colocar el DOI (Digital Object Identifier) en todas las referencias que lo tengan disponible, precedido por "doi:". El DOI debe estar en formato de enlace largo: <http://doi.org/xxx.xxx.xxx>
- No colocar un punto después del DOI.
- Si un DOI no está disponible (debe hacer una búsqueda exhaustiva), colocar un enlace estable hacia el sitio web de la revista (por ejemplo, el enlace estable de JSTOR) o un repositorio institucional (por ejemplo, Archive.org), con el texto "Recuperado de". No colocar enlaces a páginas web personales, servicios no-permanentes de carga/descarga de archivos.
- Para incluir la dirección de Internet o URL de una página que podría cambiar en el futuro debe primero respaldar dicho URL en un archivo digital que resguarden dicha referencia para el futuro. Para esto puede usar Wayback Machine de Internet Archive <https://archive.org/web/> o el sistema archive.is <http://archive.is>. Esto debe ser hecho en particular para páginas que provienen de enciclopedias en línea, periódico de noticias, páginas personales o institucionales.
- Cuando se hace referencia a publicaciones en línea que tienen fechas específicas (como los blogs), se debe colocar (Año, Mes día) y no solo el año.
- Colocar Anónimo cuando no exista un autor determinado.
- Colocar n/f cuando no se conozca el año de publicación.
- Citar manuscritos aceptados para publicación como "in press" solamente si ya tiene la información de publicación del artículo (número de la revista y páginas). Artículos que no tengan esta información son considerados aceptados, pero no en prensa y serán citados como "datos en proceso de publicación" dentro del texto, pero no se incluirán en las Referencias Bibliográficas.
- No se aceptará literatura gris entre las referencias bibliográficas. La literatura gris corresponde a documentos que no están disponibles por canales bibliográficos regulares (como bibliotecas o bases de datos en línea), y usualmente corresponde a reportes técnicos, informes y otros trabajos sin publicar. De ser en extremo necesario, su uso será autorizado por el Editor del manuscrito. Sin embargo, es preferible considerar la opción de colocar esa información como "datos sin publicar" o "comunicación personal". De ser aprobada su inclusión como referencia, una copia del documento de literatura gris debe ser depositada en la Biblioteca de la USFQ.

DIRECTRICES PARA TABLAS

- Citar tablas en el texto con numerales arábigos en el orden que aparecen. Ejemplos: "Tabla 1" "Tablas 1-3"
- Colocar las tablas luego del texto, cada una iniciará en su propia página.
- Las tablas deben alcanzar en una hoja A4 con márgenes de 2,5 cm, pudiendo esta orientarse de manera vertical y horizontal, según sea mejor para la apariencia de la tabla.
- Cada tabla debe tener su propia leyenda explicativa, la cual debe ser comprensible sin hacer referencia al texto y será colocada antes de la tabla. Cada leyenda empezará con el número de la tabla. Ejemplo:

TABLA 1. Comparación de los efectos...

- Incluir unidades en los encabezados de columnas y filas entre paréntesis.
- De ser necesarias, colocar notas al pie de la tabla enlazadas con los siguientes símbolos en el mismo orden: *, †, ‡, §, ¶. Sin

embargo, es preferible colocar cualquier aspecto importante como parte de la leyenda.

DIRECTRICES PARA FIGURAS

- Avances en Ciencias e Ingenierías publica sin costo figuras a color, siempre y cuando se relacionen directamente con el manuscrito.
- El término Figura hace referencia a todo tipo de imágenes, incluyendo gráficos, dibujos, fotografías y mapas.
- Citar figuras en el texto con numerales arábigos en el orden que aparecen usando la abreviatura “Fig”. Ejemplo: “Figs. 1–3”
- En el envío inicial, las figuras deben ir en baja resolución, siempre que sean legibles, e incluidas en el archivo de texto del manuscrito, luego de las tablas. Sin embargo, una vez aceptado el manuscrito, las figuras deben ser enviadas en resolución alta (mínimo 300 dpi, recomendable 600 dpi) en uno de los siguientes formatos: *.tiff, *.eps, *.emf, *.bmp, como documentos separados del archivo de texto.
- Cada figura irá en su propia página y precedida por su leyenda. La leyenda será autoexplicativa, debiendo ser comprensible sin hacer referencia al texto y será colocada antes de la figura. Cada leyenda empezará con el número de la figura. Ejemplo:
FIGURA 1. Mapa de la región...
- Figuras dibujadas con líneas (line artwork) se preparan mejor en programas gráficos basados en vectores (e.g. Corel Draw, Illustrator, Freehand, Inkscape, ArcView). Por lo que es recomendable presentarlas en formato EPS. No use líneas de un ancho menor a 0.3 puntos.
- Las fotografías en blanco y negro, fotografías a color y mapas y gráficos realizados en programas basados en raster (e.g. Photoshop, Gimp) es recomendable que sean enviadas en formato *.tiff. Para archivos *.tiff, note que la resolución es irrelevante, es importante el tamaño en píxeles, por lo que recomendamos un tamaño mínimo de 1000 píxeles.
- Todo manuscrito que incluya un sitio de estudio debe incluir un mapa del mismo. Dicha figura debe: (1) ir rodeada de un borde con líneas delgadas, (2) estar geográficamente referenciado con algunas marcas de latitud y longitud y con un pequeño mapa insertado que indique la localización general, (3) tener una barra de escala en km, (4) tener una flecha que indique el Norte (no usar una rosa de los vientos), y (5) tener líneas de referencia como límites de países, carreteras, ríos o elevaciones, extendiéndose hasta el borde.
- Para todas las figuras use líneas con un grosor entre 0.3–1.0 puntos y tamaños de letra de 12 puntos.
- Todas las letras y textos usados dentro de las figuras deben ir en Times.
- Si es que desea agregar varias imágenes como una sola figura compuesta o crear una lámina con varias imágenes que ocupe toda una página, no se preocupe por el diseño de la misma. En el primer envío del manuscrito no debe armar dicha figura, sino que debe colocar la leyenda de la figura y luego pegar cada imagen separada. Cada imagen debe tener su propia denominación a través de literales en mayúsculas (ej. A) colocados en la esquina inferior derecha de cada imagen. Cuando el manuscrito avance en el proceso de publicación, el equipo de diseño de la revista se ocupará de armar y diseñar sus imágenes compuestas o láminas.
- Recuerde que las figuras serán ajustadas al tamaño de una o dos columnas en una página A4, por lo que todos los elementos de la imagen deben ser lo suficientemente grandes para ser legibles después de la reducción de tamaño, en especial los textos internos y las líneas.
- Eliminar espacios blancos o vacíos innecesarios alrededor de las figuras.
- Incluir los créditos respectivos de la figura en la leyenda. Recuerde que es responsabilidad del autor tener los permisos necesarios para poder reproducir la figura bajo la Licencia Creative Commons de la revista.
- Si usa un mapa como una figura, debe citar la fuente del mapa. De ser posible, use mapas que sean de uso público o que permitan su uso irrestricto. Si usa Google Earth o Google Maps, debe seguir los lineamientos de atribución de Google.

DIRECTRICES PARA MATERIAL SUPLEMENTARIO

- Los autores pueden publicar material suplementario junto a su manuscrito. Este material corresponde a información que complementa o provee soporte al manuscrito publicado y que se podrá descargar como archivos independientes.
- Diferentes tipos de información pueden ser incluidos como material suplementario: textos extensos sobre metodologías, bases de datos, archivos de video, de audio, fotográficos y otros respaldos audiovisuales, entre otros.
- Los Materiales Suplementarios reemplazan a los Apéndices.
- Estos materiales serán citados al final del manuscrito con enlaces al portal de la revista donde estarán a disposición del público de manera gratuita.
- Si el material suplementario está compuesto por texto, debe ser presentado con el mismo formato general requerido para el manuscrito.
- De ser necesario, citar archivos de Material Suplementario en el texto siguiente el siguiente formato: Fig. S1, Tabla S1, Datos S1, Videos S1, Artículo S1, Audio S1. Donde la S indica que es material suplementario, y el número indica la secuencia

numérica de dicho material.

- Para maximizar compatibilidad, sugerimos que envíe su Material Suplementario en los siguientes formatos: Imágenes en JPG, EPS o PNG; tablas en XLS o XLSX; textos en PDF; videos en AVI, MOV o MP4, y archivos de audio en WAV o MP3.
- Sets grandes de datos suplementarios se pueden presentar en formato comprimido (zip o tar).

DIRECTRICES SOBRE NOMENCLATURA BIOLÓGICA Y DESCRIPCIÓN DE NUEVAS ESPECIES

- ACI Avances en Ciencias e Ingenierías cumple con los requisitos establecidos por los diferentes códigos de nomenclatura sobre la validez para la descripción de nuevas especies y la disponibilidad de los artículos en línea como trabajos publicados, incluyendo el International Code of Zoological Nomenclature y el International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants.
- La revista se encargará de obtener los registros y el GUID (LSID) en Zoobank, IPNI y Mycobank o Index Fungorum.
- Todos los artículos y comunicaciones de ACI Avances en Ciencias e Ingenierías están siendo depositados en Internet Archive Archive.org y en el repositorio USFQ.
- Los autores deben adherirse a los lineamientos establecidos por los códigos internacionales de nomenclatura respectiva al organismo tratado.
- Las descripciones de especies nuevas de seres vivos o los análisis taxonómicos deben seguir lo establecido en el respectivo código de nomenclatura.
- Cuando un taxón biológico es mencionado por primera vez, se debe escribir su nombre común (como nombre propio) seguido por su nombre científico en cursiva, por ejemplo: Oso de Anteojos *Tremarctos ornatus*. No colocar el nombre científico o el nombre común entre paréntesis. Más adelante en el manuscrito se puede usar solamente el nombre científico o el nombre común.
- Si el manuscrito corresponde a un análisis taxonómico o si existe controversia en relación a la nomenclatura del organismo estudiado, presentar el nombre del taxón seguido por los datos de autoría taxonómica al mencionarlo por primera vez. Los datos de autoría taxonómica de nombres zoológicos son los apellidos de los descriptores y el año de descripción, separados por una coma, ejemplo: *Grallaria ridgelyi* Krabbe et al., 1999. La autoría taxonómica de nombres botánicos debe seguir lo especificado en The International Plant Names Index. Colocar la autoría taxonómica entre paréntesis solo si existió un cambio a nivel del género. Cuando hay tres o más descriptores utilizar “et al.” sin cursivas.

ENVÍO DEL MANUSCRITO

1. Todos los manuscritos sometidos a la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías deben ser enviados a través de este portal. En la sección Envíos en Línea podrán registrarse y crear un Nuevo Envío.
2. Si manuscrito tiene más de un autor, por favor incluya la información de todos los autores en el sistema (incluyendo sus correos electrónicos).
3. Al momento de someter su manuscrito, debe indicar el nombre, institución y correo electrónico de por lo menos cuatro posibles revisores que podrían hacer la evaluación de pares académicos de su manuscrito. Estas personas deben ser capaces de proveer una evaluación objetiva de su manuscrito, por lo que no pueden pertenecer a la institución de ninguno de los autores, ni estar involucrados en el estudio de manera directa o indirecta. El equipo editorial de la revista se reserva el derecho de seleccionar a los revisores sugeridos al momento del envío del manuscrito o de buscar a otros revisores.
4. Para el envío inicial, el manuscrito debe consistir de un solo archivo que incluya: el texto, las tablas y figuras. Las tablas y las figuras deben ir luego del texto (no intercaladas en el texto). Cada tabla y figura irá en su propia página y estará precedida por su leyenda. En caso de enviar Material Suplementario, deberá ser enviado como archivos separados y subidos al momento del envío inicial.
5. Si es que algunas de las figuras de su manuscrito es una figura compuesta por varias imágenes, no debe armar dicha figura sino que debe colocar la leyenda de la figura y luego pegar cada imagen separada. Cada imagen debe tener su propia denominación a través de literales en mayúsculas (ej. 5A) colocados en la esquina inferior derecha de cada imagen.
6. La revista mantendrá comunicación directa con el autor para correspondencia, quien es el responsable de someter el manuscrito, recibir las revisiones, enviar el manuscrito revisado, aprobar la corrección de originales y las pruebas de imprenta.



Por favor, revise estas directrices para preparar su manuscrito, pues todos los manuscritos enviados a la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías deben cumplirlas. Estas directrices le ayudarán a estar seguro que su manuscrito está completo y que el proceso editorial se conducirá lo más ágil posible.

Asegúrese de revisar el Enfoque y Alcance de ACI Avances en Ciencias e Ingenierías así como nuestros Criterios de Publicación para conocer lo que publicamos.

Lea nuestras Políticas Editoriales, incluyendo las Políticas de Sección, Proceso de Evaluación por Pares, Frecuencia de

LISTA DE COMPROBACIÓN PARA LA PREPARACIÓN DE ENVÍOS

Como parte del proceso de envío, los autores/as están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores/as aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

- El estudio presenta los resultados de investigación científica primaria.
- El envío no ha sido publicado previamente ni se ha sometido a consideración en otra publicación.
NOTA: ACI Avances en Ciencias e Ingenierías apoya a los autores que desean compartir su trabajo de manera temprana a través de archivos/repositorios de prepublicaciones (preprint servers/repositories), incluyendo arXiv, bioRxiv, figshare, PeerJ Preprints, SSRN, Zenodo, entre otros. De igual forma consideramos manuscritos que han salido únicamente como tesis en repositorios institucionales o trabajos que han sido presentados en actas de conferencias.
- Todas las metodologías de análisis, tanto experimentales, estadísticas y otras, se han realizado bajo estándares técnicos de alta calidad y se describen en suficiente detalle para garantizar su reproducibilidad.
- Todas las conclusiones se pasan en la interpretación justificada y apropiada de los resultados. Los autores deben evitar exagerar el alcance de sus conclusiones y si bien pueden discutir el posible impacto de sus resultados deben identificar sus ideas como hipótesis y no como conclusiones.
- Los textos están escritos de una manera entendible y clara, teniendo un correcto uso del lenguaje. Los manuscritos aceptados por la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías pasan por una corrección del lenguaje y estilo, sin embargo errores en el uso del lenguaje pueden nublar el correcto entendimiento del contenido y provocar evaluaciones negativas por parte de los revisores.
- El estudio debe cumplir con todos los estándares aplicables de ética en la experimentación e integridad científica. Todos los estudios relacionados con seres vivos, líneas celulares, muestreo de campo o que tengan potenciales implicaciones de bioseguridad deben contar con las aprobaciones de un comité de ética institucional / IRB, así como con todos los permisos legales requeridos por el país donde se realiza la investigación.
- El manuscrito sigue estándares utilizados por la comunidad de su disciplina científica y garantiza la disponibilidad de los datos. La disponibilidad de los datos se puede realizar colocándolos como material suplementario del manuscrito o depositándolos en repositorios digitales confiables.
- Todos los autores han participado en el desarrollo del manuscrito, lo han leído y están de acuerdo con su envío a la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, y de ser aceptado, están de acuerdo que sea publicado según a la Política de Acceso Abierto de la revista.
- Todos los autores cumplen con los requisitos de autoría detallados en la Política de Autoría.
- El envío inicial del manuscrito consiste de un solo archivo, que incluye: el texto, las tablas y figuras en el mismo archivo. Las tablas y las figuras van luego del texto (no intercalarlas con el texto). Cada tabla y figura está en su propia página y está precedida por su leyenda. En caso de enviar Material Suplementario, se lo envía como archivos separados.
- Si es que hay figuras compuesta por varias imágenes, se colocó la leyenda de la figura y luego se pegó cada imagen separada. Cada imagen tiene su propia denominación a través de literales en mayúsculas (ej. A) colocados en la esquina inferior derecha de cada imagen.
- Siempre que sea posible, se proporcionan DOI o direcciones URL estables para las referencias.

AVISO DE DERECHOS DE AUTOR/A

Los autores que publiquen en la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías aceptan los siguientes términos:

- Los autores conservarán sus derechos de autor y garantizarán a la revista el derecho de primera publicación de su obra, la cual estará simultáneamente sujeto a la Licencia de reconocimiento de Creative Commons que permite a terceros compartir la obra siempre que se indique su autor y su primera publicación esta revista.
- Los autores podrán adoptar otros acuerdos de licencia no exclusiva de distribución de la versión de la obra publicada, pudiendo de esa forma publicarla en un volumen monográfico o reproducirla de otras formas, siempre que se indique la publicación inicial en esta revista.
- Se permite y se recomienda a los autores difundir su obra a través de Internet:
- Antes del envío a la revista, los autores pueden depositar el manuscrito en archivos/repositorios de pre-publicaciones (preprint servers/repositories), incluyendo arXiv, bioRxiv, figshare, PeerJ Preprints, SSRN, entre otros, lo cual puede producir intercambios interesantes y aumentar las citas de la obra publicada (Véase El efecto del acceso abierto).
- Después del envío, se recomienda que los autores depositen su artículo en su repositorio institucional, página web personal, o red social científica (como Zenodo, ResearchGate o Academia.edu).

Declaración de privacidad

Los nombres y las direcciones de correo electrónico introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines establecidos en ella y no se proporcionarán a terceros o para su uso con otros fines.

