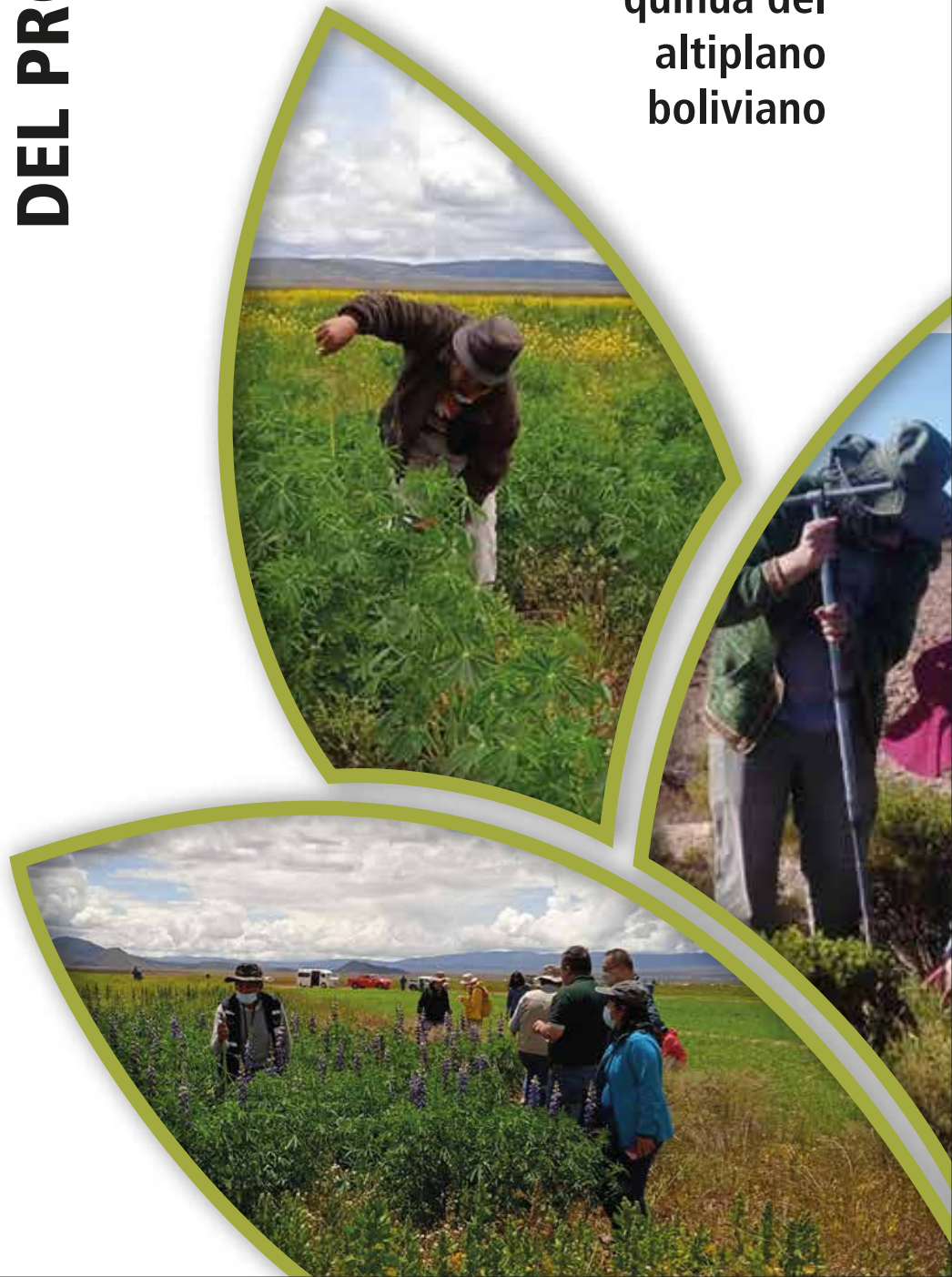




MEMORIA DEL PROYECTO CVG412

Hacia el
aprovechamiento
múltiple de
especies nativas
en un contexto
de variabilidad y
cambio climático
en zonas
productoras de
quinua del
altiplano
boliviano





MEMORIA DEL PROYECTO CVG412

Hacia el aprovechamiento múltiple de especies nativas en un contexto de variabilidad y cambio climático en zonas productoras de quinua del altiplano boliviano .

Ejecutado por:



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
VICERRECTORADO

Departamento de Investigación Postgrado e Interacción Social

FACULTAD DE CIENCIA PURAS Y NATURALES

Instituto de Biología Molecular y Biotecnología (IBMB)

Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ)

Instituto de Ecología

Colaboración:

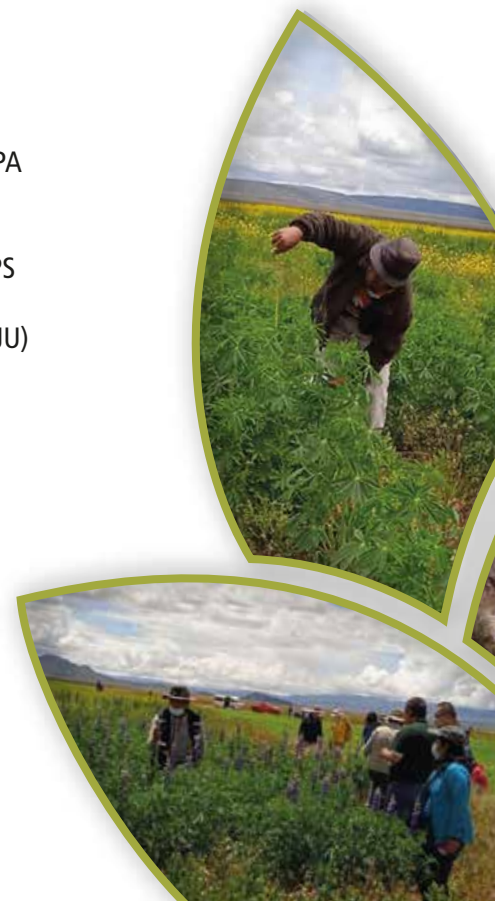
- Instituto de Biodiversidad y Recursos Naturales Aplicados al Desarrollo (BIORENA); Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca (USFX)
- Fundación para la Promoción en Investigación de Productos Andinos - PROINPA
- Proyecto "Fortalecimiento de la resiliencia en agro-ecosistemas áridos vulnerables al cambio climático a través de la investigación sobre recursos vegetales y aplicaciones tecnológicas" con financiamiento japonés de SATREPS (JICA-JST)
- Asociación de Productores de Quinua de la Jurisdicción de Umala (ASPROQUIJU)
- Gobierno Autónomo Municipal de Umala

Con el apoyo de:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza
Cooperación Suiza en Bolivia



Memoria del Proyecto Hacia el aprovechamiento múltiple de especies nativas en un contexto de variabilidad y cambio climático en zonas productoras de quinua del altiplano boliviano

AUTORIDADES ACADÉMICAS:

Vicerrectora

María Eugenia García Moreno

Secretario Académico

Boris Leandro Quevedo Calderón

Jefe del Departamento de Investigación, Postgrado e Interacción Social DIPGIS-UMSA

Mauro Costantino

Coordinadora Proyecto de investigación Aplicada para la Adaptación al Cambio Climático PIA ACC Fase II

Ivy Eliana Beltran Jauna

AUTORES:

Isabel Victoria Morales Belpaire

Giovanna Rocío Almanza Vega

EDICIÓN Y DIAGRAMACIÓN

Edición:

Ivy Eliana Beltran Jauna – Coordinadora PIA ACC II Componente DIPGIS UMSA

Kantuta Lara, Cecilia Miranda, Francisco Molina - Wildlife Conservation Society

Evelin Troche Araujo - Asesora en Gestión de Aprendizaje

Fotografías:

Equipo de Investigación CVG-412

Diseño y diagramación:

Jaqueline Rosario Rocha Condori

ISBN: 978-9917-0-2767-6

Depósito legal: 4-1-2559-2025

Imprenta: Imprenta Beltran

Tiraje: 300

Año: Junio de 2023

Esta publicación ha sido elaborada en el marco del Proyecto de Investigación Aplicada para la Adaptación al Cambio Climático - Segunda Fase, implementado por la Universidad Mayor de San Andrés con el apoyo de la Cooperación para el Desarrollo de la Embajada Suiza en Bolivia,

La Paz, Bolivia

2023



CONTENIDO

CONTENIDO	1
ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
LISTADO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	5
EDITORIAL	6
EQUIPO DEL PROYECTO	7
PRESENTACIÓN	8
RESUMEN EJECUTIVO	10
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Antecedentes.....	11
1.2. Situación Inicial.....	12
1.3. Problema y Preguntas de Investigación.....	15
1.4. Objetivos del Proyecto de Investigación.....	16
2. ESTRATEGIAS Y MÉTODOS IMPLEMENTADOS	17
2.1. Estrategia/Método Implementado en el Componente I.....	18
2.2. Estrategia/Método Implementado en el Componente II.....	21
2.3. Estrategia/Método Implementado en el Componente III.....	22
2.4. Estrategia/Método en el Componente IV.....	25
2.5. Estrategia/Método Implementado para Ejes Transversales.....	25
3. RESULTADOS	26
3.1. Resultados del Componente I: Introducción de especies nativas en agroecosistemas de quinua 26	26
3.2. Resultados del Componente II.....	29
3.3. Resultados del Componente III.....	34
3.4. Resultados del Componente IV.....	40

4.	GRADO DE INCIDENCIA Y APLICABILIDAD DEL PROYECTO	41
4.1.	Incidencia y Aplicabilidad Local	41
4.2.	Incidencia en Política Pública	41
4.3.	Incidencia Académica	42
4.4.	Comunicación Científica y Divulgación de la Ciencia	43
5.	BUENAS PRÁCTICAS Y LECCIONES APRENDIDAS EN LA INTEGRACIÓN DE EJES TRANSVERSALES	44
5.1.	Género y Generacional.....	44
5.2.	Gobernanza y Gobernabilidad.....	44
5.3.	Interculturalidad	45
6.	CATÁLOGO DE PRODUCTOS	46
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
8.	BIBLIOGRAFÍA	51



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Áreas de intervención del proyecto.....	13
Figura 2. Climadiagramas correspondientes a altiplano central para los años 2003 a 2007 (arriba, izquierda), años 2008 a 2012 (arriba, derecha), años 2013 a 2017 (abajo, izquierda), años 2018 a 2022 (abajo, derecha).....	14
Figura 3. Climadiagramas correspondientes a Uyuni para los años 2003 a 2007 (arriba, izquierda), años 2008 a 2012 (arriba, derecha), años 2013 a 2017 (abajo, izquierda), años 2018 a 2022 (abajo, derecha).....	15
Figura 4. Estructura organizativa para el desarrollo del proyecto.	18
Figura 5. Colecta de muestras.	20
Figura 6. Esquema de muestreo de suelos en parcelas que contienen barreras y parcelas con descanso mejorado.	22
Figura 7. Colecta de suelos en parcelas con barreras vivas.	23
Figura 8. Dendrograma de 12 accesiones de <i>Lupinus</i> spp evaluadas en parcela experimental BIORENA.	27
Figura 9. Efecto del intercalado con tarwi sobre los rendimientos de quinua.....	28
Figura 10. Características de los plantines de <i>Parastrephia lepidophylla</i> que fueron propagados bajo condiciones controladas y en sustratos con creciente concentración de humus de lombriz.	28
Figura 11. Uso de <i>Parastrephia lepidophylla</i> y <i>Baccharis tola</i> en barreras multipropósito.....	31
Figura 12. 7-O-metileriodictyol, flavanona con propiedades antibacteriales contra bacterias gram (+) y gram (-) además de propiedades antioxidantes.	31
Figura 13. Arbustos de Lampaya.	32
Figura 14. Estructuras del Ac. oleanólico y del ácido maslínico	33
Figura 15. Arbustos de ñaka tola (<i>Baccharis tola</i>).	33
Figura 16. Estructura de xantomicol y drupanina y absorción de ultravioleta por estas moléculas.	34
Figura 17. Resultados análisis microbiológicos Uyuni, nuevo esquema de muestreo.....	36
Figura 18. Resultados análisis microbiológicos obtenidos en condiciones controladas.	37
Figura 19. Variación en el contenido de carbono orgánico en la parcela experimental de Collana (izquierda) y de Sirca (derecha).	38
Figura 20. Índice de diversidad y distribución de bacterias (agrupadas por familias) a las 10 semanas (izquierda) y a las 20 semanas (derecha) del tratamiento de riego con diferentes concentraciones de NaCl.	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comunidades en las que se desarrollaron las actividades del proyecto.	12
Tabla 2. Métodos de análisis de laboratorio realizados.	23
Tabla 3. Indicadores de los ejes transversales.	25
Tabla 4. Características cuantitativas de las diferentes accesiones de <i>Lupinus</i> sp.	26
Tabla 5. Características de las especies vegetales colectadas en el área de estudio.	29
Tabla 6. Resultados del estudio fitoquímico preliminar donde se determina la presencia de grupos metabolitos secundarios.	30
Tabla 7. Capacidades antioxidantes de las distintas fracciones.	32
Tabla 8. Características físico-químicas de las parcelas muestreadas.	34
Tabla 9. Concentración de cationes en muestras de suelo de las parcelas de Chacala y Chita.	35
Tabla 10. Propiedades microbiológicas muestras de suelo de Chacala y Chita.	35
Tabla 11. Características físico-químicas parcelas experimentales de Umala (antes de la siembra).	38
Tabla 12. Características químicas suelo de las parcelas experimentales de Umala (después de la cosecha).	38



LISTADO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

IBMB	INSTITUTO DE BIOLOGÍA MOLECULAR Y BIOTECNOLOGÍA
IIQ	INSTITUTO DE INVESTIGACIONES QUÍMICAS
IE	INSTITUTO DE ECOLOGÍA
BIORENA	INSTITUTO DE BIODIVERSIDAD Y RECURSOS NATURALES
USFX	UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA
PROINPA	FUNDACIÓN PROINPA
GAMU	GOBIERNO AUTONOMO MUNICIPAL DE UMALA
SATREPS	SCIENCE AND TECHNOLOGY RESEARCH PARTNERSHIP FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

EDITORIAL

La Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) es una institución académica líder en Bolivia, miembro del Centro y Red de Tecnología Climática (CTCN) y de redes regionales de observación sistemática de evidencia sobre los efectos del cambio climático, cuenta con centros e institutos de investigación, opera la estación Chacaltaya, con la medición de contaminantes atmosféricos y de gases de efecto invernadero (GEI). La UMSA promueve investigación básica y aplicada, formación e interacción social para contribuir a la resolución de los problemas emergentes nacionales y globales trabajando con incidencia en política pública para hacer frente a impacto del cambio climático y la degradación ambiental, a través de la ciencia, investigación y la tecnología.

El proyecto de Investigación Aplicada para Adaptación al Cambio Climático en su segunda fase, con apoyo de la Cooperación para el Desarrollo de la Embajada de Suiza en Bolivia, contribuyó en el fortalecimiento de espacios

de colaboración entre académicos, docentes e investigadores con procesos de investigación holísticos y de carácter multi, inter y transdisciplinarios y la co-creación de acciones con la población en áreas rurales y urbanas. Asimismo, la cartera de proyectos PIA-ACC II se caracterizó por transversalizar enfoques de equidad de género, interculturalidad, gobernabilidad y gobernanza en la gestión de proyectos de investigación.

En este marco, la presente publicación titulada "Memoria del Proyecto CVG 412: Hacia el aprovechamiento múltiple de especies nativas en un contexto de variabilidad y cambio climático en zonas productoras de quinua del altiplano boliviano" es una muestra del compromiso y voluntad de la UMSA para difundir los resultados de investigaciones, las buenas prácticas e innovaciones tecnológicas piloto que contribuyan al desarrollo integral y resiliente de comunidades vulnerables frente al cambio climático.



María Eugenia García
Moreno, Ph.D.

Vicerrectora

UNIVERSIDAD MAYOR DE
SAN ANDRÉS - UMSA



EQUIPO DEL PROYECTO

Nombre	Apellidos	Rol	Afiliación
Isabel	Morales Belpaire	Coordinadora del proyecto Análisis microbiológico de suelos	Instituto de Biología Molecular y Biotecnología
Giovanna	Almanza Vega	Co-coordinadora del proyecto Análisis fitoquímicos	Instituto de Investigaciones Químicas
Yonny	Flores Segura	Investigador del proyecto Análisis fitoquímicos	Instituto de Investigaciones Químicas
Patricia	Amurrio Ordoñez	Investigadora del proyecto Análisis físico-químico suelos	Instituto de Ecología
Sandra	Romero Ortega	Investigadora del Proyecto Caracterización accesiones de <i>Lupinus</i>	BIORENA- Universidad Mayor San Francisco Xavier
Roberto	Acebey Aldunate	Investigadora del Proyecto Manejo agroecológico de <i>Lupinus</i>	BIORENA- Universidad Mayor San Francisco Xavier
Maribel	Lozano Palacios	Investigadora del proyecto Análisis fitoquímicos	Instituto de Investigaciones Químicas
Santiago	Tarqui Tarqui	Investigador del proyecto Análisis fitoquímicos	Instituto de Investigaciones Químicas
Alejandro	Bonifacio Flores	Investigador del proyecto, Asesor multiplicación especies vegetales nativas, parcelas experimentales, barreras vivas, descansos mejorados	Fundación PROINPA
Carolina	Triguero Mamani	Tesista pregrado	Instituto de Investigaciones Químicas
Gilberto	Chui Tinco	Tesista pregrado (2020-2021) Tesista postgrado (2021- =) (Contraparte SATREPS)	Instituto de Investigaciones Químicas
Erik	Clavijo Villafuerte	Tesista pregrado	Instituto de Investigaciones Químicas
Noemi	Quiroz Tapia	Tesista pregrado (2020-2021) Tesista postgrado (2021-.)	Instituto de Investigaciones Químicas
Abel	Gutierrez Escalera	Tesista postgrado (2021-) (Contraparte SATREPS)	Instituto de Investigaciones Químicas
Abraham	Pusarico Mamani	Tesista pregrado (2022-)	Instituto de Investigaciones Químicas
Santos	Quispe Achu	Investigador asociado (contraparte SATREPS)	Instituto de Investigaciones Químicas
Gisela	Yucra Huanca	Tesista pregrado	Facultad de Agronomía-PROINPA
Faviola	Pinto Estrada	Tesista pregrado	Instituto de Biología Molecular y Biotecnología
Victor	Siles Ramos	Tesista pregrado	Instituto de Biología Molecular y Biotecnología
Cinthia	Copeticona Callejas	Tesista pregrado	Instituto de Biología Molecular y Biotecnología
Fabiola	Rojas Huanca	Auxiliar investigación	Instituto de Investigaciones Químicas
Juan Pablo	Delgado Vargas	Auxiliar investigación Coordinadora del proyecto Análisis microbiológico de suelos	Instituto de Biología Molecular y Biotecnología

Fuente: Elaboración Propia

PRESENTACIÓN

La Universidad Mayor de San Andrés y la Universidad Mayor de San Simón, a través del Departamento de Investigación, Posgrado e Interacción Social (DIPGIS) y la Dirección de Ciencia y Tecnología (DICyT), respectivamente, llevaron a cabo en el periodo 2020-2023 la segunda fase del Proyecto de Investigación Aplicada para la Adaptación al Cambio Climático (PIA-ACC). El objetivo principal de este proyecto es mejorar la disponibilidad de conocimientos científicos y tecnologías aplicadas para fortalecer la resiliencia de la población vulnerable frente al cambio climático, a través del fortalecimiento de capacidades de investigación, ejecución de proyectos aplicados e influencia en políticas públicas.

El PIA-ACC en su segunda fase se centra en la zona occidental de Bolivia, abarcando áreas de valles interandinos, altiplano y montaña. El proyecto se alinea con el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, así como con las estrategias y políticas de investigación de las universidades participantes y las políticas de apoyo de la Cooperación Suiza. Se han establecido tres componentes principales: el fortalecimiento del Sistema Universitario Boliviano, la articulación y fortalecimiento de los procesos de investigación, y la incidencia en políticas públicas y universitarias.

El primer componente planteó el fortalecimiento del sistema de investigación universitario a través del desarrollo de capacidades y mecanismos de financiamiento para la ejecución de proyectos de investigación aplicada, holística, multi e interdisciplinaria en adaptación al cambio climático, con un enfoque territorial y estratégico.

En el marco de este componente, DIPGIS-UMSA emitió el 17 de septiembre de 2020, la convocatoria para fondos concursables para presentar propuestas de investigación aplicada para la adaptación al cambio climático. A la cual postularon 32 propuestas de proyectos de Investigación y tras la etapa de Verificación de requisitos formales y obligatorios como también con la exposición y respectiva calificación de los criterios por parte de una comisión de evaluación, siete propuestas fueron seleccionadas y ratificadas mediante la Resolución del Honorable Consejo Universitario HCU No. 456/2020, promulgada el 16 de diciembre de 2020.

El presente documento presenta los principales resultados del proyecto “Hacia el aprovechamiento múltiple de especies nativas en un contexto de variabilidad y cambio climático en zonas productoras de quinua del altiplano boliviano”. Este proyecto se ha llevado a cabo gracias a la participación del Instituto de Biología Molecular y Biotecnología, del Instituto de Investigaciones Químicas y del Instituto de Ecología, todos ellos pertenecientes a la Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Los mencionados institutos han trabajado en estrecha colaboración con la Fundación PROINPA, logrando importantes sinergias en trabajo de campo y laboratorio. Adicionalmente se ha contado con la participación del Instituto de Biodiversidad y Recursos Naturales BIORENA (Banco de Germoplasma) de la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca. El proyecto ha contado además con la colaboración de personal técnico del Gobierno Autónomo Municipal de Umala y con la Asociación de Productores de Quinua de la Jurisdicción Umala. Las zonas de intervención del proyecto se han concentrado mayormente en el Municipio de Umala (La Paz) y en el Municipio de Uyuni (Potosí) habiéndose realizado colectas en otras



zonas adicionales. Cabe destacar que este proyecto es complementario y ha trabajado en sinergia con el proyecto "Fortalecimiento de la resiliencia en agroecosistemas áridos vulnerables al cambio climático, mediante la investigación de sus biorecursos vegetales y aplicaciones tecnológicas", que forma parte del programa SATREPS (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development) con financiamiento de JICA (Japan International Cooperation Agency) y JST (Japan Ministry of Science and Technology)

El objetivo general del proyecto fue mejorar la resiliencia de agroecosistemas de quinua del altiplano boliviano frente al cambio climático, mediante el aprovechamiento del potencial de las especies nativas adaptadas localmente. En vista de este objetivo, el proyecto se dividió en cuatro componentes: a) introducción de especies nativas en agroecosistemas de quinua b) evaluación del potencial económico de especies nativas seleccionadas c) estudio del efecto de la introducción de especies nativas en la salud del suelo d) difusión de resultados en diferentes ámbitos. Se cuentan con resultados y recomendaciones que consideramos son de importancia tanto a nivel universitario como a nivel local y nacional para la mejora de los agroecosistemas donde se cultiva quinua, agroecosistemas frágiles, fuertemente amenazados por el cambio climático.

Mauro Costantino, Ph.D.

Jefe

Departamento de Investigación, Postgrado e
Intereacción Social DIPGIS-UMSA

M.Sc. Grover Rodriguez

Decano

Facultad Ciencias Puras y Naturales

RESUMEN EJECUTIVO

El Altiplano Boliviano es altamente vulnerable al cambio climático, siendo una región propensa a sufrir heladas y sequías. Uno de los pocos cultivos que se desarrolla en estas condiciones es la quinua que, en últimos años, ha sido altamente valorizada por su calidad nutricional. Esto ha dado lugar a un aumento de la producción y ampliación de la frontera agrícola, con remoción de la cobertura vegetal sin ningún plan de repoblamiento, generándose problemas como ser la erosión y pérdida de la capacidad productiva de los suelos. Dado que el cambio climático fragiliza aún más los agro ecosistemas del altiplano, se requieren acciones para mejorar la resiliencia de estos.

La diversidad biológica vegetal es una característica que permite aumentar la resiliencia, por lo que la combinación de los cultivos de quinua con otras plantas se perfila como una opción. Las plantas nativas permitirían mejorar las condiciones del suelo, formar barreras multipropósito y contribuir en el manejo de plagas. Adicionalmente, las especies nativas pueden contener una serie de metabolitos de interés, pudiendo constituirse en una fuente de ingresos para los productores.

Durante la ejecución del proyecto se han realizado actividades que permiten la introducción de especies vegetales nativas en las parcelas de quinua y la valorización de múltiples roles de estas especies. Se han colectado diferentes accesiones de *Lupinus* que han sido sembradas la estación experimental del Centro de Investigación e Innovación en Ciencias Agrarias de Villa Carmen en Yotala (Banco de Germoplasma BIORENA) con la finalidad de conocer sus características y ver las posibilidades de su introducción en agroecosistemas de quinua. Se ha multiplicado plantines de supu tola (*Parastrephia lepidophylla*) en condiciones controladas y se ha logrado su establecimiento en campo. En Umala, se han establecido parcelas experimentales en las cuales se ha intercalado tarwi con quinua, observándose un efecto positivo de esta asociación sobre el rendimiento de quinua.

Para determinar la presencia de moléculas de interés en las especies nativas, se han colectado muestras vegetales en las zonas de estudio (Chita y Chacala en Uyuni; Umala) y se han realizado estudios fitoquímicos. En base a estos estudios, se ha determinado que extractos obtenidos a partir de supu tola (*Parastrephia lepidophylla*), lampaya (*Lampayo castellanii*) y ñaka tola (*Baccharis tola*) tienen potencial para la formulación de productos fitoterapéuticos y fotoprotectores.

Con la finalidad de conocer el efecto que tienen las plantas nativas sobre propiedades del suelo, se ha realizado análisis físico-químicos y biológicos en muestras de suelos de parcelas de Uyuni en las cuáles la institución socia PROINPA ha establecido barreras multipropósito y descansos mejorados del suelo. Los resultados mostraron poco efecto a corto plazo de la introducción de plantas nativas sobre propiedades del suelo, excepto en el caso de la actividad enzimática β -glucosidasa que mostró valores significativamente mayores en descansos mejorados respecto a parcelas de quinua. Estos resultados se observaron también en condiciones controladas. Se determinaron las comunidades bacterianas asociadas a la rizósfera de *Fabiana densa* como un elemento más para determinar el efecto de esta planta sobre propiedades del suelo que son mediadas por microorganismos. La introducción de tarwi en las parcelas de quinua de Umala mostró asimismo un efecto positivo sobre propiedades del suelo.



Investigadores de proyecto CVG 412 y SATREPS visitan parcela experimental en Santiago de Collana (Umala). Fuente: PIA-ACC II Componente DIPGIS-UMSA, 2022

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El Altiplano Boliviano es la región comprendida entre la cordillera Oriental y la cordillera Real o cadena Oriental de los Andes (Montes de Oca, 1989). Abarca unos 178.662 km² y, a pesar de su nombre, no es una región plana sino que contiene varias serranías (Andressen et al., 2007). Debido a que la altitud de la zona en promedio es de 3600 msnm (Navarro & Molina, 2019) y que la cadena Oriental se constituye en una barrera que bloquea los flujos de aire húmedo provenientes del océano Atlántico y de la cuenca Amazónica (Andressen et al., 2007), el clima es frío y seco con un gradiente decreciente de humedad hacia el sur. Los suelos de la región están formados a partir de depósitos cuaternarios finos (limo, arcilla, arena fina) de origen fluvio-lacustre en las planicies, con presencia de dunas en ciertas regiones, mientras en las serranías se tiene mayormente material rocoso (Navarro & Molina, 2019). Respecto a la vegetación nativa, se tiene predominancia de arbustos y pastos. Se pueden distinguir comunidades vegetales

dominadas por *Faviana* densa (tolillares), comunidades donde predominan especies del género *Parastrephia* (tolares) y asociaciones con predominancia de *Lampayo castellani* (lampayares) (Navarro & Molina, 2019). Los cultivos mayoritarios son papa, haba, cebada y hacia el sur, fundamentalmente quinua (Andressen et al., 2007).

La quinua se caracteriza por su alto valor nutritivo y su adaptabilidad a las condiciones extremas del Altiplano, cualidades que han llevado a un continuo aumento de su producción hasta llegar a valores máximos en la década 2010-2020 (Alandia et al., 2020). El aumento de la producción se realizó gracias a la ampliación de la frontera agrícola y no mediante aumento de rendimientos (Alandia et al., 2020). La ampliación de la frontera agrícola se ha dado en detrimento de áreas de pastoreo y ha causado remoción de vegetación nativa. La introducción de maquinaria agrícola, la pérdida de franjas de vegetación, la reducción de los tiempos de descanso, la imposibilidad de rotación de cultivos en el Altiplano Sur, la falta de abonamiento por escasez de

estiércol, han llevado a degradación de suelos, debida a procesos erosivos y disminución de nutrientes (Barrientos et al., 2017). Estos problemas ambientales se suman a la fuerte disminución de los precios que se ha dado en los últimos años y al hecho de que ya se cultiva quinua en al menos 123 países en el mundo (Alandia et al., 2020). Adicionalmente, el cambio climático se percibe mayormente como un aumento de la sequía, retraso en la temporada de lluvias y mayor riego de heladas (Liuhto, 2016). Todos los factores mencionados pueden llevar a una aún mayor ampliación de la frontera agrícola de parte de los productores para tratar de mantener los ingresos, mayor degradación de suelos y un alto riesgo para la sostenibilidad de los cultivos y para la soberanía alimentaria de la región.

La problemática de la región del Altiplano es compleja y debe enfocarse desde múltiples puntos de vista. Uno de ellos consiste en la revalorización de la vegetación nativa, considerando que la revegetación puede ayudar en disminuir procesos erosivos y aportar materia orgánica, siendo la materia orgánica clave para reducir la sequedad de los suelos; la

inclusión de otras especies como intercalado o en descansos podría también aportar a mejorar las condiciones del suelo y su retención de humedad y nutrientes. Por otro lado, el determinar la presencia de compuestos de interés, ya sea medicinal, farmacéutico, para uso como biopesticida y otros, en las especies vegetales nativas también contribuye a su revalorización para incentivar su conservación. Adicionalmente, la producción sostenible de estas especies puede constituirse en una fuente alternativas de ingresos para los productores.

1.2. Situación Inicial

Las comunidades en las que se realizaron las actividades del proyecto se observan en la Tabla 1 y su ubicación se detalla en la Figura 1. Adicionalmente, las colectas de *Lupinus* se realizaron en las comunidades de Palca Huasi y Chaquilla (Potosí), en la comunidad de Poroma (Chuquisaca) y en Aiquile (Cochabamba). Una parcela experimental para el cultivo agroecológico de *Lupinus* fue establecida en el Centro de Villa Carmen (Yotala, Chuquisaca).

Tabla 1. Comunidades en las que se desarrollaron las actividades del proyecto.
Fuente: elaboración propia a partir de datos del Censo 2021 y visitas de campo)

Departamento	Municipio	Población (según censo 2012)	Comunidades
La Paz	Umala	8903 hab	Cañaviri San Miguel de Copani Santiago de Collana San Juan Sirca Chambi Pujuma Huari Belén
Potosí	Uyuni	29672 hab	Chacala Chita



Figura 1. Áreas de intervención del proyecto.

Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de Google Earth

El municipio de Umala se encuentra en el Altiplano Central, su principal actividad económica es la ganadería, tanto de bovinos como ovinos, en cuanto a las actividades agrícolas, la papa es el cultivo principal, seguido de la quinua habas y forrajeras (Taboada et al. 2014). La quinua, suele formar parte de un esquema de rotación de cultivos. Respecto a las características climáticas, como puede verse en los climadiagramas de la Figura 2, la temperatura media es alrededor de 8,5°C y la precipitación anual se encuentra por los 350 mm y muestra

tendencia a disminuir en los últimos años. Los productores perciben un retraso en el inicio de las lluvias y la sequía es vista como el mayor riesgo considerando que los cultivos se dan sin irrigación.

De igual forma, Liuhto (2016) menciona que los productores entrevistados en su trabajo consideran a la sequía como el mayor problema. El retraso en temporada de lluvias causa un desarrollo tardío de los cultivos que no llegan a madurar antes del inicio de la helada, causando pérdidas de cosecha.

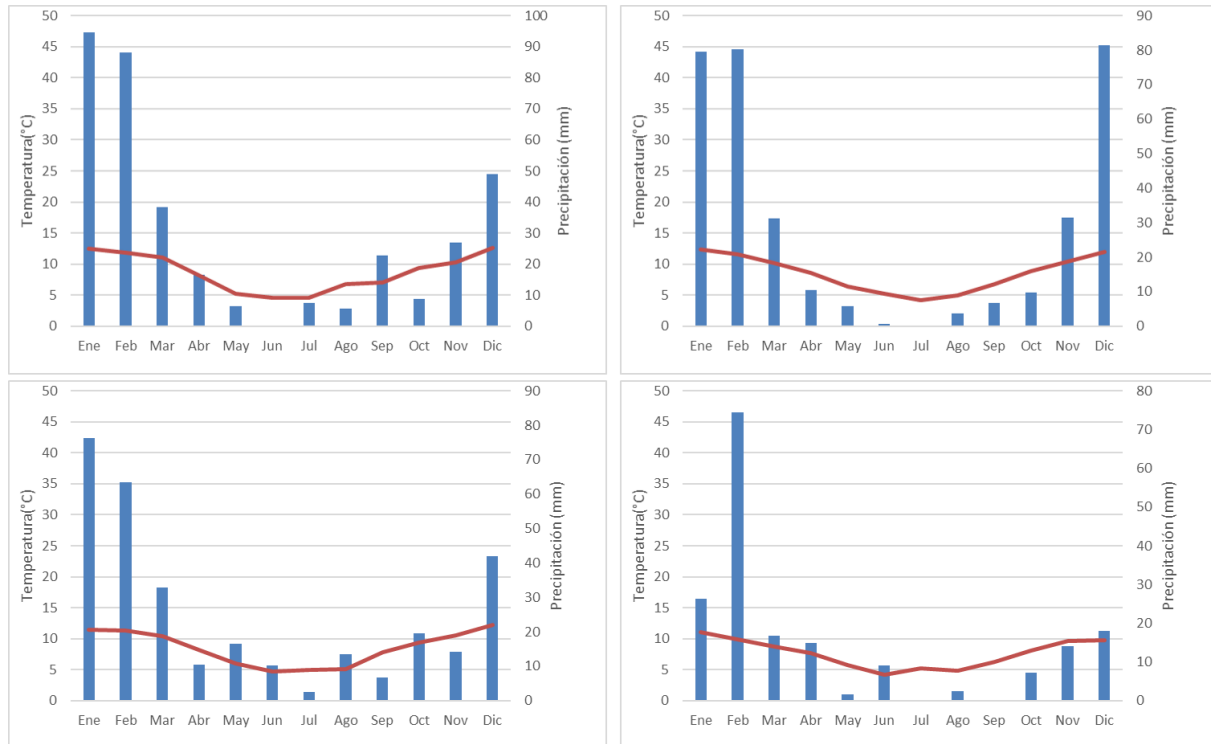


Figura 2. Climadiagramas correspondientes a altiplano central para los años 2003 a 2007 (arriba, izquierda), años 2008 a 2012 (arriba, derecha), años 2013 a 2017 (abajo, izquierda), años 2018 a 2022 (abajo, derecha).

Fuente: elaboración propia de base a datos SENAMHI de las estaciones de Patacamaya'

El municipio de Uyuni corresponde al Altiplano Sur, en el cuál las condiciones ambientales son más duras que en altiplano central. La precipitación anual registrada en los últimos 20 años se sitúa por debajo de los 200 mm. Como se observa en la Figura 3, se tienen únicamente cuatro meses húmedos en el año, y se ve claramente una tendencia a que esta temporada se acorte incluso a 3 meses. Varios autores, como ser Ayala Aragón & Almanza López, (2021) ponen énfasis en el bajo contenido en materia orgánica y nutrientes de los suelos de la región. Debido a estas condiciones, en la mayor parte

del Altiplano Sur el único cultivo que prospera es la quinua, no teniéndose posibilidades de rotación de cultivos. Debido a la ampliación de la frontera agrícola, se ha removido una gran cantidad de vegetación nativa, causando efectos erosivos y haciendo que los suelos estén aún más expuestos a la sequía. Adicionalmente, se ha disminuido la ganadería de camélidos por lo cual se dispone de muy poca cantidad de estiércol para el abonamiento de las parcelas de quinua. Varias instituciones consideran que es fundamental reponer vegetación nativa y mejorar el contenido en materia orgánica del suelo para poder dar sostenibilidad al cultivo.

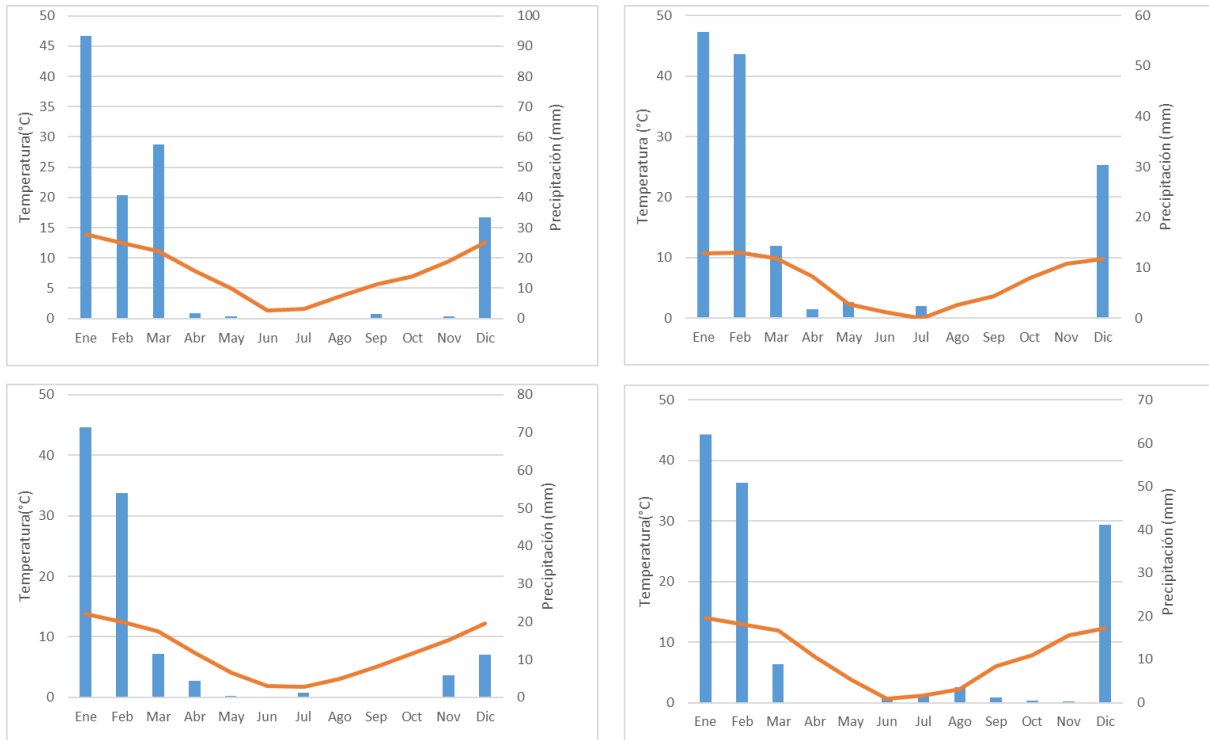


Figura 3. Climadiagramas correspondientes a Uyuni para los años 2003 a 2007 (arriba, izquierda), años 2008 a 2012 (arriba, derecha), años 2013 a 2017 (abajo, izquierda), años 2018 a 2022 (abajo, derecha).

Fuente: elaboración propia de base a datos SENAMHI para Estación Uyuni

1.3. Problema y Preguntas de Investigación

El cambio climático en el altiplano se manifiesta mayormente en un retraso del inicio de las lluvias y mayor sequía, esto se observa en mayor medida en caso del Altiplano Sur. El “boom” de la quinua ha llevado a remoción de vegetación nativa, por tanto, a procesos erosivos. Además, la pérdida de vegetación da lugar una pérdida importante de diversidad química de componentes con diversas potencialidades. La vegetación del lugar es muy particular porque debe tener fuertes mecanismos de defensa contra el elevado estrés medioambiental de la región. Entre los mecanismos de defensa se encuentra la producción de metabolitos secundarios con diversas propiedades como: fenólicos con propiedades fotoprotectoras contra la elevada radiación ultravioleta, saponinas y otros compuestos glicosilados con propiedades anticongelantes y

biopesticidas, entre otros, que además pueden poseer propiedades medicinales.

Adicionalmente, se observa que el cultivo continuo de quinua ha causado disminución de contenidos en materia orgánica del suelo, lo cual también influye sobre las posibilidades de retención de humedad del mismo. La combinación de factores climáticos y malos manejos agrícolas ha llevado a una situación en la cual el cultivo de quinua, tal como se lo viene realizando actualmente, lleva a insostenibilidad y podría llevar a riesgos para la seguridad alimentaria. Este problema es complejo y debe abordarse desde diferentes enfoques, uno de ellos está relacionado con la urgencia de revalorizar y reponer las especies vegetales nativas de la región. Por tanto las preguntas de investigación que se abordaron en el proyecto son:

¿Cómo puede introducirse vegetación nativa en los agroecosistemas de quinua?

¿Qué moléculas de interés están presentes en las especies vegetales nativas para permitir su revalorización e incentivar la revegetación?

¿Cuál es el aporte de las especies vegetales nativas a la mejora de las propiedades del suelo?

1.4. Objetivos del Proyecto de Investigación

Objetivo general:

Mejorar la resiliencia de agroecosistemas de quinua del altiplano boliviano frente al cambio climático, mediante el aprovechamiento del potencial de las especies nativas adaptadas localmente.

Objetivos específicos:

- Integrar especies vegetales nativas al sistema de producción de la quinua.
- Determinar el potencial económico (medicinal, alimenticio y/o industrial) de especies nativas seleccionadas, en base al saber local y científico
- Determinar el efecto en la salud del suelo (propiedades microbiológicas y químicas) de la incorporación de plantas nativas en la producción de quinua.
- Difundir las potencialidades de uso de las especies nativas en ecosistemas frágiles del altiplano árido donde se produce la quinua



Toma de muestras en franjas de vegetación multipropósito en parcelas de Fundación PROINPA (Uyuni).
Fuente: Equipo de Investigación Proyecto CVG412

2. ESTRATEGIAS Y MÉTODOS IMPLEMENTADOS

En base a los objetivos específicos, la implementación del proyecto se dividió en 4 componentes con la participación de diferentes actores como se observa en la Figura 4:

- Introducción de especies nativas en agroecosistemas de quinua
- Potencial económico de especies nativas seleccionadas
- Efecto de la introducción de especies nativas sobre la salud del suelo
- Difusión de resultados en diferentes ámbitos

Los componentes están relacionados entre sí, por ejemplo, la colecta de vegetación y de suelos se

realizó en los mismos lugares, los experimentos en condiciones controladas se hicieron con vegetación y suelos de las zonas de estudio, todo el conocimiento generado por los tres primeros componentes es utilizado para fines de socialización y difusión.

El presente proyecto es complementario y ha trabajado en sinergia con el proyecto “Fortalecimiento de la resiliencia en agroecosistemas áridos vulnerables al cambio climático, mediante la investigación de sus biorecursos vegetales y aplicaciones tecnológicas” que hace parte del programa SATREPS (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development) con financiamiento JICA (Japan International Cooperation Agency) y JST (Japan Ministry of Science and Technology).

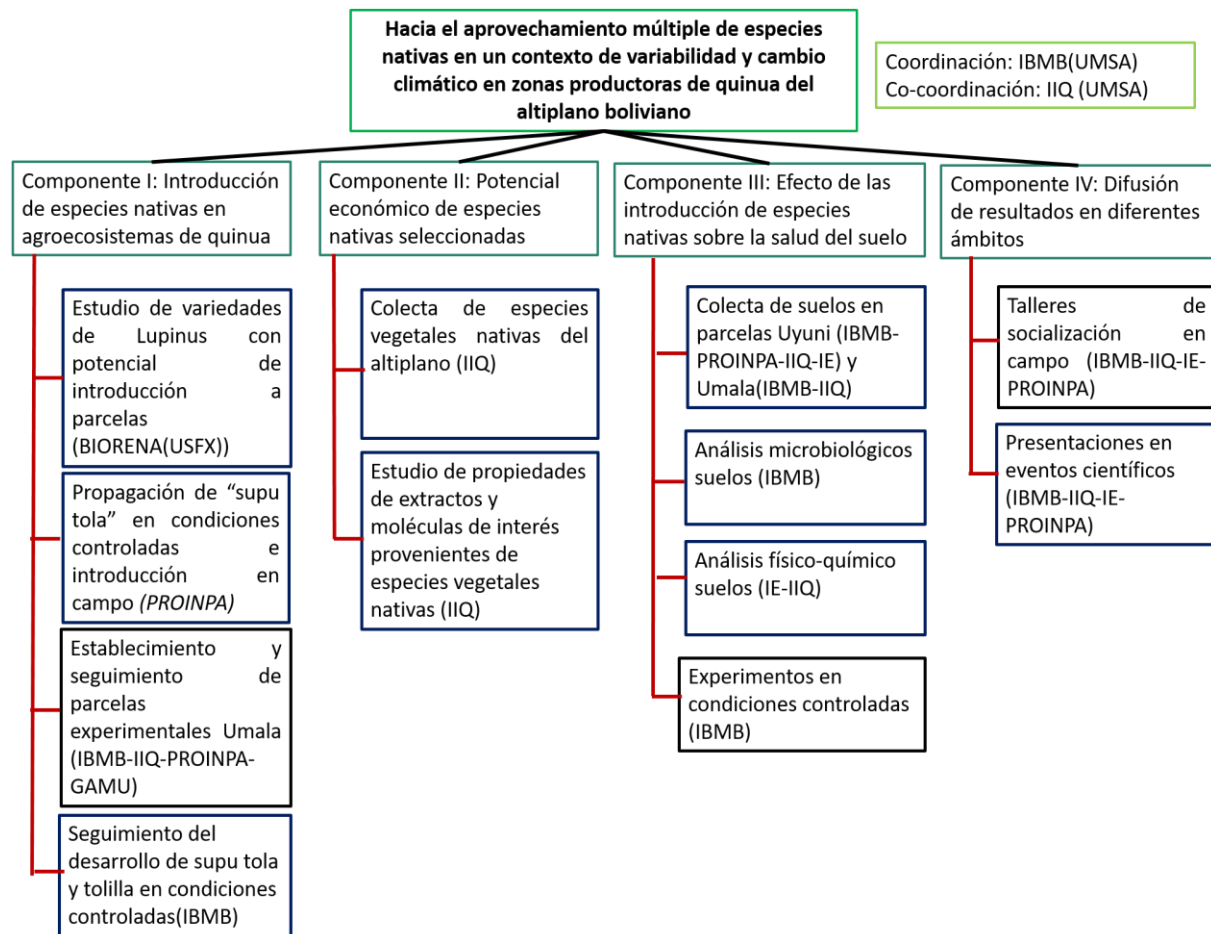


Figura 4. Estructura organizativa para el desarrollo del proyecto.

Abreviaciones: IBMB: Instituto de Biología Molecular y Biotecnología, IIQ: Instituto de Investigaciones Químicas, IE: Instituto de Ecología, BIORENA: Instituto de Biodiversidad y Recursos Naturales, USFX: Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, PROINPA: Fundación PROINPA, GAMU: Gobierno Autónomo Municipal de Umala. Fuente: elaboración propia en base a informes proyecto CVG 412

2.1. Estrategia/Método Implementado en el Componente I

La introducción de especies vegetales nativas en los agroecosistemas en los que se cultiva quinua puede realizarse mediante diferentes estrategias. Una de ellas es mediante la rotación o intercalado del cultivo de quinua con otras especies. Entre las especies promisorias se encuentran las pertenecientes al género *Lupinus* ya que estas presentan simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno y pueden aportar este elemento al suelo. Dentro del género se encuentran especies comestibles (como ser *Lupinus mutabilis*, conocido como tarwi) y especies que no son comestibles pero que son tolerantes a las

condiciones rigurosas del Altiplano Sur. Mediante el trabajo realizado en Banco de Germoplasma de BIORENA, se caracterizaron y se realizó el cultivo de accesiones de *Lupinus* para ver su potencialidad de introducción en esquema de rotación o como intercalado en las parcelas de quinua. De igual forma, se establecieron parcelas experimentales en Umala con intercalado entre quinua y tarwi, con la finalidad de determinar si este intercalado permitía mejorar el rendimiento de quinua y de algunas condiciones del suelo. La segunda estrategia consiste en los descansos mejorados, en los casos que las condiciones ambientales no permiten rotación de cultivos, luego del cultivo de quinua se



puede establecer otra especie tolerante a condiciones extremas que no es utilizada de forma directa como cultivo, pero protege al suelo de la erosión y puede ser incorporada al mismo como abono verde. La tercera estrategia consiste en mantener o introducir franjas de vegetación, mayormente formadas por arbustos nativos tales como las tolas (*Parastrephia lepidophylla* y *Baccharis tola*) o tolilla (*Fabiana densa*). Para poder hacer una revegetación masiva con estas especies, es necesario poder reproducirlas en cantidades adecuadas bajo condiciones controladas y luego evaluar su sobrevivencia en campo. Para esto se ha realizado un estudio de germinación y propagación en condiciones controladas, así como sobre establecimiento en campo para *Parastrephia lepidophylla* y se ha evaluado las tasas de crecimiento de plantines de *Baccharis tola* y de *Fabiana densa* en condiciones controladas

- Caracterización de accesiones de *Lupinus* sp.

Se realizaron colectas de diferentes *Lupinus* en las comunidades de Palca Huasi y Chaquilla (Potosí), en la comunidad de Poroma (Chuquisaca) y en Aiquile (Cochabamba). Para el caso de tarwi, se recolectó únicamente semilla y en el caso de *Lupinus* silvestres también se colectaron las plantas completas. Se realizó la limpieza y pesaje del material colectado. Las especies colectadas fueron sembradas en la parcela experimental de Agroecología con el Banco de Germoplasma BIORENA, ubicado en el Centro de Investigación e Innovación Villa Carmen dependiente de la Facultad de Ciencias Agrarias en el municipio de Yotala (Chuquisaca).

La preparación del terreno fue realizada de acuerdo al principio de labranza mínima, se realizó el deshierbe y se trazaron surcos manualmente. Se realizó una mezcla que contenía estiércol bovino, carbón vegetal y suelo del lugar y se colocó una pequeña cantidad de la mezcla en los hoyos donde

se pusieron las semillas. Durante el desarrollo del cultivo, se realizaron trabajos de riego y deshierbe, así como aplicaciones semanales de suspensiones que contienen microorganismos efectivos y controladores de plagas. Las accesiones fueron caracterizadas en base a los descriptores de *Lupinus* de Bioversity International para vaina y semilla, con caracteres discriminantes de los cuales 8 son cualitativos y 8 son cuantitativos. Para el análisis, se utilizó el programa PAST con la formación de análisis de conglomerados por el método de Ward y un análisis estadístico univariado.

- Establecimiento de parcelas experimentales con intercalado quinua: tarwi en Umala

Mediante acuerdos verbales con los productores se determinó establecer cuatro parcelas experimentales en las siguientes comunidades del Municipio de Umala: San Juan Sirca, San Miguel de Copani y Santiago de Collana en la gestión 2021-2022. El objetivo del establecimiento de estas parcelas fue determinar el efecto del intercalado de tarwi sobre los rendimientos de la quinua y las propiedades del suelo. Se tomaron muestras de suelos para la realización de análisis de laboratorio antes de la siembra y luego de la cosecha. El diseño de las parcelas experimentales fue de bloques al azar con cuatro tratamientos (quinua, tarwi, quinua intercalada con tarwi en relación 2 surcos quinua: 1 surco tarwi, quinua intercalada con tarwi en relación 4 surcos quinua: 1 surco tarwi). Se tuvo cuatro réplicas por tratamiento. Únicamente se pudo hacer la evaluación de la cosecha en dos de las parcelas dado que las otras dos se perdieron por inclemencias climáticas. Para la gestión 2022-2023 se amplió el número de parcelas experimentales con la finalidad de confirmar los resultados de la primera gestión, pero también para determinar el efecto de la incorporación de tarwi como abono verde.

- Multiplicación de plantines de *Paratrephia lepidophylla* en condiciones controladas y seguimiento a plantines de *Baccharis tola* y *Fabiana densa*

En el Centro de Investigación Kiphakiphani de PROINPA se hicieron pruebas de multiplicación de *Paratrephia lepidophylla* (supu tola) a partir de semillas colectadas en campo. Inicialmente, se hicieron pruebas de germinación para determinar la viabilidad de las semillas, colocando las semillas sobre papel filtro humedecido y controlando la aparición de radícula como criterio de germinación durante 5 días. Luego se hizo seguimiento del desarrollo de plantines bajo cuatro tratamientos: únicamente con suelo de las parcelas de la Estación experimental, con suelo y 10% de humus de lombriz, con suelo y 20% de humus de lombriz y finalmente con suelo y 30% de humus. Se realizaron cuatro réplicas para cada tratamiento y se tuvo un diseño de bloques al azar. El seguimiento del desarrollo de los plantines se realizó durante cuatro meses. Al finalizar este plazo, los plantines fueron llevados a la comunidad de San Miguel de Copani (Umala), donde fueron transplantados a los bordes de la parcela para poder evaluar su supervivencia en campo. Se evaluó la supervivencia a los tres meses del transplante.

- En el campus de Cota Cota se colocaron macetas que contenían suelo colectado en Umala y plantines de *Baccharis tola* con la finalidad de determinar el efecto de la presencia de estos plantines en propiedades microbiológicas y bioquímicas de suelo. Igualmente, se colocaron macetas que contenían suelo de las parcelas de Uyuni con plantines de *Fabiana densa* que fueron regados con agua con diferentes niveles de salinidad. Para ambos plantines, se hizo un seguimiento de la altura de planta en el tiempo.



Figura 5. Colecta de muestras.
A) *Parastrephia lepidophylla* (Chacala-Uyuni) B) *Adesmia miraflorensis* (Copani-Umala) C) *Adesmia horrida* (Chita-Uyuni).
Fuente: Equipo de investigación proyecto CVG412



2.2. Estrategia/Método Implementado en el Componente II

Para la determinación del potencial económico (medicinal, alimenticio y/o industrial) de especies nativas seleccionadas, en base al saber local y científico, se realizaron los siguientes pasos:

- Colecta e identificación del material vegetal (Figura 5). El material vegetal se recolectó en las regiones de Chita y Chacala, del municipio de Uyuni, en el Altiplano Sur, así como de Cañaviri y Copani, del municipio de Umala, en el Altiplano Central.

Durante la recolección se hizo preguntas a los habitantes de las comunidades sobre el uso local de las plantas. Se colectaron en total 16 muestras, las cuales fueron identificadas por el Lic. Oscar Plata y la Lic. Rosa Meneses del Herbario Nacional de Bolivia (LPB), donde se encuentran los vouchers correspondientes.

- Obtención de extractos. Las muestras colectadas se sometieron a un proceso de secado, dejándolas en un ambiente sin presencia de luz solar, seco y ventilado, una vez secas las muestras se procedió al picado o molienda para su extracción. La extracción se realizó por maceración a temperatura ambiente utilizando solventes de diferente polaridad. Así se obtuvieron los siguientes extractos: i) Extracto Etéreo (con Éter de Petróleo 20-60°C por 3 h); ii) Extracto Etanólico (con EtOH de 96° por 24 h) y iii) Extracto Hidro-alcohólico (con EtOH: H₂O 70:30 por 24 h). Las extracciones inicialmente se realizaron con muestras de 100 g por triplicado, determinando su rendimiento.
- Estudio fitoquímico preliminar. Los extractos obtenidos fueron sometidos a un estudio fitoquímico preliminar, para identificar la presencia de diversos tipos de metabolitos secundarios de manera semi-cuantitativa. El estudio fue acompañado por placas de Cromatografía en Capa Fina (TLC), que confirmaron la presencia de los grupos de metabolitos secundarios. Así se determinaron: Alcaloides (Método de Mayer); Saponinas (Método de espuma); Fenoles (con Cloruro Férrico); Taninos (con Acetato de Plomo); Flavonoides (Método de Shinoda); Triterpenos y Esteroides (Método de Liebermann-Buchard); y Glicósidos cárdicos (con el reactivo de Bajlet).
- Selección de especies vegetales. Con base en el estudio fitoquímico preliminar, antecedentes de su uso tradicional, uso en barreras vivas o descansos mejorados, y antecedentes bibliográficos, se seleccionó las especies para estudios fitoquímicos más profundos.
- Aislamiento e identificación de compuestos bioactivos. De las especies seleccionadas se eligieron los extractos con base en el estudio fitoquímico preliminar y placas TLC. Los extractos seleccionados fueron sometidos a diversos procesos cromatográficos sucesivos en columnas de exclusión molecular, Sephadex LH-20, y de adsorción en Silicagel como VLC (Cromatografía Líquida al Vacío), CC (Cromatografía en Columna Abierta), Flash (Cromatografía sometida a la presión de N₂ gaseoso). Los compuestos puros obtenidos y los extractos de los que fueron obtenidos fueron analizados por HPLC (Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia), LC/MS (Cromatografía Líquida acoplada a Espectrometría de Masas), GC/MS (Cromatografía de gases acoplada a Espectrometría de Masas), UV/Vis

(Espectroscopia Ultra Violeta/Visible) y, particularmente los compuestos puros a RMN (Espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear). Con lo que se logró comprobar la pureza de los compuestos, sus estructuras y algunas de sus características, como su absorción de la radiación UV.

Evaluación de la actividad antioxidante. Finalmente, la mayoría de los compuestos puros y extractos que presentaron compuestos fenólicos, fueron evaluados mediante tres métodos para determinar su actividad antioxidante *in vitro*. Los métodos utilizados fueron: i) El método ABTS, que utiliza el catión radicalario (ABTS+.) 2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico), de color verde azulado que muestra un máximo de absorción a una longitud de 734 nm, con el que se determinan inhibidores de radicales libres. ii) El método DPPH, que determina la actividad antioxidante de manera similar usando un radical libre estable, α , α -difeníl- β -picrilhidrazilo (DPPH). El ensayo se basa en la medición de la capacidad secuestrante de los antioxidantes hacia este radical libre. iii) El ensayo con Folin – Ciocalteu (FC) para determinación de compuesto fenólicos. El método está basado en la oxidación de los fenoles, utiliza una mezcla de ácidos

fosfomolibdico y fosfotúngstico de color amarillo comúnmente denominado "reactivo de FC" que se reduce por oxidación de los fenoles a una mezcla de óxidos azules.

2.3. Estrategia/Método Implementado en el Componente III

Para determinar el efecto en la salud del suelo (propiedades microbiológicas y químicas) de la incorporación de plantas nativas en la producción de quinua, se realizó el muestreo de suelos en parcelas de las comunidades de Chita y Chacala manejadas por la Fundación PROINPA en las cuales se tienen barreras vivas multipropósito y descansos mejorados. Para los muestreos realizados en abril 2021 y septiembre 2021 se utilizaron los siguientes esquemas (ver Figura 6):

- Para parcelas con barreras multipropósito se tomaron dos muestras dentro de la barrera, dos muestras en los "corredores intermedios", es decir en el espacio que va desde la parcela hasta unos 3 metros de ella y dos muestras en la parcela de quinua
- Las parcelas con descansos mejorados fueron divididas en dos partes de área similar y se tomó una muestra de cada mitad.

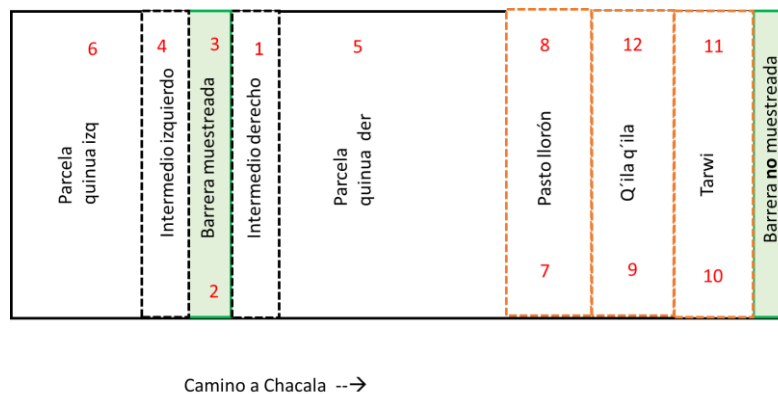


Figura 6. Esquema de muestreo de suelos en parcelas que contienen barreras y parcelas con descanso mejorado.

Los números en rojo indican el número de muestra y el lugar de muestreo,

Fuente: elaboración propia en base a cuadernos de campo



En base a los resultados de laboratorio, se determinó un nuevo esquema de muestreo restringiendo a barreras vivas que ya tenían cierto grado de desarrollo y reduciendo los descansos mejorados a solo dos especies: *Lupinus* sp. y pasto llorón (*Eragrostis curvula*). Este nuevo esquema se utilizó en abril 2022. Para las barreras vivas se tomaron muestras justo debajo

de las especies que integran las barreras, y entre arbustos de barreras, se muestreó en tolar natural también bajo los arbustos y entre ellos y en parcelas de quinua aleña. Para el caso de los descansos mejorados, se muestreó en la parcela en descanso, en un descanso natural colindante y en una parcela de quinua aleña. (Figura 7).



Figura 7. Colecta de suelos en parcelas con barreras vivas.

Fuente: Equipo de investigación CVG 412.

Adicionalmente, se realizaron pruebas referentes al efecto de plantines de *Baccharis tola* sobre propiedades microbiológicas y bioquímicas del suelo en condiciones controladas. Para esto se colocaron plantines de *Baccharis tola* en macetas que contenían aproximadamente 3 Kg de suelo colectado de parcelas de Umala y se tuvo otras siete macetas en las cuales se colocó la misma cantidad de suelo pero

en ausencia de plantín. Se tomaron muestras de suelo de forma concéntrica a una distancia de 1 cm de la planta y a una profundidad de 0 a 10 cm en base a Yao *et al.* (2019) de forma mensual durante cinco meses.

Los análisis de laboratorio que se realizaron con las diferentes muestras se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Métodos de análisis de laboratorio realizados.

Fuente: elaboración propia en base a protocolos y cuadernos de laboratorio.

Análisis realizados		Muestras
Análisis físico-químicos	Textura por método de la pipeta (Dewis & Freitas, 1984)	Parcelas de Uyuni(Muestreos 1 y 3) Parcelas de Umala Muestras de macetas
	pH acuoso en suspensión 1:2,5	Parcelas de Uyuni(Muestreos 1,2 y 3) Parcelas de Umala Muestras de macetas
	Conductividad eléctrica en suspensión 1:2,5	Parcelas de Uyuni(Muestreos 1,2 y 3) Parcelas de Umala Muestras de macetas

	Materia orgánica por método de Walkey Black(Nelson & Sommers, 1982)	Parcelas de Uyuni(Muestreos 1,2 y 3) Parcelas de Umala Muestras de macetas
	Nitrógeno total por método de Kjendhal	Parcelas de Uyuni(Muestreos 1 y 3) Parcelas de Umala Muestras de macetas
	Fósforo disponible por método de Olsen ((Cochrane & Barber, 1993)	Parcelas de Uyuni(Muestreos 1 y 3) Parcelas de Umala Muestras de macetas
	Sodio (Na), potasio (K), Magnesio(Mg) y Calcio (Ca) por extracción con acetato de amonio y absorción atómica	Parcelas de Uyuni(Muestreos 1, 2 (representativas y 3) Parcelas de Umala
	Carbono oxidable	Parcelas de Uyuni(Muestreo 3)
	Materia orgánica particulada	Parcelas de Uyuni(Muestreo 3)
	Nitrógeno mineral (nitratos)	Parcelas de Uyuni(Muestreo 3)
	Análisis realizados	Muestras
Análisis microbiológicos y bioquímicos	Carbono de la biomasa microbiana ((Joergensen, 1995)	Parcelas de Uyuni(Muestreos 1, 2 y 3) Muestras de macetas
	Fósforo de la biomasa microbiana	Muestras de macetas
	Actividad microbiana por respirometría (Alef & Nannipieri, 1995b)	Parcelas de Uyuni(Muestreos 1, 2 y 3) Muestras de macetas
	Actividad glucosidasa(Alef & Nannipieri, 1995a)	Parcelas de Uyuni(Muestreos 1, 2 y 3) Muestras de macetas
	Actividad fosfatasa	Parcelas de Uyuni(Muestreos 1, 2 y 3) Muestras de macetas

Considerando la importancia que tienen los microorganismos en permitir a plantas sobrevivir en un ambiente tan hostil como el de los suelos de Uyuni, se ha realizado un estudio para determinar la diversidad de bacterias asociadas a la rizósfera de plantas de *Fabiana densa* y cómo se ve afectada por diferentes niveles de salinidad. Se utilizaron macetas con suelo tomado de parcelas de Uyuni y plantines de *Fabiana densa* de la misma localidad. Se trasplantaron de uno a dos plantines por maceta con alrededor de 1 kg de suelo, en total se establecieron 24 macetas (4 tratamientos con 6 réplicas) y los

plantines fueron aclimatados por 6 días. Los tratamientos fueron: riego con agua destilada y riego con soluciones salinas (NaCl) de 15 mM, 25 mM y 40 mM. Los plantines se regaron con 100 ml de las soluciones correspondientes, por maceta cada semana. Se midió la altura de los plantines al inicio de su establecimiento y en cada colecta de las muestras. Se realizó una caracterización fisicoquímica inicial de la mezcla de suelo resultante, antes de añadirla en las macetas. Al finalizar el ensayo, se volvió a determinar el pH y la conductividad eléctrica del suelo.



La rizósfera se recolectó a la décima y vigésima semana del establecimiento de los plantines, en base al protocolo descrito por Barillot et al. (2012). Una vez obtenida las suspensiones con suelo rizosférico, se dejó sedimentar durante una noche a 4°C y se recuperó el suelo por centrifugación. La extracción de ADN total a partir de la rizósfera se realizó con los kits correspondientes siguiendo las instrucciones del fabricante y se determinó la concentración de ADN obtenido mediante fluorómetro. Se realizó una amplificación de la región V3-V4 del gen ARNr 16S, los amplicones fueron purificados y enviados a Genome Québec (Canadá) para el secuenciado. El análisis bioinformático fue realizado mediante el software QIIME2.

2.4. Estrategia/Método en el Componente IV

La estrategia para la difusión de las potencialidades del uso de especies nativas, se ha basado mayormente en la organización de talleres con los productores. Estos talleres se han organizado tomando en cuenta las fechas y horarios en los que los productores realizan sus reuniones semanales o mensuales y solicitando permiso a las autoridades locales. La difusión de resultados iniciales también se realizó en eventos científicos y se ha preparado material de difusión.

2.5. Estrategia/Método Implementado para Ejes Transversales

Los ejes transversales de género, interculturalidad, gobernanza y gobernabilidad se han trabajado mediante indicadores que fueron consensuados al inicio del proyecto como puede verse en la Tabla 3.

Tabla 3. Indicadores de los ejes transversales.
Fuente: elaboración propia en colaboración con WCS

Eje	Indicador	Instrumentos
Género	Número de hombres y mujeres en el equipo	Listados desagregados: edad, sexo, niveles de formación, cargos, responsabilidades
	Número de hombres y mujeres que participan según actividad	
	Número de hombres y mujeres jóvenes que participan en las actividades del proyecto	
Interculturalidad	Número de pueblos indígenas	Planilla de registro. Descripciones del contexto cultural (cualitativos) Fichas revalorizadoras Encuestas a productores como resultado del proyecto
	N° de prácticas tradicionales recuperadas respecto a manejo de cultivos (tarwi y quinua) y conocimientos sobre las plantas de estudio	
	<i>Número de productores que muestran interés en la aplicación de tecnologías y conocimientos generados en el proyecto.</i>	
Gobernanza y gobernabilidad	N° OAPIS (ASPROQUIJU)	Acuerdos, convenios, cartas de intenciones
	N° Municipios	
	N° Comunidades	
	N° Instituciones socias (Fundación Proinpa)	
	N° Socio Estatal (MMAyA, mediante proyecto SATREPS)	



Evaluación parcela experimental con intercalado quinua: tarwi en Umala.
Fuente: Equipo de Investigación Proyecto CVG412

3. RESULTADOS

3.1. Resultados del Componente I: Introducción de especies nativas en agroecosistemas de quinua

- **Se han colectado y caracterizado 17 accesiones de *Lupinus* que podrán ser incorporadas en el agroecosistema de quinua**

Se han colectado y caracterizado 4 accesiones de Palca Huasi, 5 accesiones de Chaquilla, 4 accesiones de Poroma y 4 accesiones de Aiquile totalizando 17 accesiones. De dos de las accesiones (A-2, A-5) únicamente se caracterizaron las semillas dado que no se logró

su desarrollo en la parcela experimental, mientras que de otras tres accesiones (A-10, A-14, -A-15) se llegó a caracterizar únicamente la etapa vegetativa. Para las demás accesiones se observó, en base a los descriptores de Biodiversity International, crecimiento de tipo herbáceo, porte de planta erecto, forma de los foliolos elíptica. La forma de las semillas de todas las accesiones excepto la A-13 fue aplanada esférica, mientras que para A-13 se observó una forma cuboide aplanada. Con la excepción de A-16 todas las semillas mostraron un color blanco uniforme. Las semillas de A-16 presentaron dos colores blanco, y blanco y negro. Las características cuantitativas registradas se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Características cuantitativas de las diferentes accesiones de *Lupinus* sp.
Fuente: Elaboración propia en base datos BIORENA

Accesión	Long. vaina (cm)	Ancho vaina (cm)	Long. semilla (cm)	Ancho semilla (cm)
A-3	1,0	1,3	0,9	0,8
A-4	1,0	1,3	0,8	0,7
A-6	1,5	1,0	1,0	0,7
A-7	1,0	1,3	0,9	0,8
A-8	1,0	1,3	0,9	0,8
A-9	1,0	1,2	1,0	0,8
A-11	1,5	1,3	1,0	0,8
A-12	1,3	0,7	0,8	0,7
A-13	1,4	0,7	0,8	0,8



A-14	1,4	1,0	0,8	0,7
A-16	1,4	1,3	1,0	0,8
A-17	1,0	1,3	1,0	0,7

A partir de la caracterización, se elaboró el dendrograma que se observa en la Figura 8, esta muestra una separación de las accesiones en dos grupos, el primero con la accesión A-16 que

presenta semillas de colores diferentes a las demás accesiones. En el segundo grupo se encuentran las demás accesiones que difieren entre sí mayormente por algunos rasgos cuantitativos.

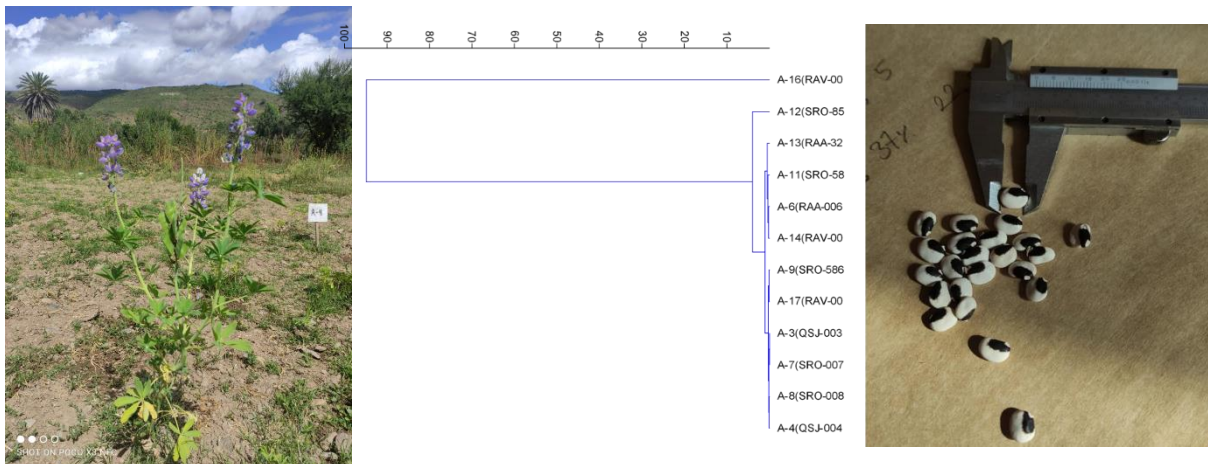


Figura 8. Dendrograma de 12 accesiones de *Lupinus* spp evaluadas en parcela experimental BIORENA.

Foto planta de accesión A-4 y de semillas de la accesión A-16.

Fuente: equipo de investigación CVG 412

- **Se obtuvo un efecto positivo del intercalado de tarwi en el cultivo de quinua para las parcelas experimentales en Umala**

La Figura 9 muestra el rendimiento de quinua obtenido en las dos parcelas experimentales situadas en Umala. Puede observarse que en la parcela de Collana se tienen rendimientos superiores a la parcela de Sirca. Las condiciones de suelo de ambas parcelas fueron similares y se utilizó la misma semilla, la diferencia puede deberse a que en la parcela de Sirca se vio

afectada por fuerte presencia de plagas que no fueron detectadas a tiempo. A pesar de esto, en ambas parcelas se observó rendimientos mayores en las unidades experimentales donde se intercaló tarwi. Para el caso de la parcela en Collana, las unidades experimentales con intercalado 4:1 (cuatro surcos con quinua, un surco con tarwi) mostraron un rendimiento significativamente mayor que las unidades experimentales donde solo se sembró quinua. El tarwi no llegó a la maduración por la caída de helada, sin embargo, permitió potenciar rendimientos y al ser incorporado al suelo cumple el rol de abono verde.

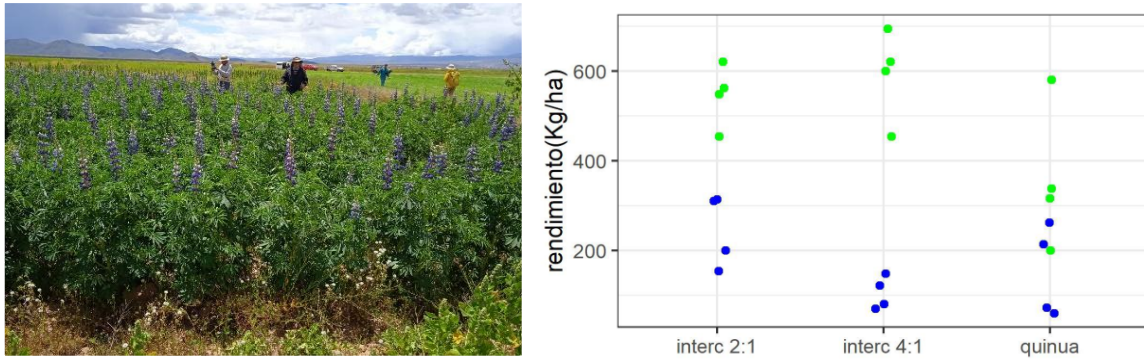


Figura 9. Efecto del intercalado con tarwi sobre los rendimientos de quinua
 Izquierda: Parcela experimental en la que se realizó el intercalado de quinua con tarwi (iaq). Derecha: rendimientos de quinua obtenidos en la parcela experimental de Collana (en verde) y de Sirca (en azul) para unidades experimentales que contienen únicamente quinua, 4 surcos de quinua intercalados con un surco de tarwi y 2 surcos de quinua intercalados con 1 surco de tarwi.
 Fuente: Equipo de investigación CVG412).

- Se logró la propagación de supu tola (*Parastrephia lepidophylla*) en condiciones controladas y se observó un efecto positivo del uso de humus de lombriz

Las semillas colectadas de *Parastrephia lepidophylla* germinaron casi en su totalidad mostrando una alta viabilidad. En cuanto al efecto de la adición de humus de lombriz (vermicompost), se observó que mayores concentraciones de este material orgánico permitían un mayor desarrollo de los plantines y mayor sobrevivencia en campo (Figura 10).

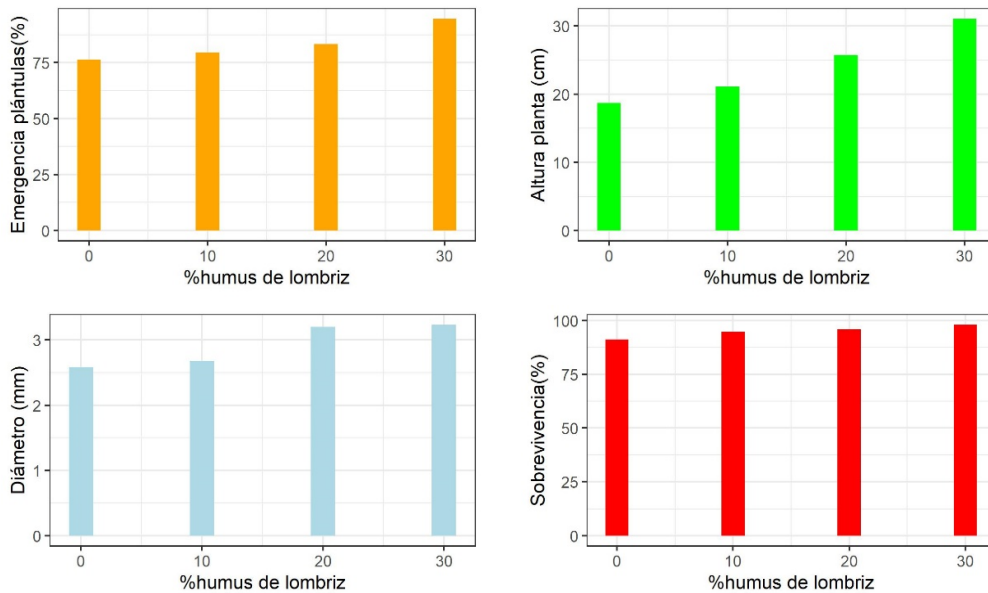


Figura 10. Características de los plantines de *Parastrephia lepidophylla* que fueron propagados bajo condiciones controladas y en sustratos con creciente concentración de humus de lombriz.
 Fuente: elaboración propia en base a datos proyecto CVG412



3.2. Resultados del Componente II

- Se colectaron 16 especies vegetales nativas para realizar estudios fitoquímicos

La Tabla 5 permite observar las características de las especies vegetales nativas que fueron colectadas en las diferentes áreas de estudio y algunas áreas complementarias.

Tabla 5. Características de las especies vegetales colectadas en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia

N°	Especie	Familia	Nombre común	Región de colecta
1	<i>Adesmia horrida</i> Gillies ex Hook. & Arn	Fabaceae-pap	añagua gruesa, añagüilla, espina gruesa	Chita Uyuni - Potosí
2	<i>Adesmia spinosissima</i> Meyen ex Vogel	Fabaceae-pap	añagüilla, añagua delgada, canlla	Huari - Oruro
3	<i>Adesmia miraflorensis</i> J. Remy	Fabaceae-pap	Añahuaya, añaguaya, misuk'a	Copani Umala – La Paz
4	<i>Baccharis boliviensis</i> (Wedd) Cabrera	Asteraceae	Tola amarilla, tola chica, chijlla	Salinas de Garcimendoza - Oruro
5	<i>Baccharis tola</i> Phil	Asteraceae	Ñaka tola, ñaka t'ula	Chacala Uyuni, Cañaviri Umala – La Paz
6	<i>Fabiana densa</i> Remy	Solanaceae	Tolilla, checal, tara, pichana	Salinas de Garcimendoza - Oruro
7	<i>Lampayo cf. castellani</i> Moldenke	Verbenaceae	Lamphaya, lampaya, lampayo	Chacala Uyuni - Potosí
8	<i>Lampayo medicinalis</i> F. Phil.	Verbenaceae	Lampaya o lampayo	Uyuni - Potosí
9	<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet	Fabaceae	Tarwi, tarhui, lupino, chocho	Umala y Khipakhipani- La Paz
10	<i>Lupinus cf. wendermannianus</i>	Fabaceae	Tarwi silvestre, lupino silvestre	Chacala Uyuni – Potosí Orinoca-Oruro
11	<i>Mutisia acuminata</i> Ruiz & Pav.	Asteraceae	Chirchicoma, Chinchirkuma	Salinas de Garcimendoza – Oruro
12	<i>Mutisia orbignyana</i> Wedd.	Asteraceae	Ch'illka, Kutu Kutu, Chirchicoma	Salinas de Garcimendoza – Oruro
13	<i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera	Asteraceae	Supu tola, S'upu t'ula	Chacala Uyuni - Potosí
14	<i>Parastrephia lucida</i> (Meyen) Cabrera	Asteraceae	Uma tola, uma t'ula, unutola, tola de agua	Chacala Uyuni - Potosí
15	<i>Senecio adenophyllus</i> Meyen & Walp.	Asteraceae	Tola hedionda, chachakoma, tola de burro	Orinoca - Oruro
16	<i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm.	Rosaceae	Canjia, chojchan, kanlla, K'hanlla	Orinoca - Oruro

- Se determinó la presencia de diferentes grupos de compuestos de interés en las especies vegetales colectadas mediante el análisis fitoquímico preliminar

Los resultados del análisis fitoquímico preliminar se presentan en la Tabla 7 y mostraron la presencia de grupos de metabolitos secundarios en los extractos: etéreos (Et), etanólicos (EtOH) e hidro-alcohólicos (HA). Los extractos etanólicos e hidroalcoholicos mostraron mayor presencia de metabolitos de interés.

Tabla 6. Resultados del estudio fitoquímico preliminar donde se determina la presencia de grupos metabolitos secundarios.
Fuente: elaboración propia a partir de datos de laboratorio

Metabolitos secundarios Prueba	Ext.	Alcaloides	Saponinas	Comp. Fenólicos	Taninos	Flavonoides	Triterpenos Esteroides	Glicosidos cardiacos
		Meyer	Espuma	FeCl ₃	AcOPb	Shinoda	Liebermann Burchard	Baljet
<i>Adesmia espinosísima</i>	EtOH	-	++	+++	+++	++	-	++
	HA	-	++	++	+++	-	+	++
<i>Adesmia horrida</i>	EtOH	-	++	+++	+++	+++	-	++
	HA	-	++	+++	++	++	++	++
<i>Adesmia miraflorensis</i>	EtOH	-	+++	+++	++	+	++	++
	HA	-	++	++	++	-	++	++
<i>Baccharis boliviensis</i>	EtOH	+	+	+++	-	+++	+	-
	HA	-	+++	+++	-	+	-	-
<i>Baccharis tola</i>	EtOH	-	-	++	-	++	+	-
	HA	-	++	++	-	+	-	-
<i>Fabiana densa</i>	EtOH	-	-	-	-	+	+	+++
	HA	-	++	+++	+	-	-	-
<i>Lampayo cf. castellani</i>	EtOH	+	+	+++	+	++	+	+
	HA	-	++	+++	+	+	++	++
<i>Lampayo medicinalis</i>	EtOH	+	+	+++	+	++	+	+
	HA	-	+	+++	-	+	++	++
<i>Lupinus mutabilis</i>	EtOH	+++	-	+	+	-	+	-
	HA	+++	+	++	+	+	+	-
<i>L. cf wendermannianus</i>	EtOH	+++	-	+	-	++	+	-
	HA	+++	++	+	+	+	+	-
<i>Mutisia acuminata</i>	EtOH	++	+	++	++	-	++	++
	HA	-	+++	++	++	+	-	++
<i>Mutisia orbignyana</i>	EtOH	+	-	+++	+	++	++	++
	HA	-	+++	++	+++	+	+	++
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	EtOH	-	+++	+++	+++	+++	+	+
	HA	+	+++	+++	+++	+++	+	+
<i>Parastrephia lucida</i>	EtOH	++	-	+++	+	+++	+	+
	HA	++	+	+++	+	+++	+	+
<i>Senecio adenophyllus</i>	EtOH	+	-	+	-	-	+	++
	HA	-	++	-	-	-	-	-



<i>Tetraglochin cristatum</i>	EtOH	++	++	++	+	+	++	-
	HA	-	+++	++	+++	+++	+	-

(+++) Presencia muy evidente; (++) Presencia evidente; (+) Presencia probable; (-) Ausencia

En base al estudio fitoquímico preliminar, antecedentes de su uso tradicional, uso en barreras vivas o descansos mejorados, y antecedentes bibliográficos, se seleccionó las siguientes especies para estudios fitoquímicos más profundos: *Lampayo castellani*, *Parastrephia lepidophylla* y *Baccharis tola*.

- Se identificó la presencia de moléculas de interés farmacéutico, antiinflamatorio y fotoprotector en extractos de las plantas seleccionadas

La *Parastrephia lepidophylla* (Figura 11) es un arbusto perenne de amplia distribución en la región Andina (Perú, Chile, Bolivia y Argentina). Conocida comúnmente como *supu tola*, se utiliza para curar o prevenir diferentes enfermedades como resfriado, tos, mal de aire, problemas estomacales, fracturas y golpes, también como colorante natural de tejidos de lana ovina y fibra de alpaca, y en Altiplano Sur en barreras vivas multipropósito.



Figura 11. Uso de *Parastrephia lepidophylla* y *Baccharis tola* en barreras multipropósito.

Fuente: Equipo de investigación proyecto CVG 412

Para su estudio se eligió el extracto etanólico del cual se realizó un fraccionamiento con Etér de Petróleo y Acetato de Etilo (F-AcOEt). Las fracciones y el extracto fueron controlados mediante placas de cromatografía en capa fina determinándose que la F-AcOEt era las que presentaba mayor cantidad de compuestos fenólicos y menor complejidad para su separación. Por lo que fue sometida a dos separaciones por columnas VLC, logrando de esta manera aislar el compuesto 1, identificado por espectroscopia de RMN como la flavanona 7-O-metileriodictyol (Figura 12), un compuesto muy parecido al eriodictyol de importante propiedades farmacológicas (Islam, 2020).

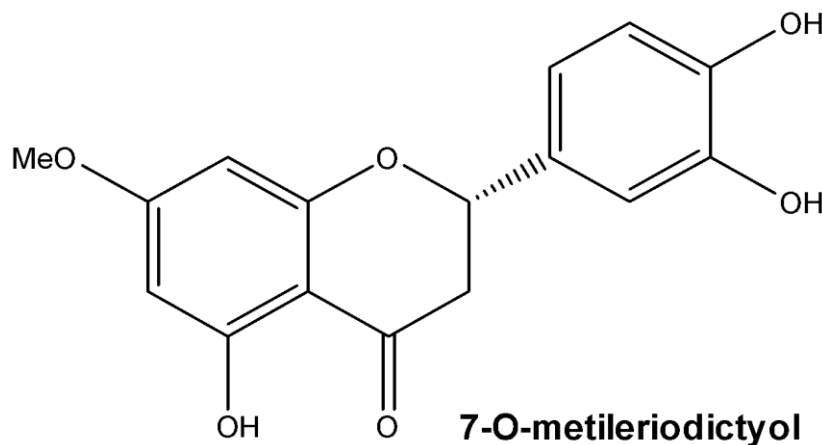


Figura 12. 7-O-metileriodictyol, flavanona con propiedades antibacteriales contra bacterias gram (+) y gram (-) además de propiedades antioxidantes.

Adicionalmente, se realizó un fraccionamiento por exclusión molecular utilizando Sephadex LH-20, obteniéndose 3 fracciones ricas en compuestos fenólicos. Tanto, el extracto etanólico, como la fracción F-AcOEt, las fracciones de Sephadex enriquecidas en compuestos fenólicos y el compuesto puro,

fueron analizados por tres ensayos (FC, ABTS y DPPH) para determinar su capacidad antioxidante, determinándose que tanto las fracciones enriquecidas en fenólicos como el compuesto puro mostraron una buena actividad antioxidante inhibidora de radicales libres (Tabla 7).

Tabla 7. Capacidades antioxidantes de las distintas fracciones.

Fuente: Elaboración propia en base a datos laboratorio Equipo CVG 412.

N°	MUESTRA	FOLIN-CIOCALTEU		ABTS		DPPH	
		mg EAG/g muestra	Desviación Estándar	µmoles ET/ g muestra	Desviación Estándar	µmoles ET/ g muestra	Desviación Estándar
1	Ex. EtOH	186,963	0,009	1018,659	0,012	548,576	0,004
2	F-AcOEt	176,582	0,026	1107,622	0,017	647,186	0,003
3	Fracción enriquecida SPH -1	429,927	0,017	1987,933	0,013	527,853	0,006
4	Fracción enriquecida SPH -2	636,120	0,013	1991,321	0,015	829,547	0,005
5	Fracción enriquecida SPH-3	676,920	0,018	2043,995	0,005	2477,577	0,008
6	7-O-metileriodictyol	657,656	0,014	2115,544	0,011	335,057	0,008
8	Quercetina*	898,876	0,022	6033,212	0,008	7657,372	0,009

*Control positivo

De acuerdo a los resultados encontrados esta especie tiene un gran potencial para el desarrollo de un producto fitoterapéutico utilizando como base la fracción F-AcOEt, que tiene una interesante composición de productos fenólicos.

Lampayo castellani. (Figura 13) Arbusto perenne conocido comúnmente como *Lampaya*, densamente ramoso, de hojas opuestas lisas, gruesas, enteras y orbiculares, de gran distribución en el Altiplano Sur de Bolivia, y presencia importante en la puna de Chile y Argentina. Su uso medicinal es bastante reconocido, tomándolo como infusión para el tratamiento de resfriados, dolor de estómago, antitusivo y contra el reumatismo, la artritis y

dolores articulares del cuerpo. En emplasto también es utilizado contra inflamaciones.



Figura 13. Arbustos de Lampaya.

Fuente: Equipo de investigación proyecto CVG412

De esta especie se utilizó el extracto EtOH, del cual se hizo un primer fraccionamiento con Éter de



Petróleo y Acetato de Etilo. Uniendo luego estas fracciones, que presentaban la presencia mayoritaria de triterpenos, para luego someterlas a diversos procesos cromatográficos que dieron lugar al aislamiento de dos triterpenos: el ácido oleanólico y el ácido maslínico, identificados por espectroscopía de RMN 1D y 2D.

La presencia de ácido oleanólico y ácido maslínico (Figura 15) en *Lampayo castellani*, es muy importante, ya que ambos mostraron importantes actividades biológicas y farmacológicas.

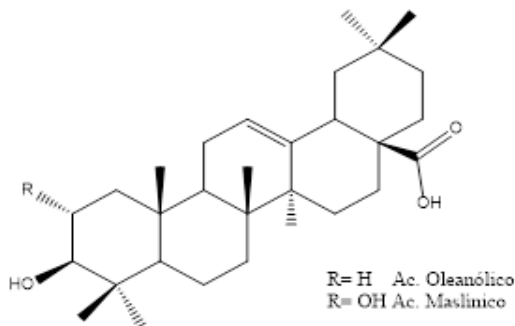


Figura 14. Estructuras del Ac. oleanólico y del ácido maslínico

Así, el ácido oleanólico tiene diversos estudios que mostraron su actividad anti-VIH, antiinflamatoria (Argumedo, 2003) y anticancerígena (Liu J., 2005) (Ovesna. Z. K., 2006), además es utilizado como gastroprotector y hepatoprotector, siendo comercializado como droga en la China (Lozano et al, 2017). Mientras que el ácido maslínico muestra baja toxicidad y actividades antioxidantes (Montilla, 2003), antiinflamatorias antivirales, anticancerosas, antimalaricas y anti-VIH (Hsum, 2011). Por lo que su presencia, como componentes mayoritarios en la fracción de AcOEt del extracto etanólico, justifica su uso o tradicional y el uso de extractos y compuestos en potenciales formulaciones

fitofarmacéuticas. El único problema, es que es de difícil reproducción por su alta dormancia.



Figura 15. Arbustos de ñaka tola (*Baccharis tola*).
Fuente: equipo de investigación proyecto CVG 412

Baccharis tola. La ñaka tola (Figura 15) es un arbusto nativo que crece en el altiplano boliviano y en la zona andina en general (Argentina, Perú, Bolivia y Chile). Se usa para el empacho, reumatismo y para disolver los cálculos, además de otros múltiples usos, como remedio para la tos, resfríos o dolor de estómago.

El extracto etanólico de esta especie presenta una alta concentración de flavonoides, como el xantomicro, y derivados de ácido cinámico, como la drupanina (Figura 16). Estos tienen diversas propiedades farmacológicas y además alta absorbancia en las regiones UVA y UVB, como la mayor parte de compuestos de este tipo, por lo que el extracto EtOH muestra una alta absorbancia en ambas regiones, lo que genera un interés para el desarrollo de cremas de protección solar. Además, un estudio chileno determinó que la *B. tola* es un candidato ideal para ser usado en formulaciones cosméticas como fotoprotector. Cremas preparadas de manera experimental mostraron una buena actividad regenerativa, un alto factor de protección solar y propiedades antioxidantes (Gajardo, 2016).

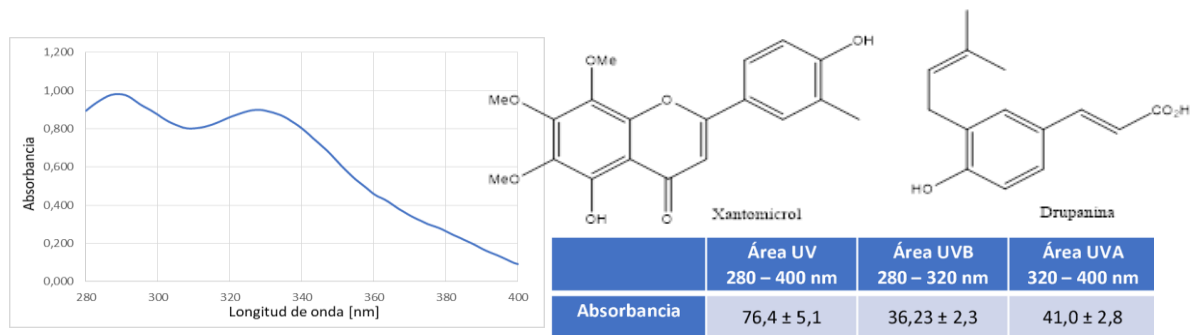


Figura 16. Estructura de xantomicrol y drupanina y absorción de ultravioleta por estas moléculas.

Fuente: elaboración propia en base a datos de laboratorio Equipo de investigación CVG 412.

3.3. Resultados del Componente III

Los análisis realizados para determinar el efecto en la salud del suelo (propiedades microbiológicas y químicas) de la incorporación de plantas nativas dieron lugar a los siguientes resultados:

- **La caracterización de los suelos de parcelas de Uyuni mostró textura arenosa, concentraciones de materia orgánica extremadamente bajas, alta variabilidad en cuanto a contenido en cationes, actividad microbiológica muy baja**

Las características promedio o intervalos para las características físico-químicas de los suelos muestreados en las comunidades de Chacala y Chita en Uyuni en abril y septiembre 2021 se observan en la Tabla 8. Para las parcelas de ambas comunidades, se observó suelos con un muy alto contenido en arena (mayor a 90%), un pH de neutro a medianamente alcalino, muy bajos niveles de contenido en materia orgánica y nitrógeno total, niveles bajos de fósforo. Las parcelas fueron georreferenciadas por lo que puede realizarse un mapeo de las características físico-químicas, mostrando que, en caso de parámetros como la conductividad eléctrica, se tienen fuertes variaciones espaciales.

Tabla 8. Características físico-químicas de las parcelas muestreadas.

Fuente: elaboración propia en base a resultados de laboratorio Equipo de Investigación CVG 412

Localidad	pH	C.E ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	%MO	%Ntotal	Pdisp(mg/Kg)	%arena	%arcilla	Clase textural
Chacala (muestreo abril 2021)	7,2±0,5	34±15	0,26±0,07	0,01	7,2±0,5	91,1±2,4	4,6±2,4	Arena
Chacala (muestreo abril 2021)	7,6±1,5	38±15	0,26±0,13		3,8±3,3			
Chita (muestreo abril 2021)	8,2±0,7	Min 17 – Max 1103	0,28±0,17	0,03	6,3±0,5	88,8±2,3	1,2±1,3	Arena
Chita (muestreo septiembre 2021)	8,5±0,5	Min 18- Max 929	0,23±0,09		2,7±1,9			



La Tabla 9 muestra la alta variabilidad espacial de los cationes. En general predominan los cationes de calcio, lo que es positivo desde el punto de vista de la estructura del suelo. Tomando en cuenta la textura que es mayormente arenosa, se espera una capacidad

de intercambio catiónica de 3-5 mq/100g, por lo que puede indicarse que un buen porcentaje de los cationes registrados son sales solubles. Al ser sales solubles pueden movilizarse dentro del suelo y a eso se debe la variabilidad espacial y temporal de las medidas de cationes.

Tabla 9. Concentración de cationes en muestras de suelo de las parcelas de Chacala y Chita.

Fuente: elaboración propia en base a datos de laboratorio Equipo de Investigación CVG 412

Localidad	Na(ppm)	K(ppm)	Ca(ppm)	Mg(ppm)
Chacala (muestreo abril 2021)	11-752	63-369	192-3676	23-360
Chacala (muestreo sept 2021)*	7-35	203-279	337-622	45-48
Chita (muestreo abril 2021)	11-810	146-2388	458-4914	46-157
Chita (muestreo sept 2021)*	6-54	164-622	433-4772	45-110

*Únicamente se muestrearon parcelas seleccionadas

Respecto a las características microbiológicas determinadas, estas se observan en la Tabla 10. Los valores relacionados con la presencia de

biomasa microbiana y actividades microbianas y enzimáticas son muy bajos debido a los contenidos extremadamente bajos en materia orgánica.

Tabla 10. Propiedades microbiológicas muestras de suelo de Chacala y Chita.

Fuente: elaboración propia en base a resultados de laboratorio Equipo CVG 412

Localidad	Act. Mic (mgCO ₂ /Kgsuelo.h)	CBM (mg/Kgsuelo)	Act. glucosidasa (mgPNP/ Kg suelo.h)	Act fosfatasa (mgPNP/ Kg suelo.h)
Chacala (muestreo abril 2021)	3,0±1,6	178±149	N/A	N/A
Chita (muestreo abril 2021)	Min 0-Max 6	166±155	N/A	N/A
Chacala (muestreo septiembre 2021)	1,2±1,1	224±174	11±6	32±10
Chita (muestreo abril 2021)	1,33±0,11	271±297	9±6	13±6

Se observó mucha variabilidad espacial en el caso de los valores de conductividad eléctrica, concentraciones de los cationes y valores de los parámetros microbiológicos determinados. Sin embargo, con el sistema de muestreo empleado, no se pudo distinguir un claro efecto de la introducción de barreras vivas multipropósito ni de los descansos mejorados. Esto probablemente debido al muestreo en zonas con barreras que tenían diferente edad y a la gran cantidad de especies vegetales distintas en los descansos mejorados estudiados. Por tanto se definió un

nuevo esquema de muestreo en el cuál se seleccionó únicamente algunas barreras con mayor crecimiento, y para los descansos mejorados solo aquellos en los que se introdujo q'ila q'ila (*Lupinus sp.*) o pasto llorón (*Eragrostis curvula*).

- **El efecto de las barreras y descansos mejorados sobre las propiedades del suelo fue poco significativo (excepto para la actividad enzimática β -glucosidasa) mostrando que el proceso de recuperación de los suelos**

en altiplano probablemente es extremadamente lento

En base al segundo esquema de muestreo realizado en Chacala y Chita, se observó que no hubo diferencias significativas en los parámetros físico-químicos para los descansos naturales, descansos mejorados y las parcelas de quinua. Respecto a los parámetros microbiológicos estudiados (Figura 17), si bien se observó una tendencia a que los valores en parcela de quinua

sean menores que en descanso natural, únicamente con la actividad β -glucosidasa esta diferencia fue estadísticamente significativa. Los valores de β -glucosidasa fueron intermedios en el caso de los descansos mejorados. Para el caso de las barreras multipropósito, no se observaron diferencias significativas entre las muestras tomadas bajo los arbustos, entre arbustos de barreras vivas, de tolares naturales y de parcela de quinua. Tampoco se observó variación según la especie bajo la cual se muestreó el suelo.

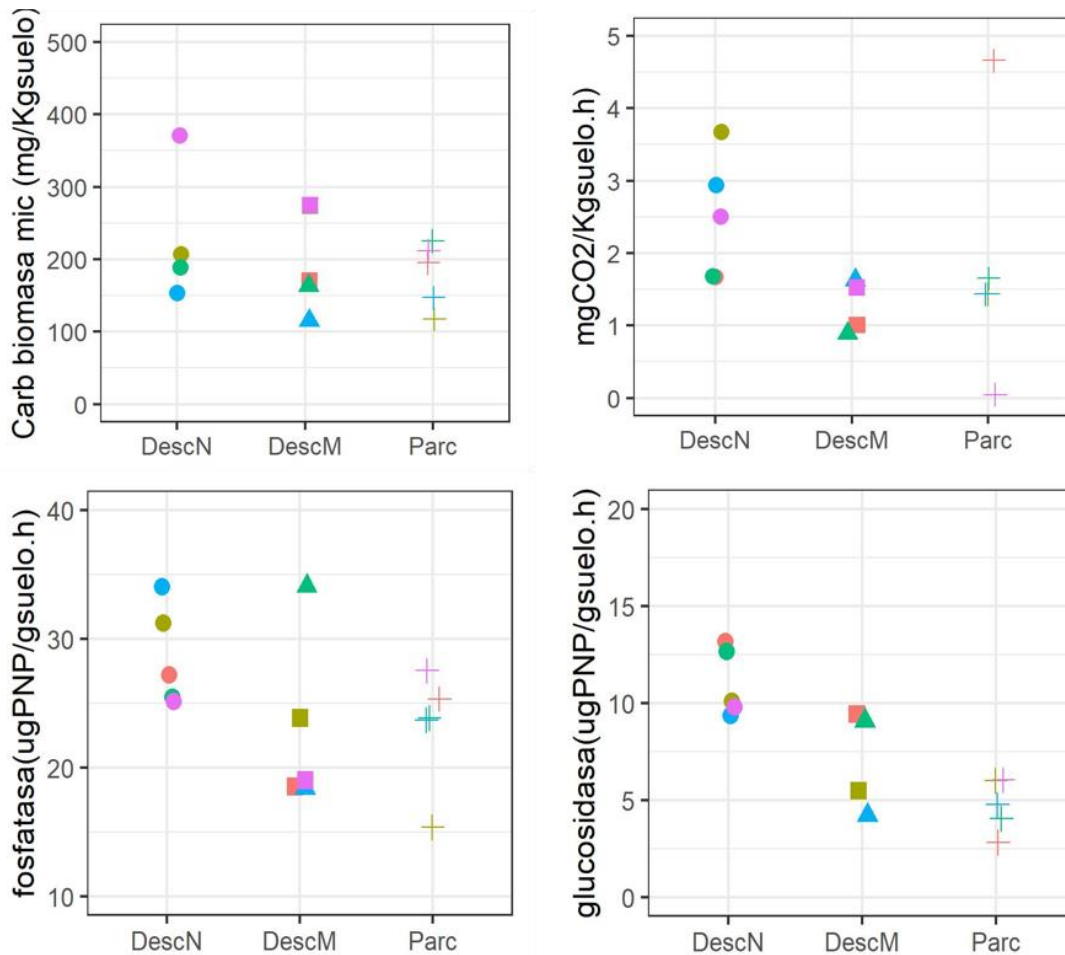


Figura 17. Resultados análisis microbiológicos Uyuni, nuevo esquema de muestreo. Fuente: elaboración propia en base a datos de laboratorio Equipo de investigación CVG 412.

- Bajo condiciones controladas, se observó que los plantines de *Baccharis tola* tuvieron efecto sobre fósforo de la biomasa microbiana y sobre actividades

fosfatasa y β -glucosidasa del suelo, se observó además de variaciones temporales de las propiedades microbiológicas



Partiendo de la base que los exudados producidos por las raíces de *Baccharis tola* tendrían un efecto sobre las propiedades microbiológicas del suelo, se realizó el seguimiento de estas propiedades en suelos de macetas que contenían plantines de esta especie, y se comparó con suelo en macetas que no los contenían. Los resultados se observan en la Figura 18. Se observaron fluctuaciones mensuales en cuanto a los valores obtenidos, probablemente relacionados a cambios en temperatura ambiente. Durante el mes de abril, se observaron valores mayores para fósforo de la

biomasa microbiana, actividad fosfatasa y actividad β -glucosidasa en las macetas que contenían plantines en comparación a las macetas que no los contenían. En el mes de mayo, tanto para los tratamientos como para los controles, se tuvo una disminución de los valores pero la actividad β -glucosidasa fue significativamente mayor en suelo de las macetas con plantines respecto a suelo de macetas sin plantines. La presencia de plantines de *Baccharis tola* mostró por tanto un efecto leve pero positivo sobre las propiedades microbiológicas del suelo que probablemente sería más notorio con plantas más desarrolladas.

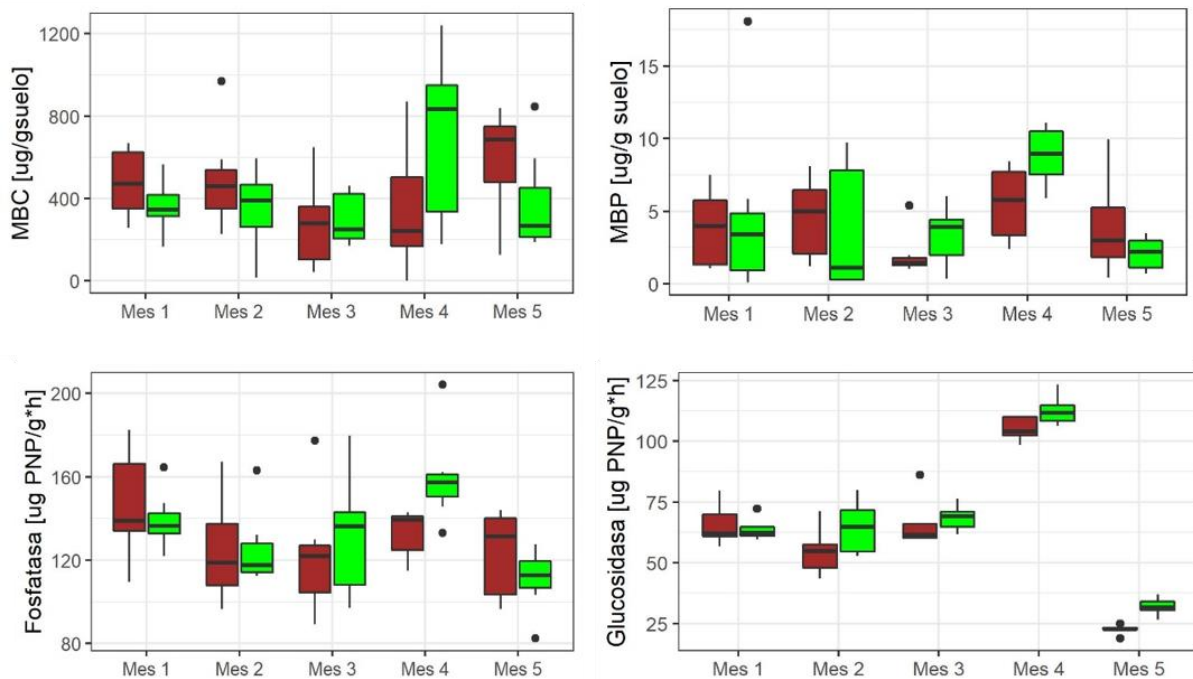


Figura 18. Resultados análisis microbiológicos obtenidos en condiciones controladas.

Fuente: elaboración propia a partir de resultados de laboratorio Equipo de investigación CVG 412.

- **En las parcelas experimentales de Umala se observaron suelos francos, con contenidos bajos en materia orgánica y nitrógeno, sin problemas de salinidad y con predominancia de ion calcio**

En el caso de las propiedades edáficas de las parcelas de Umala (Tabla 11), los suelos mostraron textura franca, con tenores de arcilla que permiten

mejor retención de nutrientes y desarrollo de comunidades microbianas. Los contenidos en materia orgánica y en nitrógeno total son bajos. En dos de las parcelas se observó un contenido de fósforo moderado pero bajo para las parcelas de Copani. No se tiene problemas de salinidad. En cuanto a los cationes intercambiables predomina el calcio, siendo su concentración extremadamente alta en la parcela de Copani, lo cual podría interferir con la disponibilidad de fósforo.

Tabla 11. Características físico-químicas parcelas experimentales de Umala (antes de la siembra).

Fuente: elaboración propia en base a datos de laboratorio Equipo de investigación CVG 412.

Parcela	pH	CE(μS/cm)	%C _{org}	%N _{total}	P _{disp} (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Ca ⁺⁺ (ppm)	Mg ⁺⁺ (ppm)
1 (Sirca)	6,7±0,3	65±24	0,38±0,09	0,04±0,01	8,2<a±2,3	14,6±6,6	22±5	382±91	2164±141	299±28
2(Collana)	5,9±0,5	108±22	0,30±0,11	0,03±0,01	9,7±3,5	49,2±9,4	38±11	499±64	1062±304	193±42
3 (Copani)	7,8±0,3	101±27	0,64±0,06	0,05±0,02	2,8±1,1	26±8,1	40±3	555±8	9270±1964	288±35

Tabla 12. Características químicas suelo de las parcelas experimentales de Umala (después de la cosecha).

Fuente: elaboración propia en base a datos de laboratorio Equipo de investigación CVG 412.

Parcela	pH	CE(μS/cm)	%C _{org}	%N _{total}	P _{disp} (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)
1 (Sirca)	6,6±0,3	52±14	0,40±0,09	0,03±0,01	5,5±1,7	10,6±3,8
2(Collana)	6,2±0,2	37±17	0,43±0,22	0,04±0,02	8,3±4,0	10,7±4,9

- **El intercalado con tarwi en cultivo de quinua permitió el aporte de materia orgánica al suelo al finalizar la cosecha**

En las parcelas experimentales en las que se realizó el intercalado con tarwi y se alcanzó a realizar la cosecha, se observó una disminución más pronunciada de materia orgánica al finalizar la cosecha en las unidades experimentales que

contenían únicamente quinua, respecto a las unidades experimentales que contenían tarwi o quinua intercalada con tarwi (Figura 19). En el caso de la presencia de tarwi, se observó un aporte de materia orgánica al finalizar la cosecha. En el caso de la parcela de Collana, se tuvo diferencia estadísticamente significativa entre las unidades experimentales con intercalado 2:1 (dos surcos con quinua, un surco con tarwi) respecto a las subunidades donde únicamente se tenía quinua.

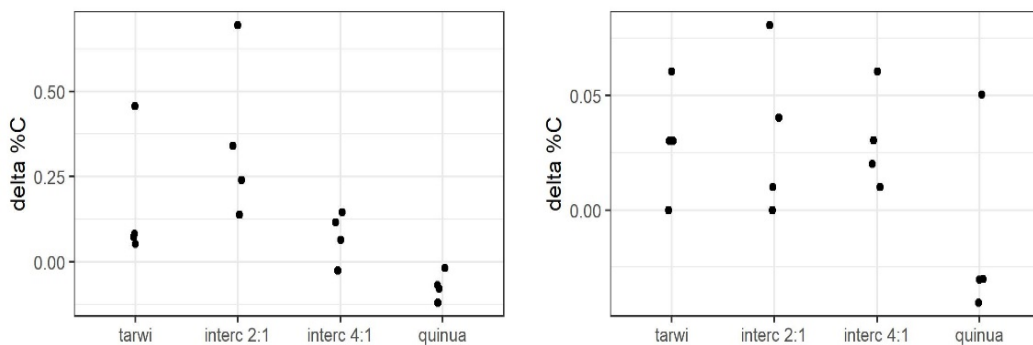


Figura 19. Variación en el contenido de carbono orgánico en la parcela experimental de Collana (izquierda) y de Sirca (derecha).

Fuente: elaboración propia en base a datos de laboratorio Equipo de investigación CVG 412.

- **Se ha caracterizado a detalle, mediante métodos moleculares, las comunidades bacterianas de la tolilla (*Fabiana densa*)**

El estudio de la rizósfera de *Fabiana densa*, planta nativa tolerante a la salinidad, mostró que a las 10 semanas el regado con soluciones salinas causaba una disminución en la diversidad bacteriana medida por índice de Shanon (Figura 20) y un aumento de la cantidad de bacterias pertenecientes a la familia *Shewanellaceae*, misma que normalmente se



encuentra en ambientes marinos por lo que se espera que presenten tolerancias a altos niveles de salinidad. A las 20 semanas, en las rizósfera de las plantas sometidas a riego con agua salina se observa un aumento en la diversidad de bacterias presentes y disminuye la presencia de *Shewanellaceae*, por lo que se podría inferir que existe una adaptación del microbioma de la

rizósfera de la planta que podría darle tolerancia a la salinidad. La presencia de *Shewanellaceae* es un hallazgo importante dado que hasta el presente no existen estudios sobre el microbioma de plantas nativas como *Fabiana densa* pero además por sus posibles futuras aplicaciones para inducir tolerancia a salinidad en diferentes cultivos.

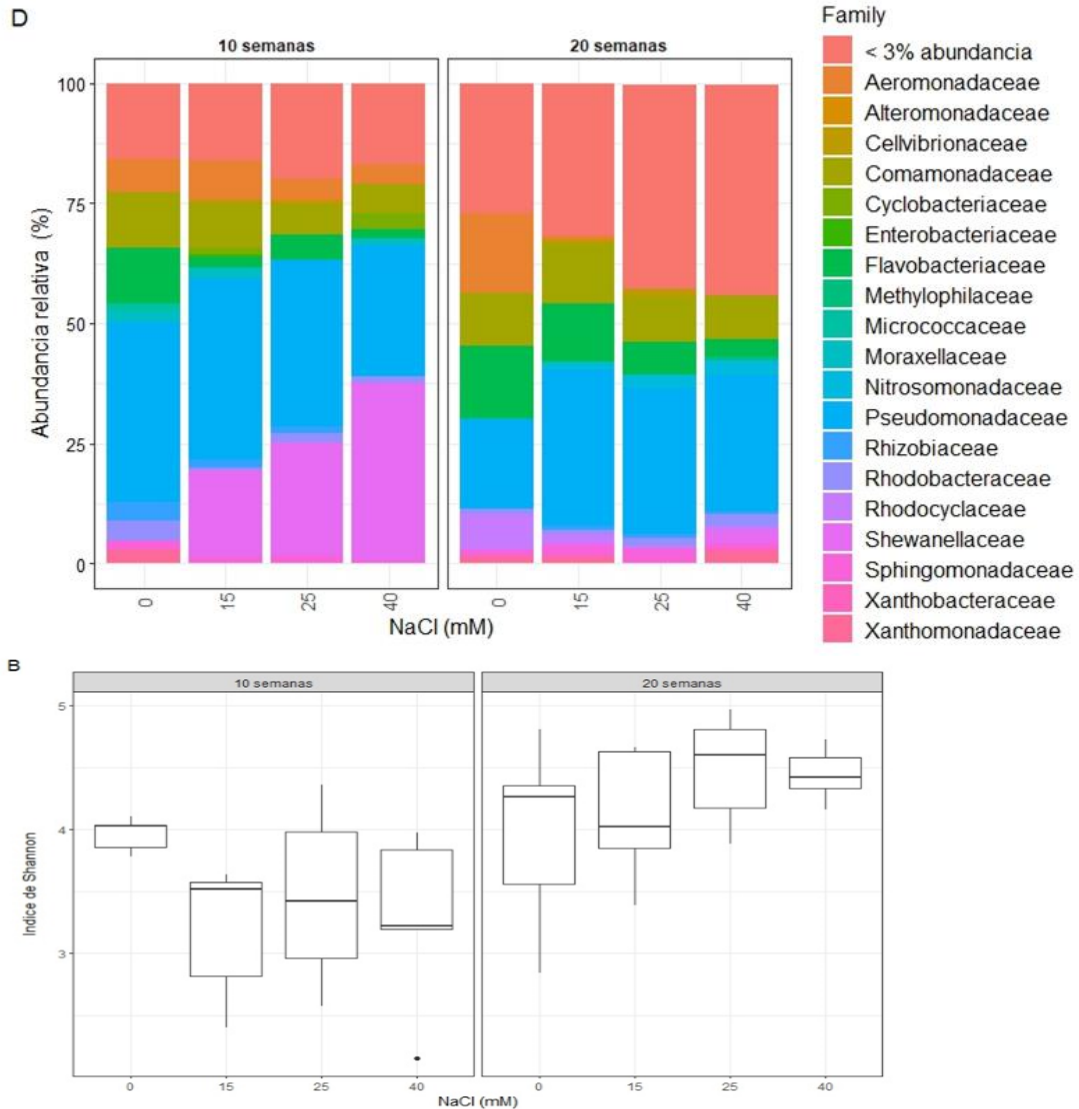


Figura 20. Índice de diversidad y distribución de bacterias (agrupadas por familias) a las 10 semanas (izquierda) y a las 20 semanas (derecha) del tratamiento de riego con diferentes concentraciones de NaCl.

Fuente: elaboración propia en base a datos de laboratorio

3.4. Resultados del Componente IV

Para la difusión de las potencialidades de uso de las especies nativas, durante la gestión 2021 se realizó un taller explicando los objetivos del proyecto en la reunión de todas las autoridades de los sindicatos agrarios del municipio y se hicieron reuniones explicativas en las

comunidades de San Juan Sirca y San Miguel de Copani. En la gestión 2022 se realizaron talleres informativos en Lupipi, Copani, Cañaviri, Tola Huancaroma y Patipi. Se hicieron además diferentes presentaciones en Congresos (ver Sección 6).



Siembra en parcelas experimentales en San Miguel de Copani (Umala) gestión 2022-2023.
Fuente: Equipo de Investigación Proyecto CVG412

4. GRADO DE INCIDENCIA Y APLICABILIDAD DEL PROYECTO

4.1. Incidencia y Aplicabilidad Local

Durante el desarrollo del proyecto se ha buscado mantener contacto constante con los productores mediante talleres y conversaciones individuales de manera a conocer sus inquietudes referentes al cultivo de quinua y al mismo tiempo transmitir el punto de vista de los investigadores. Los resultados obtenidos tienen aplicabilidad local en los siguientes aspectos:

- Se ha visto la factibilidad de multiplicar algunas especies vegetales nativas en condiciones controladas pero sencillas que podrían ser usadas por asociaciones de productores con la finalidad de introducir estas especies en el agroecosistema de quinua
- El intercalado de tarwi en el cultivo de quinua en condiciones del Altiplano Central ha mostrado ser una opción prometedora para mejorar los rendimientos de quinua y aportar materia orgánica al suelo. Podría explorarse el uso de variedades de tarwi de ciclo corto o la introducción de otras leguminosas para

poder beneficiar también del cultivo complementario

- La identificación de moléculas de interés en extractos de *Parastrephia lepidophylla*, *Lampayo castellani*, *Baccharis tola* será informada a los productores como una forma de revalorización de saberes, pero también para mostrar la importancia de la conservación de estos recursos naturales.
- Los resultados de análisis de suelos en el Altiplano Sur que muestran los contenidos extremadamente bajos de materia orgánica y el hecho que la recuperación de suelos, aun en presencia de plantas nativas es extremadamente lenta, lleva a los productores y sus asociaciones a buscar de forma urgente opciones para la reposición de materia orgánica y a desincentivar la remoción de vegetación nativa.

4.2. Incidencia en Política Pública

Los resultados del proyecto pueden ser empleados a nivel Municipal y Departamental para establecer políticas de mayor protección de la vegetación

nativa, así como incentivar programas de multiplicación de estas especies para su posterior uso en diferentes áreas. Igualmente, se pueden diseñar programas de aprovechamiento sostenible de las moléculas de interés que fueron identificadas en las diferentes plantas nativas

Los resultados de los análisis de suelos tanto del Altiplano Sur como del altiplano central deben llevar a una estrategia interinstitucional para la conservación de suelos y mejorar prácticas agrícolas para lograr la reposición de materia orgánica, incluyendo el uso de franjas de vegetación

4.3. Incidencia Académica

4.3.1. Contribución de la Investigación al Estado Actual de Conocimiento en la Temática

El proyecto ha permitido contribuir al conocimiento en diferentes áreas:

- Caracterización de diferentes accesiones de *Lupinus* con potencialidad para su uso en agroecosistemas de quinua
- Establecimiento de protocolos para la multiplicación de *Parastrephia lepidophylla* que probablemente puede aplicarse a otros arbustos nativos
- Conocimiento sobre el efecto del intercalado de tarwi en el cultivo de quinua en condiciones del altiplano central
- Caracterización de extractos vegetales, identificación de moléculas de interés y establecimiento de protocolos para la realización de los extractos a partir de especies vegetales nativas

- Caracterización físico-química y de aspectos microbiológicos y bioquímicos de suelos de comunidades de Uyuni y de Umala
- Cuantificación del efecto de la introducción de especies vegetales nativas sobre las propiedades microbiológicas y bioquímicas del suelo
- Caracterización detallada de la rizósfera de *Fabiana densa* y su respuesta a gradiente de salinidad

4.3.2. Formación talento humano

Mediante el proyecto se han llevado a cabo una serie de tesis tanto de grado como de postgrado que han permitido la formación de recursos humanos en cuanto a actividades de investigación. Los participantes del proyecto han asistido a capacitaciones sobre interdisciplinariedad, cambio climático y otros

4.3.3. Relacionamiento inter-institucional

La interrelación entre el Instituto de Biología Molecular y Biotecnología, el Instituto de Investigaciones Químicas y el Instituto de Ecología ha sido constante dado que son investigadores de los tres institutos que han realizado las actividades centrales de investigación del proyecto. Se han realizado trabajos conjuntos y comunicación sobre resultados y avances de forma continua.

La participación de BANCO DE GERMOPLASMA DE BIORENA de USFX ha permitido contar con la caracterización de diferentes accesiones de *Lupinus* y conocimiento sobre prácticas agroecológicas que han enriquecido el proyecto.

La Fundación PROINPA ha actuado como socio estratégico por la experiencia, contacto con productores y trayectoria de trabajo en el Altiplano. La interacción con PROINPA ha permitido el acceso a parcelas donde ya se hicieron esfuerzos de introducción de vegetación nativa en Uyuni y



asesoramiento respecto a la implementación de parcelas en Umala. Asimismo, la tesis relacionada a la multiplicación de *Parastrephia lepidophylla* ha sido realizada en las instalaciones de PROINPA. La interacción con PROINPA ha sido continua con comunicación constante de resultados y avances.

La interacción con el Gobierno Autónomo Municipal de Umala y la Asociación de Productores de Quinoa de Umala ha permitido el contacto con los productores de Umala para la realización de talleres y el establecimiento de parcelas experimentales

4.4. Comunicación Científica y Divulgación de la Ciencia

Se han tenido presentaciones en los siguientes eventos científicos (ver acápite 6):

- 46 Congreso de la Ciencia del Suelo de México 5 de oct 2022.
- I Congreso de Jóvenes Investigadores en Química
- III Congreso de Cambio Climático y Diálogo de Saberes (Cochabamba, Octubre 2022)
- VIII Congreso Mundial de la Quinoa (Potosí, 28-31 marzo 2023)

Se ha producido un libro y se tienen varios artículos científicos en desarrollo (ver acápite 6.1.).



Taller informativo llevado a cabo el 4 de junio 2022 en Cañaviri (Umala).
Fuente: Equipo de Investigación Proyecto CVG412

5. BUENAS PRÁCTICAS Y LECCIONES APRENDIDAS EN LA INTEGRACIÓN DE EJES TRANSVERSALES

5.1. Género y Generacional

Buenas prácticas

Se ha cumplido con la participación equitativa de género en cuanto al equipo de investigación. Respecto a la participación en actividades de difusión del proyecto, se ha tomado registro del género y edad de los participantes observándose una participación equitativa de hombres y mujeres.

Lecciones aprendidas

Respecto a las parcelas experimentales, fue mayoritaria la participación de hombres debido a las formas de tenencia de la tierra. Se registró muy poca participación de jóvenes debido a la situación de migración que se tiene en las áreas rurales. Adicionalmente, es poco frecuente que las mujeres tomen la palabra en los talleres. Por tanto, es necesario tener una estrategia adicional

para que el intercambio de información también se pueda dar con jóvenes que pertenecen a la región. Adicionalmente, deben planificarse eventos adicionales donde las mujeres se sientan con más libertad de tomar la palabra.

5.2. Gobernanza y Gobernabilidad

Buenas prácticas

Se cuenta con convenios con el Municipio de Umala y la Asociación de Productores de Quinoa de Umala. Se ha tenido interrelación con ambas instituciones sobre todo al inicio del proyecto y se han comunicado los primeros resultados.

Lecciones aprendidas

En base a los resultados finales sistematizados se deben buscar más espacios de interacción con los Municipios y asociaciones de productores locales, pero además es necesario que haya mayor



interacción con los sindicatos agrarios y con otras instituciones que trabajan en la misma temática.

5.3. Interculturalidad

Buenas prácticas

Se ha trabajado con productores provenientes de dos pueblos indígenas. En el caso de Umala, la mayoría de los productores son de origen aymara mientras en el caso de Uyuni son de origen quechua.

Durante la colecta de plantas, se han realizado entrevistas sobre los usos tradicionales de estas plantas y esta información ha sido utilizada para seleccionar las especies que serían estudiadas en mayor profundidad. De esta forma se ha revalorizado conocimiento tradicional. Se ha consultado también de forma informal sobre las formas tradicionales del cultivo de quinua.

Los Talleres de difusión han sido organizados respetando los tiempos y estructura organizacional de cada comunidad, consultando las fechas de las reuniones periódicas que tiene cada comunidad.

Lecciones aprendidas:

Es necesario realizar los talleres en las fechas que coincidan con las determinadas para las reuniones periódicas de cada comunidad, si se busca fechas adicionales es posible que se tenga muy poca asistencia. Por otro lado, en las reuniones periódicas los productores tienen que tratar una gran cantidad de temas y a veces no disponen de mucho tiempo, siendo necesario tener formas de llamar la atención sobre la temática que se puede exponer, es importante tener en cuenta el uso de idiomas nativos para una mejor comunicación, sobre todo en el caso de los agricultores de mayor edad que sienten mayor comodidad con el uso de aymara o quechua.

Las reuniones en las comunidades se realizan en general al aire libre, por lo que no es posible compartir los conocimientos uso de medios como proyectores o data show. Es preferible tener banners y cartillas u otros elementos interactivos para la realización de los talleres.



Evaluación parcela manejada por Fundación PROINPA con *Lupinus sp.* para fines de descanso mejorado (Uyuni). Fuente: Equipo de Investigación Proyecto CVG412.

6. CATÁLOGO DE PRODUCTOS

Categoría	Autor(es)	Gestión	Título
Libro	Almanza, G., Flores, Y., Bonifacio, A	2023	Avances en estudios científicos de Plantas del Altiplano Boliviano para determinar sus Potenciales Aplicaciones- En espera de financiamiento para publicación
Artículo revista científica especializada	Morales, I., Amurrio, P., Irigoyen, S., Siles, V., Bonifacio, A.	En elaboración	Effect of the introduction of native plants in quinoa agroecosystems on microbiological and biochemical properties of soils of the Altiplano region of Bolivia
	Copeticona, C. , Morales, I.	En elaboración	Characterization of bacterial communities of the rhizosphere of <i>Fabiana densa</i> and their response to a salinity gradient
	Morales, I., Mamani, I., Quispe, S., Bonifacio, A.	En elaboración	Intercalado de tarwi en el cultivo de quinua, efecto sobre los rendimientos y propiedades del suelo en condiciones del Altiplano Central
	Chui, G., Quiroz, N., Clavijo, E., Flores, Y., Almanza G.	En elaboración	Estudio fitoquímico y espectroscópico preliminar de plantas del Altiplano Boliviano. manuscrito en preparación
	Quiroz, N., San Martin, A., Curi C., Almanza, R.	En elaboración	Compuestos fenólicos con actividad fotoprotectora de <i>Baccharis tola</i>
	Espejo, L., Tarqui, S., Flores, Y., Bonifacio, A., Almanza, A.	En elaboración	Alcaloides quinolizidinicos de <i>Lupinus cf wendermannii</i> (Tarwi silvestre). Manuscrito en preparación
Tesis pregrado	Chui, G.	2021	Estudio Fitoquímico preliminar de 5 especies vegetales del Altiplano Sur y determinación de componentes mayoritarios de <i>Lampaya castellani</i> (con material y reactivos ASDI)
	Quiroz, N.	2021	Estudio fitoquímico y espectroscópico preliminar de cinco especies vegetales de la región norte del salar de Uyuni. Tesis de pregrado, concluida. Material y reactivos ASDI



	Triguero, C.	2021	Evaluación del contenido de saponinas en variedades quinua real por GC/MS. Material y reactivos ASDI
	Clavijo, E.	2023	Estudio fitoquímico de <i>Parastrephias</i> del Altiplano Boliviano
	Copeticona, C.	En revisión	Efecto de un gradiente de salinidad sobre la rizósfera de <i>Fabiana densa</i> .
	Pinto, F.	En revisión	Análisis preliminar del efecto de la inoculación de bacterias fijadoras de nitrógeno sobre las comunidades bacterianas de la rizósfera de la quinua. (Co-financiamiento SATREPS)
	Siles, V.	En revisión	Estudio del efecto de plantines de ñaka túla (<i>Baccharis tola</i>) sobre las características microbiológicas y bioquímicas de suelo proveniente del municipio de Umala (La Paz, Bolivia), bajo condiciones controladas
	Yucra, G.	En revisión	Evaluación del crecimiento de la supú túla (<i>Parastrephia lepidophylla</i>) con tres niveles de vermicompost en K'ípha K'íphani-Viacha y sobrevivencia de plantines en el Municipio de Umala-La Paz
Tesis de postgrado	Chui, G.	En revisión	Determinación de un potencial producto fitoterapéutico de plantas nativas del Altiplano Sur (con financiamiento SATREPS)
	Gutierrez, A.	En revisión	Estudio de compuestos fenólicos y saponinas en residuos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) para su potencial uso con valor agregado. (con financiamiento SATREPS)
	Quiroz, N.	En revisión	Determinación de un potencial producto cosmeceútico o biopesticida a partir de Tolas del Altiplano Boliviano. (con financiamiento SATREPS)
Presentaciones en Congresos	Gutierrez, A. (ponente) "I Congreso de Jóvenes Investigadores en Química":	2022	Aprovechamiento de residuos agroindustriales de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) de basado en la determinación de sus componentes bioactivos"
	Triguero, C. (ponente) "I Congreso de Jóvenes Investigadores en Química":	2022	Cuantificación de saponinas en variedades de quinua real (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) mediante cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC/MS)
	Chui, G. (ponente) "I Congreso de Jóvenes Investigadores en Química":	2022	Estudio preliminar de 5 especies vegetales del Altiplano Sur y determinación de componentes mayoritarios de la especie vegetal <i>Lampaya castellani</i> Moldenke"
	Espejo, L. (ponente) "I Congreso de Jóvenes Investigadores en Química":	2022	Análisis cuantitativo de alcaloides mayoritarios presentes en diversas partes de tres especies de <i>Lupinus</i> sp"
	Almanza, G. (ponente) III Congreso de Cambio Climático y Diálogo de Saberes	2022	Compuestos bioactivos de especies nativas utilizadas en barreras vivas multipropósito y descansos mejorados en agroecosistemas de quinua
	Morales, I. (ponente) III Congreso de Cambio Climático y Diálogo de Saberes	2022	Efecto de la introducción de especies nativas en agroecosistemas de quinua sobre parámetros físico-químicos y microbiológicos de los suelos

Memoria del Proyecto Hacia el aprovechamiento múltiple de especies nativas en un contexto de variabilidad y cambio climático en zonas productoras de quinua del altiplano boliviano

	Morales, I (ponente) VIII Congreso Mundial de la Quinoa	2023	Efecto de la introducción de especies nativas en agroecosistemas de quinua sobre rendimientos y parámetros físico-químicos y microbiológicos de los suelos
Poster en Congreso	Siles, V Poster en 46 Congreso de la Ciencia del Suelo de México.	2022	Efecto de plantines de ñaka túla sobre características microbiológicas y bioquímicas del suelo bajo condiciones controladas
Material de capacitación, difusión y divulgación		2022	Posters para los talleres realizados en campo

Fuente: Elaboración Propia

Acceso al catálogo de las publicaciones y productos del Proyectos CVG 412, en la sección de Investigación - Cambio Climático del portal electrónico oficial de DIPGIS-UMSA:





**Taller realizado con autoridades
centrales agrarias en localidad Umala (Mun. Umala).
Fuente: Equipo de Investigación Proyecto CVG412**

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se han caracterizado 17 accesiones de *Lupinus* algunas de ellas podrían incorporarse a los agroecosistemas de quinua.

Se logró realizar la multiplicación de *Parastrephia lepidophylla* en condiciones controladas, mostrándose la importancia del uso de humus de lombriz para un mejor desarrollo y sobrevivencia de los plantines.

El estudio de las características de los extractos de supu tola (*Parastrephia lepidophylla*) ha permitido observar que la fracción eter de petróleo-acetato de etilo tiene un alto contenido en fenoles por lo que podría dar lugar a la preparación de un producto fitoterapéutico

Se determinó presencia de ácido oleanólico y ácido maslínico en Lampaya (*Lampaya castellani*), ambas moléculas tienen importantes actividades biológicas y farmacológicas.

Los extractos etanólicos obtenidos a partir de ñaka tola (*Baccharis tola*) presentan una alta concentración de flavonoides y propiedades de absorción de luz ultravioleta pudiendo ser

utilizados para el desarrollo de cremas u otros productos fotoprotectores.

Los análisis realizados para los suelos de Uyuni mostraron contenidos extremadamente bajos en materia orgánica, nitrógeno y parámetros microbiológicos. La salinidad mostró una alta variabilidad espacial. En estas condiciones el efecto de la introducción de plantas nativas sobre los parámetros medidos no fue muy significativo, sugiriendo que en estos sistemas frágiles se requieren muchos años para poder mejorar las condiciones del suelo por lo que debe incentivarse la conservación de vegetación ya presente

De todos los parámetros medidos en las parcelas de Uyuni la actividad β -glucosidasa (relacionada con ciclo del carbono) tuvo una mayor sensibilidad a la presencia de especies nativas. Igualmente, en condiciones controladas, son las medidas de actividad enzimática las que mostraron mayor sensibilidad a la presencia de plantines de *Baccharis tola*.

En las parcelas experimentales de Umala, el tarwi no llegó a su maduración completa, pero tendría un

efecto positivo sobre la producción de quinua y sobre contenido en materia orgánica y nitrógeno del suelo. En la siguiente campaña agrícola, se determinará su efecto como abono verde.

Se ha caracterizado las comunidades bacterianas de la rizósfera de *Fabiana densa*, donde se observó la presencia de *Shewanellaceae* y otras bacterias podrían ser la base de la tolerancia a la salinidad de esta especie.

En base a los resultados sistematizados se recomienda realizar mayores actividades de difusión en diferentes ámbitos: con los productores, con tomadores de decisión a nivel Municipal, Departamental y otros y en ámbitos científicos. Así como la búsqueda de sinergias con otras instituciones que trabajan en temáticas relacionadas.



8. BIBLIOGRAFÍA

- Alandía, G., Rodríguez, J. P., Jacobsen, S.-E., Bazile, D., & Condori, B. (2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, 26, 100429. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>
- Andressen, R., Monasterios, M., & Terceros, L. F. (2007). Regímenes climáticos del Altiplano Sur de Bolivia: Una región afectada por la desertificación. 48.
- Argumedo Delira, R., Parra-Delgado, H., Ramírez Apan, M. T., Nieto Camacho, A., & Martínez-Vázquez, M. (2003). Isolation and chemical transformations of some anti-inflammatory triterpenes from *Salvia mexicana* L. var. *minor* Benth. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(2), 167-172.
- Ayala Aragón, O. R., & Almanza López, M. V. (2021). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos agrícolas de la zona intersalar Potosino en diferentes tipos de uso. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 7-19. <https://doi.org/10.53287/pokx3560jc91k>
- Barrientos, E. Mejorar la resiliencia de agroecosistemas de quinua del altiplano boliviano frente al cambio climático, mediante el aprovechamiento del potencial de las especies nativas adaptadas localmente.
- Carevic, F., & Delatorre, J. (2017). La sustentabilidad del Altiplano Sur de Bolivia y su relación con la ampliación de superficies de cultivo de quinua. *Idesia (Arica), ahead*, 0-0. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292017005000025>
- Gajardo, S., Aguilar, M., Stowhas, T., Salas, F., Lopez, J., Quispe, C., ... & Benites, J. (2016). Determination of sun protection factor and antioxidant properties of six Chilean Altiplano plants. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 15(5), 352-363.
- Hsum, Y. W., Yew, W. T., Hong, P. L. V., Soo, K. K., Hoon, L. S., Chieng, Y. C., & Mooi, L. Y. (2011). Cancer chemopreventive activity of maslinic acid: suppression of COX-2 expression and inhibition of NF- κ B and AP-1 activation in Raji cells. *Planta medica*, 77(02), 152-157
- Islam, A., Islam, M. S., Rahman, M. K., Uddin, M. N., & Akanda, M. R. (2020). The pharmacological and biological roles of eriodictyol. *Archives of pharmacal research*, 43, 582-59
- Liu, J. (2005). Oleanolic acid and ursolic acid: research perspectives. *Journal of ethnopharmacology*, 100(1-2), 92-94
- Liuhto, M. (2016). El cambio climático sobre la producción de quinua en el altiplano boliviano y la capacidad de adaptación de los agricultores.
- Lozano, M., Flores, Y. R., & Almanza, G. R. (2017). High contents of oleanolic acid in highland Bolivian plants. *Revista Boliviana de Química*, 34(1), 28-32
- Montes de Oca, I. (1989). *Geografía y recursos naturales de Bolivia*. Editorial Educacional.

*Montilla, M. P., Agil, A., Navarro, M. C., Jiménez, M. I., García-Granados, A., Parra, A., & Cabo, M. M. (2003). Antioxidant activity of maslinic acid, a triterpene derivative obtained from *Olea europaea*. *Planta medica*, 69(05), 472-474.*

*Navarro, G., & Molina, J. A. (2019). A floristic-ecological classification of the shrublands of the dry Bolivian Altiplano. *Phytocoenologia*, 49(2), 199-208. <https://doi.org/10.1127/phyto/2019/0240>*

*Taboada, Cristal, García, Magalí, Cuiza, Alvaro, Pozo, Omar, Yucra, Edwin, & Gilles, Jere. (2014). Estructuración económica de sistemas productivos agrícolas en respuesta a la variabilidad climática en los Andes Boliviano. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 1(1), 16-29.*

CONTACTOS

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

VICERRECTORADO

Departamento de Investigación, Postgrado e Interacción Social
DIPGIS-UMSA

Dirección: Av. 6 de agosto 2170, Edificio Hoy, piso 14,

Telf.: (591-2) 2442464 - 2443626.

Fax: (591-2) 2443375

Página web: www.dipgis.umsa.bo

Correo electrónico: dipgis@umsa.bo

Facultad de Ciencias Puras y Naturales

Instituto de Biología Molecular y Biotecnología (IBMB)

Dirección: Campus Universitario de Cota Cota, Calle 27

Telf.: 2612815

Correo electrónico: ibmb@fcpn.edu.bo

Facultad de Ciencias Puras y Naturales

Instituto de Investigaciones Químicas

Dirección: Campus Universitario de Cota Cota, Edificio del Instituto de Investigaciones Químicas.

Telf.: 2612807

Página web: www.iiq.umsa.bo

Correo electrónico: iiq@umsa.bo

Esta publicación ha sido elaborada en el marco del Proyecto de Investigación Aplicada para la Adaptación al Cambio Climático - Segunda Fase (PIA-ACC II Componente DIPGIS-UMSA) gestionado por el Departamento de Investigación, Postgrado e Interacción Social dependiente de Vicerrectorado de la Universidad Mayor de San Andrés.

Con el apoyo de:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra







Embajada de Suiza
Cooperación Suiza en Bolivia

ISBN: 978-9917-0-2767-6



9 789917 027676



 dipgis.umsa.bo
 facebook.com/dipgis
    [/dipgisUMSA](https://t.me/dipgisUMSA)