



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

Cajamarca, Perú
Del 15 al 17 de junio, 2022



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria



Siempre
con el pueblo



BICENTENARIO
DEL PERÚ
2021 - 2024

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

(César Vallejo)

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

(Octavio Paz)

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

(Pablo Neruda)







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

Imagen: César Bazán Velásquez

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

Cajamarca, Perú
Del 15 al 17 de junio, 2022



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

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

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

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

Instituciones y organismos auspiciadores:



Editado por:

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

Nº, mes y año de edición:

Primera edición, setiembre 2022

Impreso en:

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

Tiraje: 500 ejemplares

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

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

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

CONTENIDO

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

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

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

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

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



PRESENTACIÓN

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

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

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

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

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

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





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



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

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

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

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

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

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

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

RESUMEN

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

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

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

ABSTRACT

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

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

INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

MATERIALES Y MÉTODOS

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

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

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

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

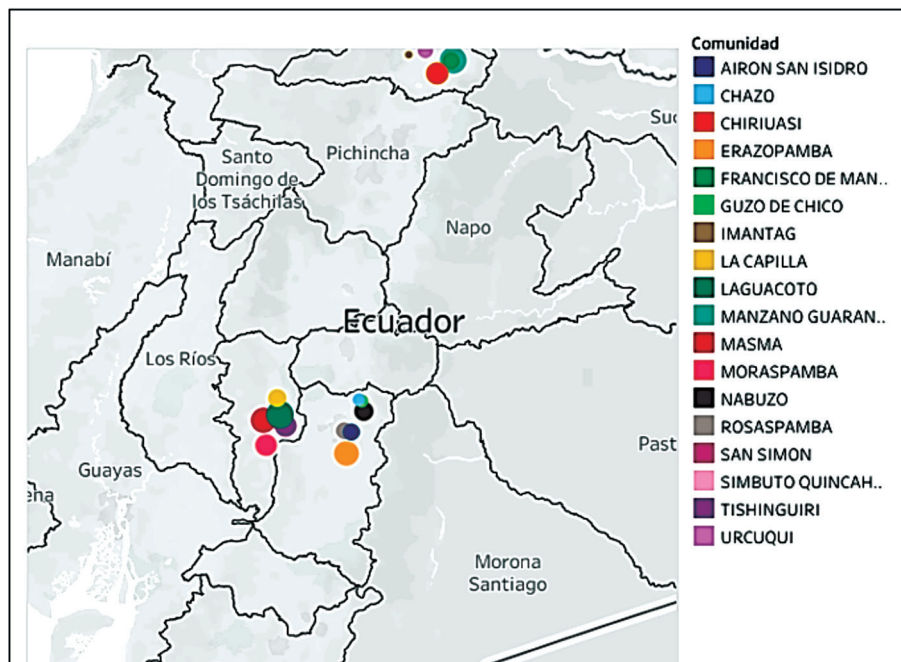
Índice de efectividad de la inoculación (IEI) para altura de planta, inserción de la mazorca y rendimiento (%)

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

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

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

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



Rendimiento t ha⁻¹

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

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

Dónde, PC: Peso de campo expresado en kg; D: Desgrane expresado en forma decimal; MS: Materia seca expresado en forma decimal; 86: Porcentaje de materia seca (constante), y AP: área de la parcela neta en m².

Para evaluar las variables agronómicas y el peso de campo se dividió el lote en micro parcelas de 16 m², tomándose entre dos y tres observaciones por cada tratamiento en cada localidad. Con el dato de rendimiento se realizó un Análisis de Varianza combinado y un Meta análisis (MA), para lo cual se utilizó el programa estadístico R y la librería (meta). Para el MA se conside-

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

RESULTADOS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*FQ; Fertilización química, CP= costos de producción

Análisis estadístico para rendimiento t ha⁻¹

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

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

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

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

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

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

C.V. (%): 17,37

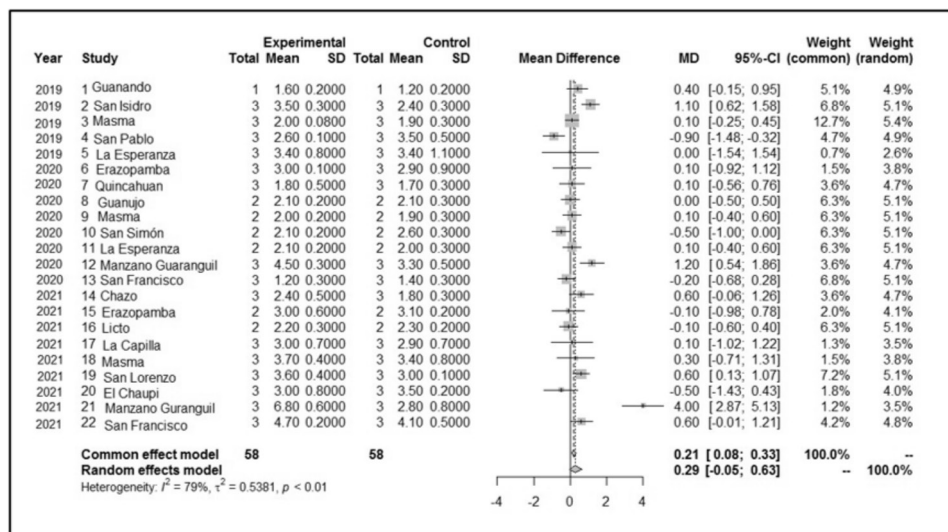
*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Meta análisis para rendimiento

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

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

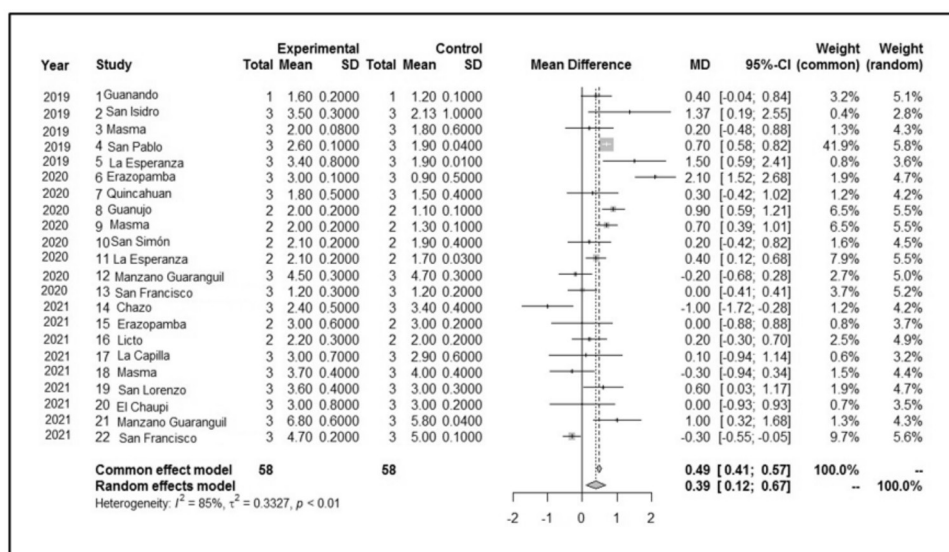
Figura 2. Diferencias de medias sobre el efecto del biofertilizante más el 50% de fertilización química (experimental) y la fertilización recomendada con el 100% del fertilizante (control) para el rendimiento de maíz suave seco en varias localidades de la Sierra del Ecuador.



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

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

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



CONCLUSIONES

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

AGRADECIMIENTOS

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

BIBLIOGRAFÍA

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

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



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

Imagen: William Guillén Padilla

**XXIV
REUNIÓN
LATINOAMERICANA
DE MAÍZ**

Cajamarca - Perú
Junio de 2022





**Memorias de la XXIV Reunión
Latinoamericana del Maíz 2022,**
edición digital, se terminó de
editar en Cajamarca, Perú,
en julio de 2022.



Instituto Nacional de Innovación Agraria

Av. La Molina 1981, La Molina
(51 1) 240-2100 / 240-2350
www.gob.pe/inia



ISBN: 978-9972-44-100-4



9 789972 441004