



FLASA

MEMORIA TÉCNICA

PROYECTOS 2022-2025



GOBIERNO DEL
ECUADOR

Instituto Nacional de
Investigaciones Agropecuarias

MEMORIA TÉCNICA DE LOS PROYECTOS FINANCIADOS CON ASIGNACIÓN DIRECTA DEL 30 % DEL FIASA AL INIAP



**GOBIERNO DEL
ECUADOR**

**Instituto Nacional de
Investigaciones Agropecuarias**

PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

Daniel Noboa Azín

MINISTRO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA

Juan Carlos Vega Malo

DIRECTOR EJECUTIVO DEL INIAP

Raúl Jaramillo Velasteguí

COMPILADORES

Andrea Verónica Sotomayor Correa, Duthier Alfredo López Domínguez, Lya Yosenka Vera Rodríguez, Martín Ricardo Moya Arellano, Michelle Alejandra Noboa Basantes

EDICIÓN TÉCNICA

Aixa Ofelia Rivero Guerra, PhD.

Investigadora-Docente Titular, Universidad Estatal Amazónica, Ecuador.

COMITÉ DE PUBLICACIONES

Álvaro Ricardo Monteros Altamirano, Diego Fernando Peñaherrera Mafla, Javier Alberto Garofalo Sosa, Jorge Esteban Rivadeneira Rúales .

CITA DEL DOCUMENTO

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2025). Memoria técnica: Proyectos 2022-2025 INIAP-FIASA (Asignación 30%) (A. V. Sotomayor Correa, D. A. López Domínguez, L. Y. Vera Rodríguez, M. R. Moya Arellano & M. A. Noboa Basantes, comps.; A. O. Rivero Guerra, ed.). 175p.

CITA RECOMENDADA DE UN RESUMEN

Sanmartín, G. et al (2025). Uso de tecnologías en pastos y forrajes para el incremento de la producción lechera en las fincas de pequeños productores del Austro. Memoria técnica: Proyectos 2022-2025 INIAP-FIASA (Asignación 30%). pp. 19.

FOTOGRAFÍAS

Material provisto por los directores de los proyectos Incluidos en esta memoria.

DISEÑO

Unidad Comunicación Social

ISBN

Código 978-9942-22-630-3

**DISTRIBUCIÓN GRATUITA
PROHIBIDA SU VENTA**

F A S A

La reproducción parcial o total de esta publicación, en cualquier forma y por cualquier medio mecánico o electrónico, está permitida siempre y cuando sea autorizada por los editores y se cite correctamente la fuente.



GOBIERNO DEL
ECUADOR

Instituto Nacional de
Investigaciones Agropecuarias

Tabla de contenidos

Prólogo	5
Agradecimientos	6
Biografía de coordinadores de proyectos INIAP-FIASA asignación 30%	8
Memoria técnica de los proyectos financiados con asignación directa del 30% del FIASA al INIAP	8
Proyecto: Uso de tecnologías en pastos y forrajes para el incremento de la producción lechera en las fincas de pequeños productores del Austro	18
Proyecto: Fortalecimiento de los sistemas de producción y prestación de servicios especializados en las Estaciones y Granjas Experimentales del INIAP	25
Proyecto: Investigación y difusión de tecnologías para la producción agroecológica y bienestar de las familias de la Circunscripción Territorial Especial Amazónica (CTEA)	31
Proyecto: Investigaciones que promueven la seguridad alimentaria y el manejo de recursos naturales en los sistemas de producción agropecuaria de las Islas Galápagos como mecanismos de adaptación al cambio climático	38
Proyecto: Fortalecimiento de los programas de mejoramiento genético mediante herramientas biotecnológicas aplicadas en cinco cultivos de interés agrícola	45
Proyecto: Desarrollo e implementación de tecnologías productivas en el cultivo de arroz, para aumentar la resiliencia de pequeños y medianos productores al cambio climático en Ecuador	55
Proyecto: Desarrollo y aplicación de tecnología de dobles haploides como innovación productiva al mejoramiento genético del maíz en el Ecuador	66
Proyecto: Generación de tecnologías integrales para la producción de cáñamo medicinal e industrial	73
Proyecto: Desarrollo de estrategias de manejo integrado de la "punta morada" en solanáceas (papa y tomate de árbol)	82
Proyecto: Semillas Andinas: Investigación, Desarrollo e Innovación para una agricultura sustentable en la región sierra del Ecuador	89
Proyecto: Proyecto de investigación sobre enfermedades letales en la palma aceitera en Ecuador	97
Proyecto: aplicación de la tecnología de edición genética en banano para el mejoramiento de su resistencia a Foc R4T y a las principales enfermedades del cultivo	106
Proyecto: Optimización del riego en cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) mediante la implementación de un sistema de control inteligente de las necesidades hídricas de la planta	114
Proyecto: Fortalecimiento de los sistemas de producción, prestación de servicios especializados y comercialización en las estaciones experimentales: Santa Catalina, Litoral Sur y Tropical Pichilingue del INIAP	122
Proyecto: Investigaciones en agricultura de conservación que promuevan la seguridad y soberanía alimentaria y el manejo de recursos naturales como mecanismos de adaptación al cambio climático en la región andina del Ecuador	128
Proyecto: Generación de estrategias climáticamente inteligentes para la producción de biomasa forrajera y su transformación en proteína animal en el litoral Ecuatoriano	137
Proyecto: Conservación y manejo del banco de germoplasma del INIAP	148
Proyecto: Fomento de prácticas para la prevención y manejo integrado de plagas para el desarrollo de una agricultura sostenible, sustentable y eficiente	158
Proyecto: Desarrollo agrícola sostenible en la Amazonía Ecuatoriana: Manejo integral de plagas y enfermedades en pitahaya, maracuyá y pastos tropicales	167
Proyecto: Rescate y selección de especies cultivadas de cacao de almendra blanca en fincas de productores de la provincia Zamora Chinchipe, centro de origen, con fines de conservación y mejoramiento genético	175

Prólogo

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) administra el Fondo de Investigación para la Agrobiodiversidad, Semillas y Agricultura Sustentable (FIASA), el cual contempla una asignación directa del 30 % de sus recursos para la ejecución de proyectos de investigación institucional. Este mecanismo de financiamiento ha permitido fortalecer de manera sostenida las capacidades técnicas, científicas y operativas del INIAP, garantizando la disponibilidad de recursos para el desarrollo de actividades de investigación orientadas a responder a las prioridades del sector agroalimentario nacional.

En este contexto, el presente documento titulado “Memoria Técnica de Proyectos FIASA-INIAP 2022-2025” constituye una compilación institucional que refleja el trabajo coordinado en torno a la generación de conocimientos, tecnologías y servicios orientados al fortalecimiento del sistema agroalimentario ecuatoriano. En cumplimiento del marco establecido por la Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable (LOASFAS), esta publicación integra los avances alcanzados en áreas prioritarias para la innovación y la sostenibilidad agrícola del país, ejecutadas por la institución.

La presente memoria ofrece una visión integral de los avances y resultados de investigación de los proyectos aprobados bajo la asignación directa al INIAP, los cuales abarcan investigaciones en mejoramiento genético, biotecnología agrícola, manejo integrado de plagas y enfermedades, agricultura climáticamente inteligente, optimización de recursos productivos, conservación de germoplasma, agroecología y fortalecimiento de servicios especializados. Cada sección evidencia la contribución del INIAP a la competitividad, resiliencia y diversificación de los sistemas productivos, articulando la ciencia aplicada con la realidad territorial.

Con esta memoria, el INIAP reafirma su misión institucional de generar conocimiento científico y soluciones tecnológicas que aporten al desarrollo de una agricultura sostenible, inclusiva e innovadora, en concordancia con las políticas públicas nacionales y las necesidades del sector agroalimentario ecuatoriano.

Ing. Raúl Jaramillo Velastegui PhD.
Director Ejecutivo

Agradecimientos

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias expresa su agradecimiento al FIASA por el financiamiento para la ejecución de los proyectos de investigación mencionados en este documento durante el periodo 2022-2025; asignación de recursos que ha permitido desarrollar proyectos estratégicos orientados a la innovación, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola.

Agradecemos al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca por su respaldo al fortalecimiento del sistema nacional de investigación agropecuaria.

Nuestro especial agradecimiento a los coordinadores y equipos multidisciplinarios de las Estaciones Experimentales del INIAP por su esfuerzo, dedicación y rigor científico permitieron alcanzar avances significativos en las diferentes áreas y líneas de investigación.

Reconocemos también el aporte de los productores, organizaciones agrícolas, estudiantes, academia, asistentes técnicos y personal contratado, quienes participaron activamente en la validación de tecnologías, ensayos de campo, levantamiento de información y procesos de capacitación. Su colaboración fue indispensable para asegurar la pertinencia y aplicabilidad de los resultados.

Finalmente, un reconocimiento a las áreas administrativas, financieras y de planificación del INIAP, que acompañaron los procesos de gestión, seguimiento y cumplimiento de los compromisos asociados a cada proyecto. Esta memoria es el reflejo del trabajo colectivo y del compromiso institucional por avanzar hacia una agricultura más sostenible, resiliente e innovadora al servicio del país.



Ing. Karina Solís Hidalgo PhD.

Subdirectora de Posicionamiento Estratégico de INIAP

Presentación del libro

La Memoria Técnica de Proyectos FIASA-INIAP 2022-2025 es un documento institucional que sistematiza los principales avances, resultados y aportes técnico-científicos de los proyectos de investigación ejecutados por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en el marco de la asignación directa del 30 % de los recursos del Fondo de Investigación para la Agrobiodiversidad, Semillas y Agricultura Sustentable (FIASA).

Durante el período analizado, el FIASA ha destinado un total de USD 7.183.525,50 al financiamiento de proyectos de investigación ejecutados por el INIAP mediante el mecanismo de asignación directa del 30 % de sus recursos. Esta inversión evidencia el compromiso con el fortalecimiento de la investigación agropecuaria, la generación de conocimiento aplicado y el desarrollo de tecnologías orientadas a la sostenibilidad del sector productivo.

La publicación recopila información técnica relevante de proyectos desarrollados en distintos ámbitos de la investigación agropecuaria, reflejando la diversidad de enfoques, metodologías y territorios en los que interviene la institución. Los contenidos han sido organizados siguiendo la cadena de valor de la investigación, lo que permite comprender de manera clara el alcance de cada iniciativa, desde el planteamiento de los objetivos y la aplicación de metodologías validadas, hasta la presentación de resultados experimentales y conclusiones técnicas, evidenciando el aporte técnico-científico de los equipos multidisciplinarios y la pertinencia de las acciones desarrolladas en beneficio de los productores, del sector agropecuario y del país.

Esta memoria, además de constituir un registro de la gestión investigativa realizada durante el período 2022-2025, se presenta como una herramienta de consulta y referencia, orientada a tomadores de decisión, investigadores, técnicos, académicos, estudiantes y actores del sector agroalimentario. Su propósito es ofrecer una visión clara y ordenada del trabajo desarrollado, evidenciando la contribución de la investigación pública a la innovación, la sostenibilidad y la seguridad alimentaria del Ecuador.

Con esta publicación, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias reafirma su compromiso con la generación de conocimiento y tecnologías que contribuyen al fortalecimiento sostenible del sector agropecuario ecuatoriano.

Ing. William Viera Arroyo PhD.

Director de Investigaciones

Biografía de coordinadores de proyectos INIAP-FIASA asignación 30%



Ingeniera Agrónoma y Magíster en Gestión de Proyectos, con especialización en producción y manejo de cannabis no psicoactivo y cáñamo industrial. Actualmente se desempeña como experta en transferencia de tecnología en la Estación Experimental del Austro del INIAP, donde coordina la validación, capacitación y difusión de tecnologías para los sectores agrícola y ganadero. Lideró el proyecto "Uso de tecnologías en pastos y forrajes para el incremento de la producción lechera en las fincas de productores en agricultura familiar campesina del Austro" financiado por el FIASA, y ha impulsado investigaciones sobre papas nativas y cannabis no psicoactivo. Es autora de guías técnicas y publicaciones científicas que fortalecen la innovación y la sostenibilidad en los sistemas productivos del país.

Graciela Sanmartín Mesías

Ingeniera Agrónoma con especialización en fitotecnia y maestría en Biodiversidad y Recursos Genéticos. Posee 12 años de experiencia en el sector público y actualmente dirige la Dirección de Producción, Comercialización y Servicios Especializados del INIAP, donde actúa como delegada permanente del Instituto ante el Comité Técnico de Semillas. Ha liderado proyectos relacionados con la producción de semillas y brinda asesoría técnica para la creación y actualización de normativas que regulan su certificación. Ha diseñado instrumentos técnico-legales para fortalecer la producción de semillas de categorías iniciales y desarrollado una estrategia comercial que posiciona al INIAP como referente de investigación a nivel nacional e internacional.

Doris Alicia Tixe Parra





Ingeniera Agrónoma (ESPOCH) y magíster en Diseño y Evaluación de Proyectos (UCE). Actualmente cursa el doctorado internacional en Agricultura y Medioambiente para el Desarrollo en la Universidad de Santiago de Compostela. Se desempeña como responsable de fruticultura del INIAP-EECA, donde desarrolla investigación aplicada en pitahaya, maracuyá, naranjilla y frutales amazónicos. Ha liderado proyectos FIASA y colaborado en iniciativas interinstitucionales con GADs, Coca Codo Sinclair y universidades. Sus aportes incluyen estudios sobre fenología, calidad de fruta, manejo de nematodos, nutrición, compatibilidad de portainjertos y agroforestería, generando publicaciones indexadas, tecnologías productivas y herramientas técnicas para el sector agrícola amazónico.

Yadira Vargas

Ingeniero agrónomo de la Universidad Central del Ecuador. Obtuvo su maestría en Crop Science en Oregon State University y su doctorado en Agrobiodiversidad en Wageningen University, Países Bajos. Posee 27 años de experiencia como investigador del INIAP en conservación, manejo y uso de recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación. Ha participado en más de 25 proyectos nacionales e internacionales y es autor o coautor de 118 publicaciones científicas en revistas indexadas, capítulos de libros, catálogos, boletines técnicos y memorias de eventos científicos. Ha representado al INIAP en foros nacionales e internacionales sobre agrobiodiversidad.

Álvaro Ricardo Monteros Altamirano





Ingeniera agrónoma y doctora en Biotecnología Vegetal (UCLV/Universidad de Oviedo), categorizada como Investigadora Principal 1. Cuenta con 30 años de experiencia en el desarrollo de protocolos de cultivo *in vitro* para el mejoramiento genético y propagación de cultivos como banano, palma aceitera, arroz, caña de azúcar y camote. Desde 2016 es investigadora del INIAP y responsable del laboratorio de Biotecnología de la Estación Litoral Sur. Su trayectoria abarca docencia de posgrado, tutoría de tesis y más de 50 publicaciones científicas y técnicas. Evalúa proyectos (FIASA, INEDITA y CEDIA) y revistas científicas, y colabora en un proyecto regional del OIEA sobre resistencia del banano a enfermedades.

Elisa Quiala Mendoza

Ingeniero agrónomo de la Universidad Agraria del Ecuador, con maestría en Mejoramiento Genético de Plantas en la Universidad Federal de Viçosa, Brasil. Desde 1997 está vinculado al INIAP y desde 2010 lidera el Programa de Mejoramiento Genético de Arroz de la Estación Experimental Litoral Sur. Ha contribuido a la liberación de 12 variedades con sus respectivas tecnologías de manejo, mejorando la rentabilidad de los productores arroceros. Representa al INIAP ante el Fondo Latinoamericano para el Arroz de Riego (FLAR), participa en la evaluación y selección del germoplasma generado, y capacita a técnicos y agricultores mediante talleres y días de campo.

Roberto Celi





Ingeniero Agrónomo por la Universidad Central del Ecuador y Magíster en Ciencias con mención en Recursos Genéticos y Productividad por el Colegio de Postgraduados de México. Es investigador categorizado por SENESCYT y cuenta con más de 20 años de experiencia en el INIAP. Se ha especializado en conservación de recursos fitogenéticos y mejoramiento genético de maíz, liderando programas de investigación, desarrollo tecnológico y transferencia de tecnología, y es autor de diversas publicaciones científicas y técnicas.

Edie Zambrano

Doctor en Ciencias de la Agronomía, magíster en Gestión de Proyectos Socioproductivos e ingeniero Agrónomo, con especialización técnica en Siembra, Cultivo y Extracción de Cannabis. Cuenta con formación multidisciplinaria en investigación agropecuaria, transferencia de tecnología, producción de semillas, planificación y economía agrícola. Ha ejercido como docente universitario y consultor independiente. Actualmente es investigador del Programa de Fruticultura del INIAP, donde lidera proyectos en cannabis medicinal y frutales como tomate de árbol, naranjilla y aguacate. Posee publicaciones en revistas indexadas, ha elaborado libros, guías y material divulgativo, y ha sido ponente en congresos nacionales e internacionales.

Jorge Luis Merino Toro





Doctora PhD. en Entomología en la Universidad del Estado de Washington, Estados Unidos. Realizó su M.Sc. en Fitopatología y Entomología en la Universidad de Wageningen, en los Países Bajos. Es ingeniera agrónoma de la Universidad Central del Ecuador. Su experiencia en investigación la ha desarrollado en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador en el programa de papa y en el departamento de protección vegetal, instituto en el que se encuentra laborando en la actualidad. Trabaja directamente asociada con la activa participación de agricultores y otros integrantes de las cadenas agrícolas de la papa y otros cultivos del Ecuador.

Carmen I. Castillo Carrillo

Ingeniero agropecuario graduado de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, con maestría en Fitomejoramiento y Manejo de Recursos Genéticos (Wageningen University) y doctorado en Genética Vegetal (The Ohio State University). Ha liderado proyectos para el desarrollo de variedades e híbridos de maíz en la Costa y Sierra del Ecuador, así como investigaciones sobre resistencia genética a enfermedades de maíz y soya en la Región Andina y Estados Unidos. Se ha desempeñado como director de investigaciones y responsable del Programa de Maíz del INIAP, consultor para el BID-FONTAGRO, y docente en la ESPE y en la Universidad San Francisco de Quito.

José Luis Zambrano





Ingeniero Agrónomo de la Universidad Técnica de Babahoyo, con maestría y doctorado en Genética y Mejoramiento de la Universidad Federal de Viçosa, Brasil. Actualmente es responsable del Programa de Palma Africana de la Estación Experimental Santo Domingo del INIAP y coordinador del proyecto FIASA "Enfermedades letales en Palma Aceitera en Ecuador". Cuenta con más de 25 años de experiencia técnica en producción e investigación en palma aceitera. Ha sido docente universitario, director de tesis de pregrado y maestría, e imparte cursos y seminarios sobre mejoramiento de la palma. Sus publicaciones abordan diversidad genética, biotecnología y metodologías de selección en palma.

Digner Ortega Cedillo

Ingeniero Agrónomo por la Universidad Central del Ecuador y magíster en Ciencias con especialidad en Fisiología Vegetal por la Universidad Central de Venezuela, con formación especializada en cultivo de tejidos otorgada por el CIRAD de Francia. Se desempeña como investigador agropecuario y responsable del Departamento de Biotecnología de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP. Posee 35 años de experiencia en fisiología de cultivos tropicales y aplicaciones biotecnológicas en cacao, café, banano, plátano y cultivos de ciclo corto. Coordina el proyecto FIASA-EELS-2022-016, orientado a la edición genética para el desarrollo de materiales de banano resistentes a enfermedades.

Arturo Iván Garzón Catota





Ingeniero Agrónomo de la Universidad Técnica de Manabí, con maestría y doctorado en Ciencias del Suelo de la Universidad Federal de Viçosa, Brasil. Desde 1993 forma parte del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, donde desde 2017 es su responsable. Representa al Ecuador como punto focal nacional ante la Alianza Latinoamericana, Centroamericana y Mundial por el Suelo (ASLAC-FAO). Ha sido docente de pre y posgrado, director de tesis y facilitador de cursos nacionales e internacionales sobre agroecología, nutrición vegetal y recuperación de suelos degradados. Cuenta con numerosas publicaciones científicas y técnicas.

Manuel Carrillo Zenteno

Ingeniero Agrónomo por la Universidad Central del Ecuador, magíster en Ciencia de Sistemas de Producción Agrícola por la Pontificia Universidad Católica de Chile y doctor en Planificación y Gestión de Proyectos de Desarrollo Rural Sostenible por la Universidad Politécnica de Madrid. Cuenta con 27 años de trayectoria como investigador en el INIAP. Se desempeñó como investigador principal de la Unidad de Economía Agrícola y Cambio Climático de la Estación Experimental Santa Catalina, coordinando proyectos con el Ministerio del Ambiente. Es autor y coautor de 45 publicaciones científicas y técnicas, entre artículos indexados, libros y capítulos de libro.

Víctor Barrera





Ingeniera Agrónoma, magíster en Producción Animal y doctora en Ciencias Agrarias, especializada en sistemas ganaderos sostenibles. Cuenta con una trayectoria consolidada en el INIAP, donde ha ocupado roles técnicos y de liderazgo en el Programa de Ganadería y Pastos. Ha desarrollado estrategias tecnológicas para mejorar la producción de forraje, la multiplicación de semillas de leguminosas herbáceas y la implementación de prácticas ecoeficientes en sistemas ganaderos tropicales. Es autora principal y coautora en múltiples publicaciones científicas de alto impacto, y ha participado como ponente en eventos técnicos y científicos a nivel nacional e internacional.

Verónica Taipe

Magíster en Agricultura Tropical Sostenible, máster universitario en Recursos Fitogenéticos y PhD en Biotecnología, Recursos Genéticos de Plantas y Microorganismos Asociados. Actualmente es responsable del Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos del INIAP. Cuenta con 33 años de experiencia en conservación y uso de la agrobiodiversidad y en políticas de biodiversidad y acceso a recursos genéticos. Ha representado al Ecuador ante la Comisión de Recursos Genéticos de la FAO y ante el Tratado Internacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Es autor de más de 60 publicaciones y ha dirigido cinco tesis doctorales y diez de maestría.

César Guillermo Tapia Bastidas





Ingeniero Agrónomo graduado de la Universidad Central del Ecuador y Magíster en Gestión de Proyectos por la Universidad UTE. Cuenta con 11 años de experiencia en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), donde desde 2014 se desempeña como Analista de Validación Agropecuaria. A lo largo de su trayectoria ha desarrollado actividades relacionadas con la validación tecnológica, el fortalecimiento de capacidades, la transferencia de conocimientos y la gestión técnico-administrativa en el sector agropecuario.

César Leonardo García Flor

Magíster en Agronomía con mención en Sanidad Vegetal y Agroecología por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, e ingeniera agrónoma por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Actualmente cursa el programa de doctorado en Investigación Agraria y Forestal en la Universidad de Santiago de Compostela, España. En el INIAP coordina el proyecto "Desarrollo Agrícola Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana: Manejo Integral de Plagas y Enfermedades en Pitahaya, Maracuyá y Pastos Tropicales". Su labor se orienta a la generación de tecnologías, la validación participativa en frutales amazónicos y la articulación de procesos de transferencia técnica con productores.

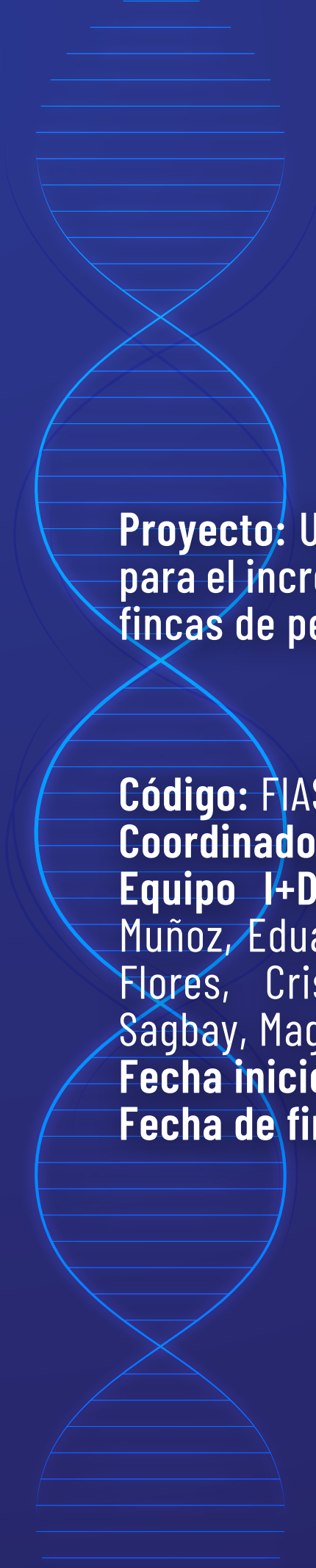
Jessica Paola Sanmiguel Chimbo





Ingeniero en Marketing por la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG), con máster en Supply Chain Management por la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid, España. Actualmente coordina el proyecto FIASA-EELS-2024-025 en el INIAP, institución en la que acumula 11 años de experiencia en comunicación institucional y transferencia de tecnología. Entre sus principales aportes se destacan la difusión de variedades de arroz como Cristalino, Impacto, Elite y Arenilla; la promoción de variedades de frutales; y la organización del Primer Simposio Internacional "El Suelo y la Nutrición de Cultivos en el Ecuador".

Xavier Mancero Troya



Proyecto: Uso de tecnologías en pastos y forrajes para el incremento de la producción lechera en las fincas de pequeños productores del Austro

Código: FIASA-EEA-2022-004

Coordinadora: Graciela Sanmartín

Equipo I+D+i (INIAP): Víctor Sánchez, Segundo Muñoz, Eduardo Cajamarca, Jaime Espinoza, Vicky Flores, Cristian Cedillo, Edwin Parra, Antonio Sagbay, Magaly Chamba.

Fecha inicio: 25-04-2022

Fecha de finalización: 25-04-2025

Resumen

Los sistemas de producción bovina son de vital importancia para la economía de Ecuador, sin embargo, el manejo ineficiente de pasturas provoca reducción en los rendimientos de la producción ganadera. En este sentido, los cambios en los patrones ambientales como consecuencia del cambio climático provocan la reducción de materia seca en pasturas entre 30 y 80 %. Este proyecto se ejecutó para el levantamiento de información primaria, implementación de ensayos de validación, creación de lotes de producción de semilla campesina, desarrollo de talleres prácticos de capacitación y días de campo para que los pequeños ganaderos de las provincias de Azuay (cantones San Fernando y Cuenca) y Cañar (cantones Cañar, Biblián y Azogues) aprendieran tecnologías de manejo y conservación de pastos mediante su aplicación directa. La avena INIAP-Fortaleza 2020, maíz INIAP-180 e INIAP-103 “Mishqui Sara” y las variedades locales tipo Zhima se usaron como alimento para el ganado bovino. Este tiempo estuvo marcado por sequías excesivas donde estos materiales forrajeros permitieron la subsistencia de los sistemas de producción familiar. El proyecto permitió que los beneficiarios conozcan los materiales vegetales que más se adaptan a su zona de producción y a su manejo para obtener mejores rendimientos. Los agricultores hicieron uso de los pastos y forrajes producidos en el proyecto para alimentar a sus animales, considerando que el pasto fue escaso a causa de los períodos prolongados de sequía.

1. Introducción

La actividad silvopastoril y la crianza de animales contribuyen a la economía de Ecuador con un 22 % del PIB. Mientras que la actividad ganadera aporta el 8 %, lo que demuestra su importancia dentro de la producción agropecuaria (Cobos y Narváez, 2018; Grijalva, 2011). El 41,3 % de la superficie de uso agropecuario en Ecuador corresponde a pastos, el 29,4 % del total son potreros cultivados y los naturales representan el 11,9 % (Rodríguez et al., 2013).

En Ecuador 5,20 millones de hectáreas están destinadas a la producción agropecuaria, 2,07 millones del total corresponden a pastos cultivados y 0,87 millones a pastos naturales (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2021, p.49). Las especies que más se cultivan de pastos corresponden a *Lolium perenne* L., *Dactylis glomerata* L., *Trifolium* sp., *Vicia* sp., etc., que en condiciones medioambientales favorables permiten producir pastos durante todo el año con un excelente contenido nutricional (León y Gutiérrez, 2018). En las unidades de producción agropecuarias (UPA's) las prácticas de manejo de potreros son muy limitadas con baja carga animal (0,21 a 0,25), lo que provoca que los ingresos sean insuficientes para el productor (Requelme y Bonifaz, 2012; Guacapiña et al., 2014).

En 2021 se registró una disminución del 6,20 % de cabezas de ganado respecto al año anterior, dato directamente proporcional a la producción de leche en el territorio nacional con un valor de 5.699,04 millones de litros (INEC, 2022). A esto se suma que el 92 % de la ganadería en Ecuador es familiar y convencional, con prácticas tradicionales caracterizadas por un bajo desarrollo tecnológico, infraestructura precaria, pastos de baja calidad, pastoreo extensivo y carencia de asesoría técnica (FAO, 2018). El manejo ineficiente de pasturas se evidencia en los bajos rendimientos de la producción ganadera. Factores como la sequía y el cambio climático reducen la producción de materia seca entre un 30 % y 80 % (Garzón y Rico, 2022). Además de ser responsable del deterioro de los ecosistemas como resultado del pisoteo, la deforestación, la erosión del suelo principalmente en zonas áridas y la pérdida de la biodiversidad (Medina, 2016; UNCC, 2017).

Considerando que durante los últimos años Ecuador ha pasado por largos períodos de sequía, para afrontar la disminución de alimento de bovinos se recomienda el uso de especies forrajeras de corte por sus altos niveles de producción de biomasa por hectárea y excelentes valores nutricionales. Una opción para la alimentación animal es la avena, por su alta digestibilidad, energía metabolizable y fibra en comparación con otros cereales, así mismo, el grano posee alta cantidad de proteínas, carbohidratos, minerales, grasas y vitaminas (Campuzano et al., 2020). Otra alternativa es el uso de maíz como alimento para animales en cualquier etapa de la planta (Guamán et al., 2020). Este cultivo es utilizado para complementar la alimentación de animales en producción por su gran valor nutricional y excelente producción de materia verde para forraje (Fassio et al., 2018).

2. Objetivos

El objetivo general fue impulsar la producción ganadera sustentable y sostenible en productores en agricultura familiar de la sierra austral del Ecuador, mediante el uso de alternativas tecnológicas disponibles y en desarrollo, además de la capacitación a los productores. Los objetivos específicos fueron: (1) Generar información y conocimiento de las nuevas tecnologías para el incremento de los rendimientos en la producción ganadera de los pequeños productores, (2) Transferir conocimientos a técnicos, agricultores y estudiantes en el uso de nuevas tecnologías para una producción ganadera sostenible y sustentable, (3) Producir y promover el uso de semilla de calidad de cultivos forrajeros idóneos para la Sierra Austral del Ecuador.

3. Metodología

Componente 1: Generar conocimiento de las nuevas tecnologías para el incremento de los rendimientos en la producción ganadera.

Se instalaron parcelas de difusión de avena, maíz y ensayos de validación de pastos anuales y perennes en las localidades donde el proyecto intervino. De acuerdo con el interés de los productores se realizaron días de campo destinados a la siembra, a realizar labores de mantenimiento o para la cosecha. Para determinar la línea base se efectuaron 39 encuestas a productores, 12 en Azuay y 27 en Cañar al inicio del proyecto. Al finalizar el proyecto se aplicaron 27 encuestas en Cañar y 23 en Azuay. Se estudiaron variables de tipo económicas, tecnológicas, de infraestructura y sociales, antes y después de la intervención.

Componente 2: Transferir conocimientos a técnicos, agricultores y estudiantes en el uso de nuevas tecnologías.

Para la capacitación se empleó la metodología “aprender-haciendo” en las parcelas de difusión de avena y maíz forrajero.

Componente 3: Producir y promover el uso de semilla de calidad de cultivos forrajeros idóneos para la Sierra Austral del Ecuador.

En los bancos comunitarios de semilla se utilizó la metodología de aprender-haciendo, donde los agricultores siguieron el proceso de producción desde la siembra hasta la cosecha, finalizando el proceso con la selección de las mejores mazorcas y granos. Se implementaron bancos comunitarios de avena INIAP-Fortaleza, maíz INIAP-103 e INIAP-180.

4. Resultados

Componente 1: Generar conocimiento de las nuevas tecnologías para el incremento de los rendimientos en la producción ganadera.

Las encuestas revelaron que los jefes de familia tienen en promedio 54,2 años, 6 años de escolaridad y 28,35 años de experiencia agrícola. Los hogares cuentan con 4 miembros y las fincas tienen una extensión promedio de 3,08 ha, ubicadas a 4 km del centro poblado. Durante el proyecto se atendió a 172 participantes (98 hombres y 74 mujeres). El 53 % de las fincas son administradas por hombres y el 82 % dispone de servicios básicos. El acceso vial es mayoritariamente por caminos de tierra (80 %). La ganadería es el único ingreso del 46 % de productores. El 80 % son propietarios y la mayoría posee varios lotes sin riego, pese a disponer de agua. El 80 % pertenece a asociaciones, más activas en Cañar (96 %) que en Azuay (58 %), donde predomina la producción independiente.

Componente 2: Transferir conocimientos a técnicos, agricultores y estudiantes en el uso de nuevas tecnologías.

El proyecto estableció 44 parcelas de validación, difusión y bancos de semilla en Azuay y Cañar. Se utilizaron avena INIAP-Fortaleza 2020, maíz INIAP-180, INIAP-103, maíz Zhima, cinco pastos anuales y cinco perennes. La cosecha de avena destinada a difusión (2023-2024) se empleó como semilla y para silos. Los rendimientos de ensilaje variaron notablemente por la falta de lluvias y riego: Monserrat (Azuay) registró el menor rendimiento con 5,86 t ha⁻¹, mientras que San Pedro (Cañar) alcanzó 46,32 t ha⁻¹. Durante la ejecución se realizaron 37 talleres con 513 agricultores (291 mujeres y 222 hombres), observándose un incremento progresivo en la participación. Además, se efectuaron dos cursos para 50 técnicos y se produjeron 12 videos y 16 infografías para el Entorno Visual de Aprendizaje.

Componente 3: Producir y promover el uso de semilla de calidad de cultivos forrajeros idóneos para la Sierra Austral del Ecuador.

Se establecieron quince bancos de semilla campesina (seis de avena y 9 de maíz) utilizando avena variedad INIAP-Fortaleza 2020, maíz tipo Zhima y las variedades INIAP-180 e INIAP-103. Las variedades de maíz se sembraron en función de la disponibilidad de semilla y de la preferencia de los agricultores. La variedad de avena INIAP-Fortaleza 2020 obtuvo los mejores rendimientos en las localidades de la provincia del Cañar con un promedio de 3,96 t ha⁻¹ en comparación con las 1,43 t ha⁻¹ que se produjeron en la provincia del Azuay. La variedad Zhima en la localidad Monserrat (Azuay) exhibió un rendimiento superior de (5,55 t ha⁻¹) respecto a la localidad Nudpud (Cañar, 1,24 t ha⁻¹). El rendimiento de la variedad INIAP-103 Mishqui Sara en San Pedro (Cañar) asciende a 6,84 t ha⁻¹ y fue superior al que se obtiene en Pacay (Azuay) con 0,32 t ha⁻¹. La variedad INIAP-180 en Pacay (Azuay) obtuvo un rendimiento de 1,48 t ha⁻¹.

5. Conclusiones

El proyecto fortaleció la producción ganadera familiar de la Sierra Austral mediante la validación y uso de tecnologías forrajeras adaptadas a condiciones de sequía. La implementación de 44 parcelas y 15 bancos de semilla permitió identificar materiales de alto rendimiento, destacándose la avena INIAP-Fortaleza 2020 y variedades locales de maíz con desempeño diferenciado según localidad. La capacitación, centrada en el enfoque aprender-haciendo, benefició a agricultores, técnicos y estudiantes, incrementando progresivamente la participación y consolidando capacidades locales para el manejo y conservación de pasturas. Las encuestas evidenciaron mejoras en el conocimiento técnico, así como una fuerte organización comunitaria en torno a las actividades productivas. En conjunto, el proyecto generó información aplicable, promovió el uso de semilla de calidad y contribuyó a una ganadería más resiliente, sostenible y alineada con las necesidades del territorio.

6. Referencias bibliográficas

Campuzano, L., Rincón, E., Sierra, J., Cuesta, D., Sierra, D. y Lopez, P. (2020). Altoandina: nueva variedad de avena forrajera para la zona Andina en Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(3), 581-595.

<https://doi:10.15517/am.v31i3.38999>

Cobos, F. y Narváez, D. (2018). *Fenología y producción de Rye grass (Lolium multiflorum Lam.) bajo sistema de labranza convencional y alternativa en la Granja de Irquís*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca].

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2021). *Boletín técnico Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2020*. Obtenido de INEC. Buenas cifras mejores vidas. p. 49.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2022). *Boletín técnico N°04-2022-IPC*. Obtenido de INEC.

Fassio, A., Ibañez, W., Fernández, E., Cozzolino, D., Pérez, O., Restaino, E., Pascal A., Rabaza C. y Vergara G. (2018). *El cultivo de maíz para la producción de forraje y grano y la influencia del agua*. Repositorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8897/1/st-239-2018.pdf>

FAO. (2018). *Buenas prácticas ganaderas impulsan la economía de pequeños productores en Ecuador*. <https://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/ar/c/1151391/>

Garzón Ruíz, Y. y Rico Alarcón, A. (2022). Importancia del correcto manejo y establecimiento de praderas destinadas a ganadería de leche en clima frío. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/4308>

Grijalva, J. P. (2011). La industria lechera en Ecuador: un modelo de desarrollo. *Retos*, 1(1), 65-70.

Guacapiña, A., Rodríguez, L., Clavijo, F. y Godoy, A. (2014). *Evaluación del comportamiento agronómico y nutricional de 65 variedades de pastos de la sierra*. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Ganadería, Quito, Ecuador. Boletín Divulgativo no. 439. p. 6.

Guamán Guamán, R., Desiderio Vera, T., Villavicencio Abril, Á., Ulloa Cortázar, S. y Romero Salguero, E. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra* 7(2): 47-56. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>

León, R., Bonifaz, N. y Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador: Siembra y producción de pasturas*. Editorial Universitaria Abya-Yala.

Medina M, C. (2016). Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. Remediaciones. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 8(1), 88-93.

Requelme, N. y Bonifaz, N. (2012). Caracterización de sistemas de producción lechera de Ecuador. *La Granja*, 15(1), 23-47. <https://doi.org/10.17163/lgr.n15.2012.05>

Rodríguez, L., Clavijo, F., Llanagrá, P. y Godoy, A. (2013). *Manejo de pastos para pequeños y medianos productores en la sierra centro del Ecuador*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2451>

United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). (2017). *Global Land Outlook: Chapter 9 – Biodiversity and Land Degradation (versión en español)*.

7. Galería fotográfica



Fotografía 1. Capacitación Amanta Bayopungo - Cañar (2022).



Fotografía 2. Día de Campo San Fernando, Azuay (2022).



Fotografía 3. Banco de semilla avena Amanta, Cañar (2022).



Fotografía 4. Validación pastos anuales Today, Cañar (2024).

Proyecto: Fortalecimiento de los sistemas de producción y prestación de servicios especializados en las estaciones y granjas experimentales del INIAP.

Código: FIASA-DPCSE-2022-005

Coordinador/a: Mgs. Doris Alicia Tixe Parra

Equipo I+D+i (INIAP): Félix Bastidas, José Velásquez, Víctor Cevallos, Guillermo García, Jean Villavicencio, Viviana Tamba, Juan Guamán, José Vaca, Diana Domínguez, Pablo Viteri, Verónica Andrade, Hernán del Alcázar, Daniel Criollo, Steven Benítez, Alexandra Chanaluisa, Pedro Guerrero, Diana Margarita Acosta, María Cristina Amaguay, Alex Delgado, Iván Samaniego, Eduardo Morillo, Manuel Carrillo.

Fecha inicio: 04-2022

Fecha de finalización: 12- 2022

Resumen

La Dirección de Producción, Comercialización y Servicios Especializados (DPCSE) del INIAP ejecutó este proyecto con el objetivo de fortalecer la producción de semillas y plantas, así como los servicios de laboratorio en las estaciones experimentales del instituto. La intervención respondió a una problemática nacional de reducción en el uso de semilla certificada, limitado acceso a tecnología agrícola y debilidades institucionales que afectan la productividad y competitividad del sector agropecuario. El proyecto se estructuró en cinco componentes orientados a la producción de semilla convencional y material de propagación vegetativa, la prestación de servicios de análisis de laboratorio, la implementación de sistemas de gestión de material vegetativo de calidad y la generación de recaudación institucional. Los resultados superaron las metas en análisis de laboratorio y recaudación, mientras que la producción de semilla y material vegetativo se ejecutó de manera parcial por factores operativos. La ejecución técnica y financiera del 79,03 % fue considerada satisfactoria según los parámetros FIASA, consolidando la capacidad operativa institucional y el acceso de los agricultores a insumos y servicios de calidad.

1. Introducción

Según el INEC-ESPAC, entre el 2018 y 2020, la superficie sembrada de cultivos transitorios en Ecuador mostró un aumento, pasando de 941.280 hectáreas en 2018 a 957.371 hectáreas en 2020. Sin embargo, el uso de semilla certificada disminuyó del 36% al 27%, lo que impactó negativamente en la productividad y los ingresos de los agricultores debido a una menor producción. En el caso de los cultivos permanentes, aunque la superficie sembrada también creció, el uso de semilla mejorada aumentó del 38% al 44%. A pesar de esto, se registraron pérdidas en la superficie sembrada debido a plagas y enfermedades, lo que resalta la importancia de utilizar materiales de calidad para mejorar la resistencia de los cultivos.

La productividad de los cultivos transitorios y perennes se ve afectada por el bajo uso de tecnología agrícola, como semillas certificadas y análisis de laboratorio. Este problema se agrava por factores como el escaso acceso a recursos de producción, altos costos de insumos, falta de capacitación técnica, y deficiencias en los canales de comercialización. Además, la débil institucionalidad y la limitada participación ciudadana en la formulación de políticas agrícolas contribuyen a un entorno poco favorable para el desarrollo agrícola, lo que limita las oportunidades de inversión y crecimiento en el sector.

A nivel nacional existe demanda por parte de productores y agricultores en el uso de semilla certificada, plantas de calidad y análisis de laboratorio, para los diferentes rubros que se cultivan en el país. Frente a esto, el INIAP por medio de sus estaciones granjas experimentales, produce semillas y plantas de los diferentes rubros que tienen demanda en el país, considerando la competencia establecida en el Art. 36 de la LOASFAS (República del Ecuador, 2017). Adicionalmente, el INIAP pone a disposición su red de laboratorios, para la atención de las diferentes determinaciones que se requieren para la toma de decisiones en los procesos agropecuarios y agroindustriales.

En este sentido, el aumento de la capacidad de producción de plantas y semillas, así como la generación de servicios de laboratorios oportunas por parte de las estaciones experimentales del INIAP, mediante el equipamiento, mantenimiento y calibración de maquinaria y equipos, plantas de beneficio de semillas, herramientas, capacitación de personal técnico y disponibilidad mano de obra calificada, permitirá incrementar la producción de los agricultores.

2. Objetivos

El objetivo general del proyecto fue: fortalecer los sistemas de producción y prestación de servicios especializados en las estaciones y granjas experimentales del INIAP; para la generación de semilla del sistema convencional, material de propagación vegetativo y análisis de laboratorio. Los objetivos específicos fueron: (1) Producir 289,32 toneladas de semillas dentro del sistema convencional y 2,80 toneladas de material seleccionado en las estaciones experimentales del Austro, Litoral Sur, Portoviejo, Santa Catalina y Tropical Pichilingue. (2) Producir 630.194 unidades de material de propagación vegetativo en las estaciones experimentales Austro, Central de la Amazonía, Litoral Sur, Portoviejo, Santa Catalina, Santo Domingo y Tropical Pichilingue. (3) Realizar 20.500 análisis de laboratorio en las estaciones experimentales Austro, Central de la Amazonía, Litoral Sur, Santa Catalina y Tropical Pichilingue. (4) Implementar sistemas de gestión de la calidad en los procesos de los laboratorios de las estaciones experimentales Central de la Amazonía, Litoral Sur, Santa Catalina. (5) Gestionar la recaudación de USD 1'115.785,71 a través de la comercialización de bienes y servicios agropecuarios generados en las estaciones experimentales.

3. Metodología

Componente 1: Producir 289,32 toneladas de semillas dentro del sistema convencional y 2,80 toneladas de material seleccionado en las estaciones experimentales del Austro, Litoral Sur, Portoviejo, Santa Catalina y Tropical Pichilingue.

Se realizó la adquisición de insumos, materiales y equipos necesarios, para fortalecer la producción de semillas en cada una de las estaciones experimentales, considerando las condiciones agroecológicas e infraestructura para su multiplicación bajo los protocolos de producción establecidos: Además, se cumplió de manera estricta con las disposiciones establecidas en las normativas vigentes de certificación bajo el sistema convencional, establecido en la LOASFAS y su reglamento de aplicación. Las semillas producidas fueron puestas a disposición en cada una de las estaciones experimentales para la adquisición de los productores de semilla acreditados ante el MAGP, así como también para los agricultores comerciales en el caso de semillas categoría certificada.

Componente 2: Producir 630.194 unidades de material de propagación vegetativo en las estaciones experimentales Austro, Central de la Amazonía, Litoral Sur, Portoviejo, Santa Catalina, Santo Domingo y Tropical Pichilingue.

Se realizó la adquisición de insumos, materiales, equipos y adecuación de umbráculos, para fortalecer la producción de los materiales de propagación vegetativa (plantas, esquejes, varetas, guías y semillas germinadas) en cada una de las estaciones experimentales bajo los protocolos de producción, desde la preparación de los sustratos, obtención del material de partida, siembra, desarrollo, mantenimiento y adecuación. Los materiales producidos fueron puestos a disposición de los agricultores demandantes para su adquisición.

Componente 3: Realizar 20.500 análisis de laboratorio en las estaciones experimentales Austro, Central de la Amazonía, Litoral Sur, Santa Catalina y Tropical Pichilingue.

Los análisis de laboratorio se realizaron mediante las metodologías validadas en el Instituto, la aplicación de sistemas de gestión, calibración, mantenimiento de equipos y herramientas, capacitación de personal técnico y la disponibilidad de reactivos e insumos. De esta manera se garantizó un servicio de laboratorio con un tiempo de respuesta oportuno y con datos precisos.

Componente 4: Implementar sistemas de gestión de la calidad en los procesos de los laboratorios de las estaciones experimentales Central de la Amazonía, Litoral Sur y Santa Catalina.

Para el sistema de gestión de calidad en laboratorios, se inició con la planificación para la acreditación de los laboratorios, mapeando los procesos, y documentando toda la información necesaria. La implementación incluyó la capacitación al personal, asegurando la actualización de la documentación y monitoreo continuo de los procesos. Finalmente, se preparó al laboratorio para la auditoría externa y obtención de la certificación de acreditación correspondiente, garantizando así la eficiencia, precisión y confiabilidad de los resultados de los análisis.

Componente 5: Gestionar la recaudación de USD 1'115.785,71 a través de la comercialización de bienes y servicios agropecuarios generados en las estaciones experimentales.

La gestión de recaudación se realizó mediante la estructuración del plan de comercialización, el cual incluyó estrategias e instrumentos de promoción de los bienes y servicios agropecuarios que oferta el INIAP en las estaciones y granjas experimentales, generando de esta manera demanda por parte de los productores, así como la recaudación por la comercialización y prestación de servicios.

4. Resultados

Componente 1: Producir 289,32 toneladas de semillas dentro del sistema convencional y 2,80 toneladas de material seleccionado en las estaciones experimentales del Austro, Litoral Sur, Portoviejo, Santa Catalina y Tropical Pichilingue.

En la ejecución del proyecto se produjo 261,47 toneladas de semilla de categorías genética, básica, registrada, certificada y material seleccionado de los rubros de arroz, avena, cebada, chocho, fréjol, haba, higuera, maíz duro, maíz semi duro, maíz suave, maní, papa, quinua, soya y trigo.

Componente 2: Producir 630.194 unidades de material de propagación vegetativo en las estaciones experimentales Austro, Central de la Amazonía, Litoral Sur, Portoviejo, Santa Catalina, Santo Domingo y Tropical Pichilingue.

Producción de 409.316,00 unidades de material de propagación vegetativa entre ellos plantas, esquejes, guías, varetas y semillas germinadas de los rubros de: aguacate, arándano, cacao, café, camote, camu camu, chirimoya, durazno, granadilla, guayaba, higo, laurel, limón, maderables, malanga, mandarina, mango, maracuyá, mora, naranja, naranjilla, palma aceitera, papa, pomelo, tangelo, tangor, taxo, tomate de árbol, toronja, uva, uvilla, vainilla y yuca.

Componente 3: Realizar 20.500 análisis de laboratorio en las estaciones experimentales Austro, Central de la Amazonía, Litoral Sur, Santa Catalina y Tropical Pichilingue.

Realización de 26.968 análisis de laboratorio en las diferentes estaciones experimentales que prestan los servicios.

Componente 4: Implementar sistemas de gestión de la calidad en los procesos de los laboratorios de las estaciones experimentales Central de la Amazonía, Litoral Sur y Santa Catalina.

Mantenimiento de la acreditación de 2 laboratorios con la certificación del SAE, siendo los laboratorios acreditados los siguientes: a) el laboratorio de suelos, plantas y aguas de la estación experimental Litoral Sur y b) el laboratorio de análisis de alimentos de la estación experimental Santa Catalina.

Componente 5: Gestionar la recaudación de USD 1'115.785,71 a través de la comercialización de bienes y servicios agropecuarios generados en las estaciones experimentales.

Con el aporte de los recursos de FIASA se fortalecieron los procesos productivos y de servicios de laboratorio del INIAP, permitiendo recaudar USD 1'572.175,17 , por la comercialización de bienes y servicios en las estaciones experimentales, conforme la oferta de la cartera de bienes y servicios del INIAP y la demanda de los agricultores.

5. Conclusiones

La producción de semilla alcanzó 261,47 toneladas (90% de la meta) en 16 rubros agrícolas, reflejando una capacidad productiva sólida pese a factores agroecológicos y operativos. La producción de material vegetativo fue de 409.316 unidades (65% de la meta) en más de 30 especies, evidenciando la necesidad de fortalecer infraestructura y material parental.

Los servicios de análisis de laboratorio superaron la meta, con 26.968 análisis realizados frente a 20.500 planificados, mostrando alta demanda y eficiencia operativa. Además, la acreditación de laboratorios ante el SAE garantizó la confiabilidad de los resultados y fortaleció el posicionamiento técnico del INIAP.

Finalmente, la recaudación alcanzó USD 1'572.175,17, superando en 41% la meta prevista, lo que evidencia una gestión comercial efectiva y una demanda sostenida de los bienes y servicios institucionales.

6. Referencias bibliográficas

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2018-2020). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua* (ESPAC) [Base de datos y resultados]. INEC.

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-espac/>

República del Ecuador. (2017, 8 de junio). Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable [Suplemento del Registro Oficial No. 10]. Registro Oficial.

7. Galería fotográfica



Fotografía 1. Producción de semilla rubro de papa en la estación experimental Santa Catalina (2022).



Fotografía 2. Producción de semilla rubro de maíz en la estación experimental Portoviejo (2022).



Fotografía 3. Producción de material de propagación vegetativa cacao en la estación experimental Santo Domingo (2022).

Proyecto: Investigación y difusión de tecnologías para la producción agroecológica y bienestar de las familias de la Circunscripción Territorial Especial Amazónica (CTEA).

Código: FIASA-EECA-2022-006

Ejecutor: Estación Experimental Central de la Amazonia-INIAP

Coordinador: Yadira Vargas

Equipo I+D+i (INIAP): Cristian Subía, Darío Calderón, Félix Bastidas, Leider Tinoco, Nelly Paredes, Luis Lima, Alexandra Chanaluiza, Armando Burbano, Jimmy Pico, Carlos Congo, Jessica Sanmiguel, Fabián Fernández, José Intriago, Julio Macas, Javier Chuquimarca.

Fecha de inicio: 25-04-2022

Fecha de finalización: 25-01-2024

Resumen

La producción agropecuaria en la Amazonía ha estado históricamente limitada por factores como la baja fertilidad de los suelos, alta acidez, toxicidad por aluminio, deficiencia de nitrógeno y fósforo, así como por la creciente incidencia de plagas que afectan el rendimiento de los principales cultivos. Al mismo tiempo, esta región constituye un ecosistema estratégico para el equilibrio ambiental del planeta, lo que demanda políticas públicas y enfoques productivos orientados al manejo integral del ambiente, la conservación de la biodiversidad, respeto a la diversidad cultural y uso sostenible de los recursos naturales. Bajo estas condiciones, y considerando la aptitud natural de los suelos, la producción agropecuaria en la Circunscripción Territorial Especial Amazónica (CTEA) no puede desarrollarse bajo esquemas convencionales, sino mediante sistemas productivos que se asemeje a la estructura y funcionalidad del bosque. En este contexto, la agroecología y los sistemas agroforestales se consolidan como alternativas viables que permiten producir y conservar de manera simultánea, fortaleciendo la resiliencia y sostenibilidad de los pequeños y medianos productores. Por ello, resulta necesario fortalecer la investigación y la difusión de alternativas de producción agropecuaria sostenible con un enfoque participativo e integral. En este marco, el proyecto se orientó a la generación y validación de tecnologías agroecológicas con potencial para incrementar la productividad y rentabilidad de los principales rubros agroproductivos de la CTEA. El proyecto contribuyó al fortalecimiento de los procesos de investigación y transferencia tecnológica, sentando bases para nuevas iniciativas orientadas a la sostenibilidad rural de la Amazonía ecuatoriana.

1. Introducción

La Amazonía ecuatoriana constituye un territorio estratégico por su elevada biodiversidad, su función en la regulación climática global y su relevancia social, cultural y productiva. No obstante, el desarrollo agropecuario en esta región enfrenta importantes limitaciones estructurales asociadas a las características edafoclimáticas, tales como la baja fertilidad natural de los suelos, alta acidez, presencia de aluminio intercambiable y deficiencias de nutrientes esenciales, lo que restringe la productividad y sostenibilidad de los sistemas de producción convencionales (Nieto y Caicedo, 2012; Bravo et al., 2017).

Adicionalmente, la implementación de modelos productivos no adaptados a la dinámica ecológica amazónica ha generado impactos negativos sobre los recursos naturales, incluyendo procesos de degradación del suelo, pérdida de cobertura vegetal y afectaciones a la biodiversidad. Frente a este escenario, se vuelve prioritario promover enfoques productivos que permitan compatibilizar la producción agropecuaria con la conservación ambiental y el bienestar de las familias rurales, bajo principios de sostenibilidad ecológica, social y económica (Alemán Pérez et al., 2018).

En este contexto, la agroecología y los sistemas agroforestales se consolidan como alternativas viables para la Amazonía, al favorecer sistemas productivos que emulan la estructura y funcionalidad del bosque. Estos enfoques permiten diversificar la producción, mejorar la resiliencia de los sistemas agropecuarios, optimizar el uso de los recursos naturales y contribuir a la mitigación del cambio climático, así como a la conservación de la biodiversidad y la seguridad alimentaria (Casanova-Lugo et al., 2011; Posada Ochoa y Noguera, 2014).

Bajo estas consideraciones, el INIAP, a través de la Estación Experimental Central de la Amazonía, ejecutó el proyecto *Investigación y difusión de tecnologías para la producción agroecológica y el bienestar de las familias de*

la Circunscripción Territorial Especial Amazónica (CTEA), con el objetivo de fortalecer la investigación aplicada y los procesos de transferencia y difusión de tecnologías agroecológicas adaptadas a las condiciones de la región. El proyecto se desarrolló bajo un enfoque participativo e interdisciplinario, integrando aspectos productivos, ambientales, económicos y sociales.

2. Objetivos

El objetivo general fue fortalecer la investigación y la difusión de tecnologías para la producción agroecológica y el bienestar de las familias de la Circunscripción Territorial Especial Amazónica (CTEA). Los objetivos específicos fueron: (1) Desarrollar tecnologías para la producción agroecológica en la CTEA, (2) Fortalecer los procesos de transferencia, validación y difusión de tecnologías para la producción agroecológica en la CTEA y (3) Fortalecimiento de la innovación de los laboratorios de apoyo a la investigación y como oferta de servicios para la producción agroecológica en la CTEA.

3. Metodología

Componente 1: Desarrollo de tecnologías para la producción agroecológica en la CTEA.

Las actividades de investigación se ejecutaron mediante el establecimiento de ensayos experimentales, parcelas demostrativas y evaluaciones en condiciones reales de producción, orientadas al manejo agroecológico de cultivos estratégicos como cacao, café robusta y pitahaya, así como al estudio de sistemas agroforestales, manejo de forrajes y alternativas de nutrición animal. Adicionalmente, se llevaron a cabo procesos de identificación, caracterización y multiplicación de materiales promisorios de la agrobiodiversidad de la CTEA, y se desarrollaron prototipos a escala piloto de productos con valor agregado. Se elaboraron estudios relacionados con la transición agroecológica de sistemas de producción bajo las condiciones edafoclimáticas de la región.

Componente 2: Fortalecimiento de los procesos de transferencia, validación y difusión de tecnologías.

Se promovió la interacción entre investigadores, técnicos, productores y estudiantes mediante la ejecución de cursos de capacitación, días de campo, ferias tecnológicas y seminarios, empleando un enfoque participativo. Se establecieron y evaluaron parcelas de validación y difusión de materiales y tecnologías promisorios en condiciones reales de producción. La transferencia de resultados se complementó con la elaboración y publicación de artículos científicos y publicaciones técnicas, así como con el acompañamiento a tesis de pregrado y posgrado vinculadas a las líneas de investigación del proyecto.

Componente 3: Fortalecimiento de la innovación de los laboratorios de apoyo a la investigación.

Se fortaleció el soporte técnico-científico del proyecto mediante la realización de análisis especializados de apoyo a la investigación y a los sistemas productivos agroecológicos. Se validaron e implementaron nuevas metodologías analíticas, ampliando la oferta de servicios de laboratorio orientados a la producción agroecológica en la CTEA. Estas acciones contribuyeron al desarrollo de capacidades analíticas institucionales y al respaldo técnico de las investigaciones ejecutadas en la región.

4. Resultados

Componente 1: Desarrollo de tecnologías para la producción agroecológica en la CTEA.

En el marco de este componente se logró la generación y/o validación de tecnologías agroecológicas orientadas al mejoramiento de la productividad, sostenibilidad y rentabilidad de los principales rubros agroproductivos de la Circunscripción Territorial Especial Amazónica (CTEA), destacándose el desarrollo y validación de al menos cinco tecnologías agroecológicas relacionadas con el manejo de cacao y café robusta bajo sistemas agroforestales, el uso de portainjertos en pitahaya, el incremento de la productividad y sostenibilidad del pasto gramalote morado en el sur de la Amazonía y la implementación de alternativas para la nutrición bovina en sistemas de producción semi-intensivos; adicionalmente, se identificaron y seleccionaron al menos 24 materiales promisorios, se caracterizaron aproximadamente 1.500 individuos de diferentes especies de importancia agrícola, económica e industrial, se multiplicaron 2.000 plantas de la agrobiodiversidad para el fortalecimiento de sistemas de producción diversificados, se desarrollaron dos prototipos a escala piloto de productos con valor agregado basados en la agrobiodiversidad de la CTEA y se elaboraron dos estudios relacionados con la transición agroecológica de sistemas de producción.

Componente 2: Fortalecimiento de los procesos de transferencia, validación y difusión de tecnologías.

En este componente se fortalecieron las capacidades técnicas y los procesos de difusión de tecnologías agroecológicas mediante actividades de capacitación, validación y transferencia de conocimientos, logrando la ejecución de 18 cursos de capacitación con la participación de 351 personas entre técnicos, promotores y estudiantes; además, se desarrollaron al menos 91 eventos de transferencia y difusión de tecnologías, beneficiando a 2.204 personas, principalmente productores; se realizó un día de campo, una feria de oferta tecnológica y de emprendimientos, así como el Seminario Internacional “Investigación, innovación y emprendimientos agroecológicos”; asimismo, se establecieron 4 parcelas y se evaluaron un total de 12 parcelas de validación y/o difusión de materiales y tecnologías promisorias, y se publicaron 5 artículos científicos y un resumen en una revista no indexada, así como la elaboración de 4 publicaciones técnicas. De igual manera durante el período de ejecución del proyecto, la producción científica incluyó el desarrollo de 12 tesis de pregrado y 1 tesis de posgrado.

Componente 3: Fortalecimiento de la innovación de los laboratorios de apoyo a la investigación.

Como parte del fortalecimiento de la infraestructura y los servicios de laboratorio, se realizaron 11.342 análisis de laboratorio en apoyo a la investigación y a los sistemas productivos agroecológicos, y se validaron e implementaron dos nuevas metodologías de análisis, lo que permitió ampliar y fortalecer la oferta de servicios de laboratorio orientados a la producción agroecológica en la Circunscripción Territorial Especial Amazónica (CTEA).

5. Conclusiones

El proyecto fortaleció la investigación aplicada y la validación de tecnologías agroecológicas adaptadas a las condiciones productivas de la CTEA, contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios.

Las acciones de transferencia, validación y difusión permitieron fortalecer capacidades técnicas y promover la adopción de tecnologías agroecológicas por parte de productores y actores locales. El fortalecimiento de los laboratorios consolidó el soporte técnico-científico para la investigación, la innovación y la producción agroecológica en la región.

6. Referencias bibliográficas

Alemán Pérez, R. D., Bravo Medina, C. A. y Chimborazo, C. (2018). Propuesta de manejo agroecológico de los sistemas ganaderos en la región amazónica ecuatoriana. *Cuadernos de Agroecología*, 13(1), 1-9.

Bravo, C., Torres, B., Alemán, R., Marín, H., Durazno, G., Navarrete, H., Tuniesky Gutiérrez, E. y Tapia, A. (2017). Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 37(2), 247-264.
<https://doi.org/10.5209/AGUC.57725>

Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J. y Solorio-Sánchez, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(1), 133-143.
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.047>

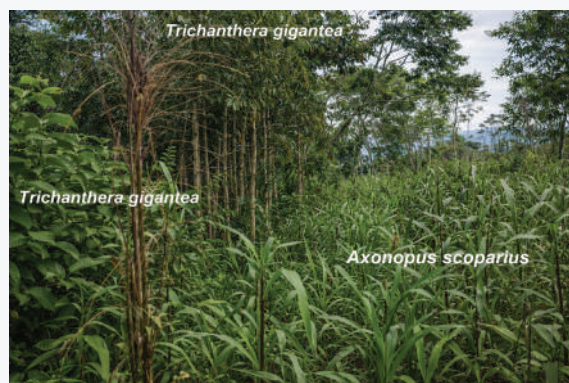
Nieto C. y Caicedo C. (2012). *Análisis reflexivo sobre el desarrollo agropecuario sostenible en la Amazonía ecuatoriana*. Repositorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3791>

Posada Ochoa, S. y Noguera, R. (2014). Metanogénesis ruminal y estrategias para su mitigación. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 9(2), 307-323.
<https://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/3151>

7. Galería fotográfica



Fotografía 1. Ensayo forestal de Melina ubicado en la EECA del INIAP del cantón La Joya de los Sachas (2023).



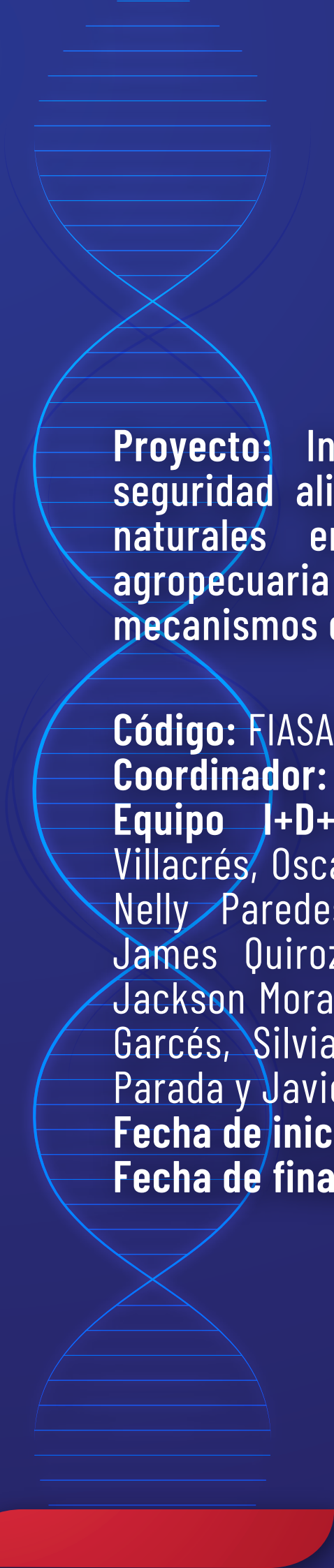
Fotografía 2. Estado actual de los arbustos de *Trichanthera gigantea* y del pasto *Axonopus scoparius* pasturas en callejones en la Granja Experimental Domono (2023).



Fotografía 3. Sistema Agroforestal con pitahaya amarilla injerta (2023).



Fotografía 4. Parcela de validación de selecciones de café arábigo en Domono (2023).



Proyecto: Investigaciones que promueven la seguridad alimentaria y el manejo de recursos naturales en los sistemas de producción agropecuaria de las islas Galápagos como mecanismos de adaptación al cambio climático.

Código: FIASA-EELS-2022-007

Coordinador: Álvaro Monteros

Equipo I+D+i (INIAP): Víctor Barrera, Elena Villacrés, Oscar López, Belén Quelal, Alberto Roura, Nelly Paredes, Marcelo Tacán, Saúl Mestanza, James Quiroz, Eloy Orellana, Valeria Quijozaca, Jackson Mora, Rafael Parra, Luis Escudero, Sandra Garcés, Silvia Salazar, Ricardo Moreira, Nathalia Parada y Javier Álvarez.

Fecha de inicio: 13-04-2022

Fecha de finalización: 31-12-2022

Resumen

El proyecto tuvo como objetivo promover la seguridad alimentaria y el manejo sostenible de los recursos naturales en los sistemas de producción agropecuaria de las islas Galápagos, mediante investigaciones en agrobiodiversidad, agricultura de conservación y agroindustria, como mecanismos de adaptación al cambio climático. La iniciativa se ejecutó en las islas San Cristóbal, Santa Cruz, Isabela y Floreana, bajo coordinación del INIAP. Durante los ocho meses de ejecución, se logró avanzar en la caracterización e inventario de la agrobiodiversidad local, con la colecta de accesiones de especies cultivadas y se conservaron ex situ. Se establecieron 84 parcelas experimentales de agricultura de conservación en Santa Cruz y San Cristóbal, orientadas al manejo sostenible del suelo, agua y biodiversidad. Asimismo, se desarrollaron bases de datos y protocolos técnicos relacionados con la caracterización físicoquímica y alternativas de transformación y conservación de productos agrícolas priorizados. El proyecto permitió generar capacidades técnicas, fortalecer el conocimiento científico y sentar bases para el desarrollo de alternativas tecnológicas adaptadas a las condiciones insulares. Sin embargo, varias actividades no alcanzaron su ejecución completa debido al cierre anticipado del proyecto, limitando la consecución de algunos productos planificados. A pesar de ello, los resultados obtenidos constituyen un aporte relevante para la investigación agropecuaria y la sostenibilidad de los sistemas productivos de Galápagos.

1. Introducción

La seguridad alimentaria y el manejo sostenible de los recursos naturales representan desafíos prioritarios para los sistemas de producción agropecuaria de las islas Galápagos, especialmente frente a los efectos del cambio climático, la fragilidad de los ecosistemas insulares y las limitaciones productivas propias del territorio. El fortalecimiento de la investigación aplicada, la conservación de la agrobiodiversidad y la generación de alternativas tecnológicas adaptadas a las condiciones locales constituyen estrategias clave para mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos locales y la calidad de vida de los hogares agropecuarios.

En este contexto, INIAP, a través de este proyecto, ejecutó investigaciones orientadas a la agrobiodiversidad, la agricultura de conservación y la agroindustria, con el propósito de contribuir a la seguridad alimentaria y al uso eficiente de los recursos naturales en las islas Galápagos. Las acciones desarrolladas permitieron generar información técnica y científica relevante, establecer bases experimentales y fortalecer capacidades locales, aportando insumos para la toma de decisiones y la continuidad de procesos de investigación y transferencia tecnológica en territorios insulares.

2. Objetivos

El objetivo general fue promover la seguridad alimentaria y el manejo sostenible de los recursos naturales en los sistemas de producción agropecuaria de las islas Galápagos, a través del desarrollo de investigaciones en agrobiodiversidad, agricultura de conservación y agroindustria, como mecanismos de adaptación al cambio climático. Los objetivos específicos fueron (1) Diseñar, generar e implementar investigaciones relacionadas con la agrobiodiversidad existente en las islas Galápagos, que promuevan la conservación y el uso de las especies. (2) Diseñar, generar e implementar investigaciones de agricultura de conservación que promuevan la seguridad alimentaria y manejo de recursos naturales en las islas Galápagos. (3) Diseñar, generar e implementar investigaciones en agroindustria que promuevan la seguridad alimentaria y los ingresos de los hogares agropecuarios. (4) Sistematizar y difundir los resultados, experiencias y aprendizajes generados por el proyecto, mediante procesos de transferencia de conocimiento dirigidos a actores del sector agropecuario, académico e investigativo de las islas Galápagos.

3. Metodología

Componente 1: Diseñar, generar e implementar investigaciones relacionadas con la agrobiodiversidad existente en las islas Galápagos, que promuevan la conservación y el uso de las especies.

Para el desarrollo de investigaciones en agrobiodiversidad, se aplicó una metodología participativa que incluyó la evaluación in situ y ex situ de especies cultivadas presentes en las islas San Cristóbal, Santa Cruz, Isabela y Floreana. Se realizaron inventarios de agrobiodiversidad, colectas de accesiones y levantamiento de información mediante encuestas a productores. El material vegetal de especies cultivadas fue recolectado y conservado bajo esquemas de conservación complementaria, incluyendo almacenamiento en frío y establecimiento en campo, con el fin de generar bases de datos técnicas que respalden la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad agrícola.

Componente 2: Diseñar, generar e implementar investigaciones de agricultura de conservación que promuevan la seguridad alimentaria y manejo de recursos naturales en las islas Galápagos.

Las investigaciones en agricultura de conservación se desarrollaron mediante la instalación de parcelas experimentales en fincas de productores y en áreas experimentales institucionales, utilizando un diseño de bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas. Se evaluaron prácticas relacionadas con labranza, cobertura y manejo del suelo, orientadas a mejorar la eficiencia en el uso de recursos y la resiliencia de los sistemas productivos frente al cambio climático. La información generada fue sistematizada en bases de datos técnicas para su análisis y posterior validación.

Componente 3: Diseñar, generar e implementar investigaciones en agroindustria que promuevan la seguridad alimentaria y los ingresos de los hogares agropecuarios.

En el componente de agroindustria se aplicaron metodologías de laboratorio para la caracterización fisicoquímica y funcional de especies agrícolas priorizadas en las islas San Cristóbal y Santa Cruz. Se desarrollaron ensayos preliminares y protocolos técnicos para alternativas de transformación y conservación de productos agrícolas, así como estudios exploratorios orientados a la agregación de valor y diversificación de la producción, considerando las condiciones y restricciones del territorio insular.

Componente 4: Sistematizar y difundir los resultados, experiencias y aprendizajes generados por el proyecto, mediante procesos de transferencia de conocimiento dirigidos a actores del sector agropecuario, académico e investigativo de las islas Galápagos.

La sistematización y difusión de resultados se avanzó mediante la elaboración de informes técnicos, bases de datos, protocolos y borradores de publicaciones científicas, así como a través de actividades de capacitación y socialización con actores del sector agropecuario, académico e investigativo.

4. Resultados

Componente 1: Diseñar, generar e implementar investigaciones relacionadas con la agrobiodiversidad existente en las islas Galápagos, que promuevan la conservación y el uso de las especies.

Como resultado de las investigaciones en agrobiodiversidad, durante los primeros 8 meses, se realizó el inventario de la diversidad agrícola en las islas San Cristóbal, Santa Cruz, Isabela y Floreana, logrando la colecta de 247 accesiones correspondientes a 38 especies cultivadas. Las accesiones de semillas ortodoxas fueron acondicionadas y conservadas en frío, mientras que las especies con semillas recalcitrantes fueron establecidas en campo (Granja el Socabón) para su mantenimiento y multiplicación. Adicionalmente, se priorizaron ocho especies de interés para estudios posteriores y se generaron bases de datos técnicas y un borrador avanzado de publicación científica, fortaleciendo la conservación y el uso sostenible de la agrobiodiversidad local.

Componente 2: Diseñar, generar e implementar investigaciones de agricultura de conservación que promuevan la seguridad alimentaria y manejo de recursos naturales en las islas Galápagos.

En el marco de la agricultura de conservación, se establecieron 84 parcelas experimentales, 42 en la isla Santa Cruz y 42 en San Cristóbal, donde se evaluaron prácticas orientadas al manejo sostenible del suelo, agua y biodiversidad. Estas parcelas constituyeron una base experimental para el análisis de alternativas tecnológicas adaptadas a las condiciones insulares. La información generada fue sistematizada en bases de datos técnicas y documentada en informes, permitiendo sentar las bases para la validación futura de prácticas de agricultura de conservación como mecanismos de adaptación al cambio climático.

Componente 3: Diseñar, generar e implementar investigaciones en agroindustria que promuevan la seguridad alimentaria y los ingresos de los hogares agropecuarios.

Las investigaciones en agroindustria permitieron generar una base de datos con la caracterización fisicoquímica de 20 especies alimenticias colectadas en las islas San Cristóbal y Santa Cruz. Asimismo, se desarrollaron protocolos técnicos para la transformación y estabilización del jugo de naranja, la conservación de una hortaliza local y la caracterización de dos variedades de fréjol, así como ensayos preliminares sobre especies con potenciales propiedades funcionales. Estos resultados aportan información clave para la agregación de valor y la diversificación de la producción agrícola en Galápagos.

Componente 4: Sistematizar y difundir los resultados, experiencias y aprendizajes generados por el proyecto, mediante procesos de transferencia de conocimiento dirigidos a actores del sector agropecuario, académico e investigativo de las islas Galápagos.

En cuanto a la sistematización y difusión de resultados, se elaboraron informes técnicos, bases de datos, protocolos y documentos científicos en fase de preparación. Se realizaron actividades de capacitación y socialización que involucraron actores del sector académico e investigativo, así como a familias de las islas participantes, fortaleciendo el conocimiento sobre las alternativas tecnológicas desarrolladas.

Cabe indicar que, debido al cierre anticipado del proyecto luego de 8 meses de iniciado, las actividades se suspendieron completamente, debido a la imposibilidad de continuar con las mismas.

5. Conclusiones

Pese al corto tiempo de vigencia del proyecto, este permitió generar información técnica y científica sobre la agrobiodiversidad, la agricultura de conservación y la agroindustria en las islas Galápagos, aportando a la seguridad alimentaria y al manejo sostenible de los recursos naturales en sistemas productivos insulares. La implementación de inventarios, parcelas experimentales, bases de datos y protocolos técnicos sentó bases relevantes para la evaluación y validación de alternativas tecnológicas adaptadas al territorio.

Los resultados preliminares alcanzados contribuyeron al fortalecimiento de capacidades técnicas y a la articulación con actores locales, constituyéndose en un insumo estratégico para la continuidad de procesos de investigación y transferencia de conocimiento liderados por el INIAP.

6. Referencias bibliográficas

Bravo, C., Torres, B., Alemán, R., Marín, H., Durazno, G., Navarrete, H., Tuniesky Gutiérrez, E. y Tapia, A. (2017). Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 37(2), 247-264.
<https://doi.org/10.5209/AGUC.57725>

FAO. (2018). *The future of food and agriculture: Alternative pathways to 2050*.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2c6bd7b4-181e-4117-a90d-32a1bda8b27c/content>

FAO. (2020). *Agrobiodiversity and sustainable agriculture*.

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2023). *Informe final de cierre del proyecto FIASA-EELS-2022-007: Investigaciones que promueven la seguridad alimentaria y el manejo de recursos naturales en los sistemas de producción agropecuaria de las islas Galápagos*.

IPCC. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press.

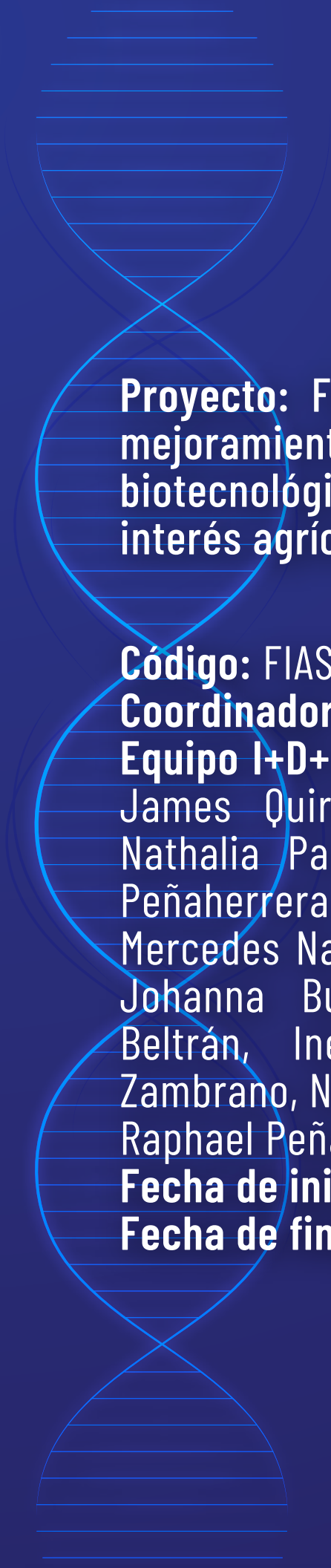
7. Galería fotográfica



Fotografía 1. Muestreo *Eryngium foetidum* L. Santa Cruz (2022).



Fotografía 2. Colecta *Cucurbita* spp en isla Floreana (2022).



Proyecto: Fortalecimiento de los programas de mejoramiento genético mediante herramientas biotecnológicas aplicadas en cinco cultivos de interés agrícola.

Código: FIASA-EELS-2022-008

Coordinador: PhD. Elisa Quiala Mendoza

Equipo I+D+i (INIAP): Gladys Viteri, Saúl Mestanza, James Quiroz, Ricardo Moreira, Eloy Orellana, Nathalia Parada, Lenin Paz, Daniel Navia, Luis Peñaherrera, Digner Ortega, Silvia Zambrano, Mercedes Navarrete, Iván Garzón, Eduardo Murillo, Johanna Buitrón, Santiago Meneses, Lupercio Beltrán, Inés Tapay, Bertín Osorio, Cristian Zambrano, Noely Ruiz, Gerardo Martínez, Paul Vélez, Raphael Peñafiel, y Alejandro Mejía.

Fecha de inicio: 13-04-2022

Fecha de finalización: 12-04-2026

Resumen

La embriogénesis somática (ES) es una poderosa herramienta tanto para la propagación masiva como para la mejora de plantas, facilitando la implementación de las nuevas técnicas de mejoramiento genético. Sin embargo, a pesar de las ventajas, de manera general en el país existen pocos equipos de trabajo relacionados con la investigación agropecuaria, que cuentan con esta poderosa herramienta en sus programas. Por lo que, la finalidad de este proyecto fue contribuir al fortalecimiento de los programas de mejoramiento genético, en primer lugar, mediante la implementación de protocolos de embriogénesis somática en los cinco rubros de interés agrícola y posteriormente, transfiriendo estas tecnologías cada año, mediante cursos de capacitación teórico-práctico. Se logró implementar los protocolos de embriogénesis somática en los cinco cultivos: banano, café, cacao, mandarina y palma aceitera y se establecieron parcelas en campo de banano y café para evaluar la respuesta morfo-agronómica. Mediante marcadores SSR se logró validar la fidelidad genética de las plantas de café y banano regeneradas, respecto a las plantas madre. La transferencia de las tecnologías se realizó mediante cursos de capacitación teórico - práctico, impartidos cada año de manera continua. Finalmente, mediante encuestas electrónicas aplicadas a profesionales vinculados al sector biotecnológico tanto público como privado se determinó el estado actual de la aplicación de este tipo de técnica en los principales laboratorios de investigación y producción comercial de plantas en el país estableciendo con ello la línea base del proyecto. El diagnóstico permitió determinar que existe la necesidad de capacitar especialistas en el uso de técnicas de cultivo celular para ampliar las posibilidades de implementar las nuevas técnicas de mejoramiento genético. Al finalizar el proyecto se repetirá este diagnóstico para determinar el impacto de la transferencia y aplicación de las tecnologías desarrolladas en los grupos de investigación del país.

1. Introducción

La aplicación de la biotecnología vegetal en la agricultura mundial ha experimentado un avance importante en los últimos 50 años y es indudable que la integración de diferentes técnicas de cultivo *in vitro* de células y tejidos vegetales con estrategias moleculares ha impulsado el mejoramiento genético en las últimas cinco décadas. Y dentro de estas técnicas, la vía de regeneración de plantas mediante la embriogénesis somática ha sido la más promisoría. En este sentido la embriogénesis somática dado su origen unicelular, garantiza la expresión de la totipotencialidad celular, permitiendo implementar otras técnicas de mejoramiento como son: la hibridación somática obtenida a partir de la fusión de protoplastos, la generación de líneas puras y doble haploides homocigóticas mediante el cultivo de anteras o células ováricas, la inducción de mutaciones y ploidía, la selección *in vitro*, la mutagénesis dirigida, la transformación genética, la edición génica, entre otras (Vangapandu et al., 2021).

En el país, los equipos de investigación vinculados a la mejora vegetal tienen limitaciones para implementar las técnicas modernas y novedosas de mejoramiento genético asistido por biotecnología. Esto se debe, por una parte, a que históricamente el método más utilizado para la propagación *in vitro* ha sido la organogénesis y aunque esta técnica tiene una gran utilidad para propagación comercial de plantas, no ofrece mayores ventajas para la mejora genética (Salomé, 2019). El INIAP ha desarrollado protocolos de embriogénesis somática en cultivos como: café, cacao, palma aceitera, arroz y caoba. Sin embargo, con excepción de arroz, aún se requiere optimizar estos protocolos para que tengan la eficiencia que los programas demandan. De manera general en el país existen pocos equipos de trabajo relacionados con la investigación agropecuaria que cuentan con esta poderosa herramienta, por lo que es necesario primeramente ampliar las experiencias en el país sobre esta técnica estableciendo protocolos

de regeneración de plantas eficientes en diferentes cultivos agrícolas de interés económico para el Ecuador. Posteriormente, evaluar la respuesta morfo-agronómica en campo de las plantas regeneradas por esta vía, validar la fidelidad genética mediante marcadores moleculares para generar tecnologías sobre la base de protocolos adaptados a los cultivares del país. Estas tecnologías, pueden ser transferidas a los profesionales vinculados al sector de la biotecnología vegetal, a través de un sistema de capacitación continua diseñado para formar especialistas en propagación in vitro de plantas con énfasis en la embriogénesis somática. Los diagnósticos que se prevé realizar durante el proyecto permitirán establecer una línea base actualizada del estado aplicación de esta técnica en el país, así como determinar el impacto de las técnicas biotecnológicas implementadas y de la capacitación en el fortalecimiento de los programas de fitomejoramiento una vez finalizado el proyecto.

2. Objetivos

El objetivo general fue fortalecer los programas de mejoramiento genético mediante la implementación de protocolos de embriogénesis somática en diferentes cultivos agrícolas y la formación de especialistas en el uso de herramientas biotecnológicas. Y los objetivos específicos (1) Establecer protocolos de regeneración de plantas vía embriogénesis somática en diferentes cultivos agrícolas de interés económico para el Ecuador. (2) Determinar la respuesta morfo-agronómica en campo de plantas regeneradas vía embriogénesis somática de cinco cultivos de interés agrícola y validar la fidelidad genética mediante marcadores moleculares. (3) Implementar un sistema de capacitación continua para la formación de especialistas en propagación in vitro de plantas. (4) Determinar el impacto de las técnicas biotecnológicas implementadas y de la capacitación en el fortalecimiento de los programas de fitomejoramiento.

3. Metodología

Componente 1: Establecer protocolos de regeneración de plantas vía embriogénesis somática en diferentes cultivos agrícolas de interés económico para el Ecuador.

La metodología para establecer protocolos eficientes de Embriogénesis Somática en cinco cultivos se centró en la adaptación de protocolos internacionales a genotipos ecuatorianos. Se utilizaron explantes foliares en café (Zamarripa et al., 1991) y se emplearon inflorescencias masculinas inmaduras en banano (Aguilar et al., 2008). En mandarina, la inducción de callos embriogénicos (CE) se logró en tejido nucelar (Carimi et al., 2005). Para cacao, se evaluó la dosis de 2,4-D en estaminodios de la flor (Henao et al., 2022), y en palma aceitera, se utilizaron regiones meristemáticas de plántulas in vitro (Thuzar et al., 2012). El proceso en todos los casos siguió las fases secuenciales de inducción, diferenciación, y regeneración de embriones somáticos en medio de cultivo.

Componente 2: Determinar la respuesta morfo-agronómica en campo de plantas regeneradas vía embriogénesis somática de diferentes especies vegetales y validar la fidelidad genética mediante marcadores moleculares.

Esta actividad se adoptó con un enfoque integrado para evaluar la estabilidad genómica y la caracterización fenotípica. Para la respuesta morfo-agronómica, se establecieron tres ensayos de campo (banano y café) bajo DCA, monitoreando variables de producción y variación somaclonal. La fidelidad genética en café y banano se validó molecularmente. Esto implicó la extracción de ADN de regenerantes y controles, seguida por la amplificación con marcadores SSR. Los productos de la PCR se analizaron por electroforesis y LI-COR 4300s para el genotipado e identificación de loci inestables.

Componente 3: Implementar un sistema de capacitación continua para la formación de especialistas en propagación *in vitro* de plantas.

El sistema de capacitación continua se implementó con el 1er Curso teórico-práctico de 40 horas sobre Embriogénesis Somática y mejora de cultivos tropicales, dirigido a técnicos e investigadores. Este se estructuró con una distribución balanceada de 40 % teoría, 40 % práctica y 20 % trabajo independiente. El contenido cubrió temas como micropropagación, embriogénesis somática, cultivo de suspensiones celulares y biorreactores de inmersión temporal. La metodología de evaluación usó un examen inicial de diagnóstico y una prueba final para cuantificar el aprendizaje.

Componente 4: Determinar el impacto de las técnicas biotecnológicas implementadas y de la capacitación en el fortalecimiento de los programas de fitomejoramiento.

Se realizó un diagnóstico en el año 1 del proyecto sobre las técnicas de cultivo *in vitro* que más se utilizan en los laboratorios biotecnológicos dedicados a la propagación y la mejora genética de plantas en el Ecuador. Se encuestaron especialistas que laboran en laboratorios comerciales, docentes; así como laboratorios dedicados solo a la investigación. Se aplicó el método de encuesta electrónica, la misma que se envió por correo electrónico a cada institución. La información se analizó estadísticamente para establecer la línea base del proyecto.

4. Resultados

Componente 1: Establecimiento de Protocolos de Regeneración de Plantas vía Embriogénesis Somática en cinco cultivos de interés, descritos a continuación:

Café: Se seleccionaron cuatro genotipos élite: dos arábigos (F10, K3) y dos robustas (LG-S02, COF-01). *Desinfección y Callogénesis:* El tiempo de inmersión en hipoclorito de sodio (2,5 %) influyó significativamente, logrando porcentajes de desinfección ≥ 80 % con 20 minutos para COF-01, K3 y LG-S02. El uso de 2,4-D y kinetina fue altamente efectivo, resultando en un 100 % de frecuencia de formación de callos tipo 4 en todos los genotipos. *Inducción de Callos Embriogénicos:* La aparición de la embriogénesis somática se observó a partir del tercer mes en los dos genotipos robustas. Los arábigos requirieron 45 días más para mostrar resultados similares. A los seis meses de cultivo, todos los genotipos mostraron inducción de callos con embriogénesis somática de alta y baja frecuencia, Sin embargo, este resultado varió significativamente entre genotipos arábigos y robustas; estos últimos tuvieron la mejor respuesta. Mientras que los arábigos necesitaron 2 meses más de cultivo para alcanzar un resultado similar. *Establecimiento de Suspensiones Celulares:* Las suspensiones celulares embriogénicas se establecieron dos meses después de inocular los callos en medio líquido MS-II. Tras seis meses de multiplicación, los agregados celulares se transfirieron a medio de diferenciación (DC4). La formación de embriones somáticos maduros (etapa torpedo) se observó dos meses después en el medio de cultivo líquido DC4. *Germinación y Aclimatización:* La germinación de los embriones somáticos en medio semisólido alcanzó una frecuencia entre 70 % y 90 %. La fase de aclimatización fue completamente exitosa, registrando una tasa de sobrevivencia del 100 % a los 60 días.

Banano (cv. Williams): Se logró implementar un protocolo de embriogénesis somática a partir de las inflorescencias masculinas inmaduras, con una frecuencia de formación de callos embriogénicos ideales del 1 %, similar al descrito en la literatura internacional. Este protocolo abarca 16 meses desde la inoculación de las inflorescencias en el medio de cultivo para la formación de los callos embriogénicos ideales, hasta la transferencia al invernadero de las plantas regeneradas, durante la aclimatación en el invernadero se logra más del 97 % de plantas aclimatadas.

Mandarina: De los diferentes explantes evaluados (Nucela, Cotiledón, Embrión, Eje embrionario, Ovarios), solo los callos obtenidos a partir de tejido nucelar y ovarios lograron formar callos embriogénicos, con una frecuencia del 22,8 %. Estos embriones somáticos comenzaron a germinar 15 días después de ser transferidos al medio de germinación.

Cacao: Se evaluó el efecto de la dosis de la auxina 2,4-D y se determinó que la dosis de 2 mg L^{-1} , fue suficiente para inducir la formación de callos dando como resultado que el 82 % de los explantes (estaminodios) en el medio FCP. Los embriones somáticos primarios aparecieron en los híbridos T22 y T30 en el sexto subcultivo.

Palma Aceitera: Se obtuvo la formación de callos embriogénicos (16 %) únicamente con la dosis más elevada de 2,4-D y en el Segmento 3 (la región más próxima al meristemo). Los callos obtenidos se encuentran actualmente en la fase de diferenciación y regeneración.

Componente 2: Determinar la respuesta morfo-agronómica en campo de plantas regeneradas vía embriogénesis somática de diferentes especies vegetales y validar la fidelidad genética mediante marcadores moleculares.

Se logró establecer tres ensayos de validación: uno para café y dos para banano. En el ensayo de banano (cv. Williams) establecido en la Hacienda Santa Elena hasta el momento, no se han observado plantas "fuera de tipo", lo que se ve una ausencia de variación somaclonal. En los racimos cosechados, las plantas obtenidas por embriogénesis somática alcanzaron un ratio de 1,6 cajas por racimo en R0 y de 1,2 en R1. Este rendimiento es superior al promedio histórico de la finca, que es de 0,8 cajas. El 50 % de las plantas se encuentran en floración (R2). La altura promedio de las plantas es de 2,70 m y el diámetro del pseudotallo es de 0,55 m. Mientras que, en el caso del segundo ensayo de banano establecido en la Estación Experimental Litoral Sur (EELS), las plantas se encuentran en etapa de floración con el 6,7 % de las plantas florecidas.

En cuanto a los ensayos de café se establecieron de manera exitosa dos parcelas en la granja del INIAP "El Almendral", ubicada en la provincia Loja, con plantas obtenidas de los híbridos arábigos K3 y F10 y un ensayo en la EELS con genotipos robusta LG-S02 y COF-01. Las plantas, cuatro meses después de la siembra, registraron una altura promedio de 43,05 cm para el tratamiento K3 y 44,90 cm para F10. En cuanto al diámetro de tallo, los promedios registrados fueron de 1,07 cm (K3) y 1,11 cm (F10). Finalmente, la cobertura de la copa alcanzó un promedio de 56,57 cm para K3 y 50,0 cm para F10.

La fidelidad genética fue validada en cuatro genotipos de café mediante marcadores moleculares tipo SSR. Se extrajeron ADN de 71 muestras de café robusta y arábica incluido las plantas madre. Se amplificaron 14 de los 17 pares de primers seleccionados, a los 14 pares de primers se identificaron los tamaños de los amplicones, determinando el número de alelos así como su frecuencia. Se observó que los genotipos K3, F10 (arábigos) y LG-S02 (robusta) cumplen con la fidelidad genética en las 14 regiones de ADN amplificadas. Sin embargo, el genotipo COF-01 (robusta) presentó patrones de bandas diferentes respecto a sus plantas madre en 8 *loci*. Aunque no se determinaron variaciones entre las plantas regeneradas, lo cual sugiere que pudo existir un error durante el muestreo en campo para el análisis molecular, de manera tal que la planta madre seleccionada podría no corresponder a la COF-01, por lo que se requiere repetir este análisis con nuevo material colectado para descartar la variabilidad.

Componente 3: Implementar un sistema de capacitación continua para la formación de especialistas en propagación *in vitro* de plantas.

El proyecto implementó exitosamente el 1er Curso de capacitación teórico-práctico de 40 horas sobre Embriogénesis Somática. El curso capacitó a 19 especialistas, demostrando una mejora significativa en los conocimientos: el puntaje promedio de los participantes aumentó de 8,28 a 8,75 (una calificación de "Muy Bueno") al finalizar la formación.

Componente 4: Determinar el impacto de las técnicas biotecnológicas implementadas y de la capacitación en el fortalecimiento de los programas de fitomejoramiento.

El diagnóstico, realizado mediante una encuesta electrónica a 24 laboratorios de biotecnología en Ecuador, estableció la línea base del proyecto. Los resultados mostraron que el uso principal de la embriogénesis somática en el país es la multiplicación masiva de plantas (12 laboratorios), seguida por el mejoramiento genético vegetal (6 laboratorios). Se identificó que la falta de capacitación y la falta de personal capacitado son las causas principales por las que los laboratorios no implementan o han dejado de aplicar la embriogénesis somática. Adicionalmente, se determinó que el 50 % de los laboratorios que sí emplean embriogénesis somática optan por el medio líquido, principalmente en biorreactores. Los principales cultivos en los cuales se ha implementado la embriogénesis somática son principalmente cultivos tropicales de la costa ecuatoriana, destacando café, cacao y banano.

5. Acciones futuras

Entre las actividades para futuro, es prioritaria la finalización de los protocolos de embriogénesis somática para mandarina, cacao y palma aceitera, ya que estos se encuentran actualmente en la fase crítica de maduración de embriones y regeneración de plántulas. En el ámbito de la estabilidad clonal, es esencial repetir el muestreo y la verificación genética de las plantas madre del genotipo de café C0F-01, cuya variación somaclonal fue detectada en 8 loci, y completar la amplificación de los primers SSR pendientes (CaM18, CaM46 y SSRCa18). Además, se recomienda realizar análisis de ploidía en el genotipo LG-S02.

La evaluación del desempeño agronómico es una actividad a largo plazo, por lo que los ensayos de campo de banano y café continuarán con el seguimiento de las poblaciones regeneradas hasta la tercera generación (R3) y la tercera cosecha, respectivamente, para certificar la uniformidad y el potencial productivo de los clones. Finalmente, la transferencia tecnológica incluye la realización de la encuesta de seguimiento para actualizar la línea base y determinar el impacto real del proyecto en la adopción de la embriogénesis somática en laboratorios nacionales. Los resultados generados impulsarán también publicaciones científicas y dos tesis de maestría.

6. Referencias bibliográficas

Aguilar, M. E., Ortiz, J. L. y Sandoval, J. A. (2008). *Embriogénesis somática en plátanos y bananos: Perspectivas y limitaciones*. Repositorio del CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1622>

Carimi, F., Tusa, G. y T., G. (2005). *Genetic transformation of citrus by Agrobacterium-mediated somatic embryogenesis*. *In Vitro Cellular Developmental Biology – Plant*, 41(6), 782–787.

Doyle, J. J. y Doyle, J. L. (1990). *Isolation of plant DNA from fresh tissue*. *Focus*, 12(1), 13–15.

Escalant, J. V., Teisson, C. y Cote, F. (1994). *Amplified somatic embryogenesis from male flowers of triploid banana and plantain cultivars (Musa spp.)*. *In Vitro Cell Development Biology*, 30, 181–186.

Henao-Ramírez, AM., Palacio- Hajduk, DH. y Urrea-Trujillo, AI. (2022). Cost Analysis of Cacao (*Theobroma cacao* L.) Plant Propagation through the Somatic Embryogenesis Method. *Revista Bionatura*, 7(2), 1-13.
<http://dx.doi.org/10.21931/RB/2022.07.02.2>

Salomé, J. M. (2019). *Evaluación de la embriogénesis somática indirecta de Theobroma cacao L., clon CCN-51, a partir de diferentes tipos de explantes inmaduros* [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador].

Thuzar, M., Vanavichit, A., Tragoonrung, S. y Jantasuriyarat, C. (2012). Recloning of regenerated plants from elite oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) cv Tenera. *African Journal of Biotechnology*, 11(82), 14761-14770.

Vangapandu, T., Viswanath, M. y Roy, A. (2021). Plant tissue culture: A promising tool for genetic improvement of horticultural crops. *Vegetos*, 34(2), 248-258.

Zamarripa, A., Ducos, J. P., Tesserau, H., Bollon, H., Dufour, M., y Petiard, V. (1991). Production d'embryons somatiques de caféier en milieu liquide: Effets densité d'inoculation et renouvellement du milieu. *Café Cacao Thé*, 35(4), 233-242.

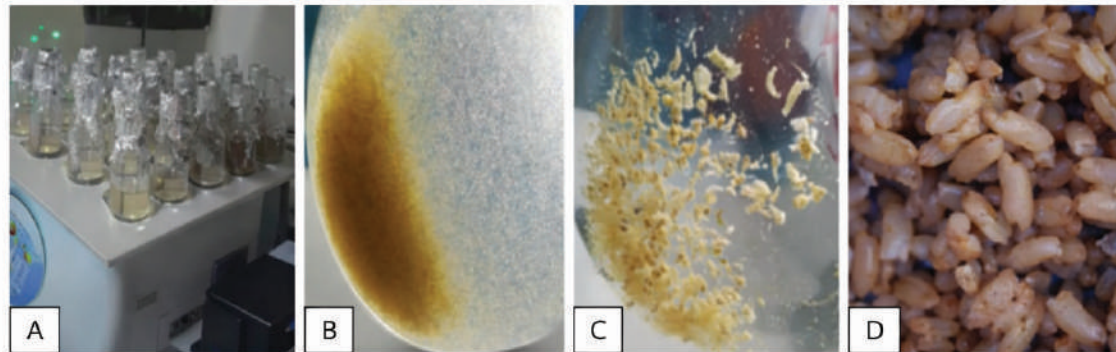
7. Galería fotográfica



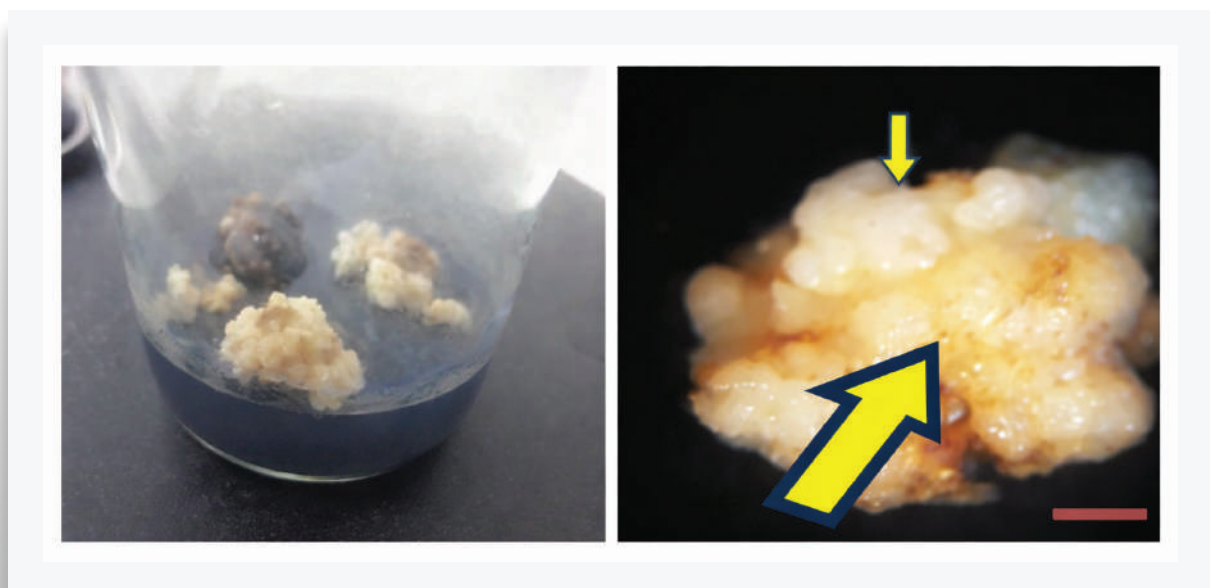
Fotografía 1. Evaluación de ensayo de banana Williams establecido con plantas obtenidas por embriogénesis somática a partir de inflorescencias masculinas inmaduras Finca Santa Elena, El Triunfo (2024).



Fotografía 2. Imágenes del 1er Curso Teórico-Práctico Embriogénesis Somática: aplicaciones en la propagación y la mejora de cultivos tropicales (40 horas), en el laboratorio de biotecnología de la Estación Experimental Litoral Sur del INIAP (2024).



Fotografía 3. A, B) Suspensiones celulares embriogénicas establecidas en fase de multiplicación. C) Suspensión celular en fase de diferenciación donde se observa la formación de embriones somáticos a los 60 días de iniciada la fase de diferenciación en mediodo cultivo líquido DC4. D) Embriones somáticos en estado torpedo aptos para pasar a la fase de germinación, a los 90 días de cultivo, en el cultivo de café (2024).



Fotografía 4. Callos embriogénicos con formación de embriones somáticos de palma aceitera (flechas amarillas), obtenidos a partir de segmento 3 (más próximo a la región meristemática) a los 8 meses en un medio de cultivo con la dosis más elevada de 2,4-D (2024).



Proyecto: Desarrollo e implementación de tecnologías productivas en el cultivo de arroz, para aumentar la resiliencia de pequeños y medianos productores al cambio climático en Ecuador.

Código: FIASA-EELS-2022-009

Coordinador: Roberto Celi Herán

Equipo I+D+i (INIAP): Gladys Viteri, Lenín Paz, Luís Peñaherrera, Daniel Navia, Elisa Quiala, Héctor Reyes, Byron Marín, Edinson Mosquera, Anthony Valle.

Fecha de inicio: 13-04-2022

Fecha de finalización: 12-04-2025

Resumen

El INIAP ejecuta el mayor porcentaje de investigación en el cultivo de arroz. Como resultado de este trabajo, ha desarrollado y puesto a disposición del agro ecuatoriano 18 variedades que responden a las exigencias del mercado y se articulan con tecnologías sostenibles y enfoques de Manejo Integrado del Cultivo. No obstante, el arroz se produce en zonas tropicales donde los problemas fitosanitarios como insectos, ácaros, hongos, bacterias, malezas y nematodos son dinámicos y dependen del tiempo, el manejo agronómico, la región y las condiciones climáticas. En este contexto, la investigación debe avanzar al mismo ritmo de estas dinámicas, actualizando de forma permanente la línea base y desarrollando tecnologías amigables con el ambiente, el productor y el consumidor. El objetivo del proyecto fue fortalecer el Manejo Integrado del Cultivo mediante prácticas agronómicas sostenibles que respondan a las necesidades de cada zona y a los retos que plantea el cambio climático. Para levantar la línea base, se realizaron diagnósticos rurales participativos en Guayas, Los Ríos, Manabí, El Oro y Loja y se establecieron ensayos para evaluar y seleccionar cultivares de arroz, junto con pruebas en condiciones controladas y de campo para determinar tolerancia de malezas a herbicidas, estudiar los suelos agrícolas destinados al cultivo y transferir resultados a través de encuentros agrícolas y días de campo. Los diagnósticos permitieron identificar los principales problemas enfrentados por los agricultores arroceros y reconocer materiales promisorios, uno de los cuales ya fue liberado como variedad. Otros dos se encuentran en pruebas finales para solicitar su inscripción.

1. Introducción

La agricultura ecuatoriana involucra en el caso de arroz al 18 % de la Población Económicamente Activa; a nivel nacional este cultivo ocupa el segundo lugar en superficie, llegando durante el 2023 a sembrarse 358.231 has. (concentrándose el 97,14 % en cinco provincias: Guayas (64,96 %), Los Ríos (24,45 %), Loja (4,59 %), El Oro (3,14 %) y Manabí (1,91 %)), en las que se involucran aproximadamente 76,940 Unidades de Producción Agropecuaria (UPA's), de las cuales el 65 % son menores a 10 ha. El potencial productivo de las variedades desarrolladas por el INIAP, superan las 8 t ha⁻¹; sin embargo, el promedio nacional de rendimiento para el año 2023 fue de 4,6 t ha⁻¹ (INEC, 2024). Estos bajos rendimientos se deben principalmente a que existen áreas arroceras que presentan problemas asociados con una deficiencia nutricional de los suelos (IPNI e IRRI, 2012), alta incidencia de plagas, enfermedades y presencia de malezas con resistencia a varios productos químicos acompañados con altos costos de producción. El aprovechamiento de los insumos ambientales sumados a un adecuado manejo agronómico son factores que condicionan la sostenibilidad agrícola. Se ha determinado que la productividad de los cultivos depende en gran parte del uso de semilla certificada, es así que, en zonas arroceras de nuestro país, un 57,41 % de los productores utilizan semilla común (reciclada), el 22,57 % mejorada y un 19,09 % emplean semilla certificada (INEC, 2020). Lo equivocado de utilizar semilla reciclada en la siembra, es que ocasiona la proliferación de malezas, plagas y enfermedades que antes no existían, lo que disminuye la rentabilidad para el agricultor.

De las 18 variedades liberadas por el INIAP, siete se mantienen vigentes en el mercado. Estos cultivares cuentan con características fenológicas que les permiten adaptarse a distintas zonas agroecológicas. La generación de estos materiales es producto del Programa de Arroz de la Estación Experimental Litoral Sur-EELS, cuyo objetivo es el incremento de los rendimientos, mejoramiento de la calidad del grano y la calidad culinaria, y la búsqueda de resistencia o tolerancia a insectos y enfermedades y a factores ambientales (INIAP, 2007).

En ese sentido las prioridades del Programa de Arroz, están encaminadas a la búsqueda continua de nuevos cultivares que reúnan características deseables a partir de cruzamientos propios a nivel local y mediante la introducción de materiales provenientes del Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego FLAR. Una de las herramientas para acelerar los procesos para la obtención de nuevas variedades es la biotecnología, se cuenta con un protocolo para regeneración de líneas doble haploides homocigóticos a partir del cultivo de anteras de arroz en materiales indica; protocolo de embriogénesis somática, de inducción de mutaciones con EMS y de selección in vitro de líneas adaptadas a crecer en condiciones de salinidad en medio de cultivo semisólidos y biorreactores de inmersión temporal.

El área de transferencia, en colaboración con varias instituciones público, privada de alcance nacional e internacional ha mantenido constantemente la transferencia de tecnología y las innovaciones en los distintos ámbitos y especialidades de la agricultura que se han desarrollado en cada una de las estaciones, tanto a agricultores como a organizaciones relacionadas al cultivo de arroz.

2. Objetivos

El objetivo general del proyecto fue desarrollar e implementar tecnologías productivas en el cultivo de arroz, para aumentar la resiliencia de pequeños y medianos productores ante el cambio climático en Ecuador. Y los objetivos específicos (1) Generar y validar innovaciones tecnológicas mediante el diagnóstico participativo, mejoramiento genético y el manejo integrado del cultivo de arroz; (2) Transferir las tecnologías generadas mediante la socialización y difusión de los conocimientos generados durante el proyecto.

3. Metodología

Componente 1: Generar y validar innovaciones tecnológicas mediante diagnóstico participativo, mejoramiento genético y manejo integrado del cultivo.

La sede del proyecto fue la Estación Experimental Litoral Sur del INIAP, provincia del Guayas, cantón Yaguachi, parroquia Virgen de Fátima, en el Km. 26,5 vía Duran-Tambo. La cobertura e implementación del proyecto se llevó a cabo en las provincias del Guayas, Manabí, Los Ríos, El Oro y Loja, en los cantones Daule, Santa Lucía, Yaguachi, Babahoyo, Vines, Arenillas y Zapotillo. Estas zonas son las de mayor extensión en superficie y las de mayores afectaciones en salinidad, malezas, plagas y enfermedades.

Las actividades del proyecto iniciaron con la ejecución de diagnósticos rurales participativos, que se llevaron a cabo a través del área de Economía Agrícola, uno por provincia, en las zonas de mayor representatividad, teniendo criterios de selección como ubicación, accesibilidad, infraestructura acorde con el sistema productivo, liderazgo y aceptación de facilitar la comunicación con los demás agricultores, se evaluaron las variables presencia de instituciones en la zona, principales cultivos, manejo agronómico, problemas fitosanitarios, nutrición, riego, productos usados, dosis, datos de productividad, comercialización y financiamiento de cada una de ellas, en el que participaron especialistas de la EELS a fin al estudio.

Para la obtención de nuevas variedades el programa de arroz evaluó un sin número de líneas provenientes de cruces internos y de material introducido del Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego-FLAR, una vez que se identificaron líneas de buenas características agronómicas principalmente en lo que se refiere a producción de grano, tolerancia a plagas y enfermedades y calidad de grano que se ajuste a los requerimientos de la industria arroceras. Este material se evaluó en ensayos de adaptación y eficiencia en las diferentes zonas arroceras de las provincias del Guayas, Los Ríos, Manabí, El Oro y Loja en los cantones de Yaguachi, Daule, Santa Lucía, Arenillas y Zapotillo bajo condiciones de riego trasplante; bajo condiciones de secano se sembró en Babahoyo y Vines, utilizando el método de siembra directa. Las unidades experimentales fueron de 9 m², de los cuales se utilizaron 6 m² como área útil. El análisis de los datos se realizó a través del aplicativo computacional GENES.

Para la discriminación de las medias de tratamiento se utilizó la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad. En cada uno de los ensayos se realizaron a nivel de campo las labores para el buen manejo, entre las principales, se citan: Preparación del terreno, siembra con semilla seca, control químico de malezas, fertilización de base (fósforo y potasio) y aplicaciones nitrogenadas complementarias, desyerbas manuales, controles fitosanitarios, cosecha manual. Las principales variables evaluadas fueron: rendimiento de grano, ciclo vegetativo, altura de planta, tolerancia o susceptibilidad a enfermedades y calidad del grano; de los cultivares más promisorios se obtuvo semilla genética. El procedimiento se inicia con la selección de 200 panículas de cada genotipo.

Con cada una de las panículas se estableció un semillero para la siembra posterior de un surco de cinco metros, utilizando el método de trasplante bajo riego, a una distancia de 0,30 m x 0,30 m, colocando una planta por sitio. La fertilización se realizó con base al análisis de suelo y recomendaciones del INIAP. La protección de plantas se hizo también con base a tecnologías generadas por el INIAP. Ya con las parcelas establecidas se realizó la selección de surcos y de plantas dentro del surco, con el objeto de conseguir una población de plantas homogéneas en sus características. La cosecha de estas plantas constituyó la semilla genética.

Esta semilla genética pasa al departamento de Producción de Semillas de la E.E. Litoral Sur, donde se multiplican las categorías: básica y registrada que son las semillas que llegan a manos de las empresas multiplicadoras para la obtención de semilla certificada que es la semilla que hacen uso los agricultores arroceros.

Una de las herramientas disponibles para reducir los tiempos para la obtención de nuevos cultivares de arroz, es el uso de técnicas biotecnológicas como regeneración de plantas vía androgénesis (cultivo de anteras), acompañadas de la selección por tolerancia a la salinidad y sequía: Se realizaron cruces dirigidos entre cultivares con tolerancia a salinidad y sequía procedentes del IIRRI y cultivares del INIAP de alto rendimiento agrícola. Con las semillas obtenidas se establecieron poblaciones F₂ y cuando las plantas tuvieron 60-70 días después de la siembra se colectaron panículas para la aplicación del cultivo de anteras según la metodología descrita por Lentini et al. (1995).

También se hizo uso de otra herramienta como la Inducción de mutaciones y embriogénesis somática: Se procedió de acuerdo al protocolo de embriogénesis somática y la inducción de mutaciones establecido por Quiala et al. (2019) para materiales INIAP. Se realizó selección a la salinidad y la sequía, a nivel de laboratorio para la caracterización morfo-anatómica y molecular de las líneas regeneradas y se procedió con la evaluación de las plantas R₁ en invernadero y las semillas R₂ se realizó la evaluación en campo (progenies F₃-F₄).

Uno de los principales problemas que reportan los productores en los DRP es la poca eficiencia de los herbicidas para el control de malezas, probablemente debido a la resistencia que han adquirido algunas de ellas, por el uso continuo de herbicidas que poseen un mismo mecanismo y modo de acción, que ocasiona una presión de selección sobre las poblaciones de malezas permitiendo la sobrevivencia de los individuos tolerantes. Para comprobar esta información a través del Departamento de Malezas se realizaron muestreos de semillas de malezas en zonas en las

cuales se están presentando estos problemas de eficacia de herbicidas. Estas semillas se sembraron y se les realizaron pruebas en condiciones controladas para su comprobación, mediante ensayos dosis-respuesta para determinar los niveles de resistencia, y las causas que provocan la misma.

En lo concerniente a enfermedades como *Rhizoctonia* sp., *Gaeumannomyces graminis* y *Sarocladium oryzae* (Sawada) W. Gams & D. Hawksw., a través del Departamento de Fitopatología se procedió con el aislamiento respectivo en medio de cultivo adecuado, para posteriormente cultivarlos en medio de cultivo líquido para el desarrollo micelial que sirvió para la inoculación de suelo para el caso de *G. graminis* y tejido para *Rhizoctonia* y *Sarocladium oryzae*, actividades que se llevaron a cabo en condiciones de invernadero con los materiales de arroz seleccionados por el Programa.

Con referencia a los nematodos para disminuir su incidencia se realizaron estudios con hidrolatos de diversas especies vegetales (Carrión et al., 2010). Para la obtención de los hidrolatos: de cada una de las especies vegetales se tomaron 300 g en fresco de varias partes botánicas, las cuales se colocaron en baño de María en una olla de presión de capacidad de 8 L. Las evaluaciones de los hidrolatos con los nematodos se realizaron al 100, 75, 50 y 25 % de su concentración original colocados en cajas Petri con treinta juveniles de *M. graminicola*. Una vez seleccionados los productos vegetales, se continuaron con las pruebas a nivel de invernadero en macetas con plántulas de arroz para afinar las dosis y frecuencias de aplicación.

En relación a los insectos plaga se trabajó a nivel de invernadero con el chinche vaneador del arroz (*Oebalus insularis*), este insecto representa una amenaza significativa para la producción arroceras en diversas regiones del mundo. Este hemíptero causa daños considerables al alimentarse de los granos en desarrollo (daño directo) y a la vez facilita el ingreso de patógenos promotores del manchado (daño indirecto), lo que deriva en pérdidas de calidad y rendimiento del arroz. Esta investigación tuvo por objetivo cuantificar el daño mecánico ocasionado por el chinche vaneador sobre genotipos de arroz en condiciones controladas. Para su efecto, se estableció un pie de crianza donde se utilizaron adultos jóvenes para infestar los genotipos de arroz utilizando niveles de 0; 2; 4; y 6 insectos por planta incorporados durante la etapa de floración. Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) y se evaluaron las variables: promedio de granos sanos, granos manchados, granos vanos y el peso de espiga/planta.

Componente 2: Transferir las tecnologías generadas mediante socialización y difusión de conocimientos.

La estrategia metodológica para la transferencia y difusión de las tecnologías generadas se basa en la implementación de parcelas de aprendizaje en las principales zonas de intervención, concebidas como espacios demostrativos para el proceso de enseñanza-aprendizaje. La transferencia se estructura mediante cursos de capacitación organizados en módulos de aprendizaje, diseñados de acuerdo con las diferentes fases fenológicas del cultivo y fundamentados en el enfoque metodológico de aprender-haciendo.

De manera complementaria, la difusión de conocimientos se plantea a través de la realización de eventos de socialización, encuentros con agricultores y el uso de materiales de divulgación, con el fin de facilitar el acceso, comprensión y apropiación de las tecnologías por parte de los actores locales.

4. Resultados

Componente 1: Generar y validar innovaciones tecnológicas mediante diagnóstico participativo, mejoramiento genético y manejo integrado del cultivo.

Diagnósticos Rurales Participativos se realizaron en las provincias del Guayas en el cantón Santa Lucía, Los Ríos en el cantón Babahoyo, Manabí en el cantón Rocafuerte, El Oro en el cantón Arenillas y Loja en el cantón Zapotillo. Participaron principalmente productores, entre ellos líderes de asociaciones, en su mayoría hombres, en el que se conoció la situación actual del cultivo en cada una de las zonas evaluadas. Los agricultores participantes, se agruparon por afinidad, métodos de siembra, actividades desarrolladas, limitaciones y demás. Uno de los problemas principales encontrados en los diagnósticos realizados fue la percepción generalizada que existe de que las instituciones gubernamentales y empresas privadas relacionadas al rubro, tienen muy poca presencia en campo, así mismos problemas fitosanitarios, entre ellos mermas en los potenciales de rendimiento de las variedades por la incidencia de malezas de difícil control.

Para la obtención de nuevos cultivares de arroz, se realizaron evaluaciones de un grupo de líneas en ensayos de rendimiento en la Estación Experimental Litoral Sur a nivel de campo para la evaluación de las diferentes características agronómicas, entre las principales: rendimiento de grano, ciclo vegetativo, altura de planta, panículas por metro cuadrado, granos por panícula, tolerancia al acame y tolerancia a plagas y enfermedades; y a nivel de laboratorio de molinería se evaluaron variables como índice de pilado, centro blanco, longitud y ancho del grano pilado y cocción. Los mejores cultivares pasaron a evaluarse en las diferentes zonas arroceras de las provincias del Guayas, Manabí, Los Ríos, El Oro y Loja en ensayos de adaptación y eficiencia, se evaluaron las mismas variables que en los ensayos de rendimiento. Producto de estas evaluaciones se liberó la variedad INIAP-20 y se han identificado dos nuevos cultivares que en los próximos meses se liberarán como nuevas variedades. En la **Tabla 1**.

Se presenta un resumen de las principales características de la variedad INIAP-20.

Tabla 1. Principales características agronómicas de la variedad INIAP-20.

VARIABLES	VALORES Y/O CALIFICACIÓN
Rendimiento (t ha ⁻¹) 1/	4,5 - 8,3
Ciclo vegetativo época seca (días)	129
Ciclo vegetativo época lluviosa (días)	121
Altura de planta en época seca (cm)	99
Altura de planta en época lluviosa (cm)	103
Número de panículas / planta 2/	15
Longitud de grano descascarado (mm) 3/	7,30
Ancho de grano (mm)	2,22
Granos por panícula	147
Vaneamiento (%)	7
Peso de 1000 granos (g)	29
Grano entero al pilar (%)	68

VARIABLES

VALORES Y/O CALIFICACIÓN

Contenido de proteínas (%)	8,09
Contenido de amilosa (%)	27,86
Latencia de la semilla en semanas	8
Hoja Blanca	M.R.
Manchado de grano	M.R.
Quemazón (<i>Pyricularia oryzae</i> (Sacc.)	M.R.
Pudrición de vaina (<i>Sarocladium oryzae</i>)	M.R.
Tizón del tallo (<i>Rizocthonia solani</i>)	M.R.
<i>Tagosodes orizicolus</i> (Muir) 4/	M.R.
Acame de plantas	Resistente

Notas: 1/ Rendimiento de arroz en cáscara al 14 % de humedad

2/ Considerando el promedio de 16 plantas por m²

3/ Grano largo: entre 6.61- 7.5 mm

4/ Principal insecto plaga del cultivo del arroz

En cuanto a los principales problemas fitopatológicos se realizaron trabajos en laboratorio e invernadero para determinar tolerancia a la enfermedad tizón de la vaina causada por el hongo *Rizocthonia solani*. Para la inoculación biológica se procedió inicialmente a obtener su micelio desarrollado en papa-dextrosa en agitación constante por una semana en condiciones ambientales normales de temperatura del Laboratorio de Fitopatología. Para efecto de esta inoculación que se realizó a los 35 días después de la siembra (dds), se utilizaron las variedades de arroz Cristalino, Élite, Impacto, INIAP-20 y Arenillas.

La inoculación consistió en depositar una masa de micelio entre la vaina de la hoja y tallo quedando posteriormente protegido con papel de aluminio estéril y sostenido con cinta plástica. Las plantas inoculadas se las mantuvo por una semana en condición de cámara húmeda apoyado con un humidificador. Posteriormente, a las plantas inoculadas se le dio un seguimiento periódico hasta la manifestación de los síntomas. Se evaluó la altura de planta y de la lesión para determinar la proporción de daño de la enfermedad. Este dato fue determinado a los 55 días después de la inoculación.

Como resultado se determinó que la variedad INIAP cristalino presentó el mayor porcentaje de daño de 21,85, que se considera de acuerdo a la escala del CIAT (CIAT, 2007) como intermedia y las variedades Élite, Impacto y Arenillas se las considera como resistentes a la infección por presentar proporción de daño menor del 20 % según la misma escala. En la escala de Chen (Chen et al., 2009), todos los cultivares presentan resistencia.

Tabla 2. Tipo de reacción genética de acuerdo al porcentaje de área de la planta afectada (APA), según escalas de Chen y CIAT.

APA		TIPO DE REACCIÓN		
0-10		Lesiones debajo de la hoja 5	Resistente (R)	
REACCIÓN GENÉTICA				
Variedades	% de daño	Índice de la enfermedad	Chen et al. 2009	CIAT
Cristalino	21,85	1,97	R	I
Élite	18,80	1,69	R	R
Impacto	18,58	1,67	R	R
INIAP-20	17,29	1,55	R	R
Arenillas	17,19	1,54	R	R

En lo que corresponde a los problemas reportados en el control de malezas se realizaron trabajos en la provincia de El Oro con la finalidad de desarrollar estrategias de manejo integrado de malezas mediante mejoras en la calidad del suelo y eficacia en el uso de herbicidas en el cultivo de arroz (Ordeñana 2012, INIAP 2007), para el efecto se evaluó la tolerancia y eficacia de diferentes mezclas y combinaciones de herbicidas de uso pre-emergente y post-emergente. Se evaluaron cinco tratamientos herbicidas con corrección de agua, los cuales estuvieron conformados por Pretilaclor (1,00) y Bentiocarbo (2,40) como pre-emergentes y, Propanil (1,92), 2,4-d (a) (0,24), Florpyrauxifen (0,025), Cyhalofop (0,27), Quinclorac (0,37) y Penoxulam (0,04 kg i.a. ha⁻¹), entre los post-emergentes, combinados o en mezcla entre ellos. Se evaluaron las variables toxicidad a los 7 y 14 días de la aplicación, altura de planta, número de macollas, longitud de panícula, granos llenos y vanos, peso de 1000 semillas y finalmente rendimiento. Sobre las malezas se evaluaron las variables control de malezas a los 15, 30 y 45 días posteriores a la aplicación. A los 7 días de haber aplicado no hubo toxicidad sobre el cultivo, se observó ligera clorosis, mientras que a los 14 días se observó que sin la corrección del suelo el cultivo mostraba menor recuperación, siendo significativa con relación a las aplicaciones con suelos con las correcciones. A nivel de invernadero se realizaron pruebas en condiciones controladas, mediante ensayos dosis-respuesta para determinar los niveles de resistencia de varias poblaciones de la maleza *Echinochloa crus galli* colectada en diferentes zonas arroceras, mostrando cierta tolerancia y/o resistencia las poblaciones colectadas en la zona de Yaguachi a las aplicaciones del herbicida penoxsulán.

En lo que respecta a insectos plaga en trabajos realizados en Invernadero sobre el chinche vaneador del arroz *Oevalus insularis* (Araujo et al., 2020; Awuni et al., 2015; Awuni et al., 2024; Bhavanam et al., 2021). Cuyo objetivo fue el de cuantificar el daño mecánico ocasionado por el chinche vaneador sobre genotipos de arroz en condiciones controladas. Para su efecto, se utilizaron adultos jóvenes para infestar los genotipos de arroz utilizando niveles de 0; 2; 4; y 6 insectos por planta incorporados durante la etapa de floración. Fue evidente observar que a mayores niveles de infestación el rendimiento disminuye hasta un 46%. Los resultados demostraron que el genotipo Go-04209 presentó mejor comportamiento, tanto en los parámetros de calidad y cantidad, constituyendo un material promisorio que da pautas a ser investigado y conocer otros atributos que puedan ayudar al mejoramiento genético y a futuro liberar variedades que permitan fortalecer el desarrollo productivo.

Componente 2: Transferir las tecnologías generadas mediante socialización y difusión de conocimientos.

Para la transferencia y difusión de los resultados se implementaron parcelas de aprendizaje en las principales zonas de intervención para transferir las tecnologías generadas, a través de cursos de capacitación con módulos de aprendizaje diseñados en las diferentes fases fenológicas del cultivo con base en el método aprender-haciendo. La difusión de los resultados se realizó a través de eventos de socialización, encuentros con agricultores y material publicitario.

5. Conclusiones

Se realizaron diagnósticos rurales participativos en las provincias del Guayas, Los Ríos, Manabí, El Oro y Loja.

Se realizó la entrega al sector arrocerero de una variedad de arroz de alto potencial de producción y buena extracción de grano entero, y se han identificado 2 líneas promisorias como candidatas para inscripción como nuevas variedades.

Se han identificado líneas élite a través del uso de herramientas biotecnológicas (cultivo de anteras) que han presentado a nivel de laboratorio e invernadero tolerancia a condiciones salinas.

Se conoce el ciclo biológico y desempeño reproductivo del chinche vaneador de la espiga (*Oebalus insularis* Stal.), información que se divulgó a través de un artículo científico; en relación a esta misma plaga, se conoce que en condiciones controladas el umbral económico es 1 insecto por planta, el cual podría generar pérdidas económicas del 17 %.

En lo que corresponde a enfermedades se dispone de resultados obtenidos en campo e invernadero donde se comprobó la susceptibilidad genética de los cereales a la enfermedad del entorchamiento, entre los que se incluye el arroz.

6. Referencias bibliográficas

Araújo, V., Bacca, T. y Días, L. (2020). Anatomy of male and female reproductive organs of stink bugs pests (Pentatomidae: Heteroptera) from soybean and rice crops. *Biota Neotropica*, 20(4), 1-9.

<https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2020-1045>

Awuni, G., Gore, J., Cook, D., Musser, F., Catchot, A. y Sobbins, C. (2015). Impact of *Oebalus pugnax* (Hemiptera: Pentatomidae) Infestation Timing on Rice Yields and Quality. *Journal of Economic Entomology*, 108(4), 1739-1747.

<https://doi.org/10.1093/jee/fov123>

Awuni, G., Gore, J., Tomaso, M., Allen, T., Cook, D. y Musser, F. (2024). Duration of rice stink bug, *Oebalus pugnax* (F.) infestation impacts the milk stage of panicle development. *Cogent Food y Agriculture*, 10(1), 1-17.

<https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2368254>

Bhavanam, S., Wilson, B., Blackman, B. y Stout, M. (2021). Biology and management of the rice stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) in rice, *Oryza sativa* (Poales: Poaceae). *Journal of integrated pest management*, 12(1), 20. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmab014>.

Carrión, A. y García, C. (2010). *Preparación de extractos vegetales: Determinación de eficiencia de metódica*. [Tesis de Pregrado. Universidad de Cuenca].

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (2007). *Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de arroz*.

del Puerto, A., Suárez, S., y Palacio, D. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223240764010>

INEC. (2020). Estadísticas Agropecuarias. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Tabulados%20ESPAC%202020.xlsx

INEC. (2024). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Principales_resultados_ESPAC_2023.pdf.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2020). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC 2020)*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>

International Rice Research Institute (2002). *A standard evaluation system for rice diseases*. International Rice Research Institute.

INIAP. (2007). *Manual de Cultivo de Arroz*.

Dobermann, A. y Fairhurst, T. (2000). *Arroz: desórdenes nutricionales y manejo de nutrientes*.

Lentini, Z., Reyes, P., Martínez, C. P., Núñez, V. M. y Roca, W. (1995). *Mejoramiento del arroz con cultivo de anteras. Aplicaciones en el desarrollo de germoplasma adaptado a ecosistemas Latinoamericanos y el Caribe*.

Ordeñana, O. (2012). *Arroz: Producción, Agronomía y Control de Malezas*. [Tesis de Pregrado. Universidad Técnica de Babahoyo].

7. Galería fotográfica



Fotografía 1. Diagnóstico rural participativo realizado en el cantón Zapotillo de la provincia de Loja (2023).



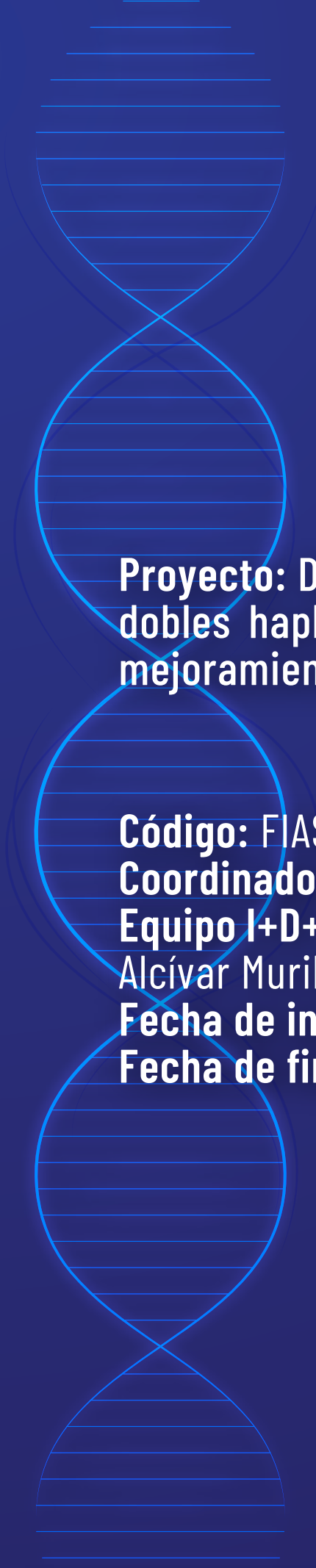
Fotografía 2. Cultivar Go-00904, que fue inscrito como una nueva variedad con el nombre de INIAP-20 (2024).



Fotografía 3. Síntomas de *Rizoctonia solani*, observados después de la inoculación artificial (2023).



Fotografía 4. Pruebas en condiciones de invernadero para determinar niveles de resistencia a herbicidas, en poblaciones de *E. crus-galli* colectadas en varias zonas arroceras (2022).



Proyecto: Desarrollo y aplicación de tecnología de
dobles haploides como innovación productiva al
mejoramiento genético del maíz en el Ecuador.

Código: FIASA-EEP-2022-010

Coordinador: Eddie Zambrano Zambrano

Equipo I+D+i (INIAP): Andrés Olivero Grijalva, Rubén
Alcívar Murillo, Verlis Saltos Briones

Fecha de inicio: 25-04-2022

Fecha de finalización: 31-12-2022

Resumen

El proyecto se orientó a introducir herramientas modernas de mejoramiento genético del maíz, con énfasis en la tecnología de dobles haploides, como una alternativa para optimizar los procesos de selección y desarrollo de materiales mejorados. Su implementación involucró actividades de campo, manejo de poblaciones avanzadas, articulación técnica interinstitucional y acciones de transferencia de conocimiento. Durante el periodo de ejecución se desarrollaron poblaciones avanzadas de maíz en diferentes estaciones experimentales, se fortaleció la base genética disponible para el programa y se promovió el intercambio de experiencias técnicas mediante eventos de capacitación y difusión. Estas acciones permitieron avanzar en la consolidación de capacidades técnicas y en la preparación de insumos estratégicos para etapas posteriores del proceso de mejoramiento. El trabajo realizado aporta insumos técnicos, experiencia operativa y aprendizajes institucionales que fortalecen el Programa Nacional de Maíz y contribuyen a la proyección de futuras iniciativas orientadas a la innovación y mejora de la productividad del cultivo.

1. Introducción

El mejoramiento genético del maíz ha sido, históricamente, uno de los pilares para el desarrollo de sistemas agrícolas más productivos, sostenibles y resilientes. En el Ecuador, donde el maíz cumple un rol fundamental en la seguridad alimentaria y en la economía de miles de familias agricultoras, resulta indispensable incorporar tecnologías innovadoras que permitan responder de manera oportuna a los desafíos productivos y ambientales que enfrenta el sector agrícola (FAO, 2019).

En este contexto, el proyecto “Desarrollo y aplicación de tecnología de dobles haploides como innovación productiva al mejoramiento genético del maíz en el Ecuador” surge como una iniciativa orientada a fortalecer las capacidades nacionales de investigación y a modernizar los procesos de mejoramiento genético liderados por el INIAP, con el apoyo del Fondo para la Investigación en Agrobiodiversidad, Semillas y Agricultura Sustentable (FIASA).

La tecnología de dobles haploides se ha consolidado a nivel internacional como una herramienta eficiente para acelerar la obtención de líneas completamente homocigóticas, reduciendo de forma significativa los tiempos requeridos en los métodos convencionales de mejoramiento. Su aplicación permite mejorar la precisión en la selección de materiales élite y facilita el desarrollo de híbridos con alto potencial de rendimiento y mejor adaptación a diferentes condiciones agroecológicas (Prasanna et al., 2012; Chaikam et al., 2019). Durante el primer año de ejecución del proyecto, las acciones se enfocaron en sentar bases sólidas para la implementación de esta tecnología en el país. Se priorizó la generación e incremento de poblaciones avanzadas de maíz, el fortalecimiento de la cooperación técnica internacional y la preparación de los componentes técnicos y operativos necesarios para avanzar de manera progresiva hacia las siguientes etapas del proyecto, en concordancia con los lineamientos establecidos por FIASA y los objetivos del Programa Nacional de Maíz del instituto (INIAP, 2020).

La presente memoria recoge de manera integrada las principales actividades desarrolladas y los resultados alcanzados durante el periodo analizado, destacando la importancia del proyecto como una herramienta estratégica para fortalecer el mejoramiento genético del maíz en el Ecuador y contribuir, a mediano y largo plazo, al desarrollo de materiales mejorados que respondan a las necesidades del sector productivo nacional.

2. Objetivos

El Objetivo General fue acelerar el proceso de obtención de híbridos de maíz de alto rendimiento mediante la generación de líneas completamente homocigóticas, utilizando la tecnología de dobles haploides como herramienta innovadora de mejoramiento genético. Los objetivos específicos fueron: (1) Generar líneas homocigóticas de maíz mediante inducción in vivo de haploidía y doblaje cromosómico, orientadas al trópico seco y húmedo del litoral ecuatoriano. (2) Evaluar la adaptación y eficiencia productiva de líneas dobles haploides promisorias en el trópico seco y húmedo. (3) Desarrollar híbridos experimentales de maíz a partir de líneas dobles haploides para su evaluación en diferentes ambientes. (4) Fortalecer las capacidades técnicas del Programa Nacional de Maíz mediante el uso de herramientas modernas de mejoramiento genético.

3. Metodología

Componente 1: Generar líneas homocigóticas de maíz mediante inducción in vivo de haploidía y doblaje cromosómico, orientadas al trópico seco y húmedo del litoral ecuatoriano.

Para la generación de líneas homocigóticas de maíz, se seleccionaron poblaciones avanzadas con buen desempeño agronómico, las cuales se establecieron en campo en estaciones experimentales del INIAP. Se realizaron actividades de manejo del cultivo, control de floración y polinización dirigida, con el fin de asegurar la pureza genética del material. Posteriormente, se aplicaron procesos de inducción in vivo de haploidía y doblaje cromosómico mediante procedimientos técnicos especializados. El material obtenido se incrementó, se acondicionó y se conservó adecuadamente, quedando disponible para las siguientes fases del proyecto.

Componente 2: Evaluar la adaptación y eficiencia productiva de líneas dobles haploides promisorias en el trópico seco y húmedo.

Para evaluar la adaptación y eficiencia productiva de las líneas dobles haploides promisorias, estas se establecieron en ensayos de campo en localidades representativas del trópico seco y trópico húmedo del litoral ecuatoriano. Los ensayos se condujeron bajo un diseño experimental adecuado, aplicando prácticas agronómicas uniformes. Durante el ciclo del cultivo se registró información agronómica y productiva relevante, la cual fue analizada para identificar las líneas con mejor comportamiento, estabilidad y potencial de uso en los programas de mejoramiento genético.

Componente 3: Desarrollar híbridos experimentales de maíz a partir de líneas dobles haploides para su evaluación en diferentes ambientes.

Para la generación de híbridos experimentales de maíz, se seleccionaron líneas dobles haploides con buen desempeño agronómico y potencial productivo. Estas líneas se utilizaron como parentales en cruzamientos dirigidos para la obtención de semilla F1.

Los híbridos experimentales se establecieron en ensayos de campo en ambientes representativos del trópico seco y trópico húmedo del litoral ecuatoriano. Durante su desarrollo se registró información agronómica y productiva, la cual fue analizada para identificar materiales con mayor potencial de rendimiento y adaptación.

Componente 4: Fortalecer las capacidades técnicas del Programa Nacional de Maíz mediante el uso de herramientas modernas de mejoramiento genético.

Para el fortalecimiento de las capacidades técnicas de los investigadores del Programa Nacional de Maíz, se desarrollaron actividades de capacitación y transferencia de conocimientos en temas relacionados con la tecnología de dobles haploides, la selección genómica y la selección asistida por marcadores moleculares.

Estas actividades se ejecutaron mediante talleres técnicos, jornadas de capacitación, intercambio de experiencias y acompañamiento técnico especializado. El fortalecimiento de capacidades permitió mejorar la aplicación de herramientas avanzadas de mejoramiento genético en las actividades del programa y asegurar la sostenibilidad de los procesos de investigación.

4. Resultados

Componente 1: Generar líneas homocigóticas de maíz mediante inducción in vivo de haploidía y doblaje cromosómico, orientadas al trópico seco y húmedo del litoral ecuatoriano.

Durante el primer año de ejecución del proyecto, se logró desarrollar y consolidar una base genética sólida para la implementación de la tecnología de dobles haploides. Como resultado principal, se obtuvieron seis poblaciones avanzadas de maíz, las cuales fueron validadas agronómicamente e incrementadas en semilla en las Estaciones Experimentales Portoviejo, Santa Catalina y Tropical Pichilingue. Estas poblaciones, caracterizadas por su buen vigor, uniformidad, sanidad y desempeño productivo, constituyen un producto clave del proyecto, ya que la semilla fue incrementada bajo control de polinización, asegurando su pureza genética y quedando disponible como material base estratégico para los procesos de inducción y obtención de líneas dobles haploides.

Componente 2: Evaluar la adaptación y eficiencia productiva de líneas dobles haploides promisorias en el trópico seco y húmedo.

Como parte del proceso de validación en campo, se generó información técnica relevante sobre el comportamiento agronómico de las poblaciones avanzadas desarrolladas. Estas poblaciones demostraron adaptación a las condiciones ambientales del trópico seco, trópico húmedo y sierra del Ecuador, lo que representa un producto técnico fundamental para la siguiente fase del proyecto. La disponibilidad de estos materiales adaptados permite avanzar hacia la evaluación de líneas dobles haploides promisorias, sentando las bases para la selección de genotipos con mejor desempeño y potencial productivo en las zonas maiceras del litoral ecuatoriano.

Componente 3: Desarrollar híbridos experimentales de maíz a partir de líneas dobles haploides para su evaluación en diferentes ambientes.

En relación con la generación de híbridos experimentales, se fortaleció la base genética del programa de mejoramiento mediante la gestión y aseguramiento de la donación de germoplasma de líneas dobles haploides del CIMMYT. Como producto concreto de este proceso, se seleccionaron tres poblaciones DH, las cuales fueron introducidas al país para su evaluación adaptativa en condiciones del litoral ecuatoriano.

Este germoplasma internacional amplía las oportunidades de desarrollo de híbridos experimentales, complementando los materiales nacionales y contribuyendo al fortalecimiento del Programa Nacional de Maíz del INIAP.

Componente 4: Fortalecer las capacidades técnicas del Programa Nacional de Maíz mediante el uso de herramientas modernas de mejoramiento genético.

En el componente de fortalecimiento de capacidades, se desarrollaron acciones de transferencia y difusión tecnológica orientadas a compartir los avances y fundamentos del proyecto. Como productos de este objetivo, se ejecutaron tres eventos de capacitación, que incluyeron un día de campo y dos charlas técnicas, dirigidas a estudiantes y docentes de instituciones académicas nacionales. Estas actividades permitieron socializar los objetivos del proyecto, los avances en mejoramiento genético de maíz y los principios de la tecnología de dobles haploides, contribuyendo al fortalecimiento técnico y formativo del talento humano vinculado al Programa Nacional de Maíz.

5. Conclusiones

El proyecto no logró completar la totalidad de las actividades planificadas, debido al cierre prematuro que limitó su ejecución. Sin embargo, durante el periodo de desarrollo se alcanzaron resultados técnicos relevantes que aportan de manera significativa al fortalecimiento del Programa Nacional de Maíz del INIAP.

Entre los principales logros se destacan el desarrollo e incremento de poblaciones avanzadas de maíz, la consolidación de una base genética estratégica para la aplicación de la tecnología de dobles haploides y el fortalecimiento de capacidades técnicas a través de actividades de difusión y transferencia de conocimiento.

En conjunto, los avances obtenidos, aún cuando el proyecto no alcanzó todas sus metas previstas, constituyen un aporte valioso y sientan bases técnicas importantes para futuros procesos de investigación y mejoramiento genético del maíz en el Ecuador.

6. Referencias bibliográficas

Chaikam, V., Molenaar, W., Melchinger, A. E. y Boddupalli, P. M. (2019). Doubled haploid technology for line development in maize: technical advances and prospects. *Theoretical and Applied Genetics*, 132, 3227–3243.

FAO. (2019). *Maize: global production and importance for food security*.

INIAP. (2020). *Programa Nacional de Maíz: lineamientos técnicos y estratégicos*.

Prasanna, B. M., Chaikam, V. y Mahuku, G. (2012). *Doubled haploid technology in maize breeding: theory and practice*.

7. Galería fotográfica



Fotografía 1. Toma de datos de los ensayos (2022).



Fotografía 2. Manejo del cultivo (2022).



Fotografía 3. Día de campo (2022).



Proyecto: Generación de tecnologías integrales para la producción de cáñamo medicinal e industrial.

Código: FIASA-EESC-2022-012

Coordinador: Dr. Jorge Merino Toro

Equipo I+D+i (INIAP): Jorge Merino, Doménica Endara, David Villota, Marco Jiménez, Duthier López, Viviana Tamba, Sandra Garcés, Yamil Cartagena, Javier Maiguashca, José Luis Rivadeneira, Antonio Guacapiña, Iván Samaniego, Álvaro Monteros, Pablo Jaramillo.

Fecha de inicio: 13-04-2022

Fecha de finalización: 31-12-2022

Resumen

En los últimos años, el cáñamo (*Cannabis sativa* L.) ha pasado de ser catalogado como una sustancia nociva a consolidarse como materia prima de interés para la medicina y otros sectores productivos. El conocimiento sobre los beneficios terapéuticos de sus compuestos activos, como el THC (tetrahidrocannabinol) y el CBD (cannabidiol), ha impulsado su legalización y regulación en diversos países, promoviendo el desarrollo de investigaciones científicas y tecnológicas en torno a este rubro. El proyecto se organizó en cuatro componentes: investigación base para el incremento de la productividad; manejo y conservación de los recursos naturales asociados a su producción; incorporación de valor agregado; y transferencia de tecnologías. En el marco del período de ejecución, se registraron avances técnicos relevantes en cada uno de estos componentes. Se implementaron ensayos de campo en la Granja Experimental Yachay para la caracterización agronómica de la variedad medicinal Cherry Oregon Hemp, y se inició el levantamiento de la entomofauna asociada al cultivo. Se avanzó en el refrescamiento de accesiones de cáñamo industrial conservadas en el DENAREF y se desarrollaron investigaciones orientadas a la incorporación de valor agregado, incluyendo la caracterización del perfil de cannabinoides y el desarrollo de un chocolate funcional con CBD. Adicionalmente, se ejecutaron actividades de transferencia tecnológica y se generó capacidad técnica institucional para la multiplicación de plantas mediante esquejes.

1. Introducción

El cáñamo (*Cannabis sativa* L.) ha logrado posicionarse en el mundo por sus propiedades medicinales y consumo en forma recreativa en varios países; en este sentido se han creado modelos de regularización para su producción y consumo empezando por Europa, posteriormente en Estados Unidos y América Latina (Arango, Ruiz, y Mateus, 2020). Este cultivo ocupó unas 67404 ha a nivel mundial para el 2004 y para el 2019 se cuadruplicó alcanzando 174.027 ha de las cuales América Latina específicamente Chile han sembrado 9507 ha (FAOSTAT, 2021). Para el año 2019 en el Ecuador, a falta de una regulación no existían registros formales de la existencia de cultivares de este género, no obstante, en el segundo semestre se aprobó su uso con fines terapéuticos y medicinales mediante una modificación del Código Orgánico Integral Penal (COIP) formalizando los primeros pasos de la producción e industria del cannabis a escala nacional. De esta manera los estándares de producción externos son cuestionables a estas latitudes y condiciones; y, aunque parezca un sitio idóneo para la producción encaminar la investigación hacia la adaptabilidad y productividad resulta imprescindible. (INEC, 2021).

El cáñamo se desarrolla de forma adecuada en suelos con un pH entre 6 y 7. Las condiciones ambientales como los nutrientes minerales (Bernstein et al., 2011), la disponibilidad de agua (Wang et al., 2018) y la calidad del sustrato afectan el desarrollo y la función de las plantas, incluida la síntesis de metabolitos secundarios en plantas medicinales (Nascimento y Fett-Neto, 2010; Gorelick y Bernstein, 2014). Contiene cientos de metabolitos especializados con bioactividad potencial, incluidos cannabinoides, terpenos y flavonoides, que se producen y acumulan en los tricomas glandulares que son muy abundantes principalmente en las inflorescencias femeninas (Andre et al., 2016; Chandra et al., 2017). Dado que este complejo perfil de metabolitos especializados define el potencial médico y comercial del cáñamo, la inflorescencia femenina ha atraído mucha atención (Small, 2016; Chandra et al., 2017; Grof, 2018). De todos los fitocannabinoides presentes en el cáñamo el delta-9-tetrahidrocannabinol (THC) es el más abundante; también el cannabinol (CBN) producto de la oxidación del THC y el cannabidiol (CBD) que no tiene efecto psicoactivo pero parece contar potencialmente con ciertos efectos: antiinflamatorio, analgésico, antipsicótico, antiisquémico, ansiolítico/antiepiléptico; estos efectos fisiológicos tan diversos de los cannabinoides, derivan de la existencia de receptores específicos distribuidos en algunos órganos

y sistemas de nuestro cuerpo, explican lo amplio del espectro de efectos sin que necesariamente éstos sean médicos o terapéuticos (Covarrubias-Torres, 2019).

En la actualidad se están evaluando los efectos sobre la salud, producción de leche y calidad de la carne en ganado alimentado con cáñamo en reemplazo de alfalfa como fuente de forraje; aún se están estudiando las cantidades y mezclas óptimas de la biomasa de cáñamo y alfalfa en las dietas de engorde (Bioeconomía, 2020). También se pueden elaborar alimentos de uso humano con CBD, estos alimentos son aquellos productos que contienen cannabidiol, ya sea de forma natural o de forma añadida. En los alimentos con CBD de forma añadida, encontramos gran variedad de productos que cada día va en aumento, entre otros motivos por la creciente demanda por parte de los consumidores que desean obtener los beneficios de incluir el CBD en su dieta. Entre otros, podemos encontrar chocolates, chicles, galletas, refrescos, gominolas e incluso café, infusiones o vino, estos alimentos son muy interesantes desde un punto de vista nutritivo ya que tienen un alto contenido en vitaminas y minerales (Thecannabisweb, 2019).

2. Objetivos

El objetivo general del proyecto fue generar tecnologías integrales para la producción de cáñamo medicinal e industrial, orientadas al incremento de la productividad, la sostenibilidad de los sistemas productivos y el fortalecimiento de las capacidades institucionales. Los objetivos específicos fueron: (1) desarrollar investigación base que permita mejorar la productividad del cultivo de cáñamo; (2) generar conocimientos y prácticas para el manejo sostenible y la conservación de los recursos naturales asociados a su producción; (3) incorporar valor agregado a la producción primaria de cáñamo mediante el desarrollo de procesos y aplicaciones productivas; (4) promover la transferencia y adopción de las tecnologías generadas hacia los actores del sector.

3. Metodología

Componente 1: Investigación base para el incremento de la productividad del rubro cáñamo.

Se realizó la caracterización agronómica de material de cáñamo mediante la instalación de ensayos bajo invernadero y a cielo abierto en la Granja Experimental Yachay, ubicada en la parroquia Tumbabiro, cantón San Miguel de Urcuquí, provincia de Imbabura. Para el estudio de la entomofauna asociada al cultivo, se realizaron muestreos en las zonas de producción utilizando métodos activos, captura manual directa, red entomológica y aspirador manual, y métodos pasivos, trampas con atrayentes y trampas de caída. Los artrópodos recolectados se trasladaron al laboratorio para su identificación mediante estereoscopio y claves taxonómicas; cuando fue necesario confirmar género y especie, se aplicaron técnicas moleculares.

Componente 2: Generar conocimientos y prácticas para el manejo sostenible y la conservación de los recursos naturales asociados a su producción.

Se incrementó y refrescó la colección de materiales de cáñamo industrial del DENAREF en condiciones controladas, mediante el uso de un invernadero automatizado, con el fin de obtener semilla viable para la instalación de ensayos experimentales y garantizar la conservación activa de las accesiones institucionales.

Componente 3: Incorporación de valor agregado a la producción de cáñamo.

Se caracterizó el perfil de metabolitos secundarios de las plantas de cáñamo mediante espectrofotometría UV-visible para determinar el contenido total, y mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) para la identificación y cuantificación de cannabinoides y otros compuestos bioactivos. Se desarrolló un producto funcional a partir de cáñamo mediante la extracción del aceite, la cuantificación del contenido de CBD y la formulación del producto. Asimismo, se evaluó el valor nutricional de la biomasa de cáñamo medicinal con fines de formulación para alimentación bovina.

Componente 4: Transferencia de tecnologías de cáñamo.

Se realizaron capacitaciones presenciales y virtuales dirigidas a productores e investigadores del rubro. Se participó en eventos especializados del sector y se asistió a cursos de capacitación en manejo del cultivo para fortalecer las capacidades técnicas institucionales. Con base en la información generada durante el desarrollo de las actividades de investigación, se elaboró un manual de manejo integrado del cultivo de cáñamo, que sistematiza recomendaciones técnicas y buenas prácticas para su producción. Complementariamente, se establecieron ensayos experimentales en el invernadero automatizado del INIAP para desarrollar un protocolo de multiplicación de cáñamo medicinal mediante esquejes provenientes de plantas madre mantenidas bajo fotoperiodo 18/6.

4. Resultados

Componente 1: Investigación base para el incremento de la productividad del rubro cáñamo.

Los ensayos agronómicos desarrollados en la Granja Experimental Yachay con la variedad medicinal Cherry Oregon Hemp evidenciaron una adecuada adaptación del material a las condiciones locales y una respuesta favorable al manejo agronómico aplicado. En los tres ensayos consecutivos se observó desarrollo vegetativo uniforme, adecuada arquitectura de planta y formación satisfactoria de inflorescencias, lo que permitió realizar la cosecha en el punto de madurez fisiológica. El manejo sanitario oportuno contribuyó a minimizar la incidencia de *Botrytis cinerea* Pers. durante la fase reproductiva. La cosecha y el secado controlado permitieron obtener cogollos en condiciones apropiadas y recuperar semilla para futuras evaluaciones, confirmando la viabilidad técnica del establecimiento del cultivo en campo abierto bajo estas condiciones.

Las colectas sistemáticas de entomofauna mediante trampas de caída, trampa Malaise y captura manual registraron la presencia de diversos grupos de insectos asociados al agroecosistema del cáñamo, incluyendo organismos fitófagos y benéficos. Los resultados constituyen una línea base para futuras investigaciones orientadas a la identificación taxonómica, el análisis de relaciones ecológicas y el diseño de estrategias de manejo

integrado. Los especímenes recolectados fueron puestos a disposición del Museo Nacional de Entomología Económica de Agrocalidad para la continuación de estudios taxonómicos especializados.

Componente 2: Generar conocimientos y prácticas para el manejo sostenible y la conservación de los recursos naturales asociados a su producción.

Las actividades desarrolladas permitieron avanzar en el proceso de refrescamiento y multiplicación de accesiones de cáñamo industrial conservadas en el DENAREF. A pesar de los bajos porcentajes de germinación observados en algunas accesiones, se logró establecer plantas viables bajo condiciones controladas de invernadero.

El manejo del material vegetal permitió identificar plantas masculinas y recolectar polen, el cual fue almacenado bajo refrigeración para su uso en procesos de polinización controlada. Este avance es clave para la obtención de semilla y la conservación activa de las accesiones, contribuyendo a la sostenibilidad de la colección y a su utilización en futuros ensayos de investigación y desarrollo.

El manejo del material vegetal permitió identificar plantas masculinas y recolectar polen, el cual fue almacenado bajo refrigeración para su uso en procesos de polinización controlada. Este avance es clave para la obtención de semilla y la conservación activa de las accesiones, contribuyendo a la sostenibilidad de la colección y a su utilización en futuros ensayos de investigación y desarrollo.

Componente 3: Incorporación de valor agregado a la producción de cáñamo.

Los estudios desarrollados permitieron caracterizar el perfil nutricional, funcional y de cannabinoides de la variedad Cherry Oregon Hemp, evidenciando diferencias significativas entre las distintas partes de la planta. Los resultados muestran que los cogollos concentran los mayores contenidos de proteínas, compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y cannabinoides, seguidos por las hojas y, en menor proporción, los tallos. El análisis comparativo de sustratos de cultivo permitió identificar combinaciones con mayor potencial para maximizar el contenido de compuestos funcionales y cannabinoides, lo que constituye un aporte relevante para la optimización del manejo agronómico orientado a la calidad del producto final.

Asimismo, la evaluación de distintos métodos de extracción evidenció que la extracción con fluidos supercríticos presenta el mayor rendimiento y eficiencia para la obtención de fitoquímicos antioxidantes y cannabinoides, confirmando su potencial para aplicaciones industriales y farmacéuticas. Los resultados también muestran que el ambiente de producción influye significativamente en el perfil de metabolitos, lo que resalta la importancia del sitio de cultivo.

El desarrollo de un chocolate funcional con incorporación de cannabidiol (CBD) permitió evaluar la interacción entre las propiedades funcionales y la aceptación sensorial del producto. Los resultados indican que, si bien mayores concentraciones de sólidos de cacao y CBD incrementan el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante, la aceptación sensorial depende del equilibrio entre funcionalidad y características organolépticas. Estos hallazgos confirman que el desarrollo de productos funcionales a partir de cáñamo debe considerar no solo el potencial bioactivo, sino también la aceptabilidad por parte del consumidor, como factor clave para su viabilidad comercial.

Componente 4: Transferencia de tecnologías de cáñamo: las actividades de transferencia.

Las actividades de transferencia tecnológica incluyeron la participación en el Primer Congreso Multisectorial del CBD, espacio que fortaleció el intercambio de conocimientos entre la academia, el sector productivo y los entes reguladores. Técnicos del proyecto aprobaron la Especialización Técnica en siembra, cultivo y extracción de Cannabis no psicoactivo y cáñamo, representando un avance significativo en el fortalecimiento de capacidades institucionales. Los conocimientos generados durante el proyecto contribuyeron al desarrollo del Manual Técnico para el Manejo del Cultivo de Cannabis no Psicoactivo y Cáñamo Industrial, elaborado en articulación con técnicos del MAGP y la UCE.

Complementariamente, el establecimiento de ensayos en el invernadero automatizado permitió avanzar en el desarrollo de un protocolo de multiplicación de cáñamo medicinal mediante esquejes provenientes de plantas madre mantenidas bajo fotoperiodo 18/6, generando capacidad técnica operativa institucional para la propagación de este cultivo.

5. Conclusiones

Durante el período de ejecución se confirmó la viabilidad técnica del establecimiento de *Cannabis sativa* L. en campo abierto bajo las condiciones de la Granja Experimental Yachay, con resultados favorables en adaptación agronómica, manejo sanitario y recuperación de semilla de la variedad medicinal Cherry Oregon Hemp.

El levantamiento de la entomofauna asociada al cultivo generó una línea base sobre la diversidad de insectos presentes en el agroecosistema del cáñamo en Ecuador, insumo fundamental para el desarrollo de estrategias de manejo integrado de plagas en este rubro.

El refrescamiento de accesiones de cáñamo industrial del DENAREF bajo condiciones controladas permitió avanzar en la conservación activa de la colección institucional, con la obtención de plantas viables y la recolección de polen para procesos de polinización controlada.

Las investigaciones de valor agregado demostraron el potencial de *C. sativa* L. para el desarrollo de productos funcionales con CBD, destacando la extracción con fluidos supercríticos como la metodología de mayor eficiencia para la obtención de cannabinoides y fitoquímicos antioxidantes.

Las actividades de transferencia tecnológica y el fortalecimiento de capacidades institucionales sentaron bases técnicas para el desarrollo de la cadena productiva del cáñamo en Ecuador, en articulación con actores del sector público, académico y productivo, y con aporte directo al desarrollo de instrumentos técnicos de alcance nacional.

6. Referencias bibliográficas

Andre, C. M., Hausman, J. F. y Guerriero, G. (2016). Cannabis sativa: the plant of the thousand and one molecules. *Frontiers in Plant Science*, 7(19), 1-17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00019>

Arango, J. C., Ruiz, C. C. y Mateus, C. (2020). Análisis económico de la industria de Cannabis medicinal en América [Tesis de Maestría. Universidad EAFIT]. <http://repository.eafit.edu.co/handle/10784/17454>

Bernstein, N., Gorelick, J. y Koch, S. (2019). Interplay between chemistry and morphology in medical cannabis (*Cannabis sativa* L.). *Industrial Crops and Products*. 129, 185-194. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.039>

Bioeconomía, 2020. ¿Será el cáñamo el alimento para la ganadería del futuro?. <https://www.bioeconomia.info/2020/10/14/sera-el-canamo-el-alimento-para-la-ganaderia-del-futuro/>

Covarrubias-Torres, N. (2019). Uso medicinal de la Marihuana. *Anestesia en México*, 31(2), 49-58

FAOSTAT. (2021). *Cantidades de producción de Cáñamo*. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>

Gorelick, J. y Bernstein, N. (2014). Elicitation: an underutilized tool in the development of medicinal plants as a source of therapeutic secondary metabolites. En D. L. Spark (Ed.), *Advances in agronomy* (Vol. 124, pp. 201-230). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00005-X>

Grof, C. (2018). Cannabis, from plant to pill. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 84(11), 2463-2467. <https://doi.org/10.1111/bcp.13618>

INEC. (2021). *Estadísticas Agropecuarias*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>

Nascimento, N. C. y Fett-Neto, A. G. (2010). Plant secondary metabolism and challenges in modifying its operation: An overview. En A. Fett-Neto (Ed.), *Plant secondary metabolism engineering* (Vol. 643, pp. 1-13). https://doi.org/10.1007/978-1-60761-723-5_1

Small, E. (2015). Evolution and classification of *Cannabis sativa* (Marijuana, Hemp) in relation to human utilization. *The Botanical Review*, 81, 189-294. <https://doi.org/10.1007/s12229-015-9157-3>

Thecannabisweb, (2019). *Alimentos con CBD: Información, estudios y usos más comunes*. <https://thecannabisweb.org/alimentos-con-cbd/>

Wang, H., Wu, L., Cheng, M., Fan, J., Zhang, F., Zou, Y., Wai, H., Gao, Z. y Wang, X. (2018). Coupling effects of water and fertilizer on yield, water and fertilizer use efficiency of drip-fertigated cotton in northern Xinjiang. *Field Crops Research*, 219, 169-179. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.002>

7. Galería fotográfica



Fotografía 1. Ensayos implementados en Yachay (2022).



Fotografía 2. Ensayos de entomofauna (2022).

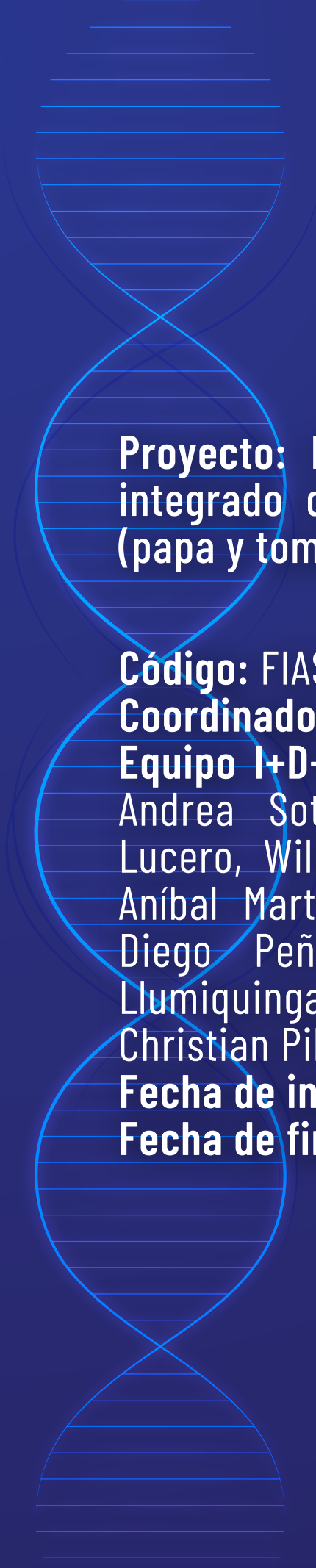
No.	Especie	Variedad	No. accesión	Material vegetal	Cantidad	% de Germinación
1	Cannabis sativa	Silesia	ECU-16639	Semilla	4g	20%
2	Cannabis sativa	Biolobeski	ECU-16640	Semilla	6g	40%
3	Cannabis gigantea		ECU-16641	Semilla	7g	80%



Fotografía 3. Refrescamiento de accesiones - DENAREF (2022).



Fotografía 4. Ensayos en sistema hidropónico (2022).



Proyecto: Desarrollo de estrategias de manejo integrado de la “punta morada” en solanáceas (papa y tomate de árbol).

Código: FIASA-EESC-2022-013

Coordinador: Carmen Castillo

Equipo I+D+i (INIAP): Xavier Cuesta, Pablo Viteri, Andrea Sotomayor, Jorge Rivadeneira, Hernán Lucero, William Viera, Paúl Mejía, María Insuasti, Aníbal Martínez, Víctor Barrera, Eduardo Morillo, Diego Peñaherrera, Verónica Andrade, Pablo Llumiquinga, Cristina Tello, Marcelo Racines, Christian Pilco, Yolanda Leiton, Rodrigo Vélez.

Fecha de inicio: 25-04-2022

Fecha de finalización: 31-12-2022

Resumen

El proyecto abordó la problemática de la punta morada (PM) en papa y tomate de árbol, enfermedad asociada a fitoplasmas y a *Candidatus Liberibacter solanacearum*, transmitida principalmente por el psílido *Bactericera cockerelli*. Durante el primer año de ejecución se generaron avances técnicos relevantes en investigación, diagnóstico y bases para el manejo integrado.

En el componente de generación de tecnología, se evaluaron diez progenies de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav. × *S. unilobum*) en Chimborazo e Imbabura, bajo alta presión del vector. Se identificaron diferencias en infestación y severidad de síntomas, destacándose materiales con posible tolerancia y menor preferencia del insecto. Se realizaron ensayos de antixenosis en invernadero y evaluaciones agronómicas en campo, seleccionándose seis segregantes promisorios para fases posteriores de validación y clonación. En papa, se desarrollaron ensayos de antibiosis y antixenosis con variedades nativas, comerciales y clones, generando información preliminar sobre su respuesta al vector. Además, se aislaron once hongos entomopatógenos de los géneros *Beauveria* y *Metarhizium* y se iniciaron evaluaciones de productos biorracionales y alternativas de bajo impacto ambiental.

En el componente de fortalecimiento tecnológico, se levantó una línea base socioeconómica mediante encuestas y entrevistas a productores de papa y tomate de árbol en varias provincias de la Sierra, permitiendo caracterizar prácticas de manejo y percepción de la enfermedad. Paralelamente, se evaluaron y validaron metodologías de diagnóstico molecular, identificándose protocolos más sensibles para la detección de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CLso) y confirmando su presencia mediante secuenciación. También se iniciaron estudios para estandarizar protocolos sobre transmisión por semilla sexual.

En conjunto, los resultados constituyen una base técnica y científica sólida para el diseño e implementación de estrategias de manejo integrado de la punta morada, fortaleciendo las capacidades institucionales y aportando herramientas clave para mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos de solanáceas en el Ecuador.

1. Introducción

La punta morada (PM) se ha convertido en una de las enfermedades emergentes más complejas y severas que afectan a los cultivos de la familia Solanaceae a nivel mundial, particularmente a la papa y, más recientemente, a frutales andinos como el tomate de árbol, la naranjilla y la uvilla. Esta enfermedad se caracteriza por síntomas aéreos y subterráneos que incluyen enrollamiento y clorosis de hojas, coloración púrpura, formación de tubérculos aéreos y senescencia prematura, con impactos directos sobre el rendimiento y la calidad del producto. En sistemas productivos altamente dependientes de semilla vegetativa, la PM puede ocasionar pérdidas totales del cultivo y comprometer la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (INIAP, 2014).

En el Ecuador, la enfermedad fue reportada por primera vez en 2013 en zonas paperas de la provincia del Carchi, donde los agricultores registraron reducciones superiores al 50 % en la variedad Superchola (INIAP, 2014). Desde entonces, la incidencia y distribución geográfica de la PM se ha ampliado hacia otras provincias de la Sierra, incluyendo Pichincha, Imbabura y Cotopaxi, con casos documentados de pérdida total del cultivo. Estudios realizados en el país han identificado como agentes causales a fitoplasmas pertenecientes a los grupos 16SrII y

16SrI-F (Caicedo et al., 2015; Castillo et al., 2018), así como a la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso), asociada a la enfermedad conocida como “zebra chip” en papa y responsable de pérdidas significativas a nivel internacional (Caicedo et al., 2020; Hajri et al., 2017).

La complejidad epidemiológica de la PM se ve incrementada por la presencia del psílido *Bactericera cockerelli*, insecto vector capaz de transmitir CaLso (Hansen et al., 2008; Liefting, 2009), cuya presencia ha sido confirmada en el Ecuador desde 2017 (Castillo et al., 2019). Adicionalmente, se ha demostrado que la enfermedad puede transmitirse por tubérculo semilla, con frecuencias que pueden alcanzar valores elevados dependiendo del material vegetal y las condiciones de cultivo, lo que constituye un factor crítico para la diseminación del patógeno y la persistencia de la enfermedad en el territorio (Crosslin et al., 2011; Paltrinieri y Bertaccini, 2007).

El complejo insecto-patógeno comenzó a afectar de manera evidente a frutales solanáceos, particularmente tomate de árbol y uvilla, con confirmación molecular de CaLso como agente causal (Caicedo et al., 2020). Este fenómeno coincidió con una disminución significativa de la producción de estos cultivos en provincias de la Sierra, según registros oficiales (SIPA, 2021). Como respuesta inmediata, los agricultores incrementaron el uso de insecticidas para el control del vector, generalmente sin criterios técnicos de rotación, lo que incrementa los riesgos de resistencia, los costos de producción y los impactos ambientales y sanitarios (IRAC, 2019).

En este contexto, el proyecto FIASA-EESC-2022-013, “Desarrollo de estrategias de manejo integrado de la punta morada en solanáceas (papa y tomate de árbol)”, fue concebido para generar bases técnicas y científicas orientadas al manejo integral de esta problemática emergente. A pesar de su ejecución parcial, el proyecto permitió avanzar en el diagnóstico del complejo PM, la evaluación de fuentes de resistencia y tolerancia en germoplasma, la prospección de controladores biológicos, el análisis de alternativas biorracionales y el fortalecimiento de capacidades técnicas, sentando las bases para el desarrollo de tecnologías de manejo integrado adaptadas a las condiciones productivas y socioambientales del Ecuador.

2. Objetivos

Los objetivos del proyecto fueron: (1) Desarrollar y validar tecnología de manejo integrado de PM basada en el uso de resistencia genética, control biológico, manejo cultural, uso de productos alternativos y control químico y (2) Fortalecer la tecnología con un estudio socioeconómico y ambiental del efecto de PM, un estudio sobre metodologías de diagnóstico molecular de los patógenos involucrados en PM y un estudio sobre transmisión de PM a través de semilla sexual de papa y tomate de árbol.

3. Metodología

Componente 1: Generación de tecnología de manejo integrado de Punta Morada.

El componente se desarrolló con el propósito de generar bases técnicas para un paquete de manejo integrado frente a la punta morada. Se avanzó en la recopilación de información agronómica, socioeconómica y ambiental en zonas afectadas, así como en observaciones preliminares de la epidemiología y del comportamiento del vector. Se realizaron ensayos iniciales con agentes de control biológico y evaluaciones exploratorias de insecticidas, biológicos y biorracionales. También se efectuaron actividades de evaluación de germoplasma y acciones de validación en campo.

Componente 2: Fortalecimiento de la tecnología.

Este componente avanzó en conocer las pérdidas generadas por el problema de la PM en tomate de árbol y papa con un estudio socioeconómico y ambiental del efecto de PM. Se estudiaron metodologías de diagnóstico molecular de los patógenos involucrados en PM y se inició un estudio sobre transmisión de PM a través de semilla sexual de papa y tomate de árbol.

4. Resultados

Componente 1: Generación de tecnología de manejo integrado de Punta Morada.

El proyecto avanzó de manera significativa en la generación de información técnica para el manejo integrado de la punta morada en tomate de árbol y papa, mediante la evaluación de materiales vegetales y alternativas de control del vector *Bactericera cockerelli*. En tomate de árbol, se evaluaron diez progenies derivadas del cruzamiento *Solanum betaceum* Cav. × *S. unilobum* en localidades de Chimborazo e Imbabura, bajo condiciones de alta presión del insecto. El monitoreo quincenal permitió identificar diferencias en la dinámica poblacional del psílido, destacándose la progenie TAP14 por presentar los mayores niveles de oviposición y abundancia de ninfas, mientras que progenies como GTA6 y GTA7 mostraron menor severidad de síntomas de PM y menor infestación, sugiriendo un posible comportamiento de tolerancia.

Los ensayos de antixenosis realizados en invernadero confirmaron la preferencia del insecto por determinados materiales y permitieron identificar progenies con menor atracción y oviposición. En parcelas experimentales en campo en la zona de Imantag, la evaluación agronómica y fitosanitaria permitió seleccionar seis segregantes promisorios por su vigor, precocidad y ausencia de síntomas, recomendándose su avance a fases de clonación y validación. En papa, se mantuvieron ensayos de antibiosis y antixenosis con variedades nativas, comerciales y clones promisorios, generando información preliminar sobre la respuesta al psílido *B. cockerelli*. Adicionalmente, se aislaron once hongos entomopatógenos de los géneros *Beauveria* y *Metarhizium*, y se iniciaron ensayos biorracionales y químicos de bajo impacto ambiental.

Componente 2: Fortalecimiento de la tecnología.

Se fortaleció la base técnica y analítica del proyecto mediante estudios socioeconómicos, ambientales y de diagnóstico molecular asociados al complejo punta morada. En el ámbito socioeconómico, se levantó información primaria sobre prácticas de manejo, uso de insumos y percepción de la enfermedad mediante 50 entrevistas a productores de tomate de árbol en Tungurahua e Imbabura, y 93 encuestas a productores de papa en Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Imbabura y Pichincha. Esta información constituye una línea base relevante para comprender las estrategias actuales de manejo y sus implicaciones productivas y ambientales. Paralelamente, se evaluaron y validaron metodologías de diagnóstico molecular para la detección de patógenos asociados a la punta morada en muestras de papa y tomate de árbol. Los resultados evidenciaron un mejor desempeño del protocolo de extracción de ADN de Frost et al. (2011), así como una mayor sensibilidad de los marcadores basados en proteínas ribosomales para la detección de *Candidatus Liberibacter solanacearum*. La confirmación mediante secuenciación permitió validar la presencia del patógeno. Finalmente, se iniciaron actividades de estandarización de protocolos para el estudio de la transmisión de la enfermedad a través de semilla sexual, sentando bases técnicas para investigaciones futuras orientadas a la prevención y manejo integral de la punta morada.

5. Conclusiones

Los avances alcanzados permitieron generar información técnica y científica clave sobre la epidemiología de la punta morada, la respuesta diferencial de materiales de papa y tomate de árbol frente al vector, y alternativas de manejo con enfoque integrado. La identificación de progenies promisorios, el aislamiento de agentes de control biológico y la validación de metodologías de diagnóstico molecular fortalecen las bases para el desarrollo de estrategias sostenibles, con menor dependencia de insecticidas y mayor respaldo técnico. Estos resultados contribuyen a consolidar capacidades institucionales y a orientar futuras acciones de investigación y transferencia tecnológica en beneficio de los sistemas productivos de solanáceas en el Ecuador.

6. Referencias bibliográficas

Caicedo, J., Crizón, M., Pozo, A., Cevallos, A., Simbaña, L., Rivera, L. y Arahana, V. (2015). First report of '*Candidatus Phytoplasma aurantifolia*' (16SrII) associated with potato purple top in San Gabriel-Carchi, Ecuador. *New Disease Reports*, 32(20). <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2015.032.020>

Caicedo, J., Vallejo, M., Simbaña, L. y Rivera, L. I. (2020). First report of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' causing leaf discoloration and wilting in tamarillo and cape gooseberry in Ecuador. *New Disease Reports*, 41, 30. <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2020.041.030>

Castillo, C., Fu, Z. y Burckhardt, D. (2019). First record of the tomato potato psyllid *Bactericera cockerelli* from South America. *Bulletin of Insectology*, 72(1), 85-91.

Castillo, C., Paltrinieri, S., Bustamante, J. B. y Bertaccini, A. (2018). Detection and molecular characterization of a 16SrI-F phytoplasma in potato showing purple top disease in Ecuador. *Australasian Plant Pathology*, 47, 1-5. <https://doi.org/10.1007/s13313-018-0546-6>

Crosslin, J. M., Hamlin, L. L., Buchman, J. L. y Munyaneza, J. E. (2011). Transmission of potato purple top phytoplasma to potato tubers and daughter plants. *American Journal of Potato Research*, 88, 339–345.

<https://doi.org/10.1007/s12230-011-9198-0>

Frost, K., Willis, D. y Groves, R. (2011). Detection and Variability of Aster Yellows Phytoplasma Titer in Its Insect Vector, *Macrostelus quadrilineatus* (Hemiptera: Cicadellidae). *Journal of Economic Entomology*, 104 (6), 1800–1815.

Hajri, A., Loiseau, M., Cousseau, P., Renaudin, I. y Gentit, P. (2017). Genetic characterization of ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’ haplotypes associated with apiaceous crops in France. *Plant Disease*, 101(8), 1383–1390.

<https://doi.org/10.1094/PDIS-12-16-1846-RE>

Hansen, A. K., Trumble, J. T., Stouthamer, R. y Paine, T. D. (2008). A new Huanglongbing species, “*Candidatus Liberibacter psyllaeus*”, found to infect tomato and potato, is vectored by the psyllid *Bactericera cockerelli*. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(18), 5862–5865. <https://doi.org/10.1128/AEM.01268-08>

INIAP. (2014). *Informe anual de actividades. Programa Nacional de Raíces y Tubérculos – papa*.

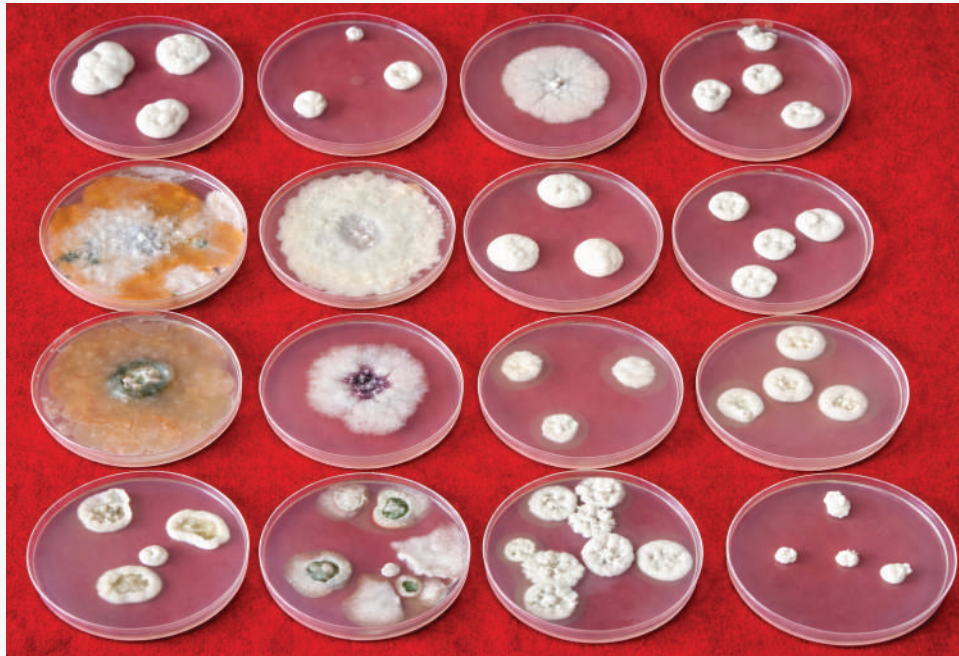
IRAC. (2019). *Clasificación del modo de acción de insecticidas y acaricidas*. <https://irac-online.org>

Liefting, L. W. (2009). New ‘*Candidatus Liberibacter*’ species infecting solanaceous crops. *Biosecurity*, 93, 208–214.

Paltrinieri, S. y Bertaccini, A. (2007). Detection of phytoplasmas in plantlets grown from different batches of seed-potatoes. *Bulletin of Insectology*, 60(2), 379–380.

Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA). (2021). *Cifras agroproductivas: Principales cultivos 2002–2020*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <http://sipa.agricultura.gob.ec>

7. Galería fotográfica



Fotografía 1. Aislamientos de hongos entomopatógenos de suelo en medios SDA y PDA. Se utilizaron larvas de *Galleria mellonella* como trampa para coleccionar los hongos de muestras en diferentes provincias productoras de papa del Ecuador (2022).



Fotografía 2. Cosecha del ensayo de productos biorracionales en la EESC, INIAP (2022).

Proyecto: Semillas andinas: investigación, desarrollo e innovación para una agricultura sustentable en la región Sierra del Ecuador.

Código: FIASA-EESC-2022-014

Coordinador: José Luis Zambrano y Cristian Subía

Equipo I+D+i (INIAP): Carlos Sangoquiza, Diego Rodríguez, Javier Garófalo, Víctor Sánchez, Xavier Cuesta, Jovanny Suquillo, María Nieto, Diego Peñaherrera, Victoria López, José Camacho, Fausto Yumisaca, Laura Vega, Javier Noroña, Jessica Amagua, Graciela Sanmartin, Rafael Muñoz, Robinson Guanotoa, Gissella Guapas, Diego Erique, Andrés Corrales, Gabriela Simbaña, Edison Andrango, Narcisa Hidalgo, Elena Quinga, Yael Guamán, Miguel Caguana, Kleber Nazate, César Asaquibay, Bety Paucar, Juan Carlos Escobar.

Fecha de inicio: 25-04-2022

Fecha de finalización: 25-04-2025

Resumen

Los principales cultivos transitorios de la región Sierra del Ecuador son la papa, el maíz, el trigo, el chocho, la cebada y el haba que abarcan cerca de 170 mil hectáreas y constituyen la base productiva de miles de pequeños agricultores. Sin embargo, gran parte de ellos continúa utilizando semilla no certificada y menos del 7 % de los agricultores reciben asistencia técnica. Así mismo, dentro de la agricultura familiar (AF) de la Sierra ecuatoriana existen otras limitaciones como: acceso a la comercialización, limitado acceso a créditos, agua, tierras, semillas de calidad, poca capacitación en temas de comercialización, entre otras. Frente a esta problemática, el proyecto propuso generar un modelo de sistemas productivos sustentables para pequeños y medianos agricultores en la Sierra del Ecuador mediante la investigación del INIAP en cultivos andinos. Este modelo se estructuró en tres componentes: Investigación y desarrollo de nuevas semillas, Capacitación integral en manejo, nutrición y agronegocios, y Difusión y transferencia de semilla de calidad. El proyecto generó conocimientos, nuevas variedades mejoradas y líneas promisorias y permitió una intervención más sólida del INIAP en las comunidades, involucrando a un mayor número de agricultores en procesos de desarrollo tecnológico e innovación. Los agricultores participaron en eventos de capacitación con un enfoque integral, diseñados por técnicos del INIAP, orientados a fortalecer la aplicación de buenas prácticas agrícolas en cultivos como leguminosas, papa, maíz y cereales menores. Se partió de semillas cumpliendo con todos los aspectos de calidad como el principal medio de transferencia de tecnología a los agricultores. También se logró generar publicaciones científicas y técnicas, y ejecutó procesos de formación mediante Escuelas de Campo y vitrinas tecnológicas. Asimismo, se distribuyeron semillas de calidad producidas en bancos locales a los beneficiarios directos y a agricultores de zonas cercanas.

1. Introducción

Ecuador tiene una marcada orientación agrícola, debido a las condiciones ambientales, la diversidad de suelos y las características productivas de su tierra. Según datos del III Censo Nacional Agropecuario, del 40 % de la población que habita en el área rural, el 62% conforman hogares de agricultores agropecuarios y viven en las propias Unidades de Producción Agropecuaria (UPA's). El 80% de las UPA's de la Sierra corresponden a pequeños agricultores con menos de 5 ha (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2000).

La mayoría de los cultivos en la Sierra del Ecuador se caracterizan por ser transitorios como la papa, el maíz, el trigo, el chocho, la cebada, entre otros, que en su conjunto ocupan un área de aproximadamente 170 mil hectáreas (Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador, 2020). Las UPA's no suelen utilizar semilla certificada (promedio 4%) y menos del 7% reciben asistencia técnica. Actualmente, la agricultura ecuatoriana enfrenta importantes desafíos que parten desde la debilidad de los procesos estructurales que incluyen a los problemas socioeconómicos que afectan al país, así como a los procesos biofísicos y tecnológicos para producir alimentos y a la falta de articulación con el mercado. Para enfrentar estos desafíos y potenciar la agricultura en la Sierra es necesario incrementar los niveles de productividad en el campo, capacitando, innovando y utilizando tecnología apropiada con un enfoque de agronegocio, que genera cadenas productivas eficientes.

Los principales obstáculos dentro de la Agricultura Familiar (AF) de la Sierra ecuatoriana están relacionados con una baja productividad, suelos desgastados, desconocimiento de tecnologías de producción, escasa capacitación en todos los temas alrededor de sus sistemas de producción limitado; además de restricciones para acceder a la comercialización, a créditos y a los recursos naturales como agua y semillas de calidad (Peñaherrera y Mármol, 2018).

El INIAP durante un poco más de 60 años ha generado semilla de nuevas variedades y recomendaciones de manejo para la mayoría de los cultivos de la Sierra. La institución dispone de guías de cultivos y prácticas de manejo y buenas prácticas agrícolas en cultivos de leguminosas, papa, maíz, trigo, entre otros (guías de cultivos), que deben llegar a los agricultores mediante eventos de capacitación apropiados que tengan un enfoque integral, combinando aspectos productivos, nutricionales y de agro emprendedores. La semilla es el principal medio mediante el cual la tecnología puede ser transferida a los agricultores, siempre que se cumpla con todos los aspectos de calidad que asegure el inicio de una buena cosecha (Velásquez et al., 2008).

Es necesario identificar modelos de sistemas productivos sustentables para pequeños y medianos agricultores en la Sierra del Ecuador con el uso de variedades mejoradas, semilla de calidad, capacitación y prácticas de agronegocios. La hipótesis a evaluar fue que el uso de una semilla de calidad, manejada con buenas prácticas agrícolas y con un enfoque de agronegocios incrementa la productividad y el rendimiento de los cultivos de la AF.

De acuerdo a las proyecciones de varias organizaciones, si no se incrementa la productividad de los cultivos de seguridad alimentaria en la Sierra el país no podrá abastecer la demanda de alimentos de la población. Para brindar seguridad alimentaria (suficiente alimento para la población en cantidad y calidad) es fundamental el desarrollo e implementación de tecnologías accesibles para la mayor cantidad de agricultores que incrementen significativamente los rendimientos, con un manejo amigable del medio ambiente.

El INIAP a través de sus Estaciones Experimentales Santa Catalina y del Austro generaron información para proporcionar a los agricultores de la zona las tecnologías que ayuden a incrementar la productividad por medio de nuevas semillas mejoradas, la aplicación de buenas prácticas de producción y de rotación de cultivos para impulsar una agricultura sustentable. Siendo necesaria una intervención más fuerte del INIAP para que mayor número de agricultores tengan la oportunidad de involucrarse en el desarrollo tecnológico y la innovación.

2. Objetivos

El objetivo general del proyecto fue determinar un modelo productivo sustentable para pequeños y medianos agricultores en la Sierra del Ecuador mediante el uso de nuevas variedades, semilla de calidad, capacitación y prácticas de agronegocios. Los objetivos específicos fueron: (1) Generar conocimiento y nuevas variedades de cultivos andinos que incrementen el rendimiento, calidad nutricional y mercado de los principales cultivos de la Sierra ecuatoriana (Investigación y Desarrollo), (2) Transferir conocimientos a técnicos, y estudiantes en el uso de semillas de calidad, buenas prácticas agrícolas y agronegocios para una agricultura sustentable (Capacitación Integral), (3) Producir, difundir y transferir semilla campesina de calidad de los principales cultivos de la Sierra del Ecuador.

3. Metodología

Componente 1: Investigación y desarrollo de nuevas semillas.

Durante el inicio del proyecto se aplicaron encuestas para establecer la línea base y, al finalizar, se encuestó nuevamente a los mismos agricultores para evaluar cambios e impacto. La información fue analizada mediante estadística descriptiva y análisis de conglomerados. Paralelamente, los Programas de Mejoramiento y las Unidades de Transferencia de Tecnología implementaron ensayos para desarrollar nuevas líneas promisorias y variedades comerciales con características superiores. Esto se realizó a través de una evaluación participativa siguiendo la guía para selección desarrollada por el CIP y el IICA (De Haan et al., 2017) y se culminó con la liberación de nuevas variedades, mismas que fueron registradas ante el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Componente 2: Capacitación integral: manejo, nutrición y agronegocio.

Para fortalecer las capacidades de los agricultores en producción y uso de semilla de calidad, buenas prácticas agrícolas, valor agregado y nutrición, se desarrollaron capacitaciones apoyadas en material impreso y digital mediante al menos cinco escuelas de campo por provincia, con vitrinas tecnológicas que demostraron los beneficios de las tecnologías del INIAP bajo el enfoque de aprender-haciendo. Se elaboró y actualizó material formativo en el EVA-INIAP para ampliar el alcance hacia técnicos y estudiantes. Durante el segundo y tercer año, los agricultores participaron en ferias de conocimiento y en ferias de innovación agropecuaria, junto con academia y organismos públicos y privados.

Componente 3: Difusión y transferencia de la semilla de calidad.

Para asegurar que el productor tenga acceso y utilice semilla de calidad, sea certificada o campesina de las variedades del INIAP o de materiales comerciales locales, se implementaron bancos de semilla comunitarios (semilla campesina) en las comunidades con escuelas itinerantes utilizando de referencia a la metodología recomendada por el (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2017). Para la difusión de la tecnología generada a estudiantes, docentes y técnicos principalmente, se participó en Simposios, Congresos y otros eventos científicos en el país.

4. Resultados (Avances)

Componente 1: Investigación y desarrollo de nuevas semillas.

Se realizaron 700 encuestas al inicio del proyecto que permitió establecer la línea base y al terminar se realizó un similar número de encuestas en las zonas de intervención, con el fin de determinar el uso de las tecnologías y proyectar de manera preliminar el posible impacto de las mismas. Los resultados de las investigaciones en mejoramiento genético de chocho y maíz están publicados en dos artículos científicos en revistas científicas indexadas y otros tres manuscritos están en fase de preparación. Además, se elaboraron, diseñaron y reimprimieron manuales, guías de producción y trípticos de las nuevas variedades.

Se liberaron oficialmente cuatro variedades de cultivos de la Sierra correspondiente a: 1) maíz tipo chulpi INIAP-Crocantito, 2) quinua INIAP-Excelencia, 3) haba INIAP-Sultana y 4) papa INIAP-Cañari. Por cuestiones de licenciamiento se aplazó la liberación de la variedad de trigo INIAP-Yurak, que se realizó en noviembre de 2025. Todas las variedades con su respectiva ficha técnica se encuentran registradas en el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Se contó con la colaboración de la Universidad Técnica del Norte y la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Componente 2: Capacitación integral: manejo, nutrición y agronegocio.

En los dos primeros años se establecieron más de 10 Escuelas de Campo para capacitar a agricultores en diferentes tecnologías en el manejo de siete cultivos que se listan en la Tabla 1. Se superó la meta establecida para los cultivos de papa, maíz, haba, chocho, avena, cebada y quinua, con la participación de un promedio de 12 agricultores/escuela.

Tabla 1. Escuelas de Campo establecidas por provincia del proyecto FIASA Semillas

Provincia/ Zona	Rubros	Número de escuelas / Número de participantes	
		Año 2022	Año 2023
Carchi	Papa	8 / 88	7 / 46
Imbabura	Maíz, papa	3 / 35	3 / 59
Pichincha	Papa, haba, maíz, chocho, avena	6 / 72	7 / 50
Cotopaxi	Maíz, papa, cebada, chocho	11 / 165	10 / 200
Tungurahua	Papa, maíz, haba, cebada, chocho	5 / 109	10 / 145
Chimborazo	Papa, maíz, cebada, chocho, quinua	5 / 118	6 / 105
Austro*	Papa, cebada, quinua, maíz, chocho	10 / 100	10 / 88

Nota: *Azúay Cañar y Loja

Se establecieron más de 70 Vitrinas Tecnológicas como escenario para eventos de capacitación en temas específicos de los 7 cultivos, donde participaron más de 700 agricultores por año que fue la meta establecida (Tabla 2).

Tabla 2. Vitrinas tecnológicas establecidas por provincia del proyecto FIASA Semillas Andinas, 2022 – 2023.

Provincia	Rubros	Número de vitrinas / Número de participantes	
		Año 2022	Año 2023
Carchi	Papa	8 / 160	4 / 80
Imbabura	Papa, Maíz	4 / 60	4 / 39
Pichincha	Papa, haba, maíz, chocho, avena	6 / 240	8 / 100
Cotopaxi	Papa, maíz, chocho, haba, cebada	19 / 300	28 / 200
Tungurahua	Papa, maíz	4 / 80	19 / 350
Chimborazo	Papa, cebada, quinua, maíz	3 / 96	5 / 75
Austro*	Papa, quinua, cebada, chocho, maíz	3 / 90	8 / 80

Nota: *Azuay Cañar y Loja

Se actualizó el Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA-INIAP) con una interfaz más amigable con nuevos sitios internos para las plataformas de chocho, quinua, cebada, maíz de altura y trigo. En alianza con otros actores gubernamentales y no gubernamentales, así como con la academia se organizó y participó en Ferias de Innovación Agrícola en Cotopaxi, Tungurahua y Cañar.

Componente 3: Difusión y transferencia de la semilla de calidad.

Durante el primer año se capacitaron en la metodología de los Bancos de Semilla a los agricultores interesados. Los bancos de semilla se establecen en cada provincia en correspondencia con la época de siembra de cada cultivo (Tabla 3). En el segundo año se realizaron las entregas de semilla producida que fue de alrededor de 14 toneladas, siendo papa el cultivo más importante para el cumplimiento de la meta propuesta.

Tabla 3. Bancos de Semilla establecidos por provincia del proyecto FIASA Semillas Andinas, 2022 – 2023.

Provincia	Rubros	Número de Bancos de Semilla	
		Año 2022	Año 2023
Carchi	Papa, quinua	1	2
Imbabura	Papa, maíz	2	2
Pichincha	Papa, haba, maíz, chocho	2	4
Cotopaxi	Papa, maíz	5	9
Tungurahua	Papa, haba	1	2
Chimborazo	Papa, quinua, maíz, chocho	1	4
Austro	Papa, quinua, chocho	1	3

Los resultados de las investigaciones realizadas en colaboración entre los Programas de Mejoramiento de la Estación Experimental de Santa Catalina, la Estación Experimental del Austro y las Unidades de Desarrollo Tecnológico de cada provincia se presentan como resúmenes en diferentes eventos científicos.

5. Conclusiones

Se dispone de información de línea base y sobre el potencial impacto del proyecto Semillas Andinas, las que serán analizadas para determinar los cambios en la producción agrícola de las zonas de intervención.

En los tres años del proyecto se liberaron cinco variedades mejoradas de maíz chulpi, quinua, haba, papa y trigo. Se logró publicar dos artículos científicos de mejoramiento genético y más de 30 resúmenes de los resultados de las investigaciones realizadas en los diferentes cultivos.

Con el establecimiento de más de 100 parcelas como vitrinas tecnológicas en escuelas itinerantes se capacita a más de 2000 agricultores en el manejo cultural, control de plagas y enfermedades, producción de semillas, manejo poscosecha, entre otros temas alrededor de los cultivos andinos. Se organizaron tres ferias de innovación agrícola (FIA) en Cotopaxi, Tungurahua y Cañar con la participación de más de 600 personas.

A través de la difusión de material impreso y la actualización del entorno virtual de aprendizaje (EVA) del INIAP para los principales cultivos de la Sierra se consigue ampliar nuestro alcance a agricultores, estudiantes, técnicos y docentes.

Se impartieron más de 20 conferencias en eventos científicos nacionales e internacionales.

6. Referencias bibliográficas

De Haan, S., Salas, E., Fonseca, C., Gastelo, M., Amaya, N., Bastos, C., Hualla, V. y Bonierbale, M. (2017). *Selección participativa de variedades de papa (SPV) usando el diseño mamá y bebé: una guía para capacitadores con perspectiva de género*.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Fevrier, S., Solórzano, L., Lopez, G., Munguía, J., y Gutiérrez, C. (2017). *Programa Bancos comunitarios de semilla*. <https://hdl.handle.net/11324/8578>.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2000). *III Censo Nacional Agropecuario. Resultados Nacionales*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec//documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/CNA/Tomo_CNA.pdf

Peñaherrera, D. y Mármol, R. (2018). *Análisis de la aplicación de los tipos de circuitos cortos de comercialización en la organización de Agricultura Familiar. Caso de estudio Organización Productiva Fuerza y Trabajo de la parroquia de Machachi*. [Tesis de Pregrado. Universidad Tecnológica Indoamérica]

Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador (2020). *Cifras Agroproductivas*. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>

Velásquez, J., Monteros, A. y Tapia B., C. (2008). *Semillas, tecnología de producción y conservación*.

7. Galería fotográfica



Fotografía 1. Evaluación de conocimientos Escuela de Campo implementada (2022).



Fotografía 2. Capacitación Escuela de Campo implementada (2023).



Fotografía 3. Evaluación de vitrina de capacitación sobre fertilización de maíz (2023).



Fotografía 4. Inauguración del Primer Congreso de Semillas Andinas organizado en la Universidad Técnica de Cotopaxi, donde se expusieron los avances del proyecto (2023).

Proyecto: Proyecto de investigación sobre enfermedades letales en la Palma Aceitera en Ecuador.

Código: FIASA-EESD-2022-015

Coordinador: Digner Ortega Cedillo

Equipo I+D+i (INIAP): Silvia Zambrano, Mercedes Navarrete, Silvana Defaz, Roberto Hernández, Manuel Carrillo Zenteno, Wuellins Durango, Eduardo Morillo, Johanna Buitrón, Iván Samaniego, Ernesto Cañarte, Wilmer Ponce, Bernardo Navarrete, Elisa Quiala, Lenin Paz, Jimmy Pico, Ariadne Vegas, Jacinto Mendoza, Gregory Mala, Gabriela Zurita, César Andrade, Carolina Panchana y Jessenia Jiménez, Israel Ampuño.

Fecha de inicio: 13-04-2022

Fecha de finalización: 12-04-2026

Resumen

El proyecto integró análisis microbiológicos, moleculares y ensayos de patogenicidad para identificar organismos asociados a problemas sanitarios en palma aceitera. Se aislaron bacterias de los géneros *Enterobacter*, *Pectobacterium* y *Pseudomonas*, así como hongos como *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. provenientes de plantas afectadas. Además, se confirmó la presencia del *Sugar cane mosaic virus* (SCMV) como agente causal del anillo clorótico, evidenciando su capacidad de infectar hospederos alternos como sorgo, trigo, cebada y triticale. En vivero, los híbridos interespecíficos O_xG (12-439 × 12-366, 12-489 × 12-366 y 12-457 × 5-107) mostraron el mejor desempeño a los 390 días después de la siembra, destacando por mayor contenido de calcio, área foliar y vigor. En campo, las aplicaciones de CaCO₃ y zeolita en Alespalma incrementaron la concentración foliar de Ca y mejoraron los rendimientos, mientras que en San Guido el Ca(OH)₂ elevó el pH del suelo y sostuvo una respuesta productiva favorable durante dos campañas consecutivas. Los muestreos permitieron identificar 17 aislados del género *Isaria*, tres de *Metarhizium*, dos de *Paecilomyces*, tres de *Beauveria* y uno de *Lecanicillium*. Aislados de *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. (M10, M9 y M1) y *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin (M12) alcanzaron mortalidades cercanas al 100% en *Lincus* sp., demostrando su potencial para el control biológico. La integración de control biológico con la eliminación de plantas afectadas redujo la incidencia de marchitez sorpresiva hasta un 20%. Paralelamente, se aislaron 104 bacterias y 32 *Fusarium* sp. desde *Rhynchophorus palmarum* L., varios con patogenicidad demostrada. En ambas localidades se registró la presencia de siete grupos funcionales de artrópodos asociados al cultivo. Además, se caracterizó el 20% de las accesiones de *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés en la EESD y se instalaron nuevos híbridos O_xG y O_xO_xG para ampliar la base genética evaluada. Finalmente, se capacitó a 29 técnicos del MAGP e INIAP y se generaron cuatro tesis de maestría, junto con la participación en congresos y simposios especializados.

1. Introducción

La palma aceitera es uno de los cultivos estratégicos para la economía agrícola del Ecuador por su capacidad de generar empleo, dinamizar cadenas productivas y sostener la agroindustria. El país registra 257.123,93 hectáreas cultivadas (Censo Palmero, 2017) y un impacto laboral significativo: 90.000 empleos directos y cerca de 50.000 indirectos. Además, el 80% de los productores manejan plantaciones menores a 500 hectáreas, lo que convierte al sector en un espacio dominado por pequeños y medianos palmicultores (Censo Palmero, 2017). Este peso socioeconómico se sustenta en la eficiencia agronómica del cultivo, ya que la palma aceitera puede producir hasta diez veces más aceite por hectárea que la soya (Almeida et al., 2009), lo que la posiciona como la oleaginosa de mayor rendimiento a escala global.

Sin embargo, esta ventaja productiva no la exime de amenazas fitosanitarias de alto impacto. En América Latina, diversas enfermedades han destruido miles de hectáreas en países como Colombia, Surinam, Brasil y Ecuador (De Franqueville, 2001). Entre ellas, la pudrición del cogollo (PC) y el anillo rojo han sido históricamente consideradas las principales limitantes para las plantaciones comerciales. En el caso ecuatoriano, los primeros reportes de PC surgieron en 1976, en palmas jóvenes de la empresa Palmeras de los Andes, ubicadas en la región amazónica (Dzido et al., 1978, citado por De Franqueville, 2001). Entre 1992 y 1993 se registró la pérdida de más de 5.000 hectáreas, y en los últimos años alrededor de 25.000 hectáreas han sido afectadas en el noroccidente del país, especialmente en Esmeraldas, San Lorenzo y Viche.

Las dinámicas de diseminación de la PC siguen siendo un tema de investigación crítica. *Rhynchophorus palmarum*

L., conocido como gualpa, ha mostrado atracción hacia tejidos lesionados por la enfermedad (Moreno et al., 2013). Aunque su papel como vector del anillo rojo está demostrado, aún no se determina con precisión si también interviene en la propagación de la PC. Además, se han documentado otros artrópodos asociados a plantas enfermas, entre ellos especies de *Tettigonidae* (Torres et al., 2008), lo que sugiere que la epidemiología del complejo podría involucrar múltiples factores biológicos.

Frente a estos desafíos, el mejoramiento genético se ha posicionado como una estrategia indispensable. Investigadores del INIAP han identificado niveles de tolerancia a la PC en el híbrido INIAP-Tenera en zonas de alta incidencia. Asimismo, algunas progenies interespecíficas O × G (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis* Jacq.) han mostrado tolerancia, aunque requieren polinización asistida. Esto evidencia la necesidad de acelerar procesos de obtención de materiales genéticos resistentes y fértiles. Los enfoques tradicionales permiten avanzar hacia híbridos O × G fértiles y plantas poliploides con características agronómicas de interés, mientras que técnicas avanzadas como la embriogénesis somática y la selección *in vitro* abren la posibilidad de generar líneas clonales mejoradas con resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades, además de un mayor valor productivo.

2. Objetivos

El objetivo general del proyecto fue generar alternativas en el manejo del complejo de enfermedades letales en la palma aceitera en el Ecuador. Y los objetivos específicos (1) Determinar los posibles agentes bióticos, abióticos y vectores causantes de enfermedades letales en palma aceitera, (2) Usar el mejoramiento genético como alternativa para generar materiales con resistencia a la pudrición de cogollo (PC) vía clásica y biotecnológica, (3) Determinar la epidemiología de la pudrición de cogollo (PC) en palma aceitera y (4) Difundir los resultados del proyecto mediante eventos de capacitación.

3. Metodología

Componente 1: Determinación de posibles agentes bióticos, abióticos y posibles vectores causantes de las enfermedades letales en la palma aceitera.

Se identificaron agentes bióticos y abióticos asociados a enfermedades letales mediante aislamientos de hongos y bacterias obtenidos de tejidos sintomáticos, usando desinfección, medios selectivos y análisis microscópicos, bioquímicos y moleculares. Se realizaron ensayos en pre-vivero, vivero, invernadero y campo para evaluar absorción de nutrientes, efectos de enmiendas y toxicidad por Al³⁺. En la Amazonía se prospectaron entomopatógenos vinculados a marchitez sorpresiva, se identificó *Lincus* spp. Rolston y se ejecutaron pruebas de control biológico. Se evaluaron tratamientos integrados y se analizó la relación artrópodos-patógenos mediante trampas cromáticas en plantaciones afectadas.

Componente 2: Mejoramiento genético.

Se aplicó mejoramiento genético asistido por biotecnología mediante la inducción de callos embriogénicos obtenidos de inflorescencias y hojas inmaduras, usando diversas combinaciones de reguladores de crecimiento. Se

germinaron embriones cigóticos *in vitro* y se aplicaron tratamientos mutagénicos y de inducción de ploidía, evaluando regeneración y estabilidad citogenética. La tolerancia a aluminio se seleccionó midiendo crecimiento radicular y deposición de calosa. Se establecieron híbridos promisorios en zonas de alta incidencia de PC, con censos trimestrales. La caracterización morfológica de inflorescencias, frutos y racimos se realizó de forma continua, registrando desarrollo desde antesis hasta cosecha.

Componente 3: Epidemiología de la PC en palma aceitera.

Este componente evaluó la dinámica epidemiológica de la Pudrición de Cogollo (PC) en dos localidades del cantón Quinindé, con el objetivo de cuantificar la incidencia, severidad y progresión temporal de la enfermedad en materiales Guineensis y OXG. Se realizaron evaluaciones trimestrales entre 2022 y 2025, registrando síntomas mediante una escala ordinal (0-4) y determinando la incidencia por conteo directo de plantas afectadas. El análisis incluyó curvas de progreso y el cálculo del AUDPC para caracterizar la carga epidémica acumulada. El manejo agronómico fue el convencional empleado por los productores en ambas localidades.

Componente 4: Difusión de resultados.

La estrategia de difusión se estructuró sobre dos ejes: transferencia directa y comunicación técnica. Se planificó la realización de al menos dos talleres de cierre del proyecto, integrando investigadores, técnicos de INIAP, MAGP, AGROCALIDAD y organizaciones de productores, con presentaciones sobre agentes causales, resultados parciales y lineamientos de manejo sostenible. En paralelo, se definió un portafolio de productos de comunicación que incluyó artículos científicos, documentos técnicos, boletines y materiales divulgativos (trípticos, infografías digitales), orientados a diferentes públicos objetivo. La priorización y validación de contenidos se dejaron sujetas a la revisión de los equipos responsables.

4. Resultados

Componente 1: Determinación de posibles agentes bióticos, abióticos y posibles vectores causantes de las enfermedades letales en la palma aceitera.

Los análisis microbiológicos y moleculares realizados en unidades productivas afectadas permitieron identificar una compleja comunidad de organismos asociados a los daños observados en palma aceitera. Entre los patógenos detectados se encuentran *Phytophthora*, *Enterobacter*, *Kosokonia*, *Pantoea*, *Pectobacterium* y *Fusarium*. En muestras de polen se identificaron *Enterobacter*, *Phytobacter* y *Fusarium*, mientras que el *Sugarcane mosaic virus* (SCMV) fue confirmado como el agente causal viral del anillo clorótico. En el patosistema de la enfermedad, los dípteros *Drosophila melanogaster* y *Drosophila hydei* fueron los insectos más frecuentes. Los análisis de suelo mostraron concentraciones elevadas de hierro y manganeso, así como pH ácido con alto aluminio intercambiable en ambientes con PC, condiciones que pueden agravar la susceptibilidad de la planta. La evaluación de requerimientos nutricionales en vivero, realizada en ocho líneas genéticas, se evidenció variabilidad significativa en la absorción de calcio y otros elementos, así como en área foliar e índice de vigor. En campo, la aplicación de enmiendas cálcicas modificó el pH del suelo, redujo la acidez y disminuyó el aluminio intercambiable, aumentando la disponibilidad de calcio y reduciendo la de magnesio. Las respuestas fueron distintas entre los dos suelos evaluados, principalmente

debido a diferencias en su textura.

En relación con la Marchitez Sorpresiva, los aislados de *Beauveria* sp. y *Metarhizium* sp. fueron los más eficaces, logrando hasta el 100% de mortalidad y colonización micótica en individuos de *Lincus* sp. El análisis molecular confirmó la identidad de los mejores aislados como *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. Paralelamente, mediante claves morfológicas se identificó a *Lincus curvatus* Rolston como la especie presente en plantaciones de palma del norte amazónico. En los ensayos de manejo integrado, la combinación de eliminación de plantas enfermas y aplicación de control biológico redujo significativamente la incidencia de marchitez. Las pruebas de pureza realizadas durante la multiplicación de los entomopatógenos registraron valores de 99,99%, lo que respalda su calidad microbiológica para uso en campo. La interacción entre artrópodos y la PC mostró patrones contrastantes según la región. En la zona norte, El Almorzadero presentó predominancia de herbívoros, mientras que FN-7 mostró un equilibrio entre herbívoros y benéficos. El Almorzadero registró mayor abundancia total, y FN-7 mayor diversidad de familias. En la Amazonía, San Carlos presentó mayor abundancia de artrópodos benéficos, mientras que Enokanqui, San Pedro de los Cofanes y Santa Gertrudes mostraron predominio de herbívoros. Las trampas cromáticas revelaron diferencias por localidad: las amarillas fueron más efectivas en la zona norte y en tres localidades amazónicas, mientras que las azules capturaron más individuos en San Carlos. Los órdenes dominantes variaron: Hymenoptera y Diptera en el norte; Diptera y Hemiptera en la Amazonía, según el sitio. La caracterización del sistema ecológico se completó con aislamientos de bacterias y hongos provenientes de *Rhynchophorus palmarum* L., polinizadores, insectos asociados a tejidos enfermos y arvenses.

Componente 2: Mejoramiento genético.

Se logró la callogénesis primaria y la formación de callos embriogénicos de las inflorescencias y hojas inmaduras, de los cuales se han madurado embriones somáticos que han regenerado plantas completas. De igual forma, se han germinado in vitro embriones cigóticos en medios de cultivo. Las plantas producidas se aclimataron en una mezcla de suelo y se evaluaron en condiciones de invernadero. Mediante el uso de herramientas biotecnológicas se logró obtener plantas Pisíferas autofecundadas provenientes de rescate de embriones cigóticos de tres genotipos diferentes y cuatro plantas Duras provenientes de embriogénesis somática y 100 plantas mediante embriones cigóticos, obtenidas con aplicación de colchicina y de aluminio en diferentes dosis. Se avanzó en la caracterización agronómica y morfológica de accesiones de *Elaeis oleifera* recolectadas en la Amazonía, determinando periodos de anthesis entre 12 y 48 horas, desarrollo del fruto y valores consistentes de longitud y diámetro de pedúnculo, además de instalar la evaluación de rendimiento y variables vegetativas. Se establecieron cruzamientos dirigidos *E. oleifera* × *E. guineensis* en 2022, 2023 y 2024, junto con materiales Dura, Tenera y T × P, sumando 38 hectáreas de híbridos promisorios instalados en campo para su evaluación. Los análisis fitosanitarios mostraron contrastes marcados: los híbridos interespecíficos (O × O) × G presentaron afectación de 0 a 10 % frente a la PC, mientras que el testigo INIAP-Tenera registró afectaciones del 39-65%. El análisis de componentes principales evidenció que los materiales interespecíficos se agrupan hacia la sobrevivencia, mientras que el material comercial se asocia con alta susceptibilidad. En ensayos establecidos con 11 híbridos, ocho de ellos presentan mortalidad inferior al 6 %, revelando un potencial genético significativo para avanzar hacia líneas tolerantes, respaldando la continuidad del mejoramiento asistido por biotecnología. Para la caracterización molecular de palma oleífera, se estandarizó el genotipaje con los 19 marcadores SSRs, se tiene genotipado de 380 muestras provenientes de la EESD y la EECA. Para la identificación temprana de pisíferas con técnicas moleculares, se validó la técnica basada en la detección de dos mutaciones SNPs en el gen SHELL con la técnica CAPs y se desarrolló un método alternativo de detección únicamente por PCR con la técnica tetra-primer ARMS-PCR, las dos técnicas validadas en dos cruzamientos TxP y su progenie del Programa de Palma de la EESD.

Componente 3: Epidemiología de la PC en palma aceitera.

La incidencia de Pudrición de Cogollo mostró un incremento progresivo en ambas localidades entre 2022 y 2025. En El Almorzadero, en una plantación del híbrido comercial Guineensis, de cuatro años de edad, la afectación aumentó de 0% a 67,5%, mientras que, en Viche, el híbrido es un retrocruce a Guineensis de siete años establecido, pasó de 2,8% a 22,2%. La severidad promedio siguió patrones similares, alcanzando valores máximos cercanos a 3,8 en El Almorzadero y 3,9 en Viche. El AUDPC evidenció una presión epidémica acumulada significativamente mayor en El Almorzadero, reflejando una progresión más acelerada de la enfermedad. En conjunto, los datos confirman una epidemia creciente y sostenida, con diferencias marcadas en la velocidad de avance entre localidades.

Componente 4: Difusión de resultados.

La ejecución de la capacitación combina componentes teóricos y prácticos para el componente teórico, se realizó con la participación de especialistas en los componentes y en lo práctico, los participantes conocieron en campo las enfermedades del cultivo de palma aceitera y los nuevos materiales OxG tolerantes a la pudrición del cogollo. Asistieron 29 técnicos del Ministerio de Agricultura y Ganadería de las Provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas, Esmeraldas, Los Ríos, y Manabí. Además, participaron técnicos de la EESD. Se obtuvieron cuatro tesis de Maestría, con el personal contratado. Se han participado en Simposio y congreso como expositores.

5. Conclusiones

Se identificaron *Phytophthora*, *Enterobacter*, *Kosokonia*, *Pantoea*, *Pectobacterium* y *Fusarium* en tejidos afectados; en polen se detectaron *Enterobacter*, *Phytobacter* y *Fusarium*. El SCMV se confirmó como agente del anillo clorótico y mostró infectividad en sorgo, trigo, cebada y triticale.

En vivero, el híbrido OxG 12-439 × 12-366 destacó por mayor acumulación de Ca. En campo, enmiendas cálcicas mostraron respuestas diferenciadas: zeolita y CaSO_4 mejoraron Ca y rendimiento en AlesPalma; Ca(OH)_2 incrementó Ca foliar y productividad en San Guido. Las enmiendas deben aplicarse según diagnóstico del suelo.

Hongos entomopatógenos mostraron alto potencial para el control de *Lincus* sp.: *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* alcanzaron hasta 100 % de mortalidad. *Lincus curvatus* fue confirmado morfológicamente. El manejo integrado redujo de forma significativa la marchitez sorpresiva; cepas con 99,99 % de pureza garantizando la calidad para campo. Se aislaron bacterias y hongos en *R. palmarum*.

La composición de artrópodos varió entre regiones: en la zona norte predominó Hymenoptera y fueron más efectivas las trampas amarillas; en la Amazonía destacaron Diptera y Hemiptera, con variación en la eficiencia de trampas cromáticas según localidad.

Se logró embriogénesis somática en tejidos de campo, clonación de plantas seleccionadas y rescate in vitro de embriones, especialmente en materiales pisíferos. Se avanzó en la evaluación del 20% de accesiones de *E. oleifera* y se instalaron nuevas áreas con guineensis, OxOxG y OxG.

El Almorzadero presentó mayor incidencia, severidad y AUDPC de PC, evidenciando alta presión epidemiológica; Viche mostró avance más lento. Se destaca la necesidad de monitoreo continuo y selección de materiales tolerantes.

Se desarrollaron dos técnicas moleculares (CAPs y Tetra-primer ARMS-PCR) para identificar genotipos Pisífera de forma temprana.

Se capacitó a 29 técnicos del MAGP e INIAP sobre avances en enfermedades letales de palma aceitera.

6. Referencias bibliográficas

Almeida, S., Vierira, R., Lopes, R., Barcelos, E., Teixeira, P., Alves, W. y Campos, S. (2009). Caracterización fenotípica y diversidad genética en submuestras de caiaue (*Elaeis oleífera*) de origen Coari. *Unimontes científica*, 13(1/2), 49-56.

De Franqueville, H. (2001). *La pudrición del cogollo de la palma de aceite en América Latina: Revisión preliminar de hechos y logros alcanzados*.

Dzido, M., et al. (1978). Primeros reportes de pudrición del cogollo en Ecuador. En H. de Franqueville (Ed), *La pudrición del cogollo de la palma de aceite en América Latina* (pp. 1-35).

Ministerio de Agricultura y Ganadería, Fundación de Fomento de Exportación de Aceite de Palma y sus Derivados, Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera, Asociación Ecuatoriana de Extractoras de Palma y sus Derivados, Asociación de Productores de Grasas y Aceite, y Compañía Consultora Agroprecisión. (2017). *Censo Nacional Palmero 2017: Memoria técnica de inventario de plantaciones de palma aceitera en el Ecuador*.

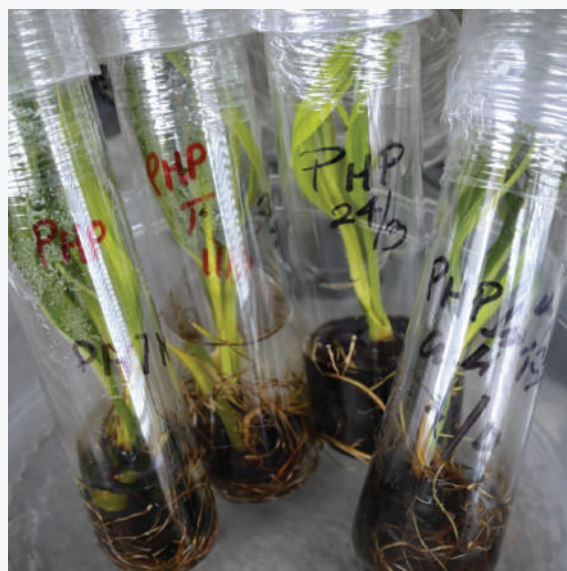
Moreno-Chacón, A. L., Camperos, J., Avila, R. y Romero. (2013). Biochemical and physiological responses of oil palm to bud rot caused by *Phytophthora palmivora*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 70, 246-251.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.05.026>

Torres, G., Sarria, G., Varón, F. y Martínez, G. (2008). Evidencias circunstanciales de la asociación de especies de la familia Tettigoniidae con el desarrollo de lesiones iniciales de pudrición del cogollo de la palma de aceite. *Palmas*, 29, 53-61.

7. Galería fotográfica



Fotografía 1. Inflorescencia femenina de palma aceitera manipulada bajo condiciones controladas (2023).



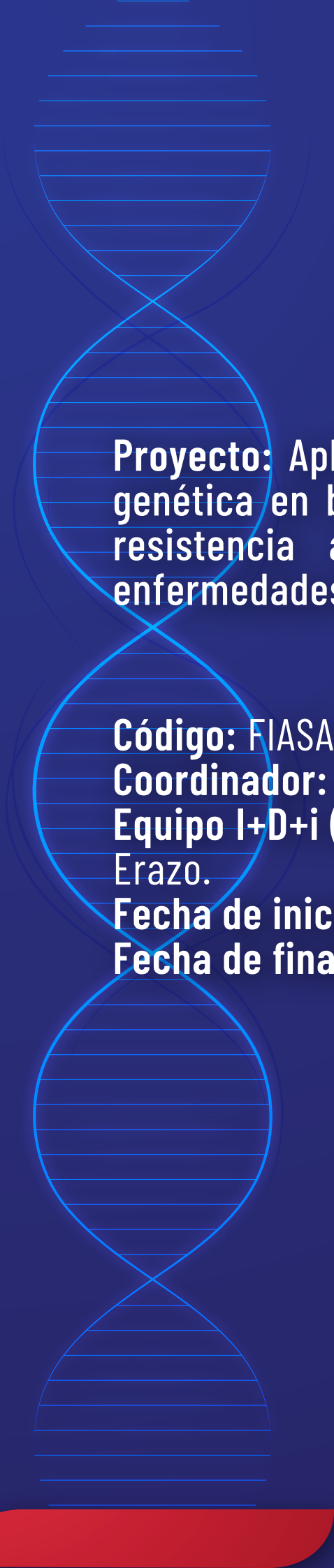
Fotografía 2. Plántulas de palma aceitera regeneradas mediante técnicas de cultivo in vitro (2023).



Fotografía 3. Racimo inmaduro de palma aceitera en parcela experimental (2024).



Fotografía 4. Equipo técnico del proyecto durante la visita de campo a plantaciones de palma aceitera en la zona de intervención (2024).



Proyecto: Aplicación de la tecnología de edición genética en banano para el mejoramiento de su resistencia a Foc R4T y a las principales enfermedades del cultivo

Código: FIASA-EETP-2022-016

Coordinador: Iván Garzón

Equipo I+D+i (INIAP): Eskarle Albuja y María Augusta Erazo.

Fecha de inicio: 13-04-2022

Fecha de finalización: 13-04-2026

Resumen

Ecuador es el principal exportador de banano en el mundo. Sin embargo, luego de los primeros reportes de la presencia de la enfermedad conocida como marchitamiento por fusarium causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (E.F. Sm. & Swingle) W.C. Snyder & H.N. Hans. Raza 4, (Foc R4T) en países vecinos como Colombia, Perú y Venezuela, el cultivo enfrenta serias amenazas de ser afectado por este devastador agente fitopatógeno. Actualmente, no existen variedades comerciales resistentes ni tratamientos efectivos, por lo que el uso de nuevas estrategias de mejoramiento genético para el desarrollo de cultivares resistentes es urgente. Las nuevas técnicas de fitomejoramiento (NPBTs), como CRISPR/Cas, permiten la edición genética sin introducir ADN foráneo, evitando las restricciones y cuestionamientos de los cultivos transgénicos. Este proyecto busca establecer un proceso basado en NPBTs para desarrollar cultivares de banano resistentes a Foc R4T, con los siguientes cuatro objetivos de trabajo: 1) construir el sistema CRISPR/Cas para conferir resistencia a Foc R4T, 2) evaluar los métodos de inserción del sistema en células de banano, 3) desarrollar protocolos para la regeneración de plantas editadas y 4) capacitar al personal en estas técnicas. La metodología incluye el diseño *in silico* de ARN guías para el gen PDS, la construcción de plásmidos mediante ensamblaje Golden Gate, la transformación bacteriana y su validación mediante PCR. Además, se optimizan cultivos celulares a partir de diferentes órganos de plantas de banano de la variedad Williams donadores, para su posterior transformación mediante sistema de ribonucleoproteínas (RNPs), electroporación y/o transfección usando *Agrobacterium tumefaciens* (Smith & Townsend) Conn. Se han construido plásmidos de nivel L0, L1 y L2, con resultados positivos en transformación bacteriana. Se establecieron cultivos celulares en condiciones controladas utilizando meristemas apicales e intercalares, callos embriogénicos promovidos a partir de escalpos e inflorescencias masculinas y se ha establecido suspensiones celulares.

1. Introducción

Ecuador es el principal exportador de banano, cubriendo el 26 % de la demanda a nivel mundial (Jaramillo y Argüello, 2020). El banano forma parte de la dieta básica y es susceptible a diversas plagas y enfermedades, particularmente al marchitamiento por fusarium causado por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. Este hongo se clasifica en razas o grupos, siendo la raza 4 tropical (Foc R4T) la más destructiva y se considera una amenaza latente a los cultivos de la familia *Musaceae* a nivel mundial (Tripathi et al., 2019). No existe ningún tratamiento agroquímico, biológico, prácticas culturales o variedades comerciales que sean resistentes a Foc R4T (Munhoz et al., 2024). El mejoramiento convencional (cruzamiento tradicional) de banano es una alternativa costosa y requiere mucho tiempo (> 20 años). Para obtener mejores resultados es necesario implementar alternativas que permitan desarrollar nuevos cultivares resistentes a Foc R4T (Cheng et al., 2024).

Las nuevas técnicas de fitomejoramiento (NPBTs) son herramientas moleculares que permiten la edición precisa del genoma en plantas. Estas se clasifican en meganucleasas, nucleasas de dedos de zinc (ZFN), nucleasas efectoras similares a los activadores de transcripción (TALEN) y el sistema CRISPR (Nerva et al., 2023; Zhang et al., 2020). La generación de nuevos cultivares, con el uso de herramientas de edición genética mediante NPBTs, son una de las vías más prometedoras, debido a que no involucra la introducción de material genético foráneo dentro del genoma, las modificaciones se realizan dentro del mismo genoma del banano y se evita la brecha de los cultivares transgénicos (Lema, 2019; Tripathi et al., 2020).

2. Objetivos

El objetivo general es generar los protocolos de nuevas técnicas de fitomejoramiento (NPBTs) en el cultivo de banano con potencial para desarrollar futuros cultivares resistentes a Foc R4T. Los objetivos específicos son: (1) Construir el sistema CRISPR/Cas para generar resistencia a Foc R4T en banano, (2) Evaluar los métodos de inserción del sistema CRISPR/Cas en células de banano, (3) Desarrollar protocolos para la regeneración de plantas a partir de células editadas y (4) Capacitar al personal para reforzar habilidades y competencias.

3. Metodología

Componente 1: Construir el sistema CRISPR/Cas para generar resistencia a Foc R4T en banano.

Se construyeron dos pipelines (flujos de trabajo utilizando lenguaje de programación) que permitieron identificar genes asociados a resistencia y susceptibilidad. Posteriormente se diseñaron los ARN guías para los genes diana, de susceptibilidad y del gen control PDS mediante CRISPR v2.0., los cuales fueron utilizados en la construcción de los vectores plasmídicos L0, L1 y L2 *in silico* con la ayuda del software bioinformático SnapGene v8.1. Dentro del laboratorio la hibridación de ARN guías se efectuó según Thermo Fisher Scientific (2009) y se verificó por electroforesis en gel al 2% (Mora y Rodríguez, 2016). El ADN plasmídico fue extraído, cuantificado y evaluado mediante electroforesis y digestión enzimática (Carson et al., 2019; Invitrogen, 2012). El ensamblaje Golden Gate se realizó en base a lo planteado por Hahn et al. (2020) y Biolabs (2024 a, b). Para la transformación bacteriana se empleó *Escherichia coli* GB5a (GoldBio, 2020), evaluándose la eficiencia (Garcés y Dávila, 2021). Una PCR de colonia confirmó la inserción del plásmido L1 (Morillo y Miño, 2011). Finalmente se siguió con la construcción del nivel L2, utilizando como parte inicial para el ensamblaje el plásmido nivel L1. Se realizó pruebas de incisión *in vitro* para la verificación de una correcta construcción del sistema CRISPR/Cas 9 para el gen PDS y gen asociado a la susceptibilidad. Se extrajo material genético (ADN) del tejido foliar de la variedad Williams (AAA) utilizando el kit de Invitrogen PureLink™ junto con muestra fresca y homogenizada con nitrógeno líquido. Para la síntesis de ARNg y la escisión *in vitro* del complejo RNPs se utilizó el protocolo y el kit descrito por la casa comercial Takara Bio (2019) con modificaciones en el tiempo de incubación de la transcriptasa (8h) y en la concentración de la plantilla molde de sgRNA (8ul). Finalmente, los resultados fueron visualizados en gel de agarosa.

Componente 2: Evaluar los métodos de inserción del sistema CRISPR/Cas en células de banano.

Se establecieron diversos sistemas de cultivos celulares de banano, incluyendo meristemas apicales e intercalares, escalpos y suspensiones celulares. Estos últimos permitieron realizar ensayos para implementar estrategias de edición génica libre de genes, usando el complejo RNPs, ante la imposibilidad de adquirir un sistema de biolística por limitaciones presupuestarias. Asimismo, se obtuvieron meristemas apicales e intercalares de plantas *in vitro* para su transfección con *Agrobacterium tumefaciens* utilizando diferentes concentraciones de acetociringona para aumentar la posibilidad de la activación de genes VIR que permite la síntesis de las proteínas de virulencia para la transferencia e interacción de T-DNA. Por otro lado, siguiendo metodologías adaptadas de Strosse et al. (2003) se obtuvieron las suspensiones celulares para optimizar la futura obtención de protoplastos (tejido ideal para hacer edición libre de genes y garantizar la ausencia de quimeras).

Componente 3: Desarrollar protocolos para la regeneración de plantas a partir de células editadas.

Se utilizaron un grupo de plantas que fueron sometidas a estrés abiótico (poca luz) y plantas *in vitro* infectadas por *A. tumefaciens*, estas plantas fueron subcultivadas, desintoxicadas y enraizadas a nivel de laboratorio, antes de iniciar la fase de pre-aclimatación. Las plantas *in vitro* fueron sembradas en bandejas de germinación, conteniendo un sustrato compuesto por la mezcla de turba + pomina o cascajo, en una proporción 3:1, previamente humedecida y mantenidas en condiciones de cámara húmeda a un 50 % de sombra, por un periodo de 21 días.

4. Resultados

Se logró identificar nueve genes asociados a la resistencia, los cuales fueron seleccionados mediante comandos booleanos y con base en estudios genómicos de diversas especies vegetales. Paralelamente, se trabajó con un enfoque transcriptómico que permitió identificar diez genes adicionales relacionados con la susceptibilidad, algunos de ellos se pueden visualizar en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Lista de genes asociados a la resistencia y susceptibilidad contra Foc R4T

Gen	Base de datos	Rutas metabólicas
Pathogenesis-related protein 1	Ma03_g08150	- Vía de señalización MAPK - Transducción de señales de hormonas vegetales - Interacción planta-patógeno
Chalcone synthase	Ma06_g12370 Ma10_g20600	- Biosíntesis de flavonoides - Ritmo circadiano

Se construyó un vector de nivel L2 con el gen fitoenodesaturasa (PDS) mediante el método Golden Gate, integrando la secuencia de la proteína Cas9 junto con otras secuencias dentro del vector backbone pAGM8031 (A5). En este vector se incorporaron secuencias provenientes de cuatro plásmidos, y la construcción fue posteriormente validada mediante PCR *in silico* para confirmar su funcionamiento.

Para las pruebas de incisión *in vitro* del complejo RNP, se amplificó mediante PCR un fragmento de ADN de entre 600 y 800 pb que abarcara los gRNA diseñados para el gen de interés. Tras verificar la integridad del ADN molde y los sgRNA, se procedió al corte con la enzima Cas9. Las dos ARN guías diseñadas reconocieron satisfactoriamente una secuencia en el genoma de interés, y el corte con Cas9 produjo dos bandas de distintos tamaños, evidenciando la especificidad de todos los componentes del complejo RNP.

La obtención de cultivos celulares es un proceso secuencial y continuo que se inicia con el aislamiento de meristemas apicales e intercalares, inflorescencias masculinas, seguido de la formación paralela de escalpos. El establecimiento de suspensiones celulares se realizó a partir de escalpos introducidos en medio ZZ, donde

inicialmente se generaron multi brotes que desarrollaron callos embriogénicos, permitiendo así el establecimiento de la suspensión celular. De manera paralela, las inflorescencias masculinas fueron introducidas siguiendo un proceso similar para la obtención de suspensiones celulares. Finalmente, los meristemas apicales e intercalares extraídos fueron destinados a los ensayos de transformación mediante *Agrobacterium tumefaciens*.

5. Conclusiones

El mejoramiento genético mediante NPBTs, especialmente CRISPR/Cas9, se planteó como una alternativa para generar cultivares resistentes sin introducir ADN foráneo. Con la ejecución de este proyecto se identificó genes diana asociados a resistencia y susceptibilidad a Foc R4T, para los cuales se diseñaron ARN guías específicos. Los plásmidos construidos mediante Golden Gate fueron verificados por transformación bacteriana y PCR colony, evidenciando la necesidad de optimizar concentraciones y reactivos. Se realizaron ensayos de escisión in vitro del complejo RNP en el gen PDS utilizando ADN de banano de la variedad Williams. Los sistemas de cultivos celulares, incluidos meristemas apicales e intercalares, callos embriogénicos y suspensiones celulares, se establecieron siguiendo protocolos adaptados de Strosse et al. (2003) y la EET-Pichilingue. El primer ensayo de inserción del sistema CRISPR/Cas9 dirigido al gen PDS permanece en fase de evaluación, dado que este proceso requiere un periodo prolongado para la disociación de quimeras y la posterior identificación de eventos positivos de transformación y/o edición genética. Considerando que el proyecto FIASA-EETP-2022-016 se encuentra planificado hasta abril de 2026, se prevé que dentro de este plazo se consoliden los resultados necesarios para cumplir con el objetivo general: establecer los procesos experimentales y metodológicos que permitan la implementación efectiva de la edición genética en banano.

6. Referencias bibliográficas

Biolabs, N. E. (2024a). BbsI-HF®. Biolabs, N. E. (2024b). rCutSmart™ Buffer.

[https://www.neb.com/en/products/b6004-rcutsmart-buffer#Product Information](https://www.neb.com/en/products/b6004-rcutsmart-buffer#Product%20Information)

Carson, S., Miller, H. B., Witherow, D. S. y Srougi, M. C. (2019). Lab Session 2 -Purification and Digestion of Plasmid (Vector) DNA. *Molecular Biology Techniques* 13-22. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815774-9.00002-2>

Cheng, C., Wu, S., Deng, G., Sheng, O., Yi, G. y Yang, Q. (2024). Recent advances and future directions in banana molecular biology and breeding. *Molecular Horticulture* 4(1): 1-25. <https://doi.org/10.1186/S43897-024-00122-2>

Garcés, L. y Dávila, J. (2021). *Manual de Procedimientos para un Protocolo de Competencia Celular Eficiente para la Transformación de Células de Escherichia coli Mach1 T1 y SIG10 5a para el Laboratorio de Biología Molecular e Ingeniería Genética de la Universidad de las Américas*. Universidad de las Américas.

GoldBio, G. B. (2020). DH5-alpha *Chemically Competent E. coli Cells*. 800, 8-11.

Hahn, F., Korolev, A., Sanjurjo Loures, L. y Nekrasov, V. (2020). A modular cloning toolkit for genome editing in plants.

BMC Plant Biology, 20, 179. <https://doi.org/10.1186/S12870-020-02388-2>

INIAP. (2016). *Protocolo para la mutiplicación in vitro de especies de Musaceas*.

Invitrogen. (2012). *PureLink[®] HQ Mini Plasmid Purification Kit*.

Jaramillo, E. y Argüello, A. (2020). Ecuador, líder en la producción de banano. *EKOS*.

Lema, M. A. (2019). Regulatory aspects of gene editing in Argentina. *Transgenic Research*, 28(2), 147-150.
<https://doi.org/10.1007/S11248-019-00145-2/METRICS>

Mora, D. A. L. y Rodríguez, A. S. S. (2016). Electroforesis. In A. M. S. Montes, A. S. S. Rodríguez, y J. S. A. Borunda (Eds.), *Biología Molecular. Fundamentos y aplicaciones en las ciencias de la salud* (2 ed.). McGraw-Hill Education.

Morillo, E. y Miño Castro, G. M. (2011). *Marcadores moleculares en biotecnología agrícola: Manual de técnicas y procedimientos en INIAP*.

Munhoz, T., Vargas, J., Teixeira, L., Staver, C. y Dita, M. (2024). Fusarium Tropical Race 4 in Latin America and the Caribbean: status and global research advances towards disease management. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1-21.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1397617>

Nerva, L., Dalla Costa, L., Ciacciulli, A., Sabbadini, S., Pavese, V., Dondini, L., Vendramin, E., Caboni, E., Perrone, I., Moglia, A., Zenoni, S., Michelotti, V., Micali, S., La Malfa, S., Gentile, A., Tartarini, S., Mezzetti, B., Botta, R., Verde, I., ... Licciardello, C. (2023). The Role of Italy in the Use of Advanced Plant Genomic Techniques on Fruit Trees: State of the Art and Future Perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(2), 1-30.
<https://doi.org/10.3390/IJMS24020977>

Strosse, H., Domergue, R., Panis, B., Escalant, J.-V., y Cote, F. (2003). *Banana and plantain embryogenic cell suspensions*. International Network for the Improvement of Banana and Plantain.

Takara Bio. (2019). *Guide-itTM sgRNA In Vitro Transcription and Screening Systems User Manual*.
<https://www.takarabio.com/documents/User Manual/Guide/Guide-it sgRNA In Vitro Transcription and Screening Systems User Manual.pdf>

Thermo Fisher Scientific. (2009). Anneal complementary pairs of oligonucleotides. *Technical Tip* 0747(815): 1-2.

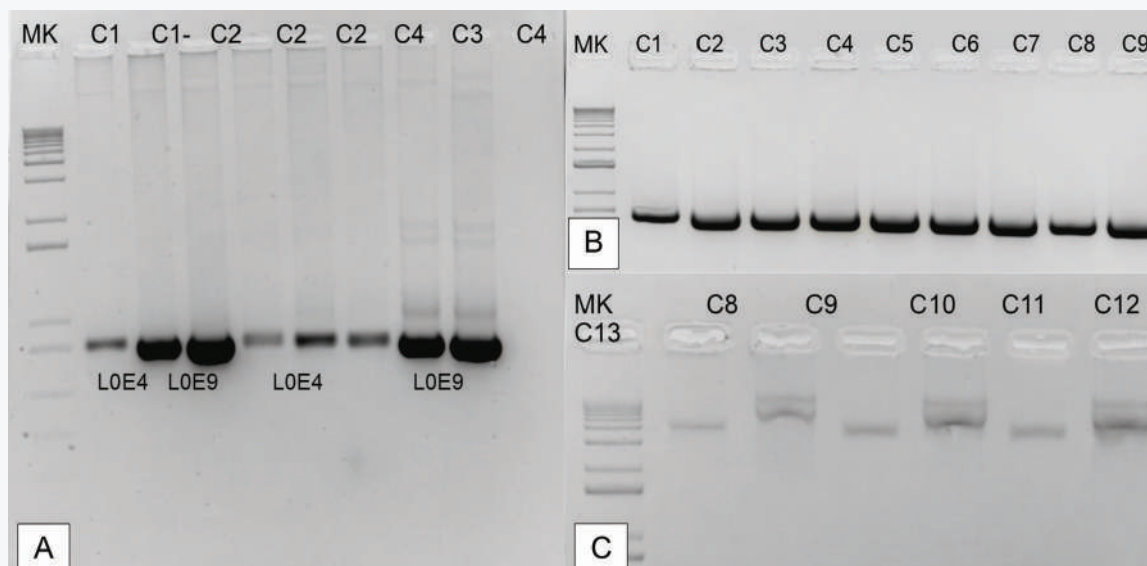
Tripathi, L., Ntui, V. O. y Tripathi, J. N. (2019). Application of genetic modification and genome editing for developing climate-smart banana. *Food and Energy Security*, 8(4), 1-16. <https://doi.org/10.1002/FES3.168>

Tripathi, L., Ntui, V. O. y Tripathi, J. N. (2020). CRISPR/Cas9-based genome editing of banana for disease resistance. *Current Opinion in Plant Biology*, 56, 118-126. <https://doi.org/10.1016/J.PBI.2020.05.003>

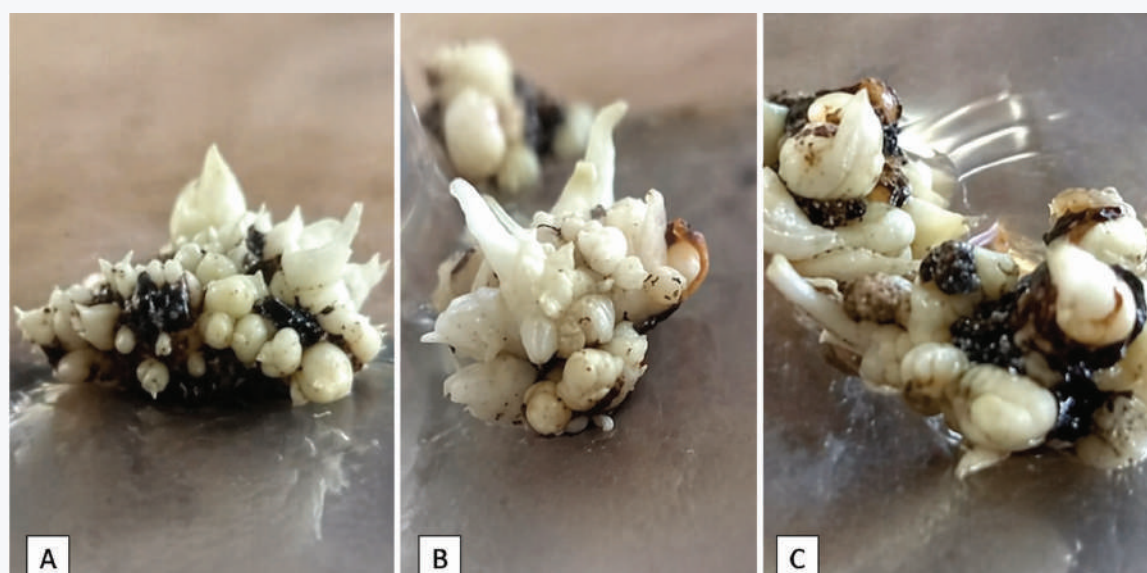
Zhang, D., Zhang, Z., Unver, T. y Zhang, B. (2020). CRISPR/Cas: A powerful tool for gene function study and crop improvement. *Journal of Advanced Research*, 29, 207-221. <https://doi.org/10.1016/J.JARE.2020.10.003>

Zhang, Y. S. (2016). Blue-white screening liquid can eliminate false positives in blue-white colony screening. *Genetics and Molecular Research*, 15(2). <https://doi.org/10.4238/gmr.15027925>

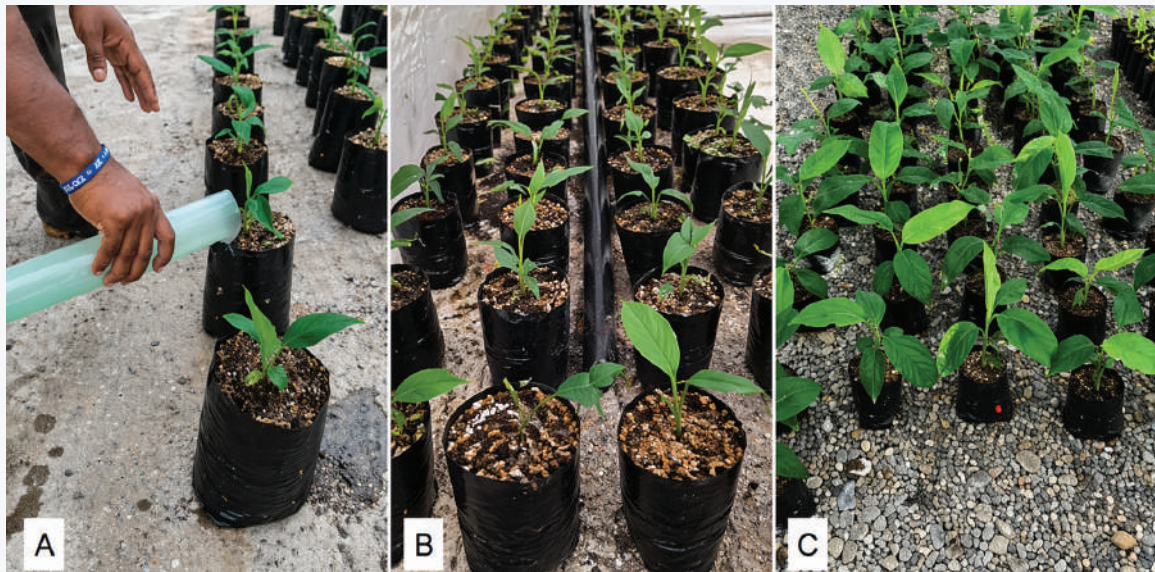
7. Galería fotográfica



Fotografía 1. PCR de colony para la comprobación de cada nivel construido. A) Amplificación con los primers del nivel L0E4 y Amplificación con los primers del nivel L0E9. B) Amplificación con los primers del nivel L1. C) Amplificación con los primers del nivel L2 (2024)



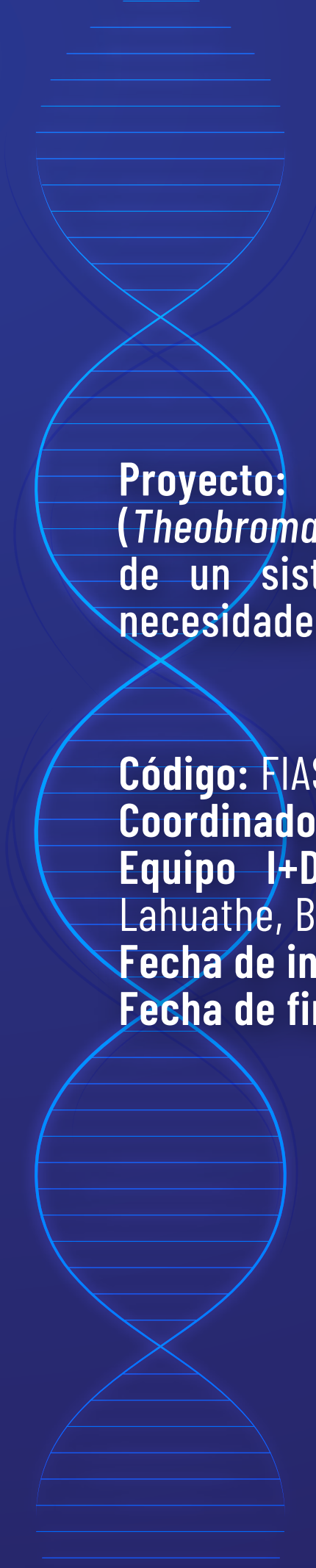
Fotografía 2. Escalpos en medio MBI obtenidos a partir de meristemas apicales. A. Explante inicial yema blanca en segundo subcultivo. B. Explante inicial yema blanca tercer subcultivo. C. Explante inicial yema verde segundo subcultivo. EET Pichilingue (2024).



Fotografía 3. Aclimatación de vitro plantas sometidas a estrés lumínico. A y B. Siembra de vitro plantas de 2 meses en pre-aclimatación (sustrato turba: cascarilla de arroz 2:1, uso de fertilizante yaraMila 200 mg/L). C. Vitro plantas aclimatadas (uso de fertilizante yaraMila 500 mg/L) (2024).



Fotografía 4. Conservación de distintas variedades de musáceas para ensayos de qPCR e introducción de material sano al laboratorio de cultivo de tejidos. Flujo de trabajo en colaboración con personal del instituto. Trasplante de funda de vitro plantas (sustrato turba: cascarilla de arroz 2:1) (2024).



Proyecto: Optimización del riego en cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante la implementación de un sistema de control inteligente de las necesidades hídricas de la planta

Código: FIASA-EETP-2022-017

Coordinador: Manuel Carrillo

Equipo I+D+i (INIAP): Yelitza Orellana, Braulio Lahuathe, Betty Rivadeneira, Wuellins Durango.

Fecha de inicio: 13-04-2022

Fecha de finalización: 12-12-2024

Resumen

El uso desmedido del agua de riego en la agricultura es un problema medioambiental grave, la productividad del cacao (*Theobroma cacao* L.) depende de la disponibilidad de agua, al ser un cultivo muy sensible al déficit hídrico. Se espera que, en Latinoamérica, por efecto del cambio climático, se incrementen las necesidades de riego para los cultivos perennes. En ese sentido, se evidencia la necesidad de mejorar la eficiencia del uso del agua de riego. En la actualidad, apoyándose en mecanismos electrónicos y de control remoto modernos y precisos se puede utilizar de una forma adecuada el recurso hídrico; siendo un procedimiento para la programación del riego con impactos positivos en el rendimiento y en la economía del productor. El objetivo de la investigación fue determinar la correlación entre la fluctuación del diámetro de tronco y el estado hídrico de los árboles adultos de cacao. La investigación se desarrolló en la Hacienda “La Clemencia” ubicada en la provincia del Guayas, Ecuador. Para ello se determinó el potencial hídrico (foliar y tallo), el intercambio gaseoso, la humedad del suelo y las máximas contracciones diarias del tronco (MCDT). El ensayo se realizó en 2023 y 2024, midiendo las variables fisiológicas dos veces por semana, mientras que las variables meteorológicas, humedad del suelo y MCDT se registraron de forma continua. Para cubrir el déficit hídrico en el área de estudio fue suficiente la aplicación del 75% del riego en los meses de julio a septiembre, y para el mes más crítico (octubre) se propone que sea del 100%.

1. Introducción

El agua es el componente mayoritario de las plantas y prácticamente todos los procesos fisiológicos que afectan a su productividad están directa o indirectamente relacionados con el estado hídrico de la misma (Bradford y Hsiao, 1982; Shackel et al., 2000).

Un indicador de la situación hídrica de un cultivo debe detectar lo antes posible una situación de déficit hídrico, ser fiable, robusto y representativo. En la segunda mitad del siglo XX hemos sido testigos de los avances teóricos y prácticos de las investigaciones sobre relaciones hídricas: han quedado establecidos los conceptos de potencial hídrico y continuo suelo-planta-atmósfera y se han desarrollado y probado, tanto en campo como en laboratorio, una amplia gama de instrumentación básica y métodos de estudio (Pereira, 2004).

Desde hace tiempo, los investigadores han centrado esfuerzos en la programación del riego mediante la utilización de indicadores del estado hídrico de los cultivos basados en medidas en las plantas, ya que estos se encuentran directamente relacionados con las condiciones edáficas y climáticas, así como con la productividad de los cultivos (Goldhamer et al., 2003; Remorini y Massai, 2003; Jones, 2004).

Las investigaciones sobre el crecimiento radial del tronco de los árboles forestales se iniciaron hace más de 100 años, evidenciando claras fluctuaciones en el diámetro del tronco entre el día y la noche (Friedrich, 1897; citado por Offenthaler et al., 2001). Estas variaciones en el diámetro de los troncos poseen una clara base fisiológica. Durante el día, el desequilibrio entre la demanda climática y la capacidad absorbente de las raíces reduce el potencial hídrico de los conductos rígidos de xilema, favoreciendo el movimiento lateral desde el floema hacia la xilema y ocasionando la contracción del tronco. Durante la noche, la planta recupera su equilibrio hídrico y el movimiento del agua adquiere sentido contrario, es decir, desde la xilema hacia el floema, lo que provoca el hinchamiento del tronco (Molz y Klepper, 1972).

Debido a los avances de la tecnología tanto electrónica, computacional, como de ciencia de los materiales, las medidas de las variaciones micromorfométricas de distintos órganos de las plantas han recobrado un notable protagonismo como indicadores del estado hídrico de las plantas (Ginestar y Castel, 1996), e incluso la posibilidad de ser empleadas en la programación automática del riego (Schoch et al., 1989; Goldhamer y Fereres, 2001).

La introducción de la cámara de presión (Scholander, 1965), ayudó a confirmar la relación que existe entre las fluctuaciones del diámetro de tronco y el estado hídrico de la planta (Keppler et al., 1971; Lassoie, 1973). Desde entonces, se extendió la aplicación de esta técnica a distintos cultivos como el manzano (Huguet et al., 1992), el limonero (Ginestar y Castel, 1996; Ortuño et al., 2004) y el nogal (Cohen et al., 1997). En todos estos estudios se estableció una buena correlación entre la máxima contracción diaria (MCD) y el estado hídrico de las plantas.

2. Objetivos

El objetivo del proyecto fue realizar una programación del riego en cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante la utilización de información del estado hídrico de las plantas suministrada por sensores inalámbricos colocados el tronco de las plantas y en el suelo en cacaotales. Los objetivos específicos fueron (1) Evaluar el desempeño fisiológico de árboles de cacao tratados con diferentes láminas de riego en época seca. (2) Determinar la expansión/contracción de troncos de árboles de cacao sometidos a diferentes láminas de riego en época seca. (3) Conocer las variaciones en la productividad de árboles de cacao sometidos a diferentes láminas de riego en época seca.

3. Metodología

Componente 1: Evaluar el desempeño fisiológico de árboles de cacao tratados con diferentes láminas de riego en época seca.

Para evaluar el desempeño fisiológico de los árboles de cacao, se midieron variables relacionadas con el estado hídrico y el intercambio gaseoso de las plantas durante la época seca. Las mediciones se realizaron en plantas útiles ubicadas en el interior de cada parcela experimental.

El potencial hídrico foliar al mediodía solar (Ψ_{md}) se determinó dos veces por semana, utilizando una cámara de presión tipo Scholander, en hojas completamente expandidas, expuestas al sol y localizadas en la parte media de la copa.

El intercambio gaseoso se evaluó mediante la medición de la asimilación de CO_2 (A), conductancia estomática (gs), transpiración (E), concentración intercelular de CO_2 (Ci) y la eficiencia en el uso del agua (A/E), utilizando un analizador portátil de gases infrarrojo (IRGA). Las mediciones se realizaron al mediodía solar, en hojas similares a las empleadas para el potencial hídrico, con una frecuencia de dos veces por semana.

Componente 2: Determinar la expansión y contracción del tronco de árboles de cacao sometidos a diferentes láminas de riego en época seca.

La expansión y contracción del tronco se evaluó mediante el registro continuo de la máxima contracción diaria del tallo (MCDT), como indicador del estado hídrico de las plantas. Para ello, se instalaron dendrómetros de alta precisión provistos de sensores de efecto Hall en el tronco de árboles representativos de cada tratamiento.

Los sensores permitieron registrar de forma continua las variaciones del diámetro del tronco, generando datos horarios de expansión y contracción. Esta información fue almacenada y transmitida automáticamente a una plataforma digital en la nube, lo que permitió el seguimiento en tiempo real del comportamiento hídrico de los árboles durante el período experimental.

Componente 3: Conocer las variaciones en la productividad de árboles de cacao sometidos a diferentes láminas de riego en época seca.

Las variables productivas se evaluaron durante la cosecha correspondiente a la época seca. Se registraron la longitud y el diámetro de la mazorca, longitud y diámetro de la almendra, número de mazorcas sanas por planta, peso de cacao fresco por planta, índice de mazorca e índice de almendras.

Las mediciones se realizaron siguiendo metodologías estandarizadas para el cultivo de cacao, utilizando las plantas útiles de cada parcela experimental. El rendimiento se estimó en kg ha^{-1} a partir del peso de cacao fresco obtenido por planta, considerando la densidad de siembra establecida en el ensayo.

Los datos obtenidos para las variables fisiológicas, de expansión/contracción del tronco y productivas fueron sometidos a pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene). Posteriormente, se realizó un análisis de varianza bajo un diseño de bloques completos al azar. La comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software Minitab versión 19.1.0.

4. Resultados

Componente 1: Evaluar el desempeño fisiológico de árboles de cacao tratados con diferentes láminas de riego en época seca.

El desempeño fisiológico de los árboles de cacao se evaluó mediante el análisis del intercambio gaseoso y del potencial hídrico foliar durante la época seca. En general, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos para las variables de intercambio gaseoso (asimilación de CO_2 , conductancia estomática, transpiración y concentración intercelular de CO_2) durante los meses evaluados. Sin embargo, en el mes de octubre se registraron los valores más altos de intercambio gaseoso de forma general en todos los tratamientos, coincidiendo con las condiciones climáticas más críticas del período seco.

En particular, el tratamiento con una lámina de riego del 125% presentó los valores mínimos de asimilación de CO_2 y los valores máximos de concentración intercelular de CO_2 , mientras que el tratamiento con 100 % de riego mostró los mayores valores de conductancia estomática y transpiración. Estos resultados indican que un exceso de riego

puede afectar negativamente la actividad fotosintética, mientras que una lámina de riego adecuada favorece el intercambio gaseoso de las plantas.

El potencial hídrico foliar mostró diferencias significativas entre tratamientos desde agosto hasta octubre. Los árboles sin riego presentaron los valores más altos de potencial hídrico, mientras que los tratamientos con riego, especialmente al 100 y 125%, registraron los valores más bajos, reflejando diferencias en la disponibilidad y uso del agua por parte de las plantas.

Componente 2: Determinar la expansión y contracción del tronco de árboles de cacao sometidos a diferentes láminas de riego en época seca.

La expansión y contracción del tronco, expresada como la máxima contracción diaria del tallo (MCDT), presentó diferencias significativas entre tratamientos durante los meses de julio y septiembre. Los árboles del tratamiento sin riego mostraron mayores niveles de contracción del tronco, lo que indica un mayor estrés hídrico, en comparación con los tratamientos que recibieron láminas de riego del 50 y 75%, en los cuales se observaron tallos más expandidos.

Estos resultados evidencian que la MCDT es sensible a las variaciones en la disponibilidad de agua y permite discriminar entre tratamientos de riego, constituyéndose en un indicador confiable del estado hídrico de los árboles de cacao en condiciones de déficit hídrico.

Adicionalmente, se observó una relación entre la MCDT y las variables de intercambio gaseoso, particularmente en el mes de octubre, donde una reducción de la transpiración se asoció con una mayor expansión del tronco.

Componente 3: Conocer las variaciones en la productividad de árboles de cacao sometidos a diferentes láminas de riego en época seca.

Las variables productivas evaluadas durante la época seca evidenciaron un efecto positivo del riego sobre el rendimiento y los componentes de la producción del cacao. En comparación con el tratamiento sin riego, los tratamientos con riego presentaron mayores valores de longitud y diámetro de mazorca, tamaño de almendra, peso de 100 semillas e índices productivos.

El tratamiento con una lámina de riego del 100% registró el mayor rendimiento, con un incremento del 59,86% respecto al testigo absoluto, mientras que el tratamiento con 125% de riego no generó incrementos adicionales en la productividad. Estos resultados indican que la aplicación de láminas de riego superiores al requerimiento óptimo no mejora el rendimiento y puede resultar ineficiente desde el punto de vista del uso del agua.

5. Conclusiones

El desempeño fisiológico del cacao durante la época seca estuvo influenciado por la lámina de riego aplicada, evidenciándose que el riego del 100% favoreció el intercambio gaseoso, mientras que el exceso de riego (125%) redujo la actividad fotosintética. La máxima contracción diaria del tallo (MCDT) resultó sensible a las condiciones hídricas del cultivo, permitiendo identificar situaciones de estrés hídrico y diferenciar eficazmente entre las distintas láminas de riego. Asimismo, la aplicación de riego incrementó la productividad del cacao en comparación con el testigo sin riego, alcanzando el mayor rendimiento con la lámina del 100%. El uso de sensores inalámbricos para el monitoreo del estado hídrico del suelo y de las plantas demostró ser una herramienta útil para la programación eficiente del riego en cacao. En la zona de estudio, durante los meses de julio a septiembre una lámina de riego del 75% fue suficiente para cubrir el déficit hídrico, mientras que en el mes más crítico (octubre) se recomienda aplicar el 100 % de riego.

6. Referencias bibliográficas

- Bradford, K. J. y Hsiao, T. C. (1982). Physiological responses to moderate water stress. En O. D. Lange, P. S. Nobel, C. B. Osmond, y H. Ziegler (Eds.), *Encyclopedia of Plant Physiology* (Vol. 12, pp. 263–324). Springer Verlag.
- Cohen, M. (1994). Optimización de la producción mediante indicadores del estado hídrico de las plantas. *Phytoma*, 57, 50–60.
- Ginestar, C. y Castel, J. R. (1996). Utilización de dendrómetros como indicadores de estrés hídrico en mandarinos jóvenes regados por goteo. *Riegos y Drenajes XXI*, 89, 40–46.
- Goldhamer, D. A., Fereres, E., Mata, M., Girona, J y Cohen, M. (1999). Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124(4), 437–444. <https://doi.org/10.21273/JASHS.124.4.437>
- Goldhamer, D. A. y Fereres, E. (2001). Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrigation Science*, 20, 115–125.
- Huguet, J. G., Li, S., Lorendeau, J. y Pelloux, G. (1992). Specific micromorphometric reactions of fruit trees to water stress and irrigation scheduling automation. *Journal of Horticultural Science*, 67, 631–640.
- Jones, H. G. (2004). Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 55, 2427–2436.
- Klepper, B., Browning, V. D. y Taylor, H. M. (1971). Stem diameter in relation to plant water status. *Plant Physiology*, 48, 683–685.
- Lassoie, J. P. (1973). Diurnal dimensional fluctuations in Douglas-fir stem in response to tree water status. *Forest Science*, 19, 251–255.

Molz, F. J. y Klepper, B. (1972). Radial propagation of water potential in stems. *Agronomy Journal*, 64, 469–473.

Offenthaler, I., Hietz, P. y Richter, H. (2001). Wood diameter indicates diurnal and long-term patterns of xylem water potential in Norway spruce. *Trees*, 15, 215–221.

Ortuño, M. F., Alarcón, J. J., Nicolás, E. y Torrecillas, A. (2004). Interpreting trunk diameter changes in young lemon trees under deficit irrigation. *Plant Science*, 227, 275–280.

Pereira, J. S. (2004). *Water supply and plant performance: How to cope with scarcity and unpredictability*. VII Simposio Luso-Espanhol de Relações Hídricas das Plantas, Faro, Portugal, 19–22.

Remorini, D. y Massai, R. (2003). Comparison of water status indicators for young peach trees. *Irrigation Science*, 22, 39–46.

Schoch, P. G., L'Hôtel, J. C., Dauplé, P., Conos, G. y Fabre, M. J. (1989). Micro variations de diamètre de tige pour le pilotage de l'irrigation. *Agronomie*, 9, 137–142.

Scholander, P. F., Hammel, H. T., Bradstreet, E. D. y Hemmingsen, E. A. (1965). Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148, 339–346.

Shackel, K., Lampinen, B., Sibbett, S. y Olson, W. J. (2000). The relation of midday stem water potential to the growth and physiology of fruit trees under water-limited conditions. *Acta Horticulturae*, 537, 425–430.

7. Galería fotográfica



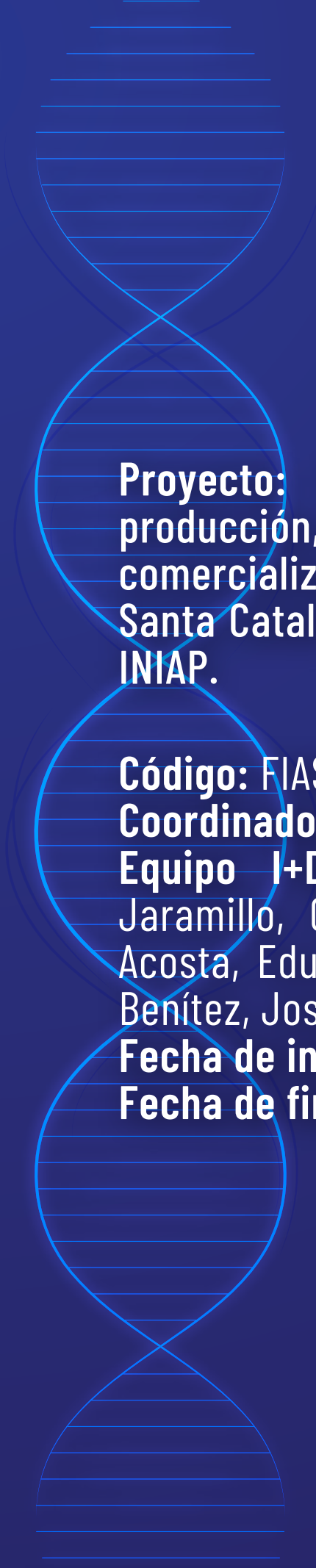
Fotografía 1. Equipo de monitoreo fisiológico en instalación de campo (2023).



Fotografía 2. Instalación del sistema de riego por goteo en plantación de cacao (2023).



Fotografía 3. Instalación de equipo de monitoreo para programación del riego (2023).



Proyecto: Fortalecimiento de los sistemas de producción, prestación de servicios especializados y comercialización en las estaciones experimentales: Santa Catalina, Litoral Sur y Tropical Pichilingue del INIAP.

Código: FIASA-DPCSE-2023-018

Coordinador: Mgs. Doris Alicia Tixe Parra

Equipo I+D+i (INIAP): José Velásquez, Pablo Jaramillo, Galo Lara, Hernán del Alcázar, Diana Acosta, Eduardo Morillo, Diana Domínguez, Steven Benítez, José Luis Vaca.

Fecha de inicio: 12-01-2023

Fecha de finalización: 12-01-2024

Resumen

El INIAP enfrenta limitaciones históricas en recursos financieros, personal técnico y capacidades operativas que afectan directamente la producción de semilla certificada, el mantenimiento de la acreditación de laboratorios bajo la norma ISO/IEC 17025:2018 y la gestión comercial de bienes y servicios institucionales. En respuesta a estas necesidades, el proyecto FIASA-DPCSE-2023-018 tuvo como propósito fortalecer los sistemas de producción, servicios especializados y procesos de comercialización en las estaciones experimentales Santa Catalina, Litoral Sur y Tropical Pichilingue. El proyecto inició en enero del 2023 y finalizó en enero de 2024. La metodología se estructuró en tres componentes. El componente 1 contempló la producción de semillas de categorías básica, registrada, certificada y material seleccionado bajo las normativas de la Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable (LOASFAS) y los estándares de certificación, empleando prácticas técnicas, adquisición de insumos, maquinaria moderna y mano de obra calificada. El componente 2 se centró en gestionar y mantener la acreditación de los laboratorios de Santa Catalina y Litoral Sur, mediante contratación de personal especializado, evaluaciones documentales, auditorías del Servicio de Acreditación Ecuatoriana (SAE), intercomparaciones y calibraciones. El componente 3 fortaleció los procesos de comercialización mediante estrategias de posicionamiento, generación de material técnico-comercial, investigación de mercados y mejora del servicio al cliente. Los resultados evidenciaron un impacto significativo. Se produjeron 210,38 toneladas de semilla de distintos rubros, beneficiando a 4.236 clientes, de los cuales 470 fueron productores que adquirieron semilla de calidad. Se logró mantener la acreditación ante el SAE de los dos laboratorios institucionales, garantizando la calidad y confiabilidad de los servicios ofrecidos. Además, la gestión comercial alcanzó una recaudación de USD 1'094.815,67 en bienes y servicios en las tres estaciones experimentales. El proyecto concluyó con una ejecución técnica y financiera del 90,36%, considerada satisfactoria según los parámetros FIASA.

1. Introducción

Los recursos económicos asignados al INIAP en los últimos cinco años han sido insuficientes para cumplir con las atribuciones institucionales definidas en el estatuto vigente. El impacto económico dificulta el cumplimiento de varias actividades, de las que se resalta: 1) Producción de semillas del sistema convencional de los principales rubros de interés nacional. 2) Mantener la acreditación con SAE. 3) Implementar estrategias de comercialización y marketing para incrementar la demanda de bienes y servicios ofertados por el INIAP. En el último año, el alto costo de los insumos y fertilizantes utilizados en los sistemas de producción de semillas limita disponer de las cantidades técnicamente recomendadas para su aplicación; así mismo, no se cuenta con personal de campo para ejecutar las actividades que por normativa se deben cumplir en el ciclo del cultivo.

Además, los procesos de producción en campo se realizan de manera tradicional, lo que conlleva a tener largas jornadas de trabajo para controles fitosanitarios y fertilizaciones foliares con un gran número de personal de campo. Al no contar con la semilla de categorías iniciales que INIAP debe producir de acuerdo a la LOASFAS, el bajo uso de semilla en el país se mantendrá. Por ejemplo, según el INEC-ESPAZ 2021, en el año 2021, la superficie nacional sembrada de los principales rubros transitorios fue de 1'006.433 hectáreas, de las cuales 385.782 han emplearon semilla certificada, representando el 38% del total. El bajo uso de semilla certificada afecta directamente en la productividad y rendimiento comercial en beneficio de los agricultores, reduciendo así sus ingresos económicos, como resultado de la baja producción.

En el caso de los laboratorios acreditados, la asignación de los recursos en gasto corriente apoya únicamente a las

necesidades mínimas, no se cuenta con un presupuesto definido para los mantenimientos de equipos especializados y la compra de los insumos para realizar los análisis solicitados por el cliente interno y externo. La alta demanda de los servicios ofertados por nuestra Red de laboratorios y el escaso personal para atender esos requerimientos retrasan la entrega de resultados y en ciertas ocasiones se pueden cometer errores técnicos por la alta cantidad de muestras que maneja el personal de laboratorio. Desde el 2011, el INIAP cuenta con dos laboratorios acreditados bajo la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2018. Proceso que anualmente está en riesgo de renovación al no contar con los responsables de calidad, quienes son los encargados de gestionar las auditorías internas y externas con SAE. Adicionalmente, el presupuesto asignado para la compra de reactivos en los laboratorios acreditados no es suficiente para cubrir la demanda.

De acuerdo al Estatuto por procesos del INIAP, vigente desde el 2021, se crea la unidad de comercialización con el objetivo de posicionar la tecnología generada por el Instituto. Sin embargo, no se cuenta con personal especializado que cumpla con las actividades de dicha unidad. Además, no se cuenta con presupuesto asignado para ejecutar actividades de promoción de los bienes y servicios ofertados por el INIAP, menos se pueden generar nuevos servicios especializados que son solicitados por la agroindustria. La tecnología generada por el Instituto no es ampliamente conocida por algunos actores del sector agropecuario del país, esto limita la adopción de tecnología generada con inversión estatal y el éxito del sector agroindustrial del país.

2. Objetivos

El objetivo general del proyecto fue fortalecer las capacidades institucionales para la producción y oferta de semilla INIAP y servicios especializados de los laboratorios acreditados. Y los objetivos específicos son (1) Producir semilla dentro del sistema convencional en las estaciones experimentales: Litoral Sur, Tropical Pichilingue y Santa Catalina del INIAP, (2) Gestionar y mantener la acreditación de los laboratorios de las estaciones experimentales: Santa Catalina y Litoral Sur del INIAP y (3) Gestionar la comercialización de bienes y servicios agropecuarios generados en las estaciones experimentales: Litoral Sur, Tropical Pichilingue y Santa Catalina del INIAP.

3. Metodología

Componente 1: Producir semilla dentro del sistema convencional en las estaciones experimentales: Litoral Sur, Tropical Pichilingue y Santa Catalina del INIAP.

La producción de semilla se realizó bajo el cumplimiento de las LOASFAS, su reglamento de aplicación y los procedimientos establecidos en las normativas de certificación de semillas de los diferentes rubros. Los campos de producción fueron establecidos en cada una de las estaciones experimentales donde se ejecutó el proyecto, disponiendo de mano de obra calificada para realizar las labores culturales durante los ciclos de los cultivos, compra de fertilizantes, herbicidas, fungicidas, abonos orgánicos y adquisición de maquinaria moderna para aumentar la eficiencia de los procesos de producción (utilización de drones para aplicaciones fitosanitarias y fertilización). Las semillas producidas fueron ofertadas por el INIAP a disposición de los productores de semilla, en busca de generar un impacto con el uso de semilla de calidad en el país.

Componente 2: Gestionar y mantener la acreditación de los laboratorios de las estaciones experimentales: Santa Catalina y Litoral Sur del INIAP.

Se asignaron recursos para la contratación de personal calificado a fin de mantener la acreditación de los laboratorios, bajo el cumplimiento de la evaluación que realiza el SAE, y su aprobación de la evaluación documental del sistema de gestión y técnicos del laboratorio y de la evaluación in situ del sistema de gestión, la aplicación de sus procedimientos y la competencia técnica del personal. Además, se verificaron los resultados en pruebas de intercomparación y calibraciones. Esto permitió garantizar la calidad y confiabilidad de los resultados entregados a los productores que utilizan estos servicios y para los investigadores del INIAP.

Componente 3: Gestionar la comercialización de bienes y servicios agropecuarios generados en las estaciones experimentales: Litoral Sur, Tropical Pichilingue y Santa Catalina del INIAP.

Se mantuvieron y mejoraron los procesos de comercialización, permitiendo dar a conocer la tecnología generada por el Instituto, así como la implementación de estrategias comerciales, investigaciones de mercado, desarrollo del posicionamiento del trabajo de INIAP, mejoras en el proceso de atención al cliente, entre otras actividades. Además, se generó material divulgativo con un enfoque técnico-comercial, promocionando en redes y medios de comunicación locales, la cartera de bienes y servicios del INIAP.

4. Resultados

Componente 1: Producir semilla dentro del sistema convencional en las estaciones experimentales: Litoral Sur, Tropical Pichilingue y Santa Catalina del INIAP.

El proyecto permitió alcanzar la producción de 210,38 toneladas de semilla de categorías básica, registrada, certificada y material seleccionado de los rubros de arroz, avena, cebada, chocho, haba, maíz duro, maíz semiduro, maíz suave, papa, quinua, soya y trigo. Se beneficiaron 4.236 clientes atendidos, de los cuales 470 corresponden a productores que adquirieron semillas en aporte al incremento de su productividad y 3.766 clientes se beneficiaron con el resto de tecnologías que ofrece el INIAP.

Componente 2: Gestionar y mantener la acreditación de los laboratorios de las estaciones experimentales: Santa Catalina y Litoral Sur del INIAP.

Se logró mantener la acreditación de 2 laboratorios ante el SAE, siendo el laboratorio de suelos, plantas y aguas de la estación experimental Litoral Sur y el laboratorio de análisis de alimentos de la estación experimental Santa Catalina.

Componente 3: Gestionar la comercialización de bienes y servicios agropecuarios generados en las estaciones experimentales: Litoral Sur, Tropical Pichilingue y Santa Catalina del INIAP.

Se alcanzó una recaudación de USD 1'094.815,67 por la comercialización de bienes y servicios del INIAP en las estaciones experimentales Santa Catalina, Litoral Sur y Tropical Pichilingue. El proyecto concluyó con una ejecución promedio (Técnico-Financiera) del 90,36%, el cual se consideró como satisfactorio, de acuerdo a los parámetros de calificación del FIASA.

5. Conclusiones

El proyecto ha logrado cumplir con sus objetivos de producción y comercialización de semillas de alta calidad, en beneficio de los productores con diferentes cultivos. Esto demuestra la eficacia y relevancia del trabajo realizado por el INIAP en el mejoramiento de la productividad agrícola en Ecuador.

La acreditación de los laboratorios ante el SAE, es un indicador sólido de la calidad y confiabilidad de los servicios científicos ofrecidos por el INIAP. Este logro resalta el compromiso con la excelencia en la investigación y el análisis de materias primas y alimentos para beneficio de la comunidad agrícola.

La ejecución del proyecto con un índice promedio del 90,36% muestra una gestión eficaz tanto a nivel técnico como financiero. Este resultado positivo refleja una planificación adecuada, una supervisión cuidadosa y un uso eficiente de los recursos, lo que contribuye al éxito general del proyecto.

6. Referencias bibliográficas

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2021). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua – ESPAC 2021 [Base de datos y resultados]. INEC.

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-espac/>

República del Ecuador. (2017, 8 de junio). Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable [Suplemento del Registro Oficial No. 10]. Registro Oficial.

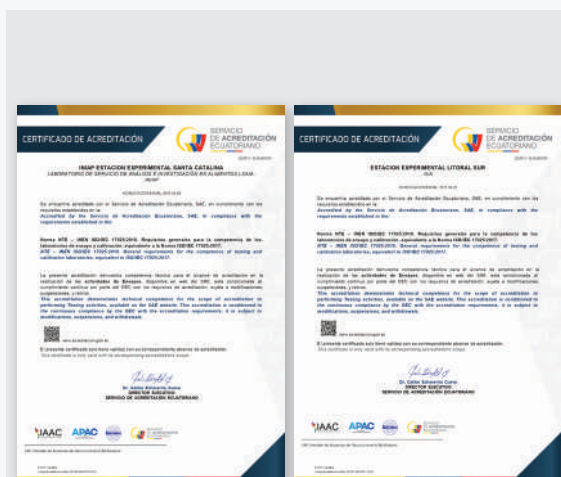
7. Galería fotográfica



Fotografía 1. Producción de semilla (rubro soja) (2023).



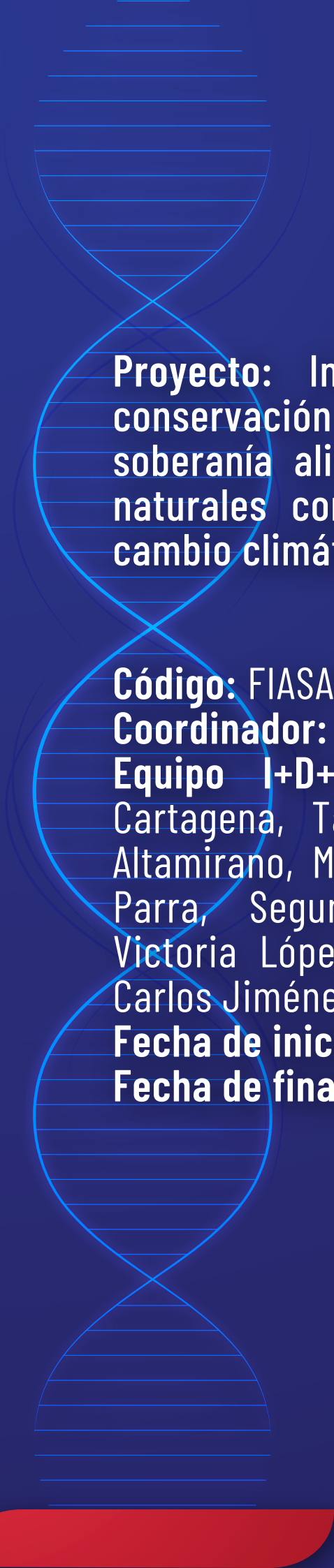
Fotografía 2. Producción de semilla (rubro arroz) (2023).



Fotografía 3. Mantenimiento de certificación de acreditación de laboratorios (estaciones experimentales Santa Catalina y Litoral Sur) ante el SAE (2023).



Fotografía 4. Promoción y difusión de bienes y servicios del INIA y generación de marca de Tecnología INIA (2023).



Proyecto: Investigaciones en agricultura de conservación que promuevan la seguridad y soberanía alimentaria y el manejo de recursos naturales como mecanismos de adaptación al cambio climático en la Región Andina del Ecuador.

Código: FIASA-EESC-2023-020

Coordinador: Dr. Víctor Barrera

Equipo I+D+i (INIAP): Víctor Barrera, Yamil Cartagena, Tania Guanín, William Taco, Freddy Altamirano, María Siguencia, Juan Arévalo, Aníbal Parra, Segundo Yumisaca, César Asaquibay, Victoria López, Víctor Moreno, Verónica Suango, Carlos Jiménez, Juan Guamán.

Fecha de inicio: 12-01-2023

Fecha de finalización: 12-01-2026

Resumen

La inseguridad alimentaria y la degradación de recursos naturales en los sistemas agropecuarios de la Región Andina del Ecuador (RAE) requieren soluciones urgentes frente al cambio climático. Este proyecto evaluó y transfirió prácticas de Agricultura de Conservación (AC) para mejorar la productividad. La AC, sustentada en investigaciones sobre ciencias del suelo, sistemas de cultivo y ciencias económicas, es un mecanismo para aumentar la producción de alimentos en la RAE y lograr un uso más eficiente de los recursos naturales disponibles. Se empleó un diseño experimental de Bloques Completamente al Azar (DBCA) factorial $2 \times 2 + 1$ con tres repeticiones para evaluar prácticas de labranza y cobertura en las comunidades de Santa Isabel-Chimborazo, Pilacumbi-Cotopaxi y Atar-Cañar. También se aplicó la misma metodología en parcelas divididas con tres repeticiones para evaluar prácticas de conservación de suelos, labranza y cobertura en las comunidades de San Pedro de Iguazo-Chimborazo, Cuturivi Chico-Cotopaxi y Charón Ventanas-Cañar. Se evaluaron el rendimiento de los cultivos de papa, avena-vicia y cebada, los costos y beneficios de las prácticas de AC y las características físico-químicas de los suelos. Los resultados a corto plazo indicaron mejoras significativas. La labranza reducida y el uso de residuos de cosecha, donde la avena-vicia actuó como cultivo de cobertura, incrementaron significativamente la productividad y los beneficios netos de los sistemas de producción en comparación con las prácticas convencionales. El análisis de nutrientes del suelo, como el amonio y el carbono orgánico, mostró los beneficios de implementar las prácticas de AC respecto al testigo. Estas son alternativas viables para incrementar ingresos y sostenibilidad en la RAE.

1. Introducción

Cerca de 196.900 hogares de Ecuador dependen del sistema de producción papa-pasto, el cual abarca 19.088 ha de papa, 1.227.580 ha de pastos y 730.960 bovinos, con una producción promedio de $6,58 \text{ l día}^{-1}$ de leche por animal (INEC, 2021). Este sistema predomina en la región Alto Andina, caracterizada por condiciones de pobreza y baja productividad, asociadas a factores como el reducido tamaño de las fincas, la baja calidad de los suelos, la irregularidad de las precipitaciones y pendientes superiores al 45% (Barrera et al., 2021; Delgado et al., 2020). Además, la erosión anual en campos cultivados varía entre 10 y 50 t ha^{-1} , superando significativamente los niveles observados en áreas no cultivadas (Henry et al., 2013).

Las prácticas agrícolas tradicionales, como la preparación intensiva del suelo, el uso excesivo de agroquímicos y la eliminación de residuos de cultivos para la alimentación animal, incrementan los costos de producción y reducen el rendimiento (Barrera et al., 2021). A estos factores se suman los efectos del cambio climático, que afectan la disponibilidad de agua y modifican los patrones de precipitación, reduciendo la duración de la temporada de siembra (Alwang y Sowell, 2010). La integración económica de la región con los mercados nacionales y globales también ejerce presión sobre los agricultores, al disminuir la disponibilidad de mano de obra y encarecer los insumos agrícolas (Delgado et al., 2019).

La vulnerabilidad de la producción agrícola en la región constituye una preocupación creciente. Los suelos presentan bajos niveles de nutrientes y una estructura degradada, mientras que las precipitaciones irregulares generan estrés hídrico y favorecen los procesos de erosión (Barrera et al., 2021). Un aumento de la temperatura media de 2°C podría acelerar el deshielo de los glaciares andinos, afectar los ciclos hidrológicos y reducir la superficie cultivable, intensificando eventos climáticos extremos como inundaciones y sequías (IPCC, 2014). Estos cambios impactan directamente en la productividad de la cuenca alta del río Guayas, donde la combinación de

erosión y altas precipitaciones contribuye a la degradación de los suelos y a la reducción de los rendimientos agrícolas (Barrera et al., 2012).

Para contrarrestar estos problemas se propone la adopción de la agricultura de conservación (AC), basada en cuatro principios fundamentales: conservación del suelo, mínima alteración del suelo, cobertura permanente y rotación de cultivos (Barrera et al., 2020). La AC promueve el mantenimiento de una cobertura orgánica permanente que protege el suelo frente a la erosión y mejora la actividad biológica. Entre las prácticas recomendadas se incluyen el uso de zanjales de desviación de agua, la labranza reducida, el establecimiento de cultivos de cobertura, como avena-vicia, y la rotación de cultivos con especies como papa, cebada, haba y maíz (Delgado et al., 2019). Estas técnicas contribuyen a aumentar la productividad, reducir la degradación del suelo y mejorar el balance de nutrientes del sistema productivo (Barrera et al., 2021).

2. Objetivos

El objetivo general es promover la seguridad y soberanía alimentaria y el manejo de los recursos naturales en la Región Andina del Ecuador, a través de investigaciones en agricultura de conservación como mecanismo de adaptación al cambio climático. Y los objetivos específicos son dos. (1) Diseñar, generar e implementar investigaciones de agricultura de conservación que promuevan la seguridad y soberanía alimentaria y el manejo de recursos naturales en las provincias de Cotopaxi, Chimborazo y Cañar. (2) Sistematizar y difundir las experiencias y los logros alcanzados en el proyecto con los actores del sector agropecuario de la Región Andina del Ecuador.

3. Metodología

Componente 1: Diseñar, generar e implementar investigaciones de agricultura de conservación que promuevan la seguridad y soberanía alimentaria y el manejo de recursos naturales en las provincias de Cotopaxi, Chimborazo y Cañar.

El proyecto contempla la evaluación de prácticas de agricultura de conservación (AC) a lo largo de cinco ciclos productivos en los cultivos de papa, avena-vicia, cebada, haba y pasto. En las comunidades de Charón Ventanas (Cañar), Cuturiví Chico (Cotopaxi) y San Pedro de Iguazo (Chimborazo) se estudian tres factores: conservación del suelo (con o sin zanjales de desviación de agua), labranza (convencional o reducida) y cobertura del suelo (sin residuos o con residuos). A partir de la combinación de estos factores se evalúan nueve tratamientos, más un tratamiento testigo correspondiente a la práctica tradicional del agricultor. Para este caso, se emplea un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo de parcelas divididas, donde el factor A corresponde a la parcela principal y los factores B y C a las subparcelas. Por otro lado, en las comunidades de Atar (Cañar), Pilacumbi (Cotopaxi) y Santa Isabel (Chimborazo) se evalúan los factores labranza (convencional o reducida) y cobertura del suelo (sin residuos o con residuos). En este caso, se analizan cinco tratamientos derivados de la combinación factorial de estos factores, más un tratamiento testigo basado en la práctica del agricultor. Se utiliza un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial $2 \times 2 + 1$. En ambos esquemas experimentales se evalúan las variables de rendimiento ($t\ ha^{-1}$), costos y beneficios económicos ($USD\ ha^{-1}$), así como las características físicoquímicas del suelo.

Componente 2: Sistematizar y difundir las experiencias y los logros alcanzados en el proyecto con los actores del sector agropecuario de la Región Andina del Ecuador.

El componente está en desarrollo en concordancia con el cronograma de ejecución.

4. Resultados (Avances)

Componente 1: Diseñar, generar e implementar investigaciones de agricultura de conservación que promuevan la seguridad y soberanía alimentaria y el manejo de recursos naturales en las provincias de Cotopaxi, Chimborazo y Cañar.

Rendimiento en $t\ ha^{-1}$ de los cultivos en rotación: Esta sección presenta y analiza el comportamiento del rendimiento de los cultivos en rotación bajo prácticas de agricultura de conservación (AC) en comparación con las prácticas tradicionales de los agricultores, con el propósito de evaluar su efecto productivo en diferentes localidades y sistemas de manejo del suelo.

En las parcelas experimentales localizadas en las comunidades de Atar (Cañar), Pilacumbi (Cotopaxi) y Santa Isabel (Chimborazo) se evaluaron cinco tratamientos correspondientes a combinaciones de labranza y cobertura del suelo, además de un tratamiento testigo basado en la práctica del agricultor. Los resultados evidencian que los rendimientos obtenidos con prácticas de AC fueron estadísticamente superiores a los registrados bajo las prácticas tradicionales. En promedio, el rendimiento de los cultivos en rotación se incrementó en 54% al pasar de las prácticas del agricultor a las prácticas de AC, lo que confirma el efecto positivo de estas tecnologías sobre la productividad.

Si bien la labranza reducida presentó mayores rendimientos promedio en comparación con la labranza convencional, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas en la mayoría de los cultivos evaluados. En contraste, la cobertura del suelo con residuos mostró un efecto más consistente, registrando rendimientos promedio superiores respecto a la cobertura sin residuos, lo que evidencia la importancia de mantener residuos vegetales en superficie para mejorar el desempeño productivo de los cultivos en rotación.

En las parcelas experimentales establecidas en las comunidades de Charón Ventanas (Cañar), Cuturiví Chico (Cotopaxi) y San Pedro de Iguazo (Chimborazo) se evaluaron nueve tratamientos derivados de la combinación de conservación del suelo, labranza y cobertura, además del tratamiento testigo. En estas localidades, los rendimientos obtenidos bajo prácticas de AC también fueron estadísticamente superiores a los de las prácticas tradicionales. En promedio, el incremento del rendimiento de los cultivos en rotación fue de 22% al implementar prácticas de AC, lo que confirma su aporte positivo, aunque con una magnitud menor en comparación con las localidades donde se evaluaron menos factores.

La conservación del suelo mediante zanjas de desviación de agua presentó diferencias estadísticas significativas únicamente en el rendimiento promedio del cultivo avena-vicia en la comunidad de Cuturiví Chico, en comparación con el manejo sin zanjas. No obstante, en la mayoría de las localidades y cultivos evaluados, los rendimientos

obtenidos con zanjas de desviación de agua fueron superiores desde el punto de vista numérico, lo que sugiere un efecto favorable asociado a la reducción de la escorrentía y a una mejor retención de humedad en el suelo.

La labranza reducida mostró mejores rendimientos promedio en los cultivos de avena-vicia y cebada establecidos en las comunidades de Cuturiví Chico y San Pedro de Iguazo, respectivamente, en comparación con la labranza convencional. Sin embargo, este comportamiento no se observó en el cultivo de papa en ninguna de las comunidades evaluadas, ni en los cultivos de avena-vicia y cebada en la comunidad de Charón Ventanas, lo que evidencia que la respuesta a este factor depende del cultivo y de las condiciones locales.

La cobertura del suelo con residuos presentó los mejores resultados de manera consistente en todas las comunidades evaluadas, con rendimientos promedio superiores respecto a la cobertura sin residuos. En la mayoría de las parcelas experimentales, estas diferencias fueron estadísticamente significativas, lo que confirma el papel clave de la cobertura vegetal en la mejora del rendimiento de los cultivos en rotación bajo sistemas de agricultura de conservación.

Costos y beneficios en USD ha⁻¹ de los cultivos en rotación: Esta sección analiza el comportamiento económico de los cultivos en rotación bajo prácticas de agricultura de conservación (AC) en comparación con las prácticas tradicionales de los agricultores, considerando los beneficios bruto y neto, así como los costos totales de producción, con el fin de evaluar la viabilidad económica de su implementación en diferentes localidades.

En las comunidades de Atar (Cañar), Pilacumbi (Cotopaxi) y Santa Isabel (Chimborazo), donde se evaluaron cinco tratamientos, los resultados muestran que las prácticas de AC generaron beneficios brutos y netos significativamente superiores en comparación con las prácticas tradicionales. En promedio, el beneficio bruto se incrementó en 41% y el beneficio neto en 71% al adoptar prácticas de AC, lo que evidencia que, a pesar de un mayor nivel de inversión, estas prácticas mejoran de forma sustancial la rentabilidad de los sistemas de rotación evaluados.

La labranza reducida y la cobertura del suelo con residuos presentaron, de manera consistente, los mayores beneficios económicos en la mayoría de las comunidades, en comparación con la labranza convencional y la ausencia de cobertura. No obstante, las prácticas de AC implicaron un incremento en los costos totales de producción, que en promedio fue del 17% respecto a las prácticas del agricultor. Este aumento de costos se asocia principalmente a la mayor demanda de labores y manejo inicial, sin que ello anule el efecto positivo observado en los beneficios netos.

En las comunidades de Charón Ventanas (Cañar), Cuturiví Chico (Cotopaxi) y San Pedro de Iguazo (Chimborazo), donde se evaluaron nueve tratamientos que incorporan adicionalmente prácticas de conservación del suelo, los beneficios económicos también fueron superiores bajo prácticas de AC. En promedio, el beneficio bruto se incrementó en 27% y el beneficio neto en 34% en relación con las prácticas tradicionales, confirmando la ventaja económica de estos sistemas, aunque con incrementos más moderados que en las localidades con menor número de factores evaluados.

Al igual que en el primer grupo de comunidades, la labranza reducida y la cobertura con residuos generaron los mejores resultados económicos en la mayoría de los casos. Sin embargo, los costos totales asociados a las prácticas de AC fueron significativamente mayores, con un incremento promedio del 24% respecto a las prácticas del agricultor. Este aumento se explica, en parte, por la implementación de zanjas de desviación de agua, las cuales elevan los costos de establecimiento, pero aportan beneficios indirectos al sistema productivo al reducir la pérdida de suelo y nutrientes, contribuyendo a la sostenibilidad a mediano y largo plazo.

Características físico-químicas de los suelos: Esta sección presenta los resultados preliminares del efecto de las prácticas de agricultura de conservación (AC) sobre algunas propiedades físico-químicas del suelo, específicamente el contenido de amonio y carbono orgánico, con el fin de analizar su comportamiento bajo diferentes sistemas de manejo en las localidades evaluadas.

Las evaluaciones del contenido de amonio (ppm) muestran una tendencia general al incremento de este nutriente en los tratamientos que incorporan prácticas de AC en comparación con el manejo tradicional de los agricultores, aunque con variaciones entre localidades. En comunidades como Cuturiví Chico, San Pedro de Iguazo y Charón Ventanas se observan valores superiores de amonio bajo prácticas de AC, lo que sugiere una mayor disponibilidad de nitrógeno inorgánico asociada al uso de cobertura vegetal y la reducción de la perturbación del suelo. En contraste, en localidades como Pilacumbi, Santa Isabel y Atar, las diferencias entre tratamientos son menos marcadas, lo que indica que la respuesta del amonio depende tanto del manejo implementado como de las condiciones edafoclimáticas locales.

En cuanto al contenido de carbono orgánico (%), los resultados evidencian un comportamiento consistente con los principios de la agricultura de conservación. En la mayoría de las comunidades evaluadas, los tratamientos con AC presentan mayores valores de carbono orgánico en comparación con el manejo tradicional, lo que refleja un efecto positivo inicial de la incorporación de residuos de cosecha y cultivos de cobertura, particularmente del sistema avena-vicia. Este incremento es más evidente en aquellas localidades donde la cobertura del suelo se mantiene de forma continua, lo que favorece la acumulación de materia orgánica y la mejora progresiva de la calidad del suelo. Si bien los resultados obtenidos hasta el momento indican una tendencia favorable de las prácticas de AC sobre el contenido de amonio y carbono orgánico del suelo, estos deben considerarse preliminares, dado que los procesos de acumulación de nutrientes y de mejora de la materia orgánica requieren períodos más prolongados para consolidarse. En este sentido, la continuidad del estudio permitirá evaluar con mayor precisión los aportes reales de los residuos de cosecha y de los cultivos de cobertura al balance de nutrientes del suelo y a la sostenibilidad de los sistemas productivos evaluados.

Componente 2: Sistematizar y difundir las experiencias y los logros alcanzados en el proyecto con los actores del sector agropecuario de la Región Andina del Ecuador.

El componente está en desarrollo en concordancia con el cronograma de ejecución.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos hasta el momento permiten concluir que los sistemas de rotación papa-avena y vicia-cebada manejados bajo prácticas de agricultura de conservación, que integran zanjas de desviación de agua, labranza reducida y cobertura del suelo con residuos de cosecha, contribuyen a incrementar el rendimiento de los cultivos expresado en $t\ ha^{-1}$, en comparación con las prácticas tradicionales de los agricultores.

Las prácticas de agricultura de conservación comienzan a mostrar efectos positivos sobre el rendimiento desde los dos primeros años de evaluación, aunque los beneficios más consistentes se consolidarán a mediano y largo plazo,

en concordancia con lo reportado en la literatura. En este contexto, el desempeño de los cultivos de papa, avena-vicia y cebada se encuentra estrechamente asociado a la aplicación de las tecnologías de manejo integrado del cultivo propuestas por el INIAP, las cuales potencian el efecto de las prácticas de conservación del suelo.

Desde el punto de vista económico, los mayores beneficios brutos y netos en USD ha⁻¹ durante los primeros ciclos de la rotación se obtienen cuando se combina la labranza reducida con la cobertura del suelo mediante residuos de cosecha, junto con las tecnologías de manejo integrado de los cultivos. En este sistema, el cultivo avena-vicia destaca por su relevancia como cultivo de cobertura, tanto por su aporte productivo como por su contribución al sistema de rotación.

En relación con las características físico-químicas del suelo, no se evidencian diferencias marcadas entre los tratamientos de agricultura de conservación y el manejo tradicional del agricultor en cuanto al contenido de amonio y carbono orgánico durante el periodo evaluado. No obstante, se prevé que, a mediano plazo, estos indicadores muestran incrementos asociados principalmente a la permanencia de residuos de cosecha y al uso de cultivos de cobertura, en concordancia con los principios de la agricultura de conservación.

De manera preliminar, el proyecto permite concluir que la adopción de prácticas de agricultura de conservación, en combinación con las tecnologías desarrolladas por el INIAP, la labranza reducida y la cobertura del suelo con residuos, constituye una alternativa técnica y económicamente superior a las prácticas actualmente empleadas por los productores, especialmente en términos de incremento del rendimiento y de los beneficios netos de los cultivos evaluados.

6. Referencias bibliográficas

Alwang, J. y Sowell, A. (2010). Socioeconomic factors affecting soil and water conservation in South America. En T. Napier (Ed.), *Human dimensions of soil and water conservation* (pp. 123–148). Nova Science Publishers.

Barrera, V., Delgado, J. A. y Alwang, J. (2021). Conservation agriculture can help the South American Andean region achieve food security. *Agronomy Journal*, 113(6), 5153–5167. <https://doi.org/10.1002/agj2.20879>

Barrera, V., Delgado, J. A., Alwang, J., Escudero, L., Arévalo, J. y Cartagena, Y. (2020). *Prácticas de agricultura de conservación que promueven la productividad y sostenibilidad del sistema de producción papa-pastos en la microcuenca del río Illangama, Ecuador*. Editorial ARCOIRIS Producción Gráfica.

Barrera, V., Escudero, L., Alwang, J. y Andrade, R. (2012). Integrated management of natural resources in Ecuador Highlands. *Agricultural Sciences*, 3(5), 768–779. <https://doi.org/10.4236/as.2012.35093>

Delgado, J. A., Barrera, V., Alwang, J., Villacís, A., Cartagena, Y., Neera, D., Monar, C. y Escudero, L. (2020). Potential use of cover crops for soil and water conservation, nutrient management, and climate change adaptation across the tropics. *Advances in Agronomy*, 164, 1–79. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.09.003>

Delgado, J. A., Barrera, V., Escudero, L., Cartagena, Y., Alwang, J., Stehouwer, R., Arévalo, J., D'Adamo, R., Domínguez, J., Valverde, F. y Alvarado, S. (2019). Conservation agriculture increases profits in an Andean region of South America.

Agrosystems, Geosciences y Environment, 2(1), 1–11. <https://doi.org/10.2134/age2018.10.0050>

Henry, A., Mabit, L., Jaramillo, R., Cartagena, Y. y Lynch, J. (2013). Land use effects on erosion and carbon storage of the Río Chimbo watershed, Ecuador. *Plant and Soil*, 367(1–2), 477–491. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1478-3>

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2021). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2021*. INEC.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Jat, R. A., Wani, S. P. y Sahrawat, K. L. (2012). Conservation agriculture in the semi-arid tropics: Prospects and problems. *Advances in Agronomy*, 117, 191–273. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394278-4.00004-0>

7. Galería fotográfica



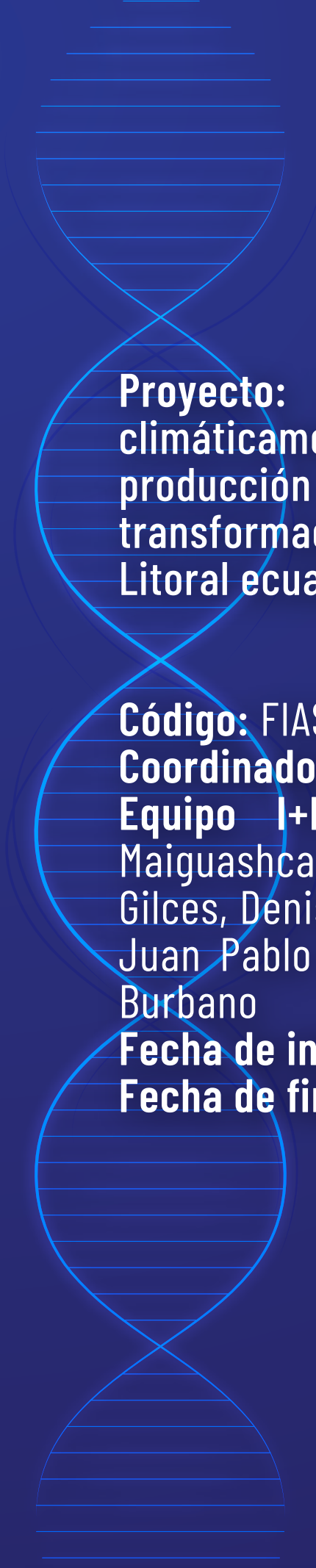
Fotografía 1. Desarrollo del cultivo en Santa Isabel – Chimborazo y Charón Ventanas – Cañar (2024).



Fotografía 2. Desarrollo del cultivo en San Pedro de Iguazo – Chimborazo y Pillacumbí – Cotopaxi (2024).



Fotografía 3. Transferencia de conocimiento con estudiantes y agricultores (2024).



Proyecto: Generación de estrategias climáticamente inteligentes para la producción de biomasa forrajera y su transformación en proteína animal en el Litoral ecuatoriano.

Código: FIASA-EETP-2023-021

Coordinador: Verónica Taipe

Equipo I+D+i (INIAP): Carlos Molina, Javier Maiguashca, Karen Albacura, Ángel Torres, Julio Gilces, Denisse Arana, Consuelo Díaz, Carlos Congo, Juan Pablo Garzón, Antonio Guaicapiña, Armando Burbano

Fecha de inicio: 16-01-2023

Fecha de finalización: 16-01-2026

Resumen

Mediante este proyecto se fortaleció el área estratégica de la agricultura sostenible, sustentable y eficiente mediante la adaptación de cultivos forrajeros al cambio climático. Para ello, se implementaron y validaron herramientas tecnológicas de bajo costo a través de indicadores agronómicos, como el incremento en la producción de biomasa forrajera (pasto y ensilaje de maíz) y su impacto en la producción secundaria de origen animal, incorporando el uso de sensores remotos e imágenes multiespectrales obtenidas mediante vehículos aéreos no tripulados e imágenes satelitales, lo que permitió disponer de información oportuna y en tiempo casi real para la toma de decisiones. Estas tecnologías promueven una baja emisión de gases de efecto invernadero, incrementando la captura y conservación del carbono en el suelo. Así también se evaluaron diferentes métodos de producción de semillas de leguminosas forrajeras con el fin de incrementar el stock de este activo biológico, contribuyendo a la biodiversidad y resiliencia de los sistemas de producción de biomasa forrajera. Los resultados se consolidaron en una plataforma de conocimiento que se suman a las generadas desde 2017 con el auspicio del Ministerio de Agricultura y el Ministerio de Ambiente a través del proyecto Ganadería Climáticamente Inteligente. El cual tiene como propósito fortalecer los sistemas nacionales de ciencia, tecnología e innovación para contribuir a la mejora de los sistemas de producción ganaderos bajo un enfoque de sostenibilidad económica y ambiental.

1. Introducción

La ganadería enfrenta importantes desafíos asociados a la variabilidad climática, el deterioro de pasturas, la limitada disponibilidad de forraje en épocas críticas y la baja eficiencia en la conservación de los forrajes, afectan directamente la productividad bovina constituyendo una amenaza para la sostenibilidad económica y ambiental de los sistemas ganaderos. Países como Brasil, Colombia y Costa Rica han impulsado el desarrollo de estrategias climáticamente inteligentes que integran el mejoramiento de las pasturas, el uso de cultivos forrajeros de alta productividad, la conservación de forrajes, la diversificación con leguminosas y la optimización del pastoreo, como mecanismos para aumentar la resiliencia frente al cambio climático (Montenegro y Abarca, 2002; Acosta et al., 2013; Pezo, 2017).

La implementación de estrategias climáticamente inteligentes, de fácil adopción, bajo costo y accesibles para los productores ganaderos, permite evaluar de manera eficiente la cantidad y calidad nutricional de la biomasa forrajera y su transformación en proteína animal en los sistemas pecuarios (FAO, 2017). Estas estrategias contemplan el uso de pastos de alto valor nutricional y elevada productividad, la disponibilidad de ensilaje como alternativa de suplementación durante periodos críticos de escasez forrajera, y el acceso a semillas de leguminosas forrajeras que faciliten el establecimiento de bancos de proteína y la diversificación de los potreros (Lemaire et al., 2014; Thornton y Herrero, 2015). La integración de estas prácticas sumado la implementación de sensores remotos e imágenes multiespectrales a través de vehículos no tripulados o imágenes satelitales que permiten al usuario disponer de la información en tiempo real facilitando la toma de decisiones, contribuye a mejorar la eficiencia productiva y la resiliencia de los sistemas ganaderos, al tiempo que favorece la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y promueve la captura y el almacenamiento de carbono en el suelo, fortaleciendo así la sostenibilidad ambiental y económica de la ganadería (IPCC, 2019; Lal, 2020).

En este contexto, el fortalecimiento de la oferta forrajera es un pilar fundamental para garantizar la productividad ganadera. Las gramíneas tropicales de alto rendimiento, como *Brachiaria* y *Megathyrsus maximus* Jacq., han

demostrado buen desempeño, constituyéndose en alternativas estratégicas para aumentar la disponibilidad de biomasa e incrementar la capacidad de carga animal (Silva et al., 2012; Ramírez de la Ribera et al., 2017). Sin embargo, su comportamiento agronómico y ecofisiológico, varían de acuerdo a múltiples factores, por lo que es necesario generar información local que permita ajustar recomendaciones adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de Manabí y Los Ríos.

La producción de maíz forrajero para ensilaje es otra práctica ampliamente adoptada en América Latina para enfrentar los períodos de escasez de pasto, especialmente en épocas críticas. Países como México y Brasil han demostrado que el rendimiento y la calidad del ensilaje están fuertemente influenciados por la densidad de siembra, el híbrido utilizado y las condiciones ambientales (Sánchez et al., 2011). El INIAP ha desarrollado híbridos como H-551 y H-554 que presentan alto potencial de biomasa y buena adaptación al litoral ecuatoriano; sin embargo, se requiere validar su desempeño en diferentes densidades y ciclos productivos para generar recomendaciones técnicas actualizadas, tal como lo plantean experiencias regionales en el trópico (Silva et al., 2012).

La diversificación con leguminosas forrajeras, como *Mucuna pruriens*, y *Canavalia ensiformis*, es clave para mejorar la fertilidad del suelo, aportar proteína en la dieta animal y contribuir a la sostenibilidad de los sistemas ganaderos. Estudios recientes en Colombia evidencian que las leguminosas incrementan la fijación de nitrógeno, favorecen la estructura del suelo y mejoran la disponibilidad de nutrientes, además de constituir una alternativa viable para la alimentación bovina en sistemas de bajo costo (Pérez y Figueroa, 2021). No obstante, la disponibilidad de semilla de calidad es limitada, por lo que evaluar métodos de multiplicación es estratégico para garantizar la oferta de este recurso en programas de diversificación forrajera.

Así también, los sistemas de pastoreo climáticamente inteligente buscan mejorar la eficiencia del uso del forraje, reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y aumentar la captura de carbono en biomasa y suelo, aportando a la mitigación del impacto ambiental de la ganadería (Montenegro y Abarca, 2002; Acosta et al., 2013). Estas prácticas se complementan con herramientas tecnológicas como sensores remotos de bajo costo, que apoyan el monitoreo del vigor del cultivo, la estimación de biomasa y la planificación de los periodos de ocupación y descanso (Oliver, 2010).

Finalmente, la transferencia del conocimiento hacia productores y técnicos es imprescindible para lograr una adopción efectiva de estas estrategias. La capacitación en alternativas forrajeras, prácticas de conservación, análisis de costos y manejo sostenible permite fortalecer capacidades locales y avanzar hacia una ganadería más eficiente, resiliente y ambientalmente responsable (Pezo, 2017; Acosta et al., 2013). De allí que este estudio se centra en: “Generar estrategias climáticamente inteligentes para la producción de biomasa forrajera y su transformación en proteína animal en el Litoral ecuatoriano”.

2. Objetivos

El objetivo general fue contribuir a la producción de biomasa forrajera mediante el desarrollo de estrategias climáticamente inteligentes para la producción de proteína animal en sistemas ganaderos ecoeficientes en el litoral ecuatoriano. Los objetivos específicos fueron: (1) Evaluar la dinámica del crecimiento eco-fisiológico y calidad de forrajes adaptados a las condiciones edafoclimáticas de Manabí y los Ríos, (2) Determinar la capacidad de producción y conservación de forraje en forma de ensilaje de materiales comerciales de maíz del INIAP, (3) Evaluar métodos para la multiplicación de semillas de leguminosas herbáceas (*Mucuna pruriens*, *Canavalia ensiformis* y *Georgina velvet*), (4) Socializar y capacitar a los productores y técnicos en uso de herramientas con sensores remotos.

3. Metodología

Componente 1: Evaluar la dinámica del crecimiento eco-fisiológico y calidad de forrajes adaptados a las condiciones edafoclimáticas de Manabí y los Ríos.

Se establecieron ensayos experimentales en Manabí y Los Ríos. Aplicando un diseño de bloques completos al azar con factorial AxB (Basilik, Mombasa, Xaraes, Saboya) y dos condiciones topográficas (pendiente y plano). Se evaluaron variables ecofisiológicas como altura de planta, diámetro de tallo, número, ancho y largo de hojas, número de macollos, rendimiento de materia verde y seca. Se realizaron muestreos en intervalos de 28 días. Las muestras fueron secadas en estufa para determinar MS y enviadas al laboratorio para análisis de calidad nutricional. La información se procesó mediante ANOVA y pruebas de Tukey ($p < 0,05$) para determinar diferencias significativas entre especies y condiciones ambientales.

Componente 2: Determinar la capacidad de producción y conservación de forraje en forma de ensilaje de materiales comerciales de maíz del INIAP.

Para la evaluación de híbridos de maíz, se utilizó un diseño de parcelas divididas con tres densidades de siembra y cuatro materiales comerciales del INIAP, registrándose rendimiento de biomasa, materia seca y altura de planta. Para ensilaje, se cosechó el maíz en estado de grano pastoso-lechoso y se conservó en microsilos, después de los 30 días de fermentación se registró las variables organolépticas.

Componente 3: Evaluar métodos para la multiplicación de semilla de leguminosas herbáceas (*Mucuna pruriens*, *Georgina velvet* y *Canavalia ensiformis*).

Se estableció un diseño de bloques completos al azar con factorial AxB (tres variedades y tres distancias de siembra) para determinar producción de vaina y semilla; las cosechas fueron cuantificadas por unidad de área. Los datos se analizaron mediante ANOVA y pruebas de Tukey ($p < 0,05$) para determinar diferencias significativas. Se controlaron labores de establecimiento, manejo y monitoreo fenológico.

Componente 4: Socializar y capacitar a los productores y técnicos en uso de herramientas con sensores remotos.

Se desarrollaron talleres participativos, días de campo, y cafés científicos dirigidos a productores, técnicos y estudiantes, abordando manejo de pasturas, conservación de forrajes, multiplicación de semillas y estrategias climáticamente inteligentes. Se utilizaron metodologías demostrativas en campo y materiales didácticos elaborados para el proyecto. Asimismo, se realizaron capacitaciones sobre uso básico de herramientas tecnológicas y plataformas de monitoreo. La evaluación de los talleres incluyó encuestas, lista de asistencia y valoración de aprendizajes. Paralelamente, se sistematizó la información generada en fichas técnicas, boletines y presentaciones para su difusión a actores locales y tomadores de decisión.

4. Resultados

Componente 1: Evaluar la dinámica del crecimiento eco-fisiológico y calidad de forrajes adaptados a las condiciones edafoclimáticas de Manabí y los Ríos.

Se observaron diferencias claras en el rendimiento de biomasa entre las variedades evaluadas bajo ambas topografías. En condiciones de terreno plano, *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilisk registró el mayor rendimiento de materia verde ($41.697 \text{ kg ha}^{-1}$) y materia seca ($11.079 \text{ kg ha}^{-1}$), destacándose por su mayor porcentaje de MS (26,57%). En contraste, *Megathyrus maximus* cv. Mombasa presentó los valores más bajos de MS, lo que indica una mayor proporción de agua en su biomasa. En topografía inclinada, Basilisk nuevamente sobresalió con $53.275 \text{ kg ha}^{-1}$ de MV y $15.540 \text{ kg ha}^{-1}$ de MS, evidenciando su capacidad adaptativa en condiciones de pendiente y mayor estrés ambiental.

Los resultados reflejan la reconocida rusticidad y tolerancia de Basilisk frente a suelos de menor fertilidad y pendientes, lo que coincide con estudios regionales que señalan a *B. decumbens* como una de las gramíneas más estables en ambientes variables y bajo pastoreo continuo (Silva et al., 2012; Pezo, 2017). Por su parte, Xaraes mostró porcentajes intermedios de MS y rendimientos consistentes, lo cual la posiciona como una alternativa forrajera. La similitud de letras en los promedios indica ausencia de diferencias estadísticas para MV en algunas comparaciones; sin embargo, la tendencia agronómica confirma que Basilisk ofrece mayor aporte de biomasa utilizable y mejor respuesta en zonas con limitaciones topográficas.

El valor nutricional de las especies de pastos *Brachiaria* spp. *Griseb* y *Megathyrus* spp. se observó con el porcentaje más alto de proteína, al pasto Xares tanto en plano como en pendiente con 7,74% y 7,19% respectivamente. Los niveles de proteína en las gramíneas son de importancia para la alimentación de los rumiantes, puesto que, es uno de los nutrientes esenciales para su crecimiento, producción y salud general.

Componente 2: Determinar la capacidad de producción y conservación de forraje en forma de ensilaje de materiales comerciales de maíz del INIAP.

El rendimiento de materia verde del maíz forrajero varió en función de la densidad de siembra, el híbrido y la zona de evaluación. En la zona de Los Ríos, la densidad D3 ($40 \times 20 \text{ cm}$) registró los mayores rendimientos promedio en todos los híbridos, destacándose H-551 con valores cercanos a 78 t ha^{-1} , seguido de QPM-543 y ADVANTA. Asimismo, se observó un incremento progresivo del rendimiento a lo largo de los ciclos productivos, siendo el tercer ciclo el de mayor aporte de biomasa. En Manabí, donde se evaluó un solo ciclo productivo, los rendimientos fueron inferiores en comparación con Los Ríos, lo cual puede atribuirse a diferencias edafoclimáticas; no obstante, se mantuvo la misma tendencia entre densidades y materiales, con H-551 como el híbrido de mejor desempeño. Los resultados bromatológicos del ensilaje de maíz obtenido en la zona de Los Ríos se ubicaron dentro de los rangos reportados para ensilajes de buena calidad en condiciones tropicales, donde la composición nutricional depende del genotipo y de la densidad de siembra (Kung et al., 2018). El contenido de proteína cruda (10,07–12,28%) es comparable con el descrito para híbridos de maíz destinados a ensilaje, observándose ligeros incrementos en densidades más estrechas, asociados a una mayor proporción de tejido foliar joven (Ferreira et al., 2014). Los valores de FDN y FDA se mantuvieron dentro de rangos adecuados para la alimentación de rumiantes, con variaciones atribuibles al genotipo, lo cual concuerda con lo señalado por Muck et al. (2018). Asimismo, los menores contenidos de lignina observados en ciertos genotipos sugieren un posible incremento en la digestibilidad del forraje, aspecto clave en la calidad del ensilaje. El híbrido INIAP H-551, fue seleccionado para la producción de ensilaje en macroensayos ser

evaluado en fincas de productores.

Durante la evaluación en macroensayos del maíz híbrido INIAP H-551, se estimó el rendimiento por hectárea tanto en base al peso fresco como al contenido de materia seca. El rendimiento promedio en materia verde fue de 62,4 t ha⁻¹, reflejando un adecuado desarrollo vegetativo y una buena acumulación de biomasa. Este valor está dentro de los rangos esperados para híbridos de alto rendimiento bajo condiciones óptimas de manejo y clima favorable. En cuanto al rendimiento de materia seca se obtuvo un valor de 34,3 t ha⁻¹, lo cual representa aproximadamente el 55% del peso fresco, en concordancia con el rango ideal para la cosecha de maíz forrajero destinado a ensilaje, donde se recomienda entre un 30-40% de materia seca en el momento de corte. Esta relación evidencia un estado fisiológico adecuado de las plantas al momento de la cosecha, lo que garantiza un contenido equilibrado de humedad y nutrientes para su conservación. Estos valores son indicativos del buen comportamiento agronómico del híbrido INIAP H-551 en condiciones del litoral ecuatoriano, consolidando su potencial como alternativa productiva para sistemas ganaderos que requieren altos volúmenes de forraje de calidad.

Componente 3: Evaluar métodos para la multiplicación de semilla de leguminosas herbáceas (*Mucuna pruriens*, *Georgina velvet* y *Canavalia ensiformis*).

El peso de las vainas y de las semillas en función de dos factores: densidad y material vegetativo, los promedios de los pesos de las vainas y semillas varían entre las diferentes combinaciones de estos factores y se presentan a continuación:

Para el efecto de la distancia de siembra, no se observó diferencias estadísticas con p-valor > 0,05 en la producción en vaina y semilla de la primera cosecha para distancia de siembra. En cuanto a la segunda cosecha se observó, diferencias estadísticas con p-valor < 0,05 para la producción en vaina y semilla, obteniendo con el mayor promedio cuando se sembró a 1m x 3,5 m con 10600,55 kg ha⁻¹ de vainas y 2118,95 kg ha⁻¹ de semillas. Lo que sugiere que, a medida que se aumenta la densidad de siembra de (1,0 a 2,0) se observa una disminución de los promedios de peso de las vainas y semillas.

El peso seco de semillas de las leguminosas forrajeras presentó diferencias estadísticas significativas entre materiales vegetativos en cada cosecha (C1-C7), así como una alta variabilidad temporal, evidenciada por los coeficientes de variación. Este comportamiento es característico de leguminosas tropicales destinadas a producción de semilla, donde la sincronía de floración, el cuajado de vainas y las condiciones ambientales propias de cada período influyen directamente en el rendimiento (FAO, 2012).

La especie *Mucuna* blanca (*Georgina velvet*) registró los mayores rendimientos de semilla, ubicándose con mayor frecuencia en el grupo estadístico superior, lo que confirma su alto potencial productivo y estabilidad bajo las condiciones edafoclimáticas de Los Ríos. *Mucuna* negra (*Mucuna pruriens*) mostró un comportamiento intermedio, con variaciones entre cosechas, mientras que *Canavalia ensiformis* presentó los menores rendimientos en todas las densidades evaluadas. Estos resultados concuerdan con estudios que destacan a *Mucuna pruriens* como una leguminosa de elevada productividad y buena adaptación en sistemas tropicales, frente a *Canavalia*, cuya principal utilidad se orienta a cobertura y abono verde más que a producción intensiva de semilla (Duke, 1981; FAO, 2011).

La variación observada entre cosechas confirma que la producción de semilla en leguminosas no es constante, sino dependiente del estado fenológico y de las condiciones ambientales durante cada evaluación, lo que justifica el

análisis estadístico individual por cosecha realizado en este estudio (López et al., 2019). En conjunto, los resultados obtenidos son consistentes con la literatura y respaldan la selección de *Mucuna* blanca como la alternativa más eficiente para la multiplicación de semilla en sistemas ganaderos del Litoral ecuatoriano.

Componente 4: Socializar y capacitar a los productores y técnicos en uso de herramientas con sensores remotos.

Se ejecutaron diversas actividades orientadas a la difusión y transferencia de información generada por el proyecto, mediante estrategias de capacitación técnica, divulgación científica y vinculación con actores del territorio. Estas acciones incluyeron talleres especializados, días de campo, cafés científicos y la participación en eventos académicos nacionales e internacionales, con la finalidad de promover el uso de tecnologías innovadoras y buenas prácticas en la producción ganadera y forrajera. Entre las principales actividades desarrolladas se destacan el taller sobre uso de sensores remotos y equipamiento especializado aplicado a la ganadería, la realización de un día de campo con estudiantes universitarios para socializar resultados preliminares, la participación en congresos y seminarios internacionales vinculados a sistemas de producción agropecuaria y buenas prácticas agrícolas, así como capacitaciones técnicas dirigidas a productores sobre producción de ensilaje en diferentes localidades. Adicionalmente, se llevaron a cabo cafés científicos enfocados en innovación y resiliencia frente al cambio climático, fortaleciendo el intercambio de conocimientos entre investigadores, docentes, técnicos, estudiantes y actores institucionales del sector ganadero.

5. Conclusiones

Con base en los resultados presentados se concluye que la variedad Basilisk se ha adaptado mejor a pendientes variables, aportando mayor cantidad de MS, sin embargo, el pasto Xaraes el que aporta con mayor porcentaje de proteína. El híbrido de maíz H-551 presentó un mayor rendimiento de materia verde con un promedio de 78 t ha⁻¹ entre los tres ciclos evaluados. En cuanto a la producción de semilla de leguminosas herbáceas la interacción de la distancia de 1,0 m x 3,5 m tanto para la *Georgina velvet* (*Mucuna* blanca) como para la *Mucuna pruriens* (*Mucuna* negra), se obtuvieron los mayores rendimientos. Las actividades de capacitación, talleres y días de campo generaron una apropiación efectiva del conocimiento entre productores, técnicos y estudiantes. La introducción de sensores remotos y herramientas digitales fortaleció la toma de decisiones y mejoró la comprensión del monitoreo del forraje. La alta participación en congresos y eventos académicos evidencia el impacto del proyecto en la difusión científica y tecnológica del sector ganadero.

6. Referencias bibliográficas

Acosta, A., Muhammad, I. y Pezo, D. (2013). *Hacia un desarrollo ganadero climáticamente inteligente*. <https://www.fao.org/3/as248s/as248s.pdf>

Duke, J. A. (1981). *Handbook of legumes of world economic importance*. Plenum Press.

FAO. (2011). *Leguminous cover crops for conservation agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2012). *Grassland species profiles: Mucuna pruriens*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ferreira, G., Mertens, D. R. y Shaver, R. D. (2014). Impact of corn silage hybrid type and planting density on nutritive value. *Journal of Dairy Science*, 97(4), 2392–2404.

Kung, L., Shaver, R. D., Grant, R. J. y Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020–4033.

López, M., Hernández, A. y Cruz, R. (2019). Variabilidad productiva en leguminosas tropicales destinadas a la producción de semilla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 789–801.

Montenegro, J. y Abarca, S. (2002). Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En C. Pomareda y H. Steinfeld (Eds.), *Intensificación de la Ganadería en Centroamérica: Beneficios Económicos y Ambientales* (pp. 55–86). FAO.

<http://www.fao.org/WAIRDOCS/LEAD/x6366s/x6366s00.html>

Muck, R. E., Nadeau, E. M. G., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C. y Kung, L. (2018). Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3980–4000.

Oliver, M. A. (2010). *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. Springer.

<https://doi.org/10.1007/978-90-481-9133-8>

Pezo, D. (2017). Tecnologías forrajeras para la intensificación de la ganadería en el contexto del cambio climático. *Revista del Sector Agropecuario*, 78, 20–29.

<https://www.fontagro.org/wp-content/uploads/2018/03/REVISTA-78-ART%C3%80CULO-DANILO-PEZO.pdf>

Pérez, P. y Figueroa del Castillo, C. (2021). Evaluación de *Canavalia ensiformis* y *Vigna radiata* como abonos verdes sobre la dinámica microbiana del suelo. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 17(1), 27–40.

<https://doi.org/10.18359/rfcb.5433>

Ramírez de la Ribera, J., Zambrano Burgos, D., Campuzano, J., Verdecia Acosta, D., Chacón Marcheco, E., Arceo Benítez, Y. y Uvidia Cabadiana, H. (2017). El clima y su influencia en la producción de los pastos. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(6), 1–12. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63651420007.pdf>

Sánchez, M., Aguilar, C., Valenzuela, N., Torres, B., Sánchez, C., Jiménez, M. y Villanueva, C. (2011). Rendimiento en forraje de maíces del trópico húmedo de México en respuesta a densidades de siembra. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3), 359–373.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242013000300002

Silva, E. A. D., Silva, W. J. D., Barreto, A. C., Oliveira Junior, A. B., Paes, J. M. V., Ruas, J. R. M. y Queiroz, D. S. (2012). Dry matter yield, thermal sum and base temperatures in irrigated tropical forage plants. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47(3), 574–582. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000300012>

7. Galería fotográfica



Fotografía 1. Floración de especies: 1 Xaraes 2 Basilisk 3 Saboya 4 Mombasa (2023).



Fotografía 2. Macroensayos del híbrido INIAP-551(2023).



Fotografía 3. Izda. Floración femenina en el cultivo de maíz; Dcha. Procesamiento para ensilaje (2024).



Fotografía 4. Capacitación sobre el pastoreo climáticamente inteligente dirigido a los técnicos del MAGP (2025)



Proyecto: Conservación y manejo del Banco de Germoplasma del INIAP

Código: FIASA-EESC-2024-022

Coordinador: Cesar Guillermo Tapia Bastidas

Equipo Técnico INIAP: Edwin Naranjo, Franklin Sigcha, Raquel Andrango, Fabricio Verdezoto, Grace Catucuamba, Bryan Jiménez, Adriana Méndez, Marcelo Tacán, Nelly Paredes, Luis Lima, Marilú Valverde, Álvaro Monteros, Alberto Roura, Nelly Avalos, Favio Ruilova, Raúl Mora, Marilú Valverde, Solanyi Tigselema.

Fecha de inicio: 18-01-2024

Fecha de finalización: 18-01-2027

Resumen

El Banco de Germoplasma del INIAP conserva 29.576 accesiones correspondientes a 395 géneros y 689 especies de plantas cultivadas y sus parientes silvestres, tanto de origen andino como introducidas. Estas colecciones se mantienen bajo condiciones ex situ en estaciones y granjas experimentales ubicadas en la Costa, Sierra, Amazonía y Galápagos, constituyendo un patrimonio estratégico para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola del Ecuador. La presente propuesta tiene como objetivo garantizar la sostenibilidad técnica y operativa del banco, asegurando la conservación a largo plazo de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, así como de especies forestales, medicinales y parientes silvestres vinculados a cultivos prioritarios. El proyecto, con una duración de treinta y seis meses, se enmarca en el Plan Estratégico de Acción 2024–2028, desarrollado con el apoyo del Crop Trust y la participación de autoridades y especialistas en recursos genéticos.

Actualmente, 29.330 accesiones se conservan mediante almacenamiento en cámara fría, campo, crioconservación e in vitro. Se realizaron pruebas de germinación a 1.276 accesiones, destacándose amaranto (415) y quinua (491). Además, 8.421 accesiones se mantienen en campo y 742 se preservan in vitro. Se ejecutan procesos de regeneración en fréjol y amaranto, y se restituyó germoplasma a 400 agricultores de la Sierra y Amazonía.

En el ámbito técnico, se recolectaron 107 accesiones de especies silvestres relacionadas con tomate riñón, se desarrolló y validó un protocolo de crioconservación basado en ejes embrionarios de maní y se inició la crioconservación de meristemos de papa. Asimismo, se depuró y migró información de 28.680 accesiones a la plataforma GRIN Global Community Edition, fortaleciendo la gestión y trazabilidad de los recursos. Se prevé la publicación de seis artículos científicos en revistas indexadas.

1. Introducción

Ecuador es uno de los países más biodiversos del mundo con una acelerada extinción de especies y erosión genética debido a las actividades humanas que es preocupante (FAO, 1996). Los bancos de germoplasma son esenciales para conservar la agrobiodiversidad para las futuras generaciones. Actualmente se conservan unos 7,4 millones de accesiones en 1750 bancos de germoplasma, principalmente variedades tradicionales y especies silvestres (De la Rosa y Martín, 2016). Las estrategias de conservación ex situ complementan a las de conservación in situ, ya que no se puede preservar toda la diversidad genética en los bancos (Engels, 2001). Las técnicas de caracterización morfológica y molecular son claves para evaluar la diversidad genética de las colecciones (Gepts, 1993). Además, los reglamentos internacionales sobre el acceso a recursos genéticos influyen en la gestión de los bancos (Karp et al., 1997).

El Banco de Germoplasma del INIAP se fundó en 1991, el cual conserva 29.576 accesiones de más de 500 especies. Este banco juega un papel crucial en la conservación de especies subutilizadas que son valiosas para mejorar la agricultura en condiciones extremas. A pesar de su importancia, las especies subutilizadas aún no se exploran completamente y corren el riesgo de desaparecer debido a la estandarización de cultivos (Padulosi et al., 2011). Además, el banco conserva especies silvestres, cruciales para mejorar cultivos debido a su adaptación a condiciones extremas. Se estima que muchas de estas especies están en peligro de extinción debido al cambio climático (FAO, 2010). El banco también enfrenta desafíos relacionados con la optimización de la información sobre el germoplasma conservado y la rapidez en la distribución de materiales a los agricultores (Parra Quijano et al., 2011).

2. Objetivos

El objetivo general es gestionar y conservar los recursos fitogenéticos de uso agrícola, forestal y medicinal bajo condiciones óptimas. Lo que impulsa a la conservación de germoplasma como soporte de la seguridad alimentaria y de la producción agrícola sostenible del Ecuador. Los objetivos específicos son: (1) Completar los inventarios de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, (2) Recolectar germoplasma de importancia económica y/o en peligro de erosión genética, (3) Conservar semillas ortodoxas en cámara fría, (4) Conservar in vitro las colecciones de semillas no ortodoxas, (5) Conservar en condiciones de campo las colecciones que no se adaptan a cámara fría, (6) Conservar a largo plazo por medio de crioconservación los duplicados de las colecciones que se encuentran en campo e in vitro, (7) Regenerar y multiplicar colecciones que se encuentra en condiciones *ex situ* (campo y cámara fría), (8) Estudiar las características fenotípicas de la agrobiodiversidad presente en el banco de germoplasma, (9) Estudiar las características ecogeográficas de la agrobiodiversidad presente en el banco de germoplasma y (10) Permitir un mayor almacenamiento de toda la información relacionada con la gestión del banco de germoplasma.

3. Metodología

El proyecto se ejecuta en siete provincias del Ecuador y la sede central (Banco Base y Banco Activo) se encuentra en la Estación Experimental Santa Catalina. Todos los componentes se implementan conforme a los lineamientos establecidos en la Guía para el Manejo y Conservación de Recursos Fitogenéticos en Ecuador (Monteros-Altamirano et al., 2018). Para el componente (1) completar los inventarios de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, se aplicó la metodología desarrollada por Tapia et al. (2015). Se analizaron doce variables: precipitación, pH, diversidad ecogeográfica, uso del suelo, riesgo de inundación, contenido de carbón orgánico, distancia a áreas protegidas, cercanía a vías principales, tamaño poblacional, distancia a núcleos urbanos, abundancia de poblaciones y riesgo volcánico. La información georreferenciada provino de la base de datos ECU-COL del Banco de Germoplasma del INIAP. Para cada variable se generaron capas espaciales con datos propios y externos y posteriormente se transformaron sus valores a una escala de 0 a 100, asignando valores bajos para aspectos negativos y altos para los positivos. Las variables cualitativas fueron transformadas de manera directa, mientras que las cuantitativas se clasificaron en cuartiles. La resolución espacial empleada fue de 5 × 5 km, lo que permitió modelar e identificar áreas prioritarias para la conservación de 25 cultivos de interés nacional.

En cuanto al componente (6) conservación a largo plazo mediante crioconservación de los duplicados de las colecciones que se encuentran en campo e in vitro. En el Banco de Germoplasma del INIAP, la crioconservación se aplica a maní (*Arachis hypogaea* L.) y papa (*Solanum tuberosum* L.), especies estratégicas para la conservación de la agrobiodiversidad nacional. En maní, a partir de investigaciones realizadas, se ha estandarizado un protocolo basado en la desecación de ejes embrionarios y su exposición a la solución vitrificante PVS2. En papa, se implementa la técnica de vitrificación en gota de meristemos, siguiendo el protocolo desarrollado por el Centro Internacional de la Papa (CIP) y adaptado a las condiciones locales. En ambos casos, las metodologías permiten garantizar la viabilidad y regeneración de los explantes tras su almacenamiento en nitrógeno líquido, constituyendo un avance significativo para la conservación a largo plazo de los recursos genéticos y el fortalecimiento de capacidades nacionales en crioconservación.

4. Resultados (Avances)

Componente 1: Completar inventarios de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura.

Se definieron las zonas de conservación para 25 cultivos (Tacán, et al., 2024) que comparten agroecosistemas. El grupo 1, raíces alto andinas (*Canna edulis* Ker Gawl. *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. ex) H. Rob., *Mirabilis expansa* (Ruiz y Pav.) Standl. y *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft); grupo 2, tubérculos alto andinos (*Solanum tuberosum* L., *Tropaeolum tuberosum* R y P., *Ullucus tuberosus* C., *Oxalis tuberosa* Mol.); grupo 3, granos alto andinos (*Amaranthus hybridus* L., *Lupinus mutabilis* Sweet, *Phaseolus vulgaris* L., *Vicia faba* L., *Chenopodium quinoa* Willd., *Zea mays* L.); grupo 4, frutales alto andinos (*Prunus serotina* Ehrh., *Annona cherimola* Mill., *Physalis peruviana* L., *Solanum betaceum* Cav.) y el grupo 5, cultivos tropicales (*Ipomoea batatas* Lam., *Arachis hypogaea* L., *Bixa orellana* L., *Manihot esculenta* Crantz.).

Componente 2: Recolectar germoplasma de importancia económica y/o en peligro de erosión genética.

Se realizaron un total de seis misiones de recolección en cuatro provincias del país. Se recolectaron tres especies de tomate silvestre, con un total de 107 accesiones que corresponden a 2 accesiones de *Solanum neorickii* D. M. Spooner, G. J. Anderson y R. K. Jansen, 42 de *Solanum pimpinellifolium* L. y 63 de *Solanum habrochaites* S. Knapp y D. M. Spooner. Todo el germoplasma recolectado se encuentra en el Banco de Germoplasma para su acondicionamiento y posterior proceso de conservación, de igual manera, se cuenta con el registro de los datos pasaporte (código de colecta, instituto colector, fecha, nombre común y nombre científico, ubicación política, coordenadas, estado de germoplasma, fuente de recolección, tipo de muestra, estado fenológico de la población, uso del material, fotografías, herbarios, topografía) en la base de datos ECUCOL del DENAREF (Fotografía 1).

Componente 3: Conservar semillas ortodoxas en cámara fría.

Conservación de semillas ortodoxas en cámaras frías

Durante el período de ejecución del proyecto se conservaron 16.942 accesiones de semillas ortodoxas en cámaras frías, superando la meta inicial establecida para 2024, de 16.880. Este resultado refleja el fortalecimiento de las capacidades operativas del Banco de Germoplasma y el cumplimiento de los estándares de conservación *ex situ*. Las accesiones fueron sometidas a diversas actividades técnicas, entre ellas 1.515 ensayos de viabilidad, 709 accesiones regeneradas, 567 accesiones consideradas prioritarias, 201 accesiones identificadas como históricas y 567 accesiones incluidas en inventarios completos, garantizando así un manejo integral del material conservado. Para el control de las condiciones de almacenamiento se empleó el software Sitrad Pro, que permite monitorear de manera continua la temperatura y humedad en las cámaras frías del banco base (-13,7°C) y del banco activo (-9,4°C). Adicionalmente, se implementaron registros de actas, protocolos de germinación y flujos de trabajo para garantizar la trazabilidad de los procesos, además de bitácoras para el control de equipos y recursos en el laboratorio, gestionando la actividad en laboratorio.

Monitoreo de la viabilidad de las accesiones conservadas

Se evaluaron 1.615 accesiones de 9 cultivos que se encuentran en conservación en cámaras frías; dicho monitoreo permite determinar que la mayoría de las accesiones presentan un porcentaje de germinación entre el 85% y el 90%. Se establecen ocho protocolos de germinación y se elabora un Procedimiento Operativo Estandarizado (POE).

Componente 4: Conservar in vitro las colecciones de semillas no ortodoxas.

Se actualizó la base de datos con 944 accesiones clasificadas en 6 especies, de las cuales 747 cuentan con código ECU y el resto se encuentra en procesos de custodia. Se continúa con la introducción y establecimiento in vitro de nuevas accesiones al banco de germoplasma con el objetivo de aumentar el stock y mejorar la representatividad genética de las colecciones conservadas en campo (**Fotografía 2**). Se estandarizaron medios de cultivo específicos para cada especie, lo que optimiza los procedimientos y mejora la eficiencia de conservación en cultivo de tejidos. Se desarrolló y aprobó el Procedimiento Operativo Estándar (POE) para cultivos in vitro, aprobado por el INIAP y el Crop Trust, lo que permite estandarizar todos los procesos del laboratorio, asegurando su calidad. Se cuenta con un diagrama de flujo para mejorar el monitoreo y mantenimiento de las colecciones, facilitando el seguimiento y control de las accesiones.

Componente 5: Conservar en condiciones de campo las colecciones que no se adaptan a cámara fría.

En las diferentes unidades del DENAREF ubicadas en las estaciones experimentales del INIAP se conservan alrededor de 8.000 accesiones ex situ, correspondientes a diversas especies agrícolas, frutales, forestales y medicinales. Las colecciones de mayor extensión y diversidad genética se encuentran en las estaciones Central Amazónica (**Fotografía 3**) y Tropical Pichilingue, que en conjunto representan el 48% del total, con un 24% cada una, reflejando su importancia estratégica en la conservación de recursos fitogenéticos del país. Entre las colecciones mantenidas en campo destacan aquellas de cacao, camote, achote, medicinales, musáceas, cítricos, aguacate, anonas, entre otras, las cuales poseen un valor agronómico, económico y cultural significativo. Una actividad de interés es la regeneración de las colecciones de cacao, que incluyen aproximadamente 1.800 accesiones originalmente establecidas desde la década de 1930. Estas colecciones, particularmente las conservadas en la Estación Experimental Tropical Pichilingue, presentan una amplia variabilidad genética de interés científico, agronómico y comercial, constituyéndose en un acervo fundamental para programas de investigación y mejoramiento genético. De igual manera, inició el rescate de la colección de cacao H-1, para lo cual se realizó el proceso de injertación y establecimiento en campo de 502 accesiones de cacao, fortaleciendo así la recuperación, mantenimiento y uso estratégico de este recurso fitogenético nacional.

Componente 6: Conservar a largo plazo por medio de crioconservación los duplicados de las colecciones que se encuentran en campo e in vitro.

Se identificó y estandarizó un protocolo eficiente para la crioconservación de maní (*Arachis hypogaea* L.), el cual se aplica actualmente en el Banco de Germoplasma del INIAP. El estudio demostró que una desecación de una hora en gel de sílice, seguida de una hora de crioprotección con la solución vitrificante PVS2, permite preservar exitosamente los ejes embrionarios, logrando la recuperación completa de plantas viables después del recalentamiento. Los resultados evidenciaron una alta tolerancia de los ejes embrionarios tanto a la desecación como a la exposición a PVS2, sin efectos negativos sobre las tasas de germinación en las combinaciones de tratamiento evaluadas. Sin embargo, se observó que tiempos prolongados de exposición a PVS2 provocan una reducción en las tasas de enraizamiento, lo que subraya la necesidad de controlar la toxicidad química del crioprotector. Asimismo, la longitud del brote fue identificada como una variable clave para evaluar los posibles efectos tóxicos del tratamiento. El estudio recomienda el uso de gel de sílice como método de desecación más confiable, en comparación con las campanas de flujo laminar, las cuales generan condiciones de secado variables. Finalmente, se plantea la necesidad de profundizar en el análisis de los efectos combinados de la desecación y la crioprotección, especialmente en genotipos que requieren un mayor contenido de humedad para su conservación.

Este avance técnico permite iniciar y consolidar una nueva estrategia de conservación a largo plazo para el germoplasma depositado en el Banco de Germoplasma del INIAP.

Componente 7: Regenerar y multiplicar colecciones que se encuentran en condiciones *ex situ* (campo y cámara fría).

Regeneración y multiplicación

Durante los tres años de ejecución del proyecto FIASA Banco de Germoplasma se logró la regeneración de un total de 782 accesiones correspondientes a cinco cultivos priorizados. Este proceso permitió incrementar la viabilidad de las colecciones, aumentar la disponibilidad de semilla y fortalecer el acceso al germoplasma para su uso en investigación, conservación y entrega a beneficiarios locales. Las colecciones regeneradas incluyen arveja (243 accesiones), maní (207 accesiones), frejol (203 accesiones), amaranto (90 accesiones) y papa silvestre (39 accesiones), evidenciando un avance significativo en la recuperación y mantenimiento de recursos fitogenéticos estratégicos. Estos resultados contribuyen directamente a asegurar la conservación a mediano y largo plazo de las colecciones, así como a su disponibilidad para programas de mejoramiento genético y producción agrícola sostenible.

Distribución de germoplasma

Durante el período 2022-2024, el Banco de Germoplasma del INIAP restituye material genético de 30 especies a agricultores de las regiones Sierra y Amazonía, beneficiando a 347 productores distribuidos en 10 provincias del Ecuador, a través de las Estaciones Experimentales Santa Catalina, Austro y Central Amazónica. La restitución incluyó raíces y tubérculos andinos como melloco, oca, zanahoria blanca, jícama, achira y papa; granos andinos como quinua; y una amplia diversidad de frutales y especies amazónicas, entre ellas cacao, café robusta, açai, chontaduro, jack fruit, tampoy, camu camu, guanábana, marañón, cítricos y otras especies forestales y frutales de importancia alimentaria y productiva. Paralelamente, se entregó germoplasma correspondiente a 16 especies para programas de investigación y mejoramiento genético del INIAP, incluyendo Protección Vegetal, el Laboratorio de Alimentos de la EECA, el Departamento de Nutrición y Calidad, el Proyecto Cñamo y el proyecto PUCE-SI, con especies como quinua, naranjilla, yuca, sachá inchi, oca, arracacha, plantas aromáticas, medicinales y Cannabis sativa. Estas acciones evidencian una articulación efectiva entre la conservación *ex situ*, la investigación científica y la transferencia de recursos fitogenéticos, fortaleciendo el uso sostenible de la agrobiodiversidad y su impacto directo en el sector productivo y académico del país.

Componente 8: Estudiar las características fenotípicas de la agrobiodiversidad presente en el banco de germoplasma.

Los resultados preliminares del proceso de caracterización evidencian una amplia variabilidad morfológica en 100 accesiones de la familia Musaceae, correspondientes a *Musa acuminata* Colla y *Musa × paradisiaca* L., particularmente en características agronómicas clave como la altura del pseudotallo, el número de frutos por racimo y el peso del racimo, lo que sugiere diferencias significativas en la capacidad productiva entre accesiones. El análisis de conglomerados, basado en la distancia de Gower, permitió agrupar las accesiones en cuatro grupos principales, reflejando patrones de similitud y diferenciación morfológica dentro de la colección, información relevante para la conservación, selección y uso en programas de mejoramiento genético. De manera complementaria, se inició la caracterización morfológica de 39 accesiones de guarango (*Tara spinosa* (Molina) Britton y Rose), especie forestal de interés económico por el contenido de ácidos tánico y gálico presentes en sus vainas.

Componente 9: Estudiar las características ecogeográficas de la agrobiodiversidad presente en el banco de germoplasma.

En el estudio de las características ecogeográficas de la agrobiodiversidad conservada en el Banco de Germoplasma del INIAP, se realizó la caracterización ecogeográfica de 1.063 accesiones de maíz de altura (*Zea mays* L.) y de 100 accesiones de la familia Musaceae, mientras que se encuentran en proceso de caracterización 127 accesiones de arveja (*Pisum sativum* L.), 211 accesiones de higuera (*Ricinus communis* L.) y 39 accesiones de una especie forestal nativa de Ecuador (*Tara spinosa* (Molina) Britton y Rose). En el caso del maíz de altura de la Sierra ecuatoriana, el análisis permitió identificar y delimitar categorías ecogeográficas diferenciadas, evidenciando la distribución ambiental de las accesiones conservadas y la representatividad de la colección. Como resultado de este estudio, se identificaron vacíos de colecta en zonas específicas de la Sierra Norte, particularmente en las provincias de Pichincha (cantones Quito y Pedro Moncayo), Imbabura (Cotacachi y Pimampiro) y Carchi (Bolívar y Montufar), información que constituye una base técnica clave para la planificación de futuras expediciones de recolección, el fortalecimiento de la representatividad genética del banco y la toma de decisiones estratégicas para la conservación in situ y ex situ de los recursos fitogenéticos del país.

Componente 10: Permitir un mayor almacenamiento de toda la información relacionada con la gestión del banco de germoplasma.

Se realizó un proceso de depuración, validación y migración de datos de las accesiones conservadas. Se depuró información pasaporte de un total de 20.000 accesiones de la base de datos ECUCOL, principalmente coordenadas geográficas, ubicación política, peso actual del material y constatación física del germoplasma. Como resultado de este proceso, se logró la migración de 27.536 accesiones al sistema Grin Global Community Edition (GGCE), incluyendo sus respectivos taxones y códigos institucionales INIAP-ECU, lo que representa un avance sustancial en la estandarización y seguridad de la información. De manera progresiva, en 2022 se depuraron 2.000 accesiones y se migraron 8.400, en 2023 se depuraron 2.410 y se migraron 9.000, y en 2024 se alcanzó un incremento significativo con 20.000 accesiones depuradas y 27.536 migradas, consolidando la base de datos institucional. Adicionalmente, se digitalizaron 708 fichas de herbario provenientes de diversas misiones de recolección de plantas.

5. Conclusiones

Se identificaron 52 cantones en la región andina para la conservación de cultivos de granos, raíces, tubérculos y frutales andinos, y 12 cantones en la región costa y Amazonía para cultivos tropicales, optimizando la estrategia de conservación ex situ.

Se recolectaron 107 accesiones de parientes silvestres de tomate riñón en cuatro provincias, las cuales están siendo acondicionadas y conservadas en el Banco de Germoplasma.

Se lograron 16.942 accesiones conservadas en cámaras frías, con una tasa de germinación destacada del 89% para amaranto y 90% para quinua, y la implementación de protocolos que aseguran la calidad de las semillas.

Se optimizaron protocolos de conservación para el mantenimiento de germoplasma in vitro, mejorando la gestión

de las colecciones y garantizando su viabilidad a largo plazo.

Se mantienen de forma efectiva 8.000 accesiones en campo, preservando especies clave para la biodiversidad y la seguridad alimentaria mediante un manejo integrado.

La estandarización del protocolo de crioconservación de maní asegura la conservación a largo plazo y sienta las bases para aplicar la técnica en otras especies de interés agrícola.

Se ha logrado la regeneración y multiplicación de cinco colecciones de germoplasma, además de la restitución de material genético a agricultores de Pichincha, Azuay y Orellana.

Se han evaluado 100 accesiones de la familia Musaceae, abarcando variables agronómicas y fitosanitarias, lo que garantiza la salud y la sostenibilidad de la colección.

La caracterización ecogeográfica del maíz de altura permitió identificar zonas de recolección suplementarias en las provincias de Imbabura, Pichincha y Carchi, mejorando la representatividad genética de la colección.

Se depuraron 20.000 accesiones en la base de datos ECUCOL, y se migraron 27.536 accesiones a GRIN GLOBAL, mejorando la accesibilidad y trazabilidad de los datos. Además, se digitalizaron 708 fichas de herbario, asegurando la conservación de la información histórica de las colecciones.

6. Referencias bibliográficas

De la Rosa, L. y Martín, I. (2016). Las colecciones de germoplasma de variedades tradicionales. Las variedades locales en la mejora genética de plantas. En J. I. Ruiz de Galarreta, J. Prohens, y R. Tierno (Eds.), *Las variedades locales en la mejora genética de plantas* (pp. 43-59). Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.

Engels, J. M. M. (2001). Complementary strategies for improved conservation and use of plant genetic resources. En J. M. M. Engels, R. Vodouhe, J. Thompson, A. Zannou, E. Hehne, y M. Grum (Eds.), *Towards sustainable national plant genetic resources programmes: Policy, planning and coordination issues. Proceedings of an international workshop, 10-18 May 2000, Zschortau, Germany* (pp. 69-77). IPGRI.

FAO. (1996). *Plan de acción mundial para la conservación y utilización sostenible de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Italia.

FAO. (2010). *The second report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture*. Commission of Genetic Resources and Agriculture. Rome, Italy.

Gepts, P. (1993). The use of molecular and biochemical markers in crop evolution studies. *Evolutionary Biology*, 27, 51-94.

Karp, A., Kresovich, S., Bhat, K. V., Ayad, W. G. y Hodgkin, T. (1997). *Molecular tools in plant genetic resources conservation: A guide to the technologies* (Boletín técnico No. 2). International Plant Genetic Resources Institute.

Monteros-Altamirano, A., Tacán, M., Peña, G., Tapia, C., Paredes, N. y Lima, L. (2018). *Guía para el manejo de los recursos fitogenéticos en Ecuador*. Protocolos (Publicación miscelánea No. 432).

Padulosi, S., Heywood, V., Hunter, D. y Jarvis, A. (2011). Underutilized species and climatic change: Current status and outlook. En S. S. Tadv, R. J. Redden, L. Hatfield, H. Lotze-Campen, y A. E. Hall (Eds.), *Crop adaptation to climatic change* (pp. 507–521). John Wiley y Sons, Ltd.

Parra Quijano, M., Iriondo, J. M., Torres, E. y De la Rosa, L. (2011). Evaluation and validation of ecogeographical core collections using phenotypic data. *Crop Science*, 51(2), 694–703. <https://doi.org/10.2135/cropsci2010.05.0273>.

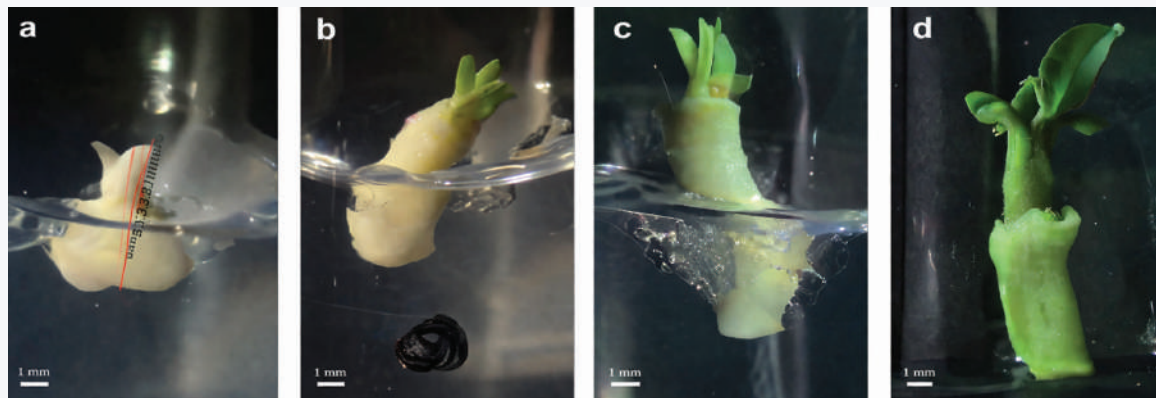
Tacán, M., Rosales, O., Naranjo, E., Tapia, C., Monteros-Altamirano, R., Roura, A., Sigcha, F., Ordoñez, E., Flores, A., Valverde, M., Lima, L., Suango, V. y Paredes, N. (2024). *Zonas para la conservación de 25 cultivos nativos en Ecuador* (2ª ed.).

Tapia, C., Bravo, A. y Larrea, C. (2015). Áreas de diversidad ecogeográfica en fincas donde crecen las variedades de un conjunto seleccionado de cultivos nativos estratégicos para la seguridad alimentaria. En C. Larrea, F. Cuesta, A. López, N. Greene, P. Iturralde, G. Maldonado, y D. Suárez-Duque (Eds.), *Propuesta de indicadores nacionales de biodiversidad: Una contribución para el sistema nacional de monitoreo del patrimonio natural y para la evaluación del impacto de la implementación de la Estrategia Nacional de Biodiversidad y su Plan de Acción 2011-2020* (pp. 142–145). MAE, CONDESAN, GIZ, PNUD-FMAM, UASB.

7. Galería fotográfica



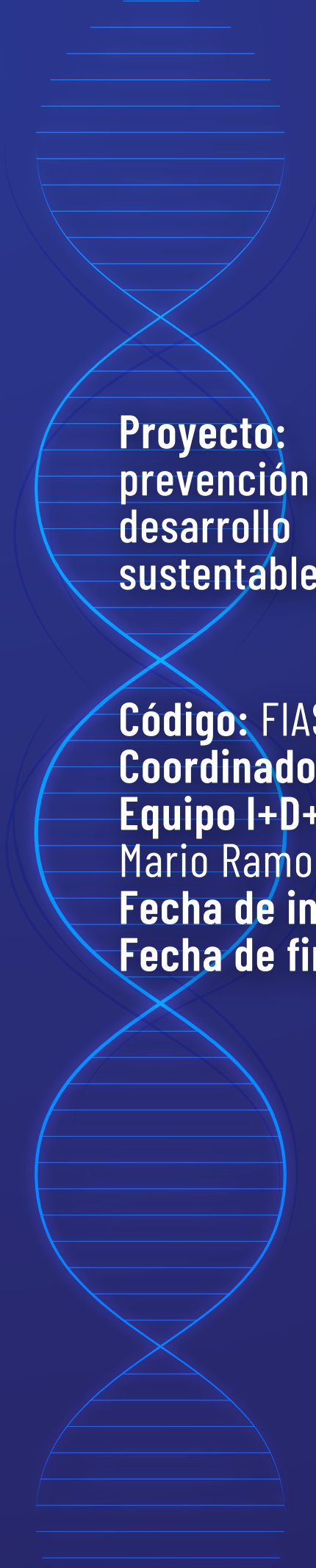
Fotografía 1. Proceso de colecta y montaje en muestra de herbario de especies silvestres emparentadas con el tomate riñón (2024).



Fotografía 2. Proceso de conservación in vitro las colecciones de semillas no ortodoxas (2024).



Fotografía 3. Procesos de conservación en campo en la EECA (2024).



Proyecto: Fomento de prácticas para la prevención y manejo integrado de plagas para el desarrollo de una agricultura sostenible, sustentable y eficiente.

Código: FIASA-DITT-2024-023

Coordinador: César García

Equipo I+D+i (INIAP): Mayra Merchán, Cristina Tello, Mario Ramos, Benny Avellán, José Camacho

Fecha de inicio: 08-05-2024

Fecha de finalización: 08-05-2027

Resumen

El proyecto se ejecuta con el objetivo de fortalecer la sostenibilidad de los sistemas agrícolas mediante la aplicación de alternativas tecnológicas basadas en el Manejo Integrado de Plagas (MIP), reduciendo la dependencia del uso de plaguicidas químicos y sus impactos negativos en la salud humana y el ambiente. La intervención se estructuró en tres componentes. El primero se orienta al fortalecimiento de capacidades técnicas y metodológicas de técnicos, extensionistas y promotores agrícolas vinculados a los servicios de asistencia técnica y extensión rural, mediante procesos participativos de capacitación y transferencia tecnológica.

El segundo componente se enfoca en la producción de alternativas para el control biológico de plagas, a partir de la identificación, aislamiento, caracterización y evaluación de cepas de microorganismos con potencial biocontrolador. Las cepas seleccionadas demostraron eficacia bajo condiciones de laboratorio e invernadero y se continuará con la validación en campo. El tercer componente aborda la difusión y comunicación de las alternativas tecnológicas, mediante materiales divulgativos (manuales, guías técnicas e infografías) y la ejecución de eventos presenciales como días de campo y ferias tecnológicas, que facilitaron la socialización de resultados y el intercambio de experiencias entre productores, técnicos e instituciones aliadas. En conjunto, el proyecto contribuye al fortalecimiento de capacidades institucionales y locales, a la generación y difusión de tecnologías MIP y a la promoción de sistemas agrícolas más sostenibles, resilientes y eficientes en las zonas de intervención del INIAP.

1. Introducción

Desde la síntesis de los primeros plaguicidas orgánicos, iniciada con el DDT tras la Segunda Guerra Mundial, el uso de estos insumos se generalizó ampliamente en la agricultura. Su adopción se debió principalmente a que, en el corto plazo, reducen los daños ocasionados por las plagas y representan un método sencillo de aplicación para los agricultores, generando beneficios económicos inmediatos (Pérez, 2000). No obstante, pese a su uso extendido, las pérdidas agrícolas continúan siendo significativas. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estima que las plagas destruyen hasta el 40 % de la producción mundial de cultivos, mientras que las enfermedades vegetales generan pérdidas superiores a los 220.000 millones de dólares anuales, y los insectos invasores ocasionan daños adicionales por al menos 70.000 millones de dólares (NACIONES UNIDAS, 2021).

El incremento y la aparición de nuevas plagas constituyen un problema creciente, asociado a múltiples efectos negativos derivados del uso intensivo de plaguicidas químicos. Entre estos se incluyen el desarrollo de resistencia, la presencia de residuos tóxicos, el resurgimiento de plagas principales, el aumento de plagas secundarias, la destrucción de enemigos naturales, la contaminación ambiental, el incremento de costos de producción y los llamados efectos promotores, como la hormoligosis y la trofobiosis, que favorecen la reproducción de las plagas y aumentan la susceptibilidad de las plantas (Badii et al., 2007; Badii y Garza-Almanza, 2015).

Frente a este escenario, el Manejo Integrado de Plagas (MIP) surge como una estrategia orientada a la prevención y al uso racional de métodos de control, priorizando alternativas más seguras y reduciendo la dependencia de insumos químicos agresivos. No obstante, su implementación enfrenta importantes desafíos, como la desarticulación institucional, la dependencia de pesticidas, enfoques limitados de transferencia tecnológica, una visión reducida del productor dentro del agroecosistema y evaluaciones centradas únicamente en indicadores económicos, cuando el MIP implica también un cambio de actitud.

En este contexto, el proyecto plantea como objetivo general contribuir a que los productores de la Agricultura Familiar Campesina obtengan una producción más segura e inocua mediante la aplicación de alternativas tecnológicas basadas en el MIP. Dado que el MIP es un sistema flexible que debe adaptarse a las condiciones locales, no puede concebirse como un modelo genérico, sino como un conjunto de opciones que requiere fortalecer capacidades en distintos niveles para responder a contextos específicos.

El proyecto se estructura en objetivos específicos orientados a desarrollar alternativas tecnológicas para el MIP, producir opciones de control biológico y difundir tecnologías apropiadas. Su implementación se concibe como un proceso participativo de capacitación y aprendizaje, basado en la observación sistemática del cultivo y el razonamiento ecológico. En una primera fase se realizó un mapeo de actores y la identificación de demandas de conocimiento; posteriormente, mediante un enfoque de Capacitación a Capacitadores, se fortalecieron las capacidades técnicas y metodológicas de extensionistas y líderes agrícolas.

2. Objetivos

El Objetivo General es fomentar la agricultura sustentable y sostenible mediante la aplicación de alternativas tecnológicas para el manejo integrado de plagas. Los objetivos específicos son: (1) Desarrollar alternativas tecnológicas sustentables para el Manejo Integrado de Plagas, (2) Producir alternativas para el control biológico de plagas, (3) Difundir y comunicar las alternativas tecnológicas apropiadas para el Manejo Integrado de Plagas.

3. Metodología

Componente 1: Desarrollar alternativas tecnológicas sustentables para el Manejo Integrado de Plagas.

Este componente fue desarrollado mediante un proceso participativo de capacitación en Manejo Integrado de Plagas (MIP), integrando saberes locales y conocimientos técnicos a través de la observación y el análisis ecológico del cultivo. Se realizó un mapeo de actores para definir alianzas, zonas de intervención y necesidades de formación. Luego se implementó una capacitación de capacitadores (CdC) para fortalecer competencias técnicas y metodológicas en MIP. Se aplicaron metodologías activas como Escuelas de Campo (ECAs), adaptadas a cada territorio. Además, se impartirán capacitaciones sobre producción y uso de controladores biológicos, apoyadas con materiales didácticos para facilitar su aplicación y réplica.

Componente 2: Producir alternativas para el control biológico de plagas.

El componente dos busca fortalecer las capacidades locales para producir agentes de control biológico que apoyen el Manejo Integrado de Plagas (MIP), promoviendo alternativas sostenibles y de bajo impacto ambiental. El proceso inició con la identificación, aislamiento y caracterización de microorganismos con potencial bioinsecticida obtenidos en las zonas de intervención. Su eficacia se evaluó en invernadero, analizando patogenicidad, especificidad, estabilidad y viabilidad. Las cepas más prometedoras serán validadas en campo mediante ensayos participativos con técnicos y productores, integrando conocimiento empírico y evidencia científica. Este componente generó soluciones prácticas, científicamente respaldadas y adaptadas al contexto local, fortaleciendo la transición hacia una agricultura sostenible y resiliente.

Componente 3: Difundir y comunicar las alternativas tecnológicas apropiadas para el Manejo Integrado de Plagas.

Este componente tiene el fin de facilitar su adopción por productores y técnicos. Incluye la reproducción de documentos técnicos y la elaboración de nuevos materiales divulgativos en formatos accesibles, tanto impresos como digitales. La estrategia se fortaleció mediante eventos presenciales como días de campo y ferias tecnológicas, donde se demostraron las innovaciones y se promovió el intercambio de experiencias. Al finalizar, se realizó un simposio técnico para socializar resultados y buenas prácticas. Todas las acciones se guiaron por un plan estratégico de comunicación inclusivo y coherente con los distintos públicos objetivo.

4. Resultados (Avances)

Componente 1: Desarrollo de alternativas tecnológicas sustentables para el MIP.

En el marco de este componente, se ha capacitado a más de 60 personas, entre técnicos y promotores agrícolas, para lo cual se gestionaron y formalizaron acuerdos de cooperación interinstitucional con actores estratégicos, entre ellos el GAD Provincial de Manabí, el Pueblo Montubio del Ecuador, los GAD Municipales de La Concordia y Valle Hermoso, el GAD Provincial de Santo Domingo, el Centro Agrícola de Atacames, la Cooperativa Cosecha Dorada y el GAD Parroquial de Quisapincha. Estos convenios permitieron articular esfuerzos institucionales para la ejecución de procesos de capacitación y transferencia tecnológica en Manejo Integrado de Plagas.

A partir de estas alianzas, se diseñaron e implementaron planes de capacitación diferenciados para cada zona de intervención, ajustados a las particularidades territoriales y al perfil de los participantes. En este contexto, cada zona adaptó su proceso formativo de la siguiente manera: Zona 1: dirigida principalmente a técnicos del GAD Provincial de Manabí; Zona 2: dirigida a técnicos de los GAD y promotores agrícolas organizaciones, de Esmeraldas y Santo Domingo de los Tsáchilas y Zona 3: orientada a promotores agrícolas, principalmente agricultores líderes de la zona de Quisapincha.

De manera complementaria, se ejecutó el Diagnóstico de insectos plaga asociados a cultivos de importancia económica, el cual comprendió actividades de muestreo en campo, colecta e identificación taxonómica de insectos plaga. Actualmente, las colectas realizadas se encuentran en proceso de examinación. En el ámbito del Fortalecimiento de Capacidades Técnicas para investigadores y técnicos del INIAP, se desarrollaron dos actividades estratégicas: la certificación en competencias laborales y una visita técnica especializada.

En relación con las Competencias Laborales, se capacitó a 20 técnicos del INIAP, quienes obtuvieron la certificación en Facilitación de Actividades de Capacitación, otorgada por el Ministerio del Trabajo (MDT). Este logro contribuye al fortalecimiento de las capacidades institucionales en metodologías de capacitación, consideradas clave para los procesos de transferencia tecnológica dirigidos a productores y actores del sector agropecuario.

Adicionalmente, 10 técnicos del INIAP participaron en una visita técnica al Laboratorio de Bioprocesos de la Escuela Politécnica Nacional (EPN). Esta actividad constituyó una primera experiencia formativa en el uso y manejo de biorreactores, fortaleciendo las competencias técnicas del personal en un tema estratégico para el escalamiento de bioproductos aplicados al Manejo Integrado de Plagas (MIP).

Componente 2: Producción de alternativas para el control biológico de plagas.

Se desarrollaron actividades orientadas a la identificación, aislamiento y caracterización de cepas de microorganismos con potencial para el control biológico de plagas. Este proceso constituye la base técnica para la validación de su efectividad en condiciones controladas de laboratorio e invernadero y, posteriormente, en campo, con el objetivo de desarrollar productos biológicos aplicables en sistemas agrícolas sustentables.

Como resultado del proceso técnico de prospección, aislamiento, identificación y evaluación de patogenicidad, se seleccionaron cepas con alto potencial biocontrolador pertenecientes a los géneros *Beauveria* y *Metarhizium*, cumpliendo con el objetivo de identificar al menos una cepa candidata para el manejo de *Bactericera cockerelli*.

La prospección realizada en cinco provincias de la sierra ecuatoriana permitió la obtención de aproximadamente 70 muestras de suelo agrícola, a partir de las cuales se aislaron y caracterizaron alrededor de 40 cepas de hongos con potencial entomopatógeno, evidenciando la riqueza microbiana nativa presente en estos agroecosistemas.

El uso del método de trampas con *Galleria mellonella* demostró ser eficiente para la detección de hongos entomopatógenos, permitiendo la obtención de cultivos puros y la identificación morfológica de las cepas mediante el uso de claves taxonómicas.

El screening de patogenicidad realizado en *Galleria mellonella* y *Tenebrio molitor* permitió seleccionar cuatro cepas de alto potencial biocontrolador: dos correspondientes a *Beauveria* spp. (3CH, Lote C) y dos a *Metarhizium* spp. (MC17, HB).

Las pruebas de eficacia bajo condiciones de laboratorio evidenciaron que las cepas seleccionadas provocaron mortalidades significativas en ninfas de *Bactericera cockerelli*, observándose una relación directa entre el incremento de la concentración del inóculo y el porcentaje de mortalidad alcanzado. Mediante el análisis Probit, se estimó la dosis letal media (DL50), lo que permitió confirmar el alto potencial de las cepas seleccionadas como agentes de control biológico efectivos para el manejo de *B. cockerelli*.

La evaluación en condiciones de invernadero permitió determinar que los bioformulados a base de hongos entomopatógenos presentan niveles diferenciados de eficacia en el control de *Bactericera cockerelli*, destacándose *Beauveria* spp. como la cepa con mayor capacidad patógena, al alcanzar hasta un 60% de mortalidad.

Las formulaciones desarrolladas con base en las cepas en estudio fueron sometidas a pruebas microbiológicas (viabilidad, concentración, pureza) y fisicoquímicas (pH, humedad, actividad de agua), cumpliendo con los parámetros establecidos en el Manual de análisis de calidad para formulaciones con base a hongos biocontroladores. Esto garantiza la viabilidad y calidad del producto para su utilización en los procesos de validación, capacitación y difusión del Manejo Integrado de Plagas (MIP).

Componente 3: Difusión y comunicación de alternativas tecnológicas.

Se ha diseñado y elaborado materiales comunicacionales, tales como infografías técnicas orientadas a facilitar la comprensión y apropiación de las prácticas recomendadas por parte de los productores. Estos insumos serán utilizados como herramientas de apoyo en los eventos de difusión, entre los que se incluyen días de campo, ferias tecnológicas y, como actividad de cierre del proyecto, un simposio especializado, destinado a socializar los principales resultados y lecciones aprendidas. Las infografías técnicas correspondientes a los cultivos de cacao y papa se encuentran en proceso de elaboración. Durante el período de reporte, se realizaron las primeras revisiones de contenido técnico para ambos cultivos y, actualmente, se están incorporando las observaciones y correcciones respectivas, con el fin de avanzar hacia la versión final de estos materiales.

Ejecución de eventos para la difusión de alternativas tecnológicas y experiencias del proceso formativo

Como parte de las acciones de difusión y transferencia tecnológica, se ejecutaron cinco (5) días de campo, orientados a socializar las alternativas tecnológicas desarrolladas y las experiencias generadas durante el proceso de formación en Manejo Integrado de Plagas (MIP).

Eventos realizados:

- Tecnologías para el manejo agronómico y nutricional en cacao – La Manga del Cura (Manabí)

Lugar: Comunidad Santa María, cantón El Carmen.

Resultado: Participaron 81 asistentes, quienes fortalecieron sus conocimientos en manejo agronómico, nutrición del cultivo, elaboración de bioinsumos y propagación de plantas en cámaras oscuras. Se consolidó la articulación interinstitucional con el GAD Provincial de Manabí, gobiernos locales y asociaciones de productores.

- Artrópodos y polinizadores en cacao – Granja La Teodomira (Manabí)

Lugar: Lodana, cantón Santa Ana.

Resultado: Se registró la participación de 336 asistentes, quienes recorrieron estaciones técnicas sobre reconocimiento de plagas, importancia de los polinizadores y uso de productos biorracionales. El evento generó un alto nivel de interés y fortaleció la cooperación entre INIAP, GIZ, ESPAM, GAD Provincial de Manabí y actores del sector privado.

- Manejo agronómico y nutricional en cacao – Valle Hermoso (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Lugar: Finca Vargas, recinto Chiguilpe.

Resultado: 108 participantes recibieron capacitación en manejo de suelos, injertación, podas, elaboración de bioinsumos y procesamiento de cacao, fortaleciendo el trabajo conjunto con gobiernos locales y organizaciones productivas.

- Manejo agronómico y nutricional en cacao Atacames (Esmeraldas)

Lugar: Finca 4 Hermanos, parroquia Sálma.

Resultado: 126 participantes fortalecieron sus capacidades en manejo de suelos, injertación, manejo agronómico del cultivo, uso de bioinsumos y elaboración de derivados del cacao. El evento tuvo una alta aceptación y promovió el intercambio de experiencias entre productores y promotores agrícolas.

- Tecnologías para el manejo agronómico del cultivo de papa – Quisapincha (Tungurahua)

Lugar: Comunidad Pucará Grande.

Resultado: 112 productores y técnicos conocieron tecnologías relacionadas con el MIP en papa, uso de microorganismos benéficos, trampas para plagas y producción de semilla de calidad. Los productores previamente capacitados participaron como expositores, fortaleciendo el enfoque de aprendizaje práctico y horizontal.

5. Conclusiones

El proyecto fortaleció de manera efectiva las capacidades técnicas y metodológicas de 30 técnicos de más de 60 extensionistas y promotores agrícolas, consolidando un enfoque participativo de transferencia de tecnología en Manejo Integrado de Plagas (MIP), que facilita la adopción de prácticas sostenibles por parte de productores de la Agricultura Familiar Campesina.

Los resultados del componente de control biológico permitieron identificar y validar cepas de alto potencial biocontrolador de los géneros *Beauveria* y *Metarhizium*, las cuales demostraron eficacia bajo condiciones de laboratorio e invernadero y cumplen con parámetros de calidad que respaldan su uso como alternativas tecnológicas dentro del MIP.

La estrategia de difusión y comunicación implementada, mediante eventos presenciales como días de campo, contribuyó a ampliar el alcance del proyecto, fortalecer la apropiación de las tecnologías promovidas y facilitar el intercambio de conocimientos para 763 participantes entre productores, técnicos e instituciones aliadas.

6. Referencias bibliográficas

Badii, M. y Garza-Almanza, V. (2015). *Resistencia en Insectos, Plantas y Microorganismos*. Cultura Científica Y Tecnológica. <https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/460>

Badii, M., Landeros, J. y Cerna, E. (2007). *Manejo Sustentable de Plagas o Manejo Integral de Plagas: Un apoyo al desarrollo sustentable*. www.uacj.mx/iit/CULCYT/

Naciones Unidas (2021). *El cambio climático aumentará el riesgo de propagación de plagas, que ya destruyen un 40% de la producción de cultivos*. <https://news.un.org/es/story/2021/06/1492762>

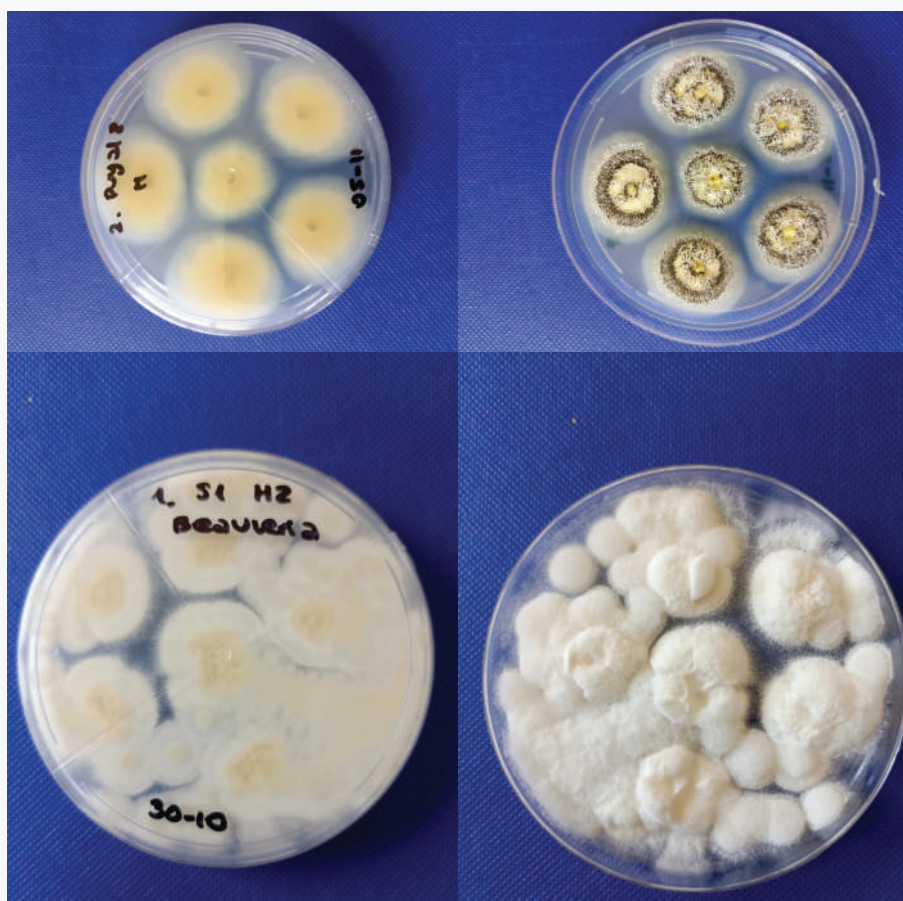
Hidalgo, D. y Tello, C. (2022). *Manual para la producción de hongos entomopatógenos y análisis de calidad de bioformulados*.

Pérez, I. (2000). *Fundamentos teóricos del manejo integrado de plagas*. La Rioja.

7. Galería fotográfica



Fotografía 1. Procesos de capacitaciones: Izq.) Santo Domingo; Der.) Tungurahua (2025).



Fotografía 2. Cultivo de cepas (2025).



Fotografía 3. Producción de bioformulados (2025).



Fotografía 4. Días de campo (2025).



Proyecto: Desarrollo agrícola sostenible en la Amazonía ecuatoriana: manejo integral de plagas y enfermedades en pitahaya, maracuyá y pastos tropicales.

Código: FIASA-EECA-2024-024

Coordinador: Ing. Jessica Sanmiguel

Equipo I+D+i (INIAP): Elena Abad, Josue Bustillos, Jenny Calderon, Gabriela Quezada, Carlos Congo, Jimmy Pico, Yadira Vargas

Fecha de inicio: 08-05-2024

Fecha de finalización: 08-05-2027

Resumen

Los cultivos de pitahaya, maracuyá y los pastos tropicales son pilares productivos de la Amazonía ecuatoriana, pero enfrentan serios problemas fitosanitarios asociados a hongos patógenos, nematodos y plagas como *Rhipicephalus* spp., que afectan su rendimiento y sostenibilidad. La prevalencia de enfermedades como *Alternaria* sp. Nees en pitahaya, *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* Schlecht en maracuyá y la infestación de garrapatas en pastizales ha impulsado el uso intensivo de agroquímicos, generando riesgos ambientales y de salud. En este contexto, el proyecto buscó desarrollar tecnologías y prácticas de manejo integrado que contribuyan a sistemas productivos más sostenibles en la Amazonía ecuatoriana. El estudio evaluó alternativas biológicas, botánicas y culturales en dos componentes. En el Componente 1 se trabajó con biocontroladores (*Trichoderma*, *Bacillus* y *Beauveria*), extractos vegetales con acción nematicida y acaricida, portainjertos de pasifloras frente a patógenos claves, y el monitoreo poblacional de *Rhipicephalus* spp. Koch mediante el método de arrastre de bandera. En el Componente 2 se evaluaron sistemas de manejo integrado en pitahaya mediante estudios de nutrición, métodos físicos de control (polisombra, enfundado), análisis de nematodos en plantas injertadas y sin injertar, y sistemas agroforestales que potencian la biodiversidad y la salud del suelo. Los resultados evidenciaron que la rotación de *Trichoderma* y *Bacillus* redujo significativamente la incidencia de *Alternaria*, mientras que extractos botánicos como *Urtica* sp. y *Dysphania ambrosioides* destacaron por su control de *Meloidogyne incognita*. En pastos, los extractos de Sacha Ajo y Matico lograron más del 60% de mortalidad en huevos de garrapatas, y la combinación de aislados EECA + “Agresiva” de *Beauveria* fue la más eficaz. En pitahaya, la polisombra demostró alta efectividad contra *Alternaria*, y los sistemas agroforestales mejoraron la productividad, el microclima y la salud del suelo.

1. Introducción

Los cultivos de pitahaya, maracuyá y los pastos tropicales son fundamentales para la economía agrícola de la región amazónica del Ecuador. Los cuales enfrentan importantes desafíos fitosanitarios que afectan su productividad, calidad y sostenibilidad. En el caso de la pitahaya, enfermedades causadas por hongos fitopatógenos como *Geotrichum* sp. Link, *Fusarium* sp, *Alternaria* sp, *Rhizopus* sp. Ehrenb y *Aspergillus* sp. *P. Micheli* han sido ampliamente reportadas, siendo *Alternaria* sp. uno de los agentes más agresivos, provocando hasta un 80% de daño bajo condiciones de manejo inadecuado. Además, el cultivo es afectado por nematodos fitoparásitos, principalmente del género *Meloidogyne* sp., cuya presencia en raíces reduce considerablemente la absorción de agua y nutrientes, generando síntomas de estrés en las plantas y reduciendo los rendimientos (Ramos, 2021).

La situación en el cultivo de maracuyá no es menos preocupante, ya que enfrenta enfermedades como la fusariosis causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *Passiflorae* Schlecht, así como plagas como la mosca del ovario (*Dasiops* sp.) y diversos nematodos que afectan su ciclo productivo (Hernández et al., 2011). Estas problemáticas han obligado al uso de agroquímicos altamente tóxicos como organofosforados y carbamatos, generando riesgos ambientales y de salud pública, por lo que se vuelve urgente la búsqueda de alternativas sostenibles como el uso de portainjertos resistentes y especies tolerantes (Vargas, 2023).

Paralelamente, los pastos tropicales son la base de la producción ganadera amazónica, se ven amenazados por la infestación de garrapatas del género *Rhipicephalus* sp., vectores de enfermedades que comprometen la salud y el rendimiento del ganado. En este contexto, se han implementado estrategias de manejo integrado, incluyendo el uso de hongos entomopatógenos como *Beauveria* sp. y extractos vegetales con acción acaricida, con el fin de reducir

las poblaciones de garrapatas de manera sostenible (Quezada et al., 2022).

Frente a este panorama se vuelve indispensable el desarrollo de tecnologías integradas para el manejo de plagas y enfermedades en estos sistemas productivos. La investigación que aquí se presenta busca generar soluciones efectivas que permitan mejorar la sanidad vegetal y animal en la región amazónica ecuatoriana, contribuyendo así a una agricultura más sostenible, segura y resiliente.

2. Objetivos

El objetivo general del proyecto es optimizar la salud de los cultivos, aumentar la producción y garantizar la viabilidad a largo plazo de la agricultura en la Amazonía ecuatoriana. Y los objetivos específicos son (1) Desarrollar alternativas tecnológicas para el manejo integrado de plagas y enfermedades en cultivos de Pitahaya, Maracuyá y Pastos tropicales, (2) Manejo integrado de plagas y enfermedades, que combine métodos biológicos, químicos y culturales de manera equilibrada y sostenible y (3) Capacitar en alternativas de manejo integrado del cultivo de pitahaya, maracuyá y pastos tropicales.

3. Metodología

Componente 1: Desarrollar alternativas tecnológicas para el manejo integrado de plagas y enfermedades en cultivos de Pitahaya, Maracuyá y Pastos tropicales.

Se ejecutaron evaluaciones de biocontroladores (*Trichoderma* y *Bacillus*) contra *Alternaria* en campo y extractos botánicos contra *Meloidogyne* en invernadero, utilizando diseños de bloques completos al azar. Paralelamente, se evaluaron portainjertos de pasifloras frente a *Fusarium* y *Meloidogyne* en tres fases (resistencia y tolerancia en invernadero, compatibilidad y sanidad y productividad). La dinámica poblacional de *Rhipicephalus* sp. se estudió mediante el método de arrastre de bandera en pastizales georreferenciados, y se evaluaron alternativas botánicas y aislados entomopatógenos (*Beauveria* sp.) bajo condiciones de laboratorio, invernadero y campo para determinar su eficacia en el manejo integrado de plagas y enfermedades.

Componente 2: Manejo integrado de plagas y enfermedades, que combina métodos biológicos, químicos y culturales de manera equilibrada y sostenible.

Se evaluaron prácticas de manejo integrado en pitahaya mediante estudios en cobertizo, campo e invernadero. Se analizó la relación entre nutrición y presencia de plagas usando un diseño factorial bajo polisombra. Se compararon métodos físicos (polisombra, enfundado y cultivo convencional) para el control de *Alternaria* sp.; y se evaluó la población de nematodos presentes en plantas injertas y a pie franco para el manejo de nematodos, mediante muestreos periódicos de raíces y suelo, determinación de incidencia, severidad y tasa de multiplicación, así como medición de rendimiento por planta y su extrapolación por hectárea.

4. Resultados (Avances)

Componente 1: Desarrollar alternativas tecnológicas para el manejo integrado de plagas y enfermedades en cultivos de Pitahaya, Maracuyá y Pastos tropicales.

Las evaluaciones de biocontrol en pitahaya mostraron que el tratamiento rotativo de *Trichoderma* y *Bacillus* ofreció la menor incidencia y severidad de *Alternaria* sp. tanto en brotes como en frutos, evidenciando su mayor eficacia frente a los tratamientos individuales. En invernadero, los extractos botánicos demostraron potencial para el manejo de *Meloidogyne incognita*, destacándose *Urtica* sp. y *Dysphania ambrosioides* por su capacidad para reducir las poblaciones de nematodos en suelo y raíces y mejorar el desarrollo de las plantas. En maracuyá, se ha completado el 50% de la evaluación y se han evidenciado tres materiales con buena compatibilidad, con un alto porcentaje de brotes exitosos. En campo, se han establecido plantas injertadas con maracuyá amarillo y los portainjertos seleccionados. Actualmente, se evalúa su adaptación, crecimiento y estado sanitario. En pastos tropicales, el monitoreo de *Rhipicephalus* spp. evidenció picos poblacionales asociados a la temporada lluviosa, información clave para ajustar estrategias de control. Los extractos botánicos de Sacha Ajo y Matico hoja lograron más del 60% de mortalidad en huevos, posicionándose como alternativas promisorias para el manejo biológico de garrapatas. Finalmente, en condiciones de campo, los aislados entomopatógenos, en especial la combinación EECA + “Agresiva”, mostraron la mayor eficacia para reducir poblaciones de *Rhipicephalus* spp., manteniendo el control incluso en períodos de mayor presión de plaga.

Componente 2: Manejo integrado de plagas y enfermedades, que combine métodos biológicos, químicos y culturales de manera equilibrada y sostenible.

La evaluación nutricional mostró que la pitahaya injerta presentó los mayores contenidos totales y foliares de fósforo, potasio, calcio y azufre, confirmando su mayor capacidad de absorción y acumulación de nutrientes, mientras que la pitahaya roja registró los valores más bajos. En cuanto al efecto de la nutrición sobre plagas, se observaron diferencias en la incidencia y severidad asociadas al estado nutrimental de las plantas.

De manera complementaria, la evaluación de métodos físicos evidenció que el uso de polisombra fue la alternativa más efectiva para reducir la incidencia y severidad de *Alternaria* sp. en brotes y frutos, manteniéndolos prácticamente libres de infección en comparación con el enfundado y el cultivo convencional.

La evaluación de portainjertos mostró que los sistemas agroforestales generaron condiciones más favorables para el desarrollo fisiológico del cultivo, reflejado en mayores índices de clorofila, mejor microclima y menor presión de plagas. Asimismo, la dinámica biológica del suelo mejoró notablemente bajo sistemas con Gliricidia, que registraron la mayor abundancia de lombrices en todas las épocas evaluadas, evidenciando beneficios en la salud del suelo.

5. Acciones futuras

Se prevé completar la evaluación de los aislados de *Trichoderma* y *Bacillus* mediante una segunda evaluación de ensayos en campo que permita validar la repetibilidad de los resultados frente a *Alternaria* sp. en condiciones climáticas variables. Asimismo, se plantea ampliar la validación de extractos botánicos nematocidas replicando los ensayos en diferentes invernaderos y ajustando concentraciones y momentos de aplicación para optimizar el control de *Meloidogyne incognita*.

Finalizar las tres fases del estudio de portainjertos mediante el seguimiento completo del comportamiento agronómico y sanitario de las plantas injertadas hasta su fase productiva, con el fin de seleccionar el material más resistente a *Fusarium* y nematodos. En paralelo, se propone fortalecer el monitoreo poblacional de *Rhipicephalus* sp. integrando registros climáticos en tiempo real, lo que permitirá modelar con mayor precisión la influencia de temperatura y humedad sobre los picos de infestación en pastizales amazónicos.

Completar la evaluación nutricional de la pitahaya bajo diferentes estados fenológicos, con el propósito de identificar la relación entre el estatus nutricional de la planta y la incidencia de plagas bajo condiciones de polisombra. De igual manera, se prevé profundizar en la caracterización del método físico mediante el registro de variables microclimáticas que expliquen la reducción efectiva de *Alternaria* sp. bajo sombra parcial.

Respecto al manejo con portainjertos, se plantea continuar el monitoreo de poblaciones de nematodos, vigor, sanidad y rendimiento de plantas injertadas y a pie franco durante una campaña adicional, lo que permitirá consolidar recomendaciones técnicas para su adopción en campo.

Finalmente, se recomienda integrar análisis edafológicos y microbiológicos en las parcelas agroforestales para evaluar indicadores de salud del suelo y su relación con la productividad del cultivo. A su vez, se plantea la implementación de parcelas demostrativas en Palora, Orellana y Domono, con el fin de facilitar la transferencia de tecnologías como injertos, polisombra, extractos botánicos, biocontroladores y manejo nutricional a los productores de la región.

6. Referencias bibliográficas

Hernández, L. M., Castillo, F., Ocampo, J. y Wyckhuys, K. A. G. (2011). *Guía de identificación de plagas y enfermedades para la Maracuyá, la Gulupa y la Granadilla*. Editorial Tadeo Lozano. <https://doi.org/10.2307/j.ctv2175pft>

Quezada, L. Quezada, N. (2022). *Efectividad de Beauveria spp. como controlador biológico de garrapatas Rhipicephalus spp. en ganado bovino en la provincia de Orellana*. [Trabajo de integración curricular, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

Ramos, L. y Espitia, D. (2021). *Infecciones micóticas asociadas a la atención en salud*. [Trabajo de titulación, Universidad de Córdoba].

Vargas, J. (2023). *Propagación asexual de pitahaya (Hylocereus undatus) por medio hidropónico de raíces flotantes con dos enraizantes en la provincia de Camaná, departamento de Arequipa*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María].

7. Galería fotográfica



Fotografía 1. Evaluación de aislados del género *Trichoderma* y *Bacillus* con capacidad de biocontrol a principales plagas de pitahaya (*Alternaria* spp.) en condiciones de campo, Palora (2024).



Fotografía 2. Alternativa de control botánico para el control de *Rhipicephalus* spp (2024).



Fotografía 3. Evaluación nutricional en relación a la incidencia de los principales insectos plaga en el cultivo de Pitahaya, sistema de producción con enfundado (2024).



Fotografía 4. Evaluación de portainjertos para el control de nematodos en el cultivo de pitahaya (2024).



Proyecto: Rescate y selección de especies cultivadas de cacao de almendra blanca en fincas de productores de la provincia Zamora Chinchipe, centro de origen, con fines de conservación y mejoramiento genético.

Código: FIASA-EELS-2024-025

Coordinador: Xavier Mancero Troya

Equipo I+D+i (INIAP): Xavier Mancero, James Quiroz, Nathalia Parada, Daniel Fernando Navia Santillán, Luis Peñaherrera, Lenín Paz, Elisa Quiala, Iván Samaniego, Luis Morillo, Geover Peña, Gladys Viteri, Saúl Mestanza, Edgar Orellana, Sofía Gorotiza, Carlos Cedeño, Carlos Bermeo y Evelyn Sánchez.

Fecha de inicio: 09-05-2024

Fecha de finalización: 09-05-2027

Resumen

Las plantaciones tradicionales de cacao presentan una mezcla amplia de progenies híbridas con alta variabilidad genética, lo que ha reducido las poblaciones de árboles nativos de almendra blanca. Esta disminución preocupa a agricultores y a la industria chocolatera debido al valor histórico, organoléptico y comercial de este material. El proyecto se orienta a rescatar, seleccionar y conservar cacao de almendra blanca presente en fincas de productores, particularmente material originario de Zamora Chinchipe, reconocido internacionalmente por su calidad. Las actividades se desarrollan en los cantones Palanda, Zamora Chinchipe y Centinela del Cóndor, y en la Estación Experimental Litoral Sur del INIAP, en Guayas. El estudio se estructura en cinco fases que incluyen identificación, marcación, georreferenciación, colecta y multiplicación de árboles seleccionados, así como su caracterización morfológica, sensorial, bioquímica y genética. Se realizarán colectas de materiales amazónicos y los individuos seleccionados serán propagados para instalar cuatro colecciones: una en la Estación Experimental Litoral Sur y tres en Zamora Chinchipe. Estas colecciones constituirán la base para estrategias de conservación y programas de mejoramiento in situ orientados a identificar materiales con atributos equivalentes al cacao original de la zona. La caracterización morfológica, molecular, bioquímica y organoléptica permitirá identificar árboles élite de almendra blanca con potencial para conservación y mejoramiento. Tras evaluar rendimiento, tolerancia a enfermedades y calidad sensorial, se seleccionarán materiales aptos para renovar huertas improductivas mediante cambio de copa y sistemas agroforestales, evitando expandir la frontera agrícola y contribuyendo a mejorar la productividad sin comprometer la sostenibilidad. Los resultados generados serán socializados con agricultores, técnicos y estudiantes del sector agropecuario mediante giras técnicas y días de campo, promoviendo la adopción de materiales mejorados y fortaleciendo las capacidades locales para la conservación del cacao nativo de almendra blanca.

1. Introducción

El Ecuador, es reconocido mundialmente como el principal exportador de cacao "Fino de Aroma", y el desarrollo de cultivares de cacao de almendra blanca brinda una oportunidad única para consolidar su liderazgo y el acceso a segmentos más exclusivos del mercado global. Este tipo de grano, a diferencia del cacao convencional, posee un perfil sensorial excepcional, caracterizado por su bajo amargor y la presencia de delicadas notas frutales, florales y a nuez. Estas cualidades lo convierten en la materia prima predilecta para la chocolatería gourmet, un mercado de nicho que valora la pureza y la complejidad del sabor, y que está dispuesto a pagar precios premium por un producto de origen y calidad superiores. La estandarización de un cultivar de almendra blanca no solo representa una ventaja económica directa para los cacaoteros, también mejoraría su rentabilidad y calidad de vida, y al mismo tiempo fortalece la marca país.

El enfoque en este grano impulsa el fitomejoramiento genético, motivando la investigación para desarrollar clones que combinen este rasgo deseable con alta productividad y resistencia a enfermedades. La apuesta por la almendra blanca es, por tanto, una estrategia integral que eleva la competitividad del sector, promueve la conservación de la biodiversidad del cacao Nacional y asegura un futuro próspero y sostenible para la cultura ecuatoriana. Además, el rescate y selección de materiales de cacao de origen amazónico es fundamental para mantener el patrimonio genético del cultivo, garantizando el fortalecimiento y resiliencia de los recursos fitogenéticos y de las comunidades que dependen de este rubro. A través del proyecto en ejecución desde mayo de 2024, se rescatan en fincas de productores de cacao materiales de almendras blancas en la provincia de Zamora Chinchipe en las localidades de

Palanda, Chinchipe y Centinela del Cóndor. Esto permitirá a mediano y largo plazo contar con al menos dos materiales amazónicos de almendra blanca comerciales, un catálogo de genotipos, un banco de germoplasma con varias accesiones útiles para el fitomejoramiento que abrirían la posibilidad de nuevos proyectos **I+D+i**.

El proyecto se alinea con los objetivos estratégicos del **FIASA**, al incluir el fomento de procesos de investigación, transferencia para la conservación y uso de los recursos fitogenéticos en cacao de especies cultivadas de almendra blanca en fincas de productores con fines de conservación y mejoramiento genético.

Combina actividades de conservación de agrobiodiversidad, Investigación aplicada y transferencia de tecnología. Se enmarca en la “Ley de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable”, la cual, fomenta la investigación para la conservación y uso de la agrobiodiversidad ecuatoriana. Se acopla a las políticas de “Fomento de la calidad y productividad”, a través de la búsqueda de la mejora continua de la productividad y de la diferenciación por calidad, basadas en la innovación. También se ajusta a los objetivos estratégicos del Plan Nacional Agropecuario de “Aportar a la economía, incrementando el PIB del sector, por medio de exportaciones sostenibles y con calidad, diversificando productos, mercados y exportadores, así como el fortalecimiento de la producción nacional para mercado interno...”; así como “Fortalecer la producción agropecuaria incrementando su rentabilidad, por medio de la productividad y la reducción de costos productivos a través de la tecnificación, investigación y mano de obra cualificada”.

2. Objetivos

El objetivo general del proyecto es rescatar y seleccionar especies cultivadas de cacao de almendra blanca en fincas de productores de la provincia Zamora Chinchipe con fines de conservación y mejoramiento genético. Y los objetivos específicos son (1) Identificar y prospeccionar plantas de cacao de almendra blanca en finca de productores en diversas zonas de Zamora Chinchipe, (2) Implementar un banco genético in situ y ex situ, (3) Identificar de manera morfológica y sanitaria los árboles seleccionados, (4) Identificar los árboles seleccionados de manera genética, bioquímica y sensorial y (5) Socializar los avances del proyecto en la Provincia de Zamora Chinchipe.

3. Metodología

Componente 1: Identificación, colecta y caracterización FIASA-EELS-2022-008 FOT FIASA-EELS-2022-008 FOT 3.

La identificación se realiza con agricultores locales, quienes apoyan en la preselección de árboles antiguos de almendra blanca en buen estado productivo. Las accesiones son marcadas, georreferenciadas y recolectadas siguiendo lineamientos del DENAREF (Nieto et al., 1984) y el Código Internacional de Conducta para Germoplasma Vegetal (FAO, 1994). El material será transferido para conservación temporal y registro. La caracterización inicial incluye observaciones basadas en descriptores reconocidos para cacao. Este proceso permite disponer de una base confiable para futuras acciones de conservación y mejoramiento, asegurando la fidelidad genética del material recolectado.

Componente 2: Establecer a los cuatro bancos genéticos in situ y ex situ.

El material colectado es multiplicado mediante injertos y técnicas validadas para cacao, siguiendo recomendaciones técnicas para clonación y manejo vegetativo (Loor et al., 2016). Durante los primeros años se obtienen varetas para producir plantas uniformes destinadas a cuatro colecciones ex situ: una en la Estación Experimental Litoral Sur y tres en los cantones donde se afecta la colecta. El manejo incluye establecimiento, riego, control sanitario y evaluación inicial del desarrollo. Estas colecciones actuarán como repositorios de conservación y servirán como plataforma para estudios de rendimiento, tolerancia y calidad, consolidando una reserva estratégica de germoplasma amazónico.

Componente 3: Identificar de manera morfológica y sanitaria los 200 árboles seleccionados.

Las plantas establecidas son evaluadas periódicamente para registrar variables agronómicas, fitosanitarias y productivas, tomando como referencia protocolos integrales para cacao (Loor et al., 2016). La caracterización morfológica se realiza con descriptores del IBPGR (Engels et al., 1980; IBPGR, 1981), permitiendo comparaciones con estándares internacionales. El análisis integrará rasgos cualitativos y cuantitativos para identificar patrones de variación y confirmar identidades. Esta información permite seleccionar accesiones con perfiles agronómicos estables y potencial para renovación de huertas, apoyando estrategias orientadas a mejorar productividad sin expandir la frontera agrícola.

Componente 4: Caracterización genética, bioquímica y sensorial.

La caracterización genética se desarrollará con el apoyo del área de biotecnología empleando metodologías ampliamente utilizadas para evaluar diversidad y relaciones genéticas en cacao (Morillo y Miño, 2011). Paralelamente, se realizarán análisis bioquímicos de compuestos asociados a la calidad del grano, siguiendo recomendaciones técnicas para cacao (Loor et al., 2016). La evaluación sensorial utilizará la rueda de sabor de Cocoa of Excellence, herramienta internacionalmente aceptada para documentar atributos aromáticos y de sabor. La integración de genética, química y sensorialidad permitirá identificar materiales élite con perfiles distintivos útiles para conservación y mejoramiento.

Componente 5: Socialización y vinculación territorial.

Los avances son socializados mediante actividades participativas en Palanda, Chinchipe y Centinela del Cóndor. Se realizarán reuniones técnicas, giras de campo y espacios demostrativos para compartir hallazgos con agricultores, técnicos y estudiantes, adoptando enfoques de participación rural recomendados en procesos de innovación agropecuaria. Estas acciones permitirán validar resultados en territorio, recoger observaciones locales y fortalecer capacidades comunitarias para conservar el cacao nativo de almendra blanca. La socialización promoverá la adopción de materiales seleccionados y consolidará el vínculo entre investigación y productores en las zonas priorizadas.

4. Resultados (Avances)

Componente 1: Identificar y prospeccionar plantas de cacao de almendra blanca en finca de productores en tres cantones de Zamora Chinchipe.

Para cumplir el primer objetivo se planificó identificar 200 árboles (67 por localidad) con las características definidas. Sin embargo, la alta variabilidad encontrada en los cantones permitió ampliar la prospección a 355 materiales, de los cuales 306 fueron finalmente seleccionados tras descartar 49 por pérdidas o no conformidad. La distribución fue la siguiente: Centinela del Cóndor registró 140 materiales y retuvo 126; para Palanda se planificó 135 y seleccionó 118; y Chinchipe evaluó 80 y conservó 62. En los tres cantones se alcanzó el 100% de georreferenciación y etiquetado temporal de los árboles en estudio.

Componente 2: Establecimiento y manejo de la colección *ex situ*.

Se estableció un banco de germoplasma en la Estación Experimental Litoral Sur con 122 accesiones seleccionadas en los cantones Palanda, Centinela del Cóndor y Chinchipe, conformando la colección base del programa. Paralelamente, se implementó un segundo banco en Centinela del Cóndor, integrado por 43 materiales previamente caracterizados y propagados mediante injertación, alcanzando un total de 113 plantas establecidas en campo. Ambos bancos garantizan la conservación *ex situ* de la variabilidad identificada, permiten avanzar hacia evaluaciones agronómicas y genéticas comparativas y constituyen la plataforma inicial para futuros programas de mejoramiento y estrategias de uso sostenible del germoplasma recolectado.

Componente 3: Evaluación y caracterización agro-morfológica.

Hasta la fecha se han caracterizado morfológicamente accesiones de cacao en tres cantones de Zamora Chinchipe, cubriendo distintos órganos y estados fenológicos. En total, se registraron 250 accesiones evaluadas en hojas, 162 en mazorcas y semillas, y 212 en flores, conforme se detalla en el Cuadro 2. Centinela del Cóndor aportó 109 caracterizaciones en flores y 91 en hojas; Palanda destacó con 117 en hojas y 87 en flores; mientras que Chinchipe registró 42 en hojas y 16 en flores.

Componente 4: Caracterización genética, bioquímica y sensorial.

La caracterización molecular aún no se ha iniciado; sin embargo, ya se efectuó la colecta de hojas de los árboles preseleccionados, las cuales serán procesadas una vez obtenidos los permisos del MAATE para la extracción de ADN y aplicación de marcadores genéticos orientados a determinar la variabilidad y el origen del cacao de almendra blanca. En cuanto a la caracterización bioquímica, se han analizado 37 materiales. Las evaluaciones sensoriales avanzaron de forma limitada debido a la escasez de mazorcas disponibles, lo que impidió ejecutar adecuadamente los procesos de poscosecha requeridos para los análisis.

Componente 5: Socialización y vinculación territorial.

Durante 2024 y 2025 se desarrollaron dos procesos de socialización en ferias del cantón Centinela del Cóndor y Palanda, donde se presentó el proyecto de rescate y selección de cacao de almendra blanca a productores y actores locales. En junio se realizó una sesión de trabajo con la Prefectura de Zamora Chinchipe y técnicos de AGROPZACHIN, en la cual se expusieron los avances del proyecto y se establecieron acuerdos de colaboración para el establecimiento y conservación de los tres bancos de germoplasma previstos para su instalación in situ en la provincia.

5. Acciones futuras

Avanzar hacia la caracterización integral de los 200 materiales identificados de cacao de almendra blanca, consolidando la base genética necesaria para futuros programas de mejoramiento.

Profundizar la prospección en zonas representativas y ambientalmente estables, asegurando que los genotipos rescatados correspondan a las poblaciones originales de almendra blanca presentes en la provincia.

Completar las fases pendientes de caracterización morfológica, molecular, bioquímica y sensorial, integrando la información en un sistema unificado que permita definir perfiles genéticos y su potencial productivo y de calidad.

6. Referencias bibliográficas

Engels, J., Bartley, B. y Enríquez, G. (1980). Cacao descriptors: *Their states and modus operandi*. IBPGR.

FAO. (1994). *Normas para bancos de genes*.

IBPGR. (1981). *Descriptor list for cacao*. International Board for Plant Genetic Resources.

Loor, R., Casanova, T. y Plaza, L. (2016). *Mejoramiento y homologación de los procesos de investigación, validación y producción de servicios en cacao y café*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5093>

Morillo, E. y Miño, G. (2011). *Marcadores moleculares en biotecnología agrícola: Manual de técnicas y procedimientos*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/848>

Nieto, C., Rea, J., Castillo, R. y Peralta, E. (1984). *Guía para el manejo y preservación de los recursos fitogenéticos*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2686>

7. Galería fotográfica



Fotografía 1. Mazorca con semilla de almendra blanca y flor con estambres rojos en cacao de almendra blanca (2025).



Fotografía 2. Vivero para injertación de material seleccionado de almendra blanca (2025).



Fotografía 3. Muestras de semilla para análisis morfológico (2025).



Fotografía 4. Toma de muestras de hojas (2025).

Conclusiones generales

Los proyectos FIASA ejecutados en el período 2022-2025 han constituido un mecanismo de financiamiento estratégico efectivo para fortalecer la investigación agrícola en Ecuador. En este marco, el INIAP ejecutó veinte proyectos que generaron resultados relevantes en tecnologías agrícolas, producción de insumos de calidad, servicios especializados, capacitación y posicionamiento científico institucional.

El financiamiento FIASA permitió apoyar a la liberación de variedades mejoradas, entre ellas: trigo INIAP-YURAK, quinua INIAP-Excelencia, haba INIAP-Sultana, papa INIAP-Cañari, maíz INIAP-Crocantito y arroz INIAP-20 Éxodo; además, se identificaron dos líneas promisorias de arroz. Se desarrollaron protocolos biotecnológicos en cultivos estratégicos (café, banano, mandarina, cacao y palma aceitera), incorporando embriogénesis somática, edición genética CRISPR/Cas, crioconservación y dobles haploides. Asimismo, se implementaron tecnologías agroecológicas en la Amazonía, sistemas de riego inteligente que incrementaron rendimientos en cacao y estrategias de control biológico integrado para plagas. Además, apoyó la conservación de 29.576 accesiones en el Banco de Germoplasma.

Con el apoyo de FIASA se generaron 471,85 toneladas de semilla en más de 16 rubros y 409.316 unidades de material vegetativo en 30 especies. Los servicios especializados alcanzaron 38.310 análisis de laboratorio y se mantuvieron dos laboratorios acreditados ante el SAE bajo norma ISO/IEC 17025:2018.

La capacitación y transferencia tecnológica incluyeron 37 talleres con 513 agricultores en pastos y forrajes; 18 cursos con 351 participantes en agroecología amazónica; 91 eventos de transferencia con 2.204 personas; más de 70 vitrinas tecnológicas; y cinco días de campo con 763 participantes en manejo de plagas. Además, se implementaron 10 Escuelas de Campo en semillas andinas. El alcance abarcó diez provincias de la Sierra, Litoral y Amazonía, y se generaron 55 publicaciones técnicas, 20 tesis y más de 10 artículos científicos.

Los resultados evidencian que el FIASA constituye un mecanismo estratégico eficaz para el cumplimiento de los objetivos establecidos en el Plan Estratégico de Investigaciones (PEI 2023-2026), al aportar a la ejecución de actividades que representan el 45,2 % del total contemplado en el PEI. En este marco, los veinte proyectos ejecutados se articulan con las diferentes áreas y líneas de investigación definidas por el INIAP.



GOBIERNO DEL ECUADOR

Instituto Nacional de
Investigaciones Agropecuarias

F  **A S A**



@iniapec



@iniapecuador



@iniapecuador

www.iniap.gob.ec