Universidad Mayor de San Andrés

IIDEPROQ

Revista Científica



N°2
Año 2025

REVISTA CIENTÍFICA DEL INSTITUTO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO DE PROCESOS QUÍMICOS - IIDEPROQ. Número 2 - Año 2025

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA, AMBIENTAL, ALIMENTOS, PETROQUÍMICA Y BIOTECNOLOGÍA

AUTORIDADES

María Eugenia García Moreno, Ph.D.	RECTORA
Tito Estévez Martini, Ph.D.	VICERRECTOR
Jorge Vazquez Peñaranda, Dr. Ing.	DIRECTOR DE CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA
Waldo Vargas Ballester, Ing. M.I.A.	DIRECTOR IIDEPROQ

COMISIÓN EDITORIAL

Rene Alvarez Apaza, Ing. Ph.D.
Magalí García Cárdenas, Ing. Ph.D.
Cristhian Carrasco Villanueva, Ing. Ph.D.
Boris Párraga Andrade, Ing.

PROFESIONALES REVISORES SIMPLE CIEGO

Bruno Condori Ing. PhD.
Carla Ledezma Ing. MSc.
Elizabeth Jiménez Lic. PhD.
Roberto Miranda Ing. PhD.
Wilfredo Rojas Ing. MSc.
Agradecemos al autor anónimo que participó en las revisiones simple ciego

EDICIÓN Y COORDINACIÓN GENERAL

Magali Garcia Cardenas, Ph.D.

DISEÑO DE PORTADA Y CONTRATAPA

Narda Yukiko Rueda Zahana

Depósito Legal: 4 - 3 - 307 - 2024 P.O.

INSTITUTO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO DE PROCESOS QUÍMICOS – IIDEPROQ

Oficina: Campus universitario Cota Cota, ingreso Calle 30, Complejo Facultad de Ingeniería.
Portal: www.iideproq.umsa.bo
Correo: servicios.iideproq@gmail.com
Teléfono: (+591) 2774412

DIAGRAMACIÓN Y DISEÑO GRÁFICO

Narda Yukiko Rueda Zahana

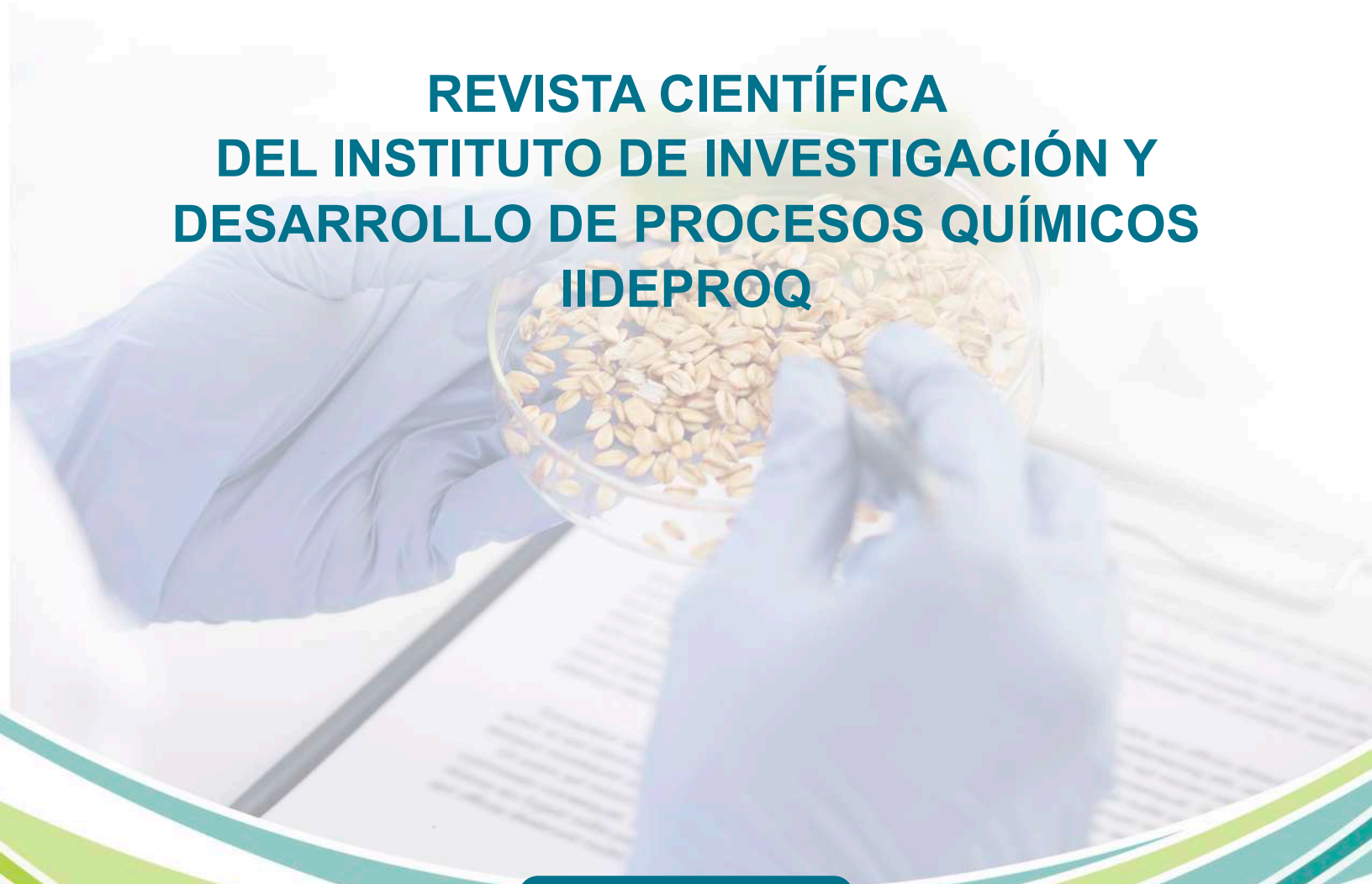
Derechos Reservados
Se permite el uso o reproducción para fines educativos, de investigación privada, o de crítica y comentario, siempre que se respeten los límites y se cite la fuente.

Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos – IIDEPROQ. Facultad de Ingeniería. UMSA.
La Paz, Bolivia, 2025

Universidad Mayor de San Andrés

IIDEPROQ

REVISTA CIENTÍFICA DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE PROCESOS QUÍMICOS IIDEPROQ



N°2 - Año 2025

INVESTIGADORES DEL PROYECTO MARCLOC

Magali Garcia Cardenas, Ph.D. Investigadora IIDEPROQ, Facultad de Ingeniería UMSA
Edwin Yucra, Investigador CIPYCA UMSA
Jere Gilles, Prof. Emérito UMissouri USA
Gavi Alavi, Investigadora asociada IIDEPROQ, Facultad de Ingeniería UMSA
Alex Blanco, Ingeniero Investigador Proyecto MARCLOC

EQUIPO DE APOYO

Melany Ajata Copa
Erick Daniel Adhemar Arana López
Erika Bonifacio Arovisa
Javier Pedro Calle Layme
Mishel Cortez Apaza
Luis Javier Montoya Carpio
Brenda Yolanda Pérez Nogales
Maicol José Pozo Molina
Rocío Raquel Quispe López
Daniela Tapia Rueda

PRÓLOGO

Es muy satisfactorio referirse al contenido de este número especial de la Revista Científica IIDEPROQ que muestra el alcance y resultados de un importante proyecto denominado MARCLoc (Manejo de Riesgos Relacionados con el Clima en los Andes Integrando Conocimientos Locales y Tecnológicos) y en ese empeño, surge la siguiente interrogante:

¿Puede el diálogo de saberes ser una pieza clave para enfrentar los desafíos que el cambio climático nos impone hoy en los Andes? Este número especial invita a mantener viva esa pregunta, que late en el corazón del Proyecto MARCLoc.

La crisis del cambio climático no solo es un fenómeno global: repercute también de forma inmediata en los sistemas productivos de las comunidades altoandinas del Altiplano boliviano. La urgente necesidad de comprender y mitigar sus impactos, nos llevó a preparar este número especial, para compartir los conocimientos que hablen directamente a las realidades y voces locales, a la vez que dialoguen con la ciencia contemporánea.

El Proyecto MARCLoc nació de la preocupación por cómo las comunidades campesinas enfrentaban pérdidas agrícolas frente a eventos climáticos extremos y la transformación acelerada de sus territorios. El camino no fue sencillo: tensiones entre saberes tradicionales y científicos, desafíos para integrar disciplinas y fortalecer capacidades locales, alianzas que enriquecieron el proceso y un compromiso constante con el respeto y la equidad de conocimientos.

Los ocho artículos reunidos aquí muestran distintas formas de ese diálogo: análisis del clima y su relación con la producción, rol de ecosistemas nativos como reservorios de carbono, estudio de indicadores naturales observados para anticipar las lluvias, e innovaciones entre otros. Cada contribución ilumina una parte del mismo desafío y, en conjunto, ofrecen una mirada amplia y complementaria sobre cómo las comunidades del Altiplano están enfrentando y reimaginando sus territorios.

Este número especial aporta no solo datos, sino una propuesta ética y política para pensar el futuro del Altiplano. Desafía las visiones que invisibilizan las comunidades locales y abre espacios para que su conocimiento sea protagonista. La invitación es clara: escuchar, aprender y continuar preguntando juntos.

Agradecemos a la Fundación McKnight, al Programa VLIR-TEAMS y a todos que hicieron posible este logro, investigadores e investigadoras, los equipos asistentes, y a las comunidades locales. Invitamos al lector a adentrarse en estas páginas con la mente abierta y con expectativa, puesto que en sus páginas no solo se comparten resultados, sino que, a partir de ellos, se abre una amplia senda de diálogo integrador para seguir construyendo conocimiento que honre y potencie la diversidad ecosistémica, la singularidad climática y el potencial socio-productivo, a menudo no comprendidos, del Altiplano boliviano.





Waldo Vargas Ballester, Ing. M.I.A.
DIRECTOR INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO DE PROCESOS QUÍMICOS



CONTENIDO

PROYECTO MARCLOC: DINAMICAS CLIMATICAS Y SOCIOECONOMICAS DEL CAMBIO AGROPRODUCTIVO EN COMUNIDADES DEL ALTIPLANO NORTE Y CENTRAL DE BOLIVIA. INTRODUCCIÓN AL NÚMERO.
MARCLOC Project: Socioeconomic and climatic dynamics of agroproductive change in communities of the northern and central Bolivian highlands. General introduction.
Katherine Rojas, Magali Garcia, Edwin Yucra, Jere Gilles 7

TENDENCIAS EN LAS AMENAZAS CLIMÁTICAS CON IMPACTO EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DE COMUNIDADES DE DOS ZONAS DE LOS ANDES ALTOS BOLIVIANOS.
Trends in climate threats impacting the productive systems of communities in two regions of the Bolivian High Andes.
Magali Garcia, Edwin Yucra, Gavi Alavi 16

CAMBIOS EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DEL ALTIPLANO BOLIVIANO: TRANSFORMACIÓN Y VULNERABILIDAD.
Changes in Productive Systems in the Bolivian Altiplano: Transformation and Vulnerability.
Edwin Yucra, Magali Garcia, Jere Gilles 31

LECCIONES APRENDIDAS SOBRE EL USO DE PRONÓSTICOS LOCALES EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO.
Lessons Learned on the Use of Local Forecasts in the Bolivian Altiplano.
Jere Gilles, Edwin Yucra, Magali Garcia 45

FACTORES DE PÉRDIDA DE CONOCIMIENTOS DE USO DE LOS INDICADORES CLIMATICOS LOCALES EN COMUNIDADES DEL ALTIPLANO NORTE Y CENTRAL.
Loss factors for knowledge on the use of local climatic indicators in Bolivian North and Central Highlands.
Jere Gilles, Edwin Yucra, Magali Garcia, Rogelio Quispe 54

PRÁCTICAS TRADICIONALES EN TRANSICIÓN: USO Y MANEJO DE SUELOS EN EL ALTIPLANO NORTE Y CENTRAL.
Traditional Practices in Transition: Land Use and Management in the Northern and Central Highlands.
Gavi Alavi-Murillo, Magali Garcia, Alex Blanco 64

PERCEPCIONES DE INSTITUCIONES Y PRODUCTORES CON RELACIÓN AL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA EN EL ALTIPLANO DE LA PAZ.
Perceptions of Institutions and Producers Regarding the Early Warning System in the Altiplano of La Paz.
Magali Garcia, Janneth Quispe, Omar Pozo 73

ECOSISTEMAS ALTO-ANDINOS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO: EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO Y CAPTURA DE CARBONO POR VEGETACIÓN NATIVA.
Andean Ecosystems in the Face of Climate Change: Carbon Dioxide Emissions and Carbon Sequestration by Native Vegetation.
Gavi Alavi, Verónica Condori, Alex Blanco 87

AGRICULTURA FAMILIAR: VALORANDO A LOS PRODUCTORES INNOVADORES DE CARA A LOS CAMBIOS AMBIENTALES.
Family farming: Valuing innovative producers in the face of environmental changes.
Edwin Yucra, Magalí García, Andrea Pozo 94

CONCLUSIONES: LECCIONES APRENDIDAS Y DESAFÍOS A FUTURO.
Conclusions, lessons learned and future challenges.
Magalí Garcia, Edwin Yucra, Jere Gilles 105



PROYECTO MARCLOC: DINAMICAS CLIMATICAS Y SOCIOECONOMICAS DEL CAMBIO AGROPRODUCTIVO EN COMUNIDADES DEL ALTIPLANO NORTE Y CENTRAL DE BOLIVIA. INTRODUCCIÓN AL NÚMERO

MARCLOC Project: Socioeconomic and climatic dynamics of agroproductive change in communities of the northern and central Bolivian highlands. General introduction.

Katherine Rojas[1] , Magali Garcia[2], Edwin Yucra[3], Jere Gilles[4]

RESUMEN

El proyecto MARCLoc (*Manejo de Riesgos Relacionados con el Clima en los Andes Integrando Conocimientos Locales y Tecnológicos*), inició el año 2016 dando continuidad a esfuerzos previos que desde 2010 trabajaron con esta temática. El objetivo del proyecto es fortalecer la resiliencia de los sistemas agrícolas del Altiplano boliviano ante los efectos del cambio climático. A través de un enfoque transdisciplinario, se ha promovido la integración de saberes científicos y conocimientos ancestrales, abordando los cambios del clima, la producción agrícola y el estado de los suelos, así como los factores que impulsan dichos cambios. Las actividades incluyeron la documentación de percepciones locales sobre el clima, análisis de la transformación de los sistemas productivos, carbono orgánico en los suelos y validación de indicadores naturales para pronósticos. Los resultados evidencian una alta vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos, acompañada del deterioro de suelos, pérdida de conocimientos tradicionales y cambios en prácticas agrícolas, agudizados por procesos principalmente socioeconómicos. Este artículo presenta una síntesis de los principales hallazgos del proyecto. Se concluye que la articulación entre saberes locales y científicos es esencial para generar nuevas estrategias de adaptación sostenibles y apropiadas.

Palabras clave: Indicadores naturales, cambio climático, sistemas productivos, carbono orgánico en el suelo, altiplano boliviano

ABSTRACT

The MARCLoc project (*Climate Risk Management in the Andes Integrating Local and Technological Knowledge*) began in 2016, continuing earlier efforts that had addressed this issue since 2010. The project's goal is to strengthen the resilience of agricultural systems in the Bolivian Altiplano in the face of climate change. Through a transdisciplinary approach, it has promoted the integration of scientific knowledge and ancestral wisdom, addressing climate change, agricultural production, and soil conditions, as well as the drivers behind these changes. The activities included documenting local perceptions of climate, analyzing the transformation of production systems, soil organic carbon, and validating natural indicators for forecasting. The results reveal high vulnerability to extreme weather events, accompanied by soil degradation, loss of traditional knowledge, and changes in agricultural practices—worsened primarily by socioeconomic processes. This article presents a synthesis of the project's main findings. It concludes that the integration of local and scientific knowledge is essential to developing new, sustainable, and appropriate adaptation strategies.

Keywords: Natural indicators, climate change, productive systems, organic soil carbon, Bolivian highlands

[1] Consultora Proyecto MARCLOC
[2] Investigadora IIDEPROQ, Facultad de Ingenieria UMSA
[3] Investigador CIPYCA UMSA
[4] Prof. Emérito UMissouri USA

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto MARCLoc (*Manejo de Riesgos Relacionados con el Clima en los Andes Integrando Conocimientos Locales y Tecnológicos*) inició en 2016 y continúa en la actualidad, como una extensión del proyecto previo Manejo de Riesgos Relacionados con el Clima frente a Cambios Climáticos y Sociales, el cual comenzó en 2009 con el financiamiento del Programa de Investigación Colaborativa de Cultivos (CCRP) de la Fundación McKnight. Esta fundación, mediante su Comunidad de Práctica, promueve la investigación orientada a sistemas agrícolas andinos que integren conocimientos locales y científicos.

Desde su origen en 2009, el propósito del proyecto ha sido el diseño de un sistema de alerta temprana y planificación agrícola basado en la integración de saberes científicos y locales, con el propósito de reducir los impactos del cambio climático en los pequeños sistemas agrícolas del Altiplano boliviano. Para ello, se han utilizado indicadores naturales, redes de pronóstico y estrategias para fortalecer la toma de decisiones en la producción agropecuaria.

El equipo de trabajo ha estado conformado por profesionales de diversas disciplinas —agronomía, agrometeorología, ciencias sociales, sistemas de información geográfica, teledetección y edafología— que, mediante un enfoque transdisciplinario, han buscado articular el conocimiento académico con los saberes locales. Este enfoque se ha enriquecido a través de la interacción con la Comunidad de Práctica del CCRP, la División de Ciencias Sociales Aplicadas de la Universidad de Missouri, y ha sido implementado por el Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos (IIDEPROQ) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), en colaboración con el Posgrado en Ciencias del Desarrollo (CIDES).

A lo largo de sus distintas fases, el proyecto desarrolló una serie de objetivos orientados a fortalecer la resiliencia de los pequeños sistemas agrícolas del Altiplano boliviano frente al cambio y la variabilidad climática. Estos objetivos incluyeron:

1) Diseñar una propuesta de sistema de alerta temprana y planificación para la toma de decisiones agrícolas, extrapolable a otras zonas del Altiplano boliviano, que integre el conocimiento local y científico, con el fin de reducir los impactos de eventos climáticos extremos en los sistemas de producción.
2) Analizar la medida en que el uso de indicadores naturales del clima contribuye a la reducción de pérdidas productivas frente a eventos climáticos, en comparación con sistemas que no los utilizan.
3) Consolidar una red de agricultores vinculada a sistemas de alerta temprana y pronóstico participativo.
4) Establecer conexiones entre mecanismos bio-atmosféricos observados científicamente y los indicadores utilizados tradicionalmente por los agricultores para el pronóstico climático.
5) Implementar una red de pronósticos adaptada a las necesidades y prácticas de los productores locales.
6) Evaluar la calidad y pertinencia de la información meteorológica disponible para el sector agrícola.
7) Analizar los procesos de toma de decisiones productiva.
8) Iniciar estudios básicos y ecosistémicos sobre la potencialidad de la zona para actuar no solo en adaptación sino también para la mitigación del cambio climático.
9) Explorar procesos de innovación para mejorar la productividad.

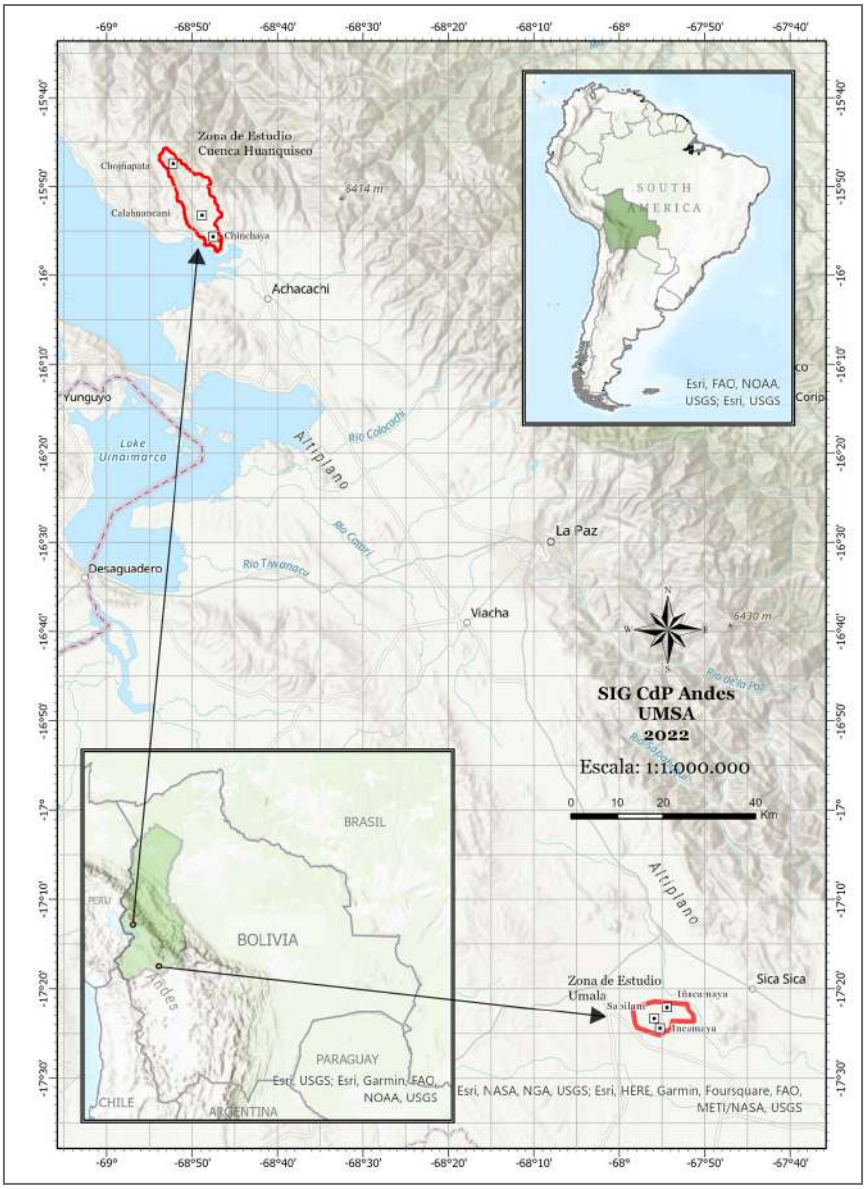
El proyecto se implementó en dos zonas con características diferentes en lo climático, fisiográfico y sus sistemas de producción (ver Mapa 1):

- **Altiplano Norte:** Se trabajó en las comunidades de Chojñapata, Calahuancane Baja y Chinchaya (Municipio de Ancoraimes) que son parte de la cuenca de Huanquisco, así como en Cutusuma (Municipio de Batallas), ubicadas en proximidad al Lago Titicaca, con altitudes entre 3.800 y 4.500 m snm. Esta zona se caracteriza por sistemas

productivos basados en cultivos andinos destinados principalmente al autoconsumo, con prácticas agrícolas manuales en parcelas pequeñas de aproximadamente 2.000 m².

- **Altiplano Norte:** Se trabajó en las comunidades de Chojñapata, Calahuancane Baja y Chinchaya (Municipio de Ancoraimes) que son parte de la cuenca de Huanquisco, ubicadas en proximidad al Lago Titicaca, con altitudes entre 3.800 y 4.500 m s.n.m. Esta zona se caracteriza por sistemas productivos basados en cultivos andinos destinados principalmente al autoconsumo, con prácticas agrícolas manuales en parcelas pequeñas de aproximadamente 2.000 m².

Mapa 1. Ubicación de las comunidades que son parte del área de intervención del proyecto en el Altiplano Norte (Chojñapata, Calahuancane Baja y Chinchaya) la cuenca de Huanquisco y Altiplano Central (Incamaya, Sabilani e Iñacamaya).



Fuente: García et al. (2023)

El proyecto MARCLoc ha contribuido también en la formación y especialización de recursos humanos, mediante la participación de 40 tesistas de pregrado y 6 tesistas de postgrado, así como la publicación de 5 artículos en inglés y 4 en español en revistas científicas. También se han generado 2 compendios de artículos científicos y 2 manuales. Uno de los aspectos distintivos de este proyecto ha sido el desarrollo de herramientas aplicables basadas en la articulación del conocimiento local y el conocimiento científico, otorgando un valor equitativo a ambas formas de saber, es así que en la gestión 2024, los resultados fueron presentados en la Academia Nacional de Ciencias para la inclusión de una de las investigadoras como miembro académico de número, y se obtuvo en dos ocasiones el Premio Plurinacional de Ciencia y Tecnología, además de una amplia participación en congresos nacionales e internacionales.

El presente artículo de síntesis, elaborado para esta edición especial de la Revista Científica de investigación IIDEPROQ, presenta los principales hallazgos del proyecto, estructurados en torno a los cambios observados en los sistemas productivos del Altiplano boliviano. Se abordan aspectos clave como el análisis climático, las transformaciones en los sistemas agrícolas, los factores socioeconómicos que impulsan estos cambios, y las perspectivas de adaptabilidad al cambio climático bajo las condiciones identificadas en las zonas de estudio.

2. SISTEMAS PRODUCTIVOS ALTOANDINOS TROPICALES

Las prácticas agrícolas en el Altiplano Norte y Central de Bolivia han sido transformadas en las últimas cinco décadas, existiendo una transición de los métodos ancestrales por tecnologías modernas. Estas modificaciones han sido impulsadas por diversos factores climáticos, económicos y sociales, como por ejemplo el aumento de temperatura, la migración y la demanda del mercado urbano. Asimismo, el uso de maquinaria y fertilizantes químicos ha reemplazado prácticas tradicionales como el barbecho prolongado y el uso de estiércol, lo que está alterando profundamente la relación de las comunidades con el suelo y su entorno.

Las consecuencias de los cambios mencionados tienen aspectos positivos y negativos. Por un lado, han mejorado la productividad y los ingresos a corto plazo; por otro, han generado una fuerte dependencia de insumos externos, reducción de la biodiversidad, y un deterioro de la salud del suelo. El predominio del monocultivo, la pérdida de prácticas agroecológicas como la rotación y los descansos del suelo, así como la intensificación del uso del riego, están comprometiendo la resiliencia agroecológica de la región. Las comunidades han demostrado capacidad de adaptación, modificando sus estrategias productivas y económicas, pero estas respuestas que han priorizado los resultados de corto plazo sobre la sostenibilidad a largo plazo, han incrementado su vulnerabilidad frente a eventos climáticos y fluctuaciones del mercado.

El proyecto ha realizado un levantamiento de información a lo largo de los años que ha permitido analizar los factores que motivaron las transformaciones de los sistemas y los cambios en los capitales, a través de una investigación descriptiva temporal, donde se aplicó entrevistas estructuradas y semiestructuradas, trabajo con grupos focales, así como observación sistemática y estructurada (Barragán et al., 2008; Yapu et al., 2015), en las zonas de estudio. Este análisis multitemporal permite resaltar la necesidad del apoyo en diferentes aspectos como ser la promoción de variedad de cultivos y actividades agropecuarias, recuperando prácticas agroecológicas que aseguren el equilibrio entre productividad y conservación. Además, pasar de la revalorización de los saberes ancestrales a su inclusión en un mecanismo formal de pronóstico, garantizar el acceso a mercados justos y mejorar el manejo del suelo y del agua.

3. PERCEPCIONES CLIMATICAS Y ANALISIS DE CAMBIOS

En el Altiplano Boliviano se han identificado importantes cambios en el clima que están alterando de manera significativa los sistemas productivos agrícolas tradicionales (Araujo, 2008). Estudios realizados por el proyecto muestran una tendencia al aumento de temperaturas mínimas y máximas, junto con un retraso en el inicio de la temporada de lluvias y una mayor concentración de estas precipitaciones en los meses de enero a abril. Este patrón irregular, junto con una mayor evapotranspiración y una estación seca más intensa, genera un entorno cada vez más adverso para la agricultura, especialmente considerando que, paradójicamente, el riesgo de heladas persistentes o incluso incrementadas continúa afectando la región especialmente en meses de invierno y transición.

Los cambios climáticos observados no solo modifican las condiciones ambientales, sino que también influyen en la percepción que tienen los agricultores sobre su entorno y los riesgos que enfrentan (Valdivia et al., 2010). En ese sentido se han realizado talleres y encuestas entre 2006 y 2023 relacionadas a la percepción del riesgo por parte de los agricultores, la cual a lo largo de los años se ha enfocado en sequías y heladas. Mientras que fenómenos como inundaciones y granizo han perdido peso en la preocupación de los agricultores, los eventos climáticos extremos —cada vez más frecuentes y severos— han impactado a casi el 100 % de los hogares en 2023, reflejando una creciente vulnerabilidad. Esta creciente percepción de riesgo indica que los productores rurales están muy atentos a las variaciones climáticas y a sus consecuencias directas en la producción y seguridad alimentaria.

La adaptación es una respuesta fundamental ante esta realidad cambiante. Los agricultores del Altiplano han ajustado sus prácticas productivas, retrasando las fechas tradicionales de siembra debido a las lluvias tardías y concentradas, pasando de una “primera siembra” en agosto-septiembre a sembrar mayormente entre octubre y noviembre. Este proceso demuestra no solo la resiliencia de las comunidades campesinas, sino también su capacidad para incorporar conocimientos tradicionales en la búsqueda de soluciones efectivas.

En este escenario, la información climática se vuelve crucial para la toma de decisiones en la producción agropecuaria. Sin embargo, existen desafíos en su acceso y uso. Aunque se han implementado sistemas de alerta temprana (SAT) en varios municipios del Altiplano, estos no están adecuadamente integrados con los saberes locales de los productores, quienes muchas veces no acceden a los pronósticos institucionales. Por otro lado, las instituciones muestran poca apertura a las observaciones locales, a pesar de su valor práctico. El proyecto, ha realizado una investigación exploratoria sobre los SAT actualmente implementados y sus principales actores, identificando la falta de integración de ambos sistemas de conocimiento —científico y tradicional— que es fundamental para mejorar la gestión del riesgo climático y fortalecer la resiliencia del sector productivo.

Bajo las condiciones particulares de las dos zonas de estudio del proyecto, se presenta una complejidad, que no es bien representada por los modelos climáticos actuales, los cuales no capturan adecuadamente las condiciones extremas y la variabilidad local del Altiplano. Por eso, resulta esencial promover sistemas agrícolas innovadores que se co-creen junto a los productores, aprovechando las ventajas propias del Altiplano, como la alta radiación solar y la acumulación térmica durante el día. Reconocer y fortalecer la capacidad de adaptación que ya demuestran los agricultores, así como fomentar la colaboración entre la ciencia y los saberes campesinos, será fundamental para enfrentar los desafíos del cambio climático. Esta sinergia puede contribuir a asegurar la sostenibilidad productiva y la seguridad alimentaria en una de las regiones más vulnerables y extremas de Bolivia.

4. INDICADORES NATURALES

En los Andes bolivianos, los agricultores han empleado durante generaciones los conocimientos locales sobre indicadores naturales —zoológicos, botánicos,

astronómicos y atmosféricos— para pronosticar el clima y gestionar los riesgos agrícolas, especialmente en torno al cultivo de la papa. Estos saberes tradicionales, construidos a partir de una profunda observación del entorno, han demostrado un notable grado de precisión, incluso en contextos donde las estaciones meteorológicas son escasas o inaccesibles.

Sin embargo, la investigación sobre estos indicadores sigue siendo limitada. Hasta la fecha, solo se han publicado cuatro estudios científicos que evalúan su efectividad (Claverías, 2000; Gilles et al., 2023; B. Orlove et al., 2000, 2002). En este contexto, el enfoque del proyecto hacia la validación del conocimiento local a través de la comparación entre percepciones campesinas y datos meteorológicos reales, representa una contribución significativa. Se resalta, además, el potencial de estos conocimientos para complementar y ampliar la ciencia meteorológica convencional.

Uno de los hallazgos más prometedores es la posible relación entre las temperaturas mínimas del 24 de junio (solsticio de invierno) y la precipitación en los meses agrícolas críticos del siguiente ciclo. Aunque esta correlación aún no ha sido completamente estudiada, demuestra cómo las observaciones campesinas pueden aportar valiosas pistas para entender patrones climáticos regionales y mejorar los pronósticos estacionales.

No obstante, el uso de estos saberes meteorológicos está disminuyendo de forma preocupante. Factores como la migración rural, el avance de la agricultura mecanizada, el cambio en la tenencia de tierras, el abandono del cultivo de papa y el desinterés de las nuevas generaciones han debilitado la transmisión intergeneracional del conocimiento. Estudios en comunidades como Umala y Ancoraimes muestran una clara disminución en el uso de indicadores naturales, influida más por factores sociales y económicos que por el cambio climático en sí. En Ancoraimes, por ejemplo, la migración ha interrumpido la cadena de transmisión oral del conocimiento y en Umala, el acceso a tecnologías agrícolas como el tractor ha desplazado la toma de decisiones basada en señales naturales.

Aunque Bolivia reconoce constitucionalmente el valor de los saberes ancestrales, los recursos asignados a su preservación e integración en servicios climáticos son escasos. Aun así, los indicadores naturales para el pronóstico climático no solo representan un conocimiento empírico con valor científico, sino también una herramienta clave para la resiliencia agrícola en los Andes. Su recuperación, validación y articulación con la ciencia moderna es fundamental para enfrentar los desafíos del clima actual y futuro.

5. CARBONO ORGANICO EN EL SUELO

Las condiciones en las zonas de estudio del proyecto no son homogéneas. En Ancoraimes, ubicado en el Altiplano Norte, la estación lluviosa es más prolongada, lo que permite una mayor flexibilidad para las labores agrícolas. En contraste, en Umala, que pertenece al Altiplano Central, el ciclo agrícola es más corto y la amenaza de heladas tardías durante abril es mayor, lo que limita la ventana segura para cultivar. Esta diferencia regional también se refleja en la calidad de los suelos; Umala presenta suelos más pobres en carbono orgánico, lo que aumenta su vulnerabilidad frente a la aridez y afecta negativamente la capacidad productiva y adaptativa de sus agricultores.

Además del impacto climático, en el proyecto se ha considerado el estudio del estado de los suelos y su relación con el cambio climático, al tener los suelos la capacidad de almacenar y liberar dióxido de carbono(Muñoz et al., 2010). Los suelos nativos del Altiplano, especialmente en Umala, presentan bajos niveles de carbono orgánico, lo que incrementa la vulnerabilidad a la desecación y erosión. Por otro lado, los bofedales, ecosistemas humedales altoandinos, muestran altos contenidos de materia orgánica pero también son fuentes importantes de emisiones de CO_2, influenciadas por variables como la temperatura mínima y la humedad atmosférica. Esta interacción

compleja entre suelo, clima y emisiones gaseosas subraya la necesidad de enfoques integrados para la conservación y el manejo sostenible de los ecosistemas en la región.

6. CAPACIDAD DE INNOVACIÓN DE LOS AGRICULTORES ANDINOS

La investigación tiene como objetivo explorar las estrategias innovadoras que los agricultores pueden adoptar para contribuir a la lucha contra los procesos degradadores de sus sistemas productivos (cambio climático, degradación de suelos, cadenas de mercado de cierta forma abusiva). Es importante enfatizar la importancia de cómo garantizar el incremento y sostenibilidad productiva, lo que justifica la necesidad de un estudio exhaustivo sobre: ¿Qué nuevas o antiguas técnicas productivas, y/o acciones institucionales o ambientales podría el agricultor alto andino de pequeña escala, establecer en sus sistemas con el fin de producir sosteniblemente en tiempo, lo que podría aportar en los esfuerzos de luchar contra la degradación ambiental global y enlazarlo con mercados justos?

Al abordar esta pregunta, la investigación contribuye a comprender cómo la innovación llevada por los propios productores podría contribuir a enfrentar sus problemáticas productivas y de enlace con sus puntos y formas de comercialización. El estudio de pequeña escala, pero de significancia por la exploración sobre las razones y motivaciones para innovar, busca destacar no solo los beneficios económicos de innovar, sino también sus impactos sociales y ambientales, enfatizando el papel fundamental de los innovadores en la transición hacia la producción sostenible y sostenida.

7. ARTÍCULOS PRESENTADOS EN ESTA EDICIÓN ESPECIAL

Esta edición especial presenta ocho artículos científicos que, desde distintas perspectivas, abordan y responden a los objetivos planteados por el proyecto MARCLoc a lo largo de sus diversas fases y etapas.

El articulo denominado **“Tendencias en las Amenazas Climáticas con Impacto en los Sistemas Productivos de Comunidades de dos Zonas de los Andes Altos Bolivianos”** combina datos meteorológicos y climáticos históricos para identificar patrones como la concentración de lluvias, la alta frecuencia de heladas, e integra esta información climática con información fenológica y percepciones locales para analizar cómo las transformaciones del clima inciden en la toma de decisiones de los agricultores, destacando la necesidad de rediseñar los sistemas productivos bajo un enfoque adaptativo, sensible tanto a los cambios económicos como a los ambientales. A continuación y siguiendo el tema de las transformaciones que se viene dando en las zonas de estudio, el artículo **“Cambio en Sistemas Productivos del Altiplano Boliviano: Transformación y Vulnerabilidad”**, compara la evolución de los sistemas productivos en comunidades del altiplano norte y central, identificando los principales factores de cambio —institucionales, humanos, sociales, tecnológicos, climáticos y de mercado—, así como las consecuencias sobre los capitales locales y las nuevas amenazas emergentes.

“Lecciones Aprendidas sobre el Uso de Pronósticos Locales en el Altiplano Boliviano”, es el tercer artículo que sintetiza más de dos décadas de investigación sobre el conocimiento local en torno al uso de indicadores naturales para el pronóstico climático. A través de una evaluación cuantitativa realizada por los propios agricultores, se identifican aquellos indicadores con mayor confiabilidad y potencial para complementar los pronósticos agrometeorológicos. No obstante, el uso de estos saberes ha disminuido con el tiempo, especialmente entre las nuevas generaciones, un proceso analizado en profundidad en el artículo **“Factores de Pérdida de Conocimientos de Uso de los Indicadores Climáticos Locales en Comunidades del Altiplano Norte y Central”,** el cual concluye que los factores socioeconómicos son los principales responsables de esta pérdida, a pesar de los esfuerzos

institucionales por su recuperación y valorización.

Los cambios específicos en los suelos de estas zonas se presentan en el artículo **"Prácticas Tradicionales en Transición: Uso y Manejo de Suelos en el Altiplano Norte y Central"**, el cual analiza, a través de entrevistas semiestructuradas, los cambios temporales en el uso y manejo del suelo entre 1980 y 2019. En las gestiones más recientes de este periodo, en algunos municipios del altiplano boliviano, se ha implementado un Sistema de Alerta Temprana, por lo que el artículo **"Percepciones de Instituciones y Productores con Relación al Sistema de Alerta Temprana en el Altiplano de La Paz"** examina la implementación del Sistema de Alerta Temprana (SAT) a nivel municipal en el marco del Decreto Supremo N° 2342, reglamentario de la Ley N° 602 de Gestión de Riesgos. A través de un análisis comparativo de las percepciones institucionales y las de los productores, se revela una importante brecha en torno al entendimiento y funcionalidad del SAT. El artículo propone recomendaciones clave para reducir esta brecha y mejorar la eficacia del sistema, garantizando que la información generada sea oportuna, accesible y útil para la toma de decisiones en el ámbito agrícola.

"Ecosistemas andinos frente al cambio climático: emisiones de CO2 y captura de carbono de vegetación nativa" es el séptimo artículo presentado en esta edición especial, que expone el proceso investigativo relacionado a la dinámica del carbono en ecosistemas altoandinos, comparando bofedales y pasturas nativas. Las emisiones de dióxido de carbono del suelo y la capacidad de captura de carbono de la vegetación fueron evaluadas, encontrando la función estratégica de los bofedales como reservorios de carbono y reguladores climáticos, destacando la importancia de la conservación y manejo sostenible de estas coberturas en la zona altiplánica frente al cambio climático.

Finalmente **"Agricultura familiar: valorando a los productores innovadores de cara a los cambios ambientales"** es el octavo artículo de esta edición especial que inicia la exploración hacia los esfuerzos de los pocos agricultores innovadores que puedo identificarse, para incluir algunas modificaciones o inclusiones en la cadena productiva y comercializadora, con el fin de mejorar las condiciones productivas o garantizar la productividad sostenida y sostenible hacia un verdadero desarrollo de las comunidades altoandinas.

7. CONCLUSIONES

Resumir años de investigación sobre los sistemas productivos del Altiplano Central y Norte de Bolivia representa un desafío significativo, siendo que el proyecto ha abordado múltiples dimensiones —climáticas, socioeconómicas y culturales— desde un enfoque transdisciplinario. Este número especial tiene como objetivo incentivar la investigación colaborativa y demostrar que la co-creación de conocimientos entre saberes locales y científicos, en respuesta a los nuevos desafíos que enfrenta la producción agrícola en esta región es un proceso posible y altamente recomendable. Habiéndose identificado las potencialidades y capacidades de adaptación de las comunidades, los factores de cambio, las nuevas vulnerabilidades y riesgos, así como el desarrollo de nuevas herramientas, se promueve una nueva etapa renovada de generación y aplicación de conocimientos que integren y fortalezcan ambas formas de saber para impulsar sistemas productivos más resilientes y sostenibles.

8. RECONOCIMIENTOS

Se reconoce el financiamiento de la Fundación McKnight y el Programa VLIR-TEAMS sin los cuales los resultados presentados no hubieran sido posibles.

9. REFERENCIAS

Araujo, H. (2008). Estrategias de adaptación ante el cambio climático en las comunidades campesinas de la parte alta de la cuenca del rio Suches. Perspectivas sobre el cambio climático, 65-81.

Barragán, R., Salman, T., Aillón, V., Córdova, J., Langer, E., Sanjinés, J., Rojas, R., & Paz -Bolivia, L. (2008). Guía para la formulación y ejecución de proyectos de investigación (Plural, Ed.; 4.a ed.). Fundación PIEB. www.pieb.com.bo

Claverías, R. (2000). Conocimientos de los campesinos andinos sobre los predictores climáticos: Elementos para su verificación. Trabajo expuesto en el Seminario-Taller organizado por Proyecto NOAA.

García, M., Yucra, E., & Gilles, J. (2023). Aproximación de la vulnerabilidad de dos zonas representativas del altiplano norte y central de Bolivia al Cambio Climático. IIDEPROQ, Facultad de Ingenieria, UMSA.

Gilles, J. L., García, M., Yucra, E. S., Quispe, R., Poma, A., Quispe, J. M., Rojas, K., & Cabrera, P. (2023). Validating local meteorological forecast knowledge in the Bolivian Altiplano: moving toward the co-production of agricultural forecasts. Climate and Development, 15(4), 280-291. https://doi.org/10.1080/17565529.2022.2077692

Muñoz, C., Paulino, L., Monreal, C., & Zagal, E. (2010). Greenhouse gas (CO2 and N2O) emissions from soils: a review. Chilean Journal of Agricultural Research, 70(3), 485-497. https://doi.org/10.4067/s0718-58392010000300016

Orlove, B., Jhon, C., & Mark, C. (2002). Ethnoclimatology in the Andes. American Scientist, 90, 428-435.

Orlove, B. S., Chiang2, J. C. H., & Cane2, M. A. (2000). Forecasting Andean rainfall and crop yield from the influence of El Niño on Pleiades visibility. www.nature.com

Valdivia, C., Seth, A., Gilles, J. L., García, M., Jiménez, E., Cusicanqui, J., Navia, F., & Yucra, E. (2010). Adapting to climate change in Andean ecosystems: Landscapes, capitals, and perceptions shaping rural livelihood strategies and linking knowledge systems. Annals of the Association of American Geographers, 100(4), 818-834. https://doi.org/10.1080/00045608.2010.500198

Yapu, M., Komadina R., J., Cordova, J., Pereira, R., Gutierrez, N., & Gonzales Gilmar. (2015). Pautas metodológicas para investigar en ciencias sociales y humanas (B. Cajias, Ed.). Fundación PIEB.

TENDENCIAS EN LAS AMENAZAS CLIMÁTICAS CON IMPACTO EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DE COMUNIDADES DE DOS ZONAS DE LOS ANDES ALTOS BOLIVIANOS

Trends in climate threats impacting the productive systems of communities in two regions of the Bolivian High Andes

Magali Garcia[1], Edwin Yucra[2], Gavi Alavi[3]

RESUMEN

Las evaluaciones iniciales de impacto de cambio climático en el Altiplano Boliviano, proyectaban menor probabilidad de heladas con poco cambio pluviométrico, pero las evaluaciones participativas reportan que las heladas persisten en algunos meses del año, que la precipitación se concentró, y que los productores van tomando decisiones productivas en respuesta, lo que sugiere la necesidad de un análisis integral de los impactos mencionados y a nivel local. Los intercambios de conocimientos con los productores también revelan cambios en la tipología productiva con épocas de cultivo más cortas. En dos zonas alto andinas se analizó el comportamiento promedio, extremo y tendencias de las temperaturas máximas, mínimas y de precipitación. Se mostró que la amenaza de heladas no ha disminuido en los meses invernales y de transición, pero que los promedios de Temperaturas mínimas, y Temperaturas máximas han incrementado, mientras que la precipitación tiende a la concentración, aunque con baja significancia. La ventana temporal estival cuando las condiciones productivas son benignas se acortó, pero mejoró con respecto a la amenaza de heladas y a las bajas temperaturas, permitiendo ciclos productivos más cortos. Estas condiciones también se constituyen en oportunidades para nuevas alternativas productivas que requieren ser exploradas.

Palabras clave: Altiplano boliviano, heladas, calentamiento global, amenaza

ABSTRACT

Initial assessments of climate change impact in the Bolivian Altiplano suggested a decrease in frost risk and stable rainfall patterns. However, recent participatory evaluations indicate persistent frost in some months, more concentrated precipitation, and changes in farming practices by producers. This highlights the importance of conducting a detailed local-level analysis of these impacts. Discussions with farmers also reveal shifts in farming practices due to shorter growing seasons. In two high Andean regions, we examined average, extreme, and trend patterns of maximum and minimum temperatures and precipitation. While the threat of frost remains in winter and transition months, minimum and maximum temperatures have increased on average. Precipitation tends to be more concentrated, though with low significance. The summer growing season has shortened, but conditions have improved in terms of frost risk and low temperatures, allowing for shorter growing cycles. These changes present opportunities for exploring new farming alternatives.

Keywords: Bolivian Altiplano, frost, global warming, threat
https://doi.org/10.53287/gbtn4931pp71g

[1]Investigadora IIDEPROQ, Facultad de Ingenieria UMSA
[2]Investigador CIPYCA UMSA
[3]Investigadora asociada IIDEPROQ, Facultad de Ingenieria, UMSA

1. INTRODUCCIÓN

Los Andes tropicales montañosos de América del Sur y el altiplano de Bolivia se consideran un punto crítico de impacto del cambio climático. Las tendencias climáticas han producido impactos significativos en los ecosistemas y los medios de vida e inducido a los agricultores a diversas decisiones productivas desde el anterior siglo (Taboada et al., 2017; Valdivia et al., 2010). La época de cultivo depende de una ventana climática corta, donde las lluvias coinciden con la ausencia de heladas, lo que hace que cualquier alteración aumente el riesgo agrícola.

La agricultura tropical altoandina boliviana enfrenta riesgos climáticos debido a su elevada altitud, aire transparente y latitud tropical, que generan bajas temperaturas y grandes variaciones térmicas diarias. Además, depende de sistemas atmosféricos variables (Alta del Pacífico, PDO, ZCIT, etc.) (R. Garreaud, 2009; Segura et al., 2019) que concentran las lluvias en verano (octubre-abril), periodo crucial para el crecimiento agrícola. Fuera de esta ventana temporal (precipitación de 750 mm en el norte hasta 250 mm en el sur), la combinación de heladas frecuentes y estación seca hace que la agricultura sea una actividad de alto riesgo.

Mientras que proyecciones climáticas indican una posible reducción de heladas y aumento de temperaturas para la zona de estudio (Andersen & Mamani, 2009; R. Garreaud, 2009; R. D. Garreaud et al., 2003), los agricultores reportan efectos contrarios a lo esperado, como heladas en momentos críticos del cultivo. Mientras un incremento en las temperaturas mínimas podría favorecer el desarrollo agrícola, el aumento de las máximas genera mayor estrés hídrico y puede reducir los rendimientos, incluso si las lluvias no disminuyen. Esta combinación de factores dificulta predecir el impacto del calentamiento global sobre la agricultura de montaña. Se exploró el uso de indicadores como los grados día (DD) para analizar cómo las temperaturas influyen en el desarrollo de cultivos en la zona de estudio, considerando que un incremento de temperatura genera entre otros efectos, un menor tiempo de crecimiento y desarrollo (Hatfield et al., 2011; Zhu et al., 2021), siendo que una forma de evaluar el efecto de la temperatura del aire y el grado de desarrollo de una especie es utilizar la suma térmica o grados día (DD) (Posse et al., 2018).

Este estudio tuvo el objetivo de analizar la evolución temporal histórica de las variables térmicas y pluviométricas en términos mensuales en dos zonas del altiplano boliviano en relación a las percepciones de los productores, con el fin de aproximar el análisis climático con las necesidades e inquietudes generadas localmente. Asimismo, se propone una metodología para vincular datos climáticos con decisiones agrícolas locales, que es algo muy poco explorado. En el caso de la precipitación, su concentración es uno de los procesos más comúnmente reportados y estudiados (Seth, Rojas, et al., 2010; Seth, Thibeault, et al., 2010) aunque no contextualizado en relación a las decisiones de los agricultores altoandinos, especialmente en relación con el momento óptimo de siembra. En el caso de las variaciones térmicas, el análisis se orienta a evaluar las variaciones heterogéneas que ocurren, siguiendo las guías al respecto que muestran las percepciones de los productores.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Áreas de Trabajo

El análisis se centra en la dinámica ecoclimática, comunitaria y productiva de las comunidades del Altiplano Boliviano, ubicadas en el Altiplano Norte y Central presentados en el Mapa 1, Capítulo 1 de la presente edición especial de la revista.

2.2. Percepciones del riesgo climático

En 2006, conjuntamente con el equipo del proyecto SANREM, se realizó una encuesta a 187 agricultores (93 en las comunidades de Chinchaya y Chojñapata

en Ancoraimes y 94 en Umala), en la que se consideró la percepción del riesgo climático. Los productores y productoras expusieron su visión sobre cuál de las amenazas climáticas eran percibidas con mayor importancia negativa de acuerdo a su contexto (Valdivia et al., 2010). En 2023, se realizó una encuesta similar a 80 productores y productoras caracterizados por ser habitantes permanentes de ambas zonas y similares comunidades que en 2006 (48 en Ancoraimes y 32 en Umala), con un capítulo igualmente relacionado a la percepción del riesgo climático de acuerdo a su contexto productivo. El presente trabajo compara la percepción del riesgo, el daño reportado y las pérdidas en hogares entre 2023 y 2006. El análisis estadístico de las encuestas fue realizado con el paquete estadístico SPSS.

2.3. Información meteorológica y climática

La primera fuente de información proviene de estaciones meteorológicas instaladas por la UMSA en cada comunidad, con registro diario variable de hasta 10 años. Esta información se utilizó para caracterizar en primera instancia a las localidades en su régimen termo-pluviométrico mensual y diario y para comparar con estaciones cercanas de larga data. Luego, se procedió a definir los valores diarios de 40 años de temperatura a partir de datos de reanálisis del sitio ERA5 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF, con resolución de 31 km). En cuanto a la precipitación se acudió al sitio de CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data, U.S. Geological Survey y University of California, Santa Bárbara), con resolución aproximada de 5 km.

La temperatura fue tratada estadísticamente mediante imputación múltiple a través de modelos de regresión individual (MICE), mostrando alta correlación con los registros locales. La precipitación obtenida de CHIRPS, tuvo baja correlación diaria, pero mejoró en periodos de 3 y 5 días. Para análisis diarios de extremos, se usaron datos de estaciones cercanas del SENAMHI (Patacamaya para Umala y El Alto para el Norte), que mostraron alta correlación con eventos de lluvias locales y con CHIRPS entre 1981-2016. Por ello, se trabajó con estos registros tras un control de calidad estandarizado. Así, las estaciones de El Alto y Patacamaya se usaron como referencia para las cuencas de Huanquisco y Umala, respectivamente. Finalmente, se determinaron índices climáticos para analizar tendencias relevantes para la agricultura local.

2.3.1. Índices climáticos evaluados

La elección de los índices para evaluar eventos extremos sigue enfoques estandarizados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI) quienes a principios del siglo XXI definieron 27 índices climáticos representativos para evaluar eventos extremos producidos por el cambio climático a nivel global y regional (Peterson et al., 2001), de los cuales se seleccionan los apropiados para cada zona. La Tabla 1, presenta los índices climáticos seleccionados para evaluar tendencias históricas tanto para temperatura máxima y mínima, como precipitación e índices derivado, así como la frecuencia de análisis. Los índices también fueron seleccionados en respuesta a las necesidades y preocupaciones expresadas por los actores locales, de tal manera que sean de utilidad para la comprensión de las tendencias de las variables meteorológicas individualizadas. La significancia estadística de las tendencias históricas fue evaluada con el test de Mann-Kendall, aplicando el programa MAKESENS (Salmi et al., 2002). El mencionado test tiene la ventaja de evaluar las tendencias sin ser afectado por valores extremos.

Tabla 1. Variables climáticas analizadas y lapso para el análisis tendencial histórico.

Variable		Descripción	Lapso
Temperatura máxima (*Tmax*)	Promedio (*Tmax-media*)	Promedio de las *Tmax* diarias de cada mes del registro	Mensual
	Máxima extrema (*Tmax-X*)	Valor más alto de *Tmax* durante cada mes del registro	Mensual
	Mínima extrema (*Tmax-N*)	Valor más bajo de *Tmax* durante cada mes del registro	Mensual
Temperatura mínima (*Tmin*)	Promedio (Tmin-media)	Promedio de las *Tmin* diarias de cada mes del registro	Mensual
	Máxima extrema (*Tmin-X*)	Valor más alto de *Tmin* durante cada mes del registro	Mensual
	Mínima extrema (*Tmin-N*)	Valor más bajo de *Tmin* durante cada mes del registro	Mensual
	Días con helada	Número de días en que la *Tmin* descendió hasta <0 en cada mes del registro	Mensual
Precipitación (*PP*)	Acumulada	Suma de la PP de cada mes del registro	Mensual
	Días con lluvia	Número de días con PP diaria > 0.5 mm	Mensual
	Índice de estacionalidad	Concentración de la precipitación (cuanto más alto, mayor concentración de la precipitación)	Anual
Derivado	Índice de Aridez	Eficiencia de la precipitación para cubrir las necesidades atmosféricas de las zonas (PP/ETo FAO-PM) (cuanto más bajo, mayor el déficit atmosférico de agua de una zona)	Trimestral

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Información productiva

De acuerdo a la encuesta realizada en 2023 por el equipo del proyecto, el cultivo de papa es todavía comúnmente cultivado en ambas zonas del altiplano confirmando lo reportado por Taboada et al. (2017), quienes mencionan que incluso Chojñapata, la comunidad de mayor altitud (4200 m.) ya entonces cultivaba papa comercial, gracias al incremento térmico que al presente podría ser mayor.

Por tanto, se decidió evaluar las decisiones en relación al momento de la siembra del cultivo de la papa a secano (sin riego) en las dos zonas analizadas durante cuatro gestiones agrícolas, y en varias parcelas de agricultores de acuerdo al detalle presentado en la Tabla 2. Posteriormente, en todos los casos, se monitorearon las fechas de la expresión de las fases fenológicas del cultivo (emergencia, floración, maduración y cosecha).

Tabla 2. Número de parcelas monitoreadas en las gestiones agrícolas para la medición fenológica.

Gestión agrícola	Chinchaya	Chojñapata	Iñacamaya e Incamaya
2017-2018	14	6	15
2020-2021	5	4	6
2021-2022	4	8	5
2022-2023	1	1	2

Fuente: Elaboración propia.

Las decisiones tomadas por los productores sobre el momento de la siembra y la consecuente duración del ciclo productivo se relacionaron con las temperaturas máxima y mínimas de la zona en los años agrícolas evaluados siguiendo el principio de los DD (Grados-día), aplicando la siguiente ecuación:

$$DDi=((Tmax+Tmin)/2)-Tbase$$

Donde DDi representa a la cantidad de calor o Grados-día acumulado por el cultivo en cada día (i), *Tmax* representa a la Temperatura máxima ocurrida en el día *i*, *Tmin* es la Temperatura mínima ocurrida en el día *i* y Tbase representa la temperatura cardinal, bajo la cual el cultivo no realizaría actividad fotosintética. En el caso específico de la papa cultivada en el altiplano el valor utilizado fue de 1°C, basado en Hijmans et al., (2003);

y Sanabria et al., (2014) , y las observaciones de los autores acerca de las temperaturas a las que los cultivos altoandinos mantienen su actividad fotosintética.
Finalmente se calculó la sumatoria de los DDi totales y por fase vegetativa, con el fin de conocer la acumulación térmica que procesa el cultivo de papa en las fases vegetativas más importantes y en total bajo las actuales condiciones climáticas presentes en dos zonas representativas del Altiplano Boliviano.

Es necesario resaltar que todas las evaluaciones se llevaron en parcelas de agricultores, registrando sus decisiones productivas respecto a fechas y actividades. Adicionalmente, también se debe mencionar que solo se incluyeron aquellas campañas en que el cultivo llegó a término en forma al menos medianamente exitosa de acuerdo a la percepción de los dueños de las parcelas, es decir que tuvieron una cosecha suficiente para el consumo, semilla y sobrante para la venta.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Percepciones del riesgo climático

Los resultados de las encuestas aplicadas en las dos zonas incluidas en el presente estudio muestran que los agricultores reconocen que la dinámica atmosférica histórica se ha modificado gradualmente lo cual ha provocado modificaciones en sus sistemas productivos, influenciados también por factores externos como el acceso a mercados y la conectividad.

La Tabla 3, presenta una comparación de la percepción del riesgo climático por parte de agricultores participantes de la encuesta en 2006 como en 2023. En ambas zonas de estudio, la percepción de riesgo de inundaciones y granizo ha disminuido, en cambio la percepción de riesgo de sequía ha incrementado, mientras que las heladas son percibidas con similar o mayor nivel de riesgo que antes.

El notorio incremento en la percepción del riesgo de sequía, así como su alto nivel de afectación (Tabla 4), podría deberse tanto a precipitaciones más erráticas, como a una mayor evapotranspiración de referencia por las temperaturas en ascenso. Esto se debe a que, bajo cantidades similares de precipitación a aquellas recibidas el anterior siglo, el déficit atmosférico es mayor, así como la sequedad de la superficie.

Tabla 3. Comparación de las percepciones promedio del riesgo de diversas amenazas climáticas para la producción agrícola en comunidades rurales del Altiplano Norte y Central en 2006 y 2023 en escala del 1 al 5, donde los valores de la escala son: 1 = no es amenaza; 2 = amenaza mínima; 3 = amenaza moderada; 4 = amenaza muy fuerte; 5 = amenaza extrema. Se subraya los dos valores más altos para cada gestión considerada.

Tipo de amenaza	Altiplano Norte (Ancoraimes)		Altiplano Central (Umala)	
	2006	2023	2006	2023
Inundaciones	3.83	2.14	4.19	2.59
Sequías	2.79	4.46	2.97	4.65
Heladas	3.93	4.50	4.32	4.22
Granizo	3.78	3.64	4.05	3.19

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se cuantificó la percepción del grado de afectación y el porcentaje observado de pérdida de la producción debido al impacto de la amenaza (Tabla 4). Las respuestas demuestran que, para la percepción de los productores, los grados de afectación a la producción provocada por los principales eventos negativos (amenazas) han subido incluso si su presencia no es muy frecuente. Este efecto podría deberse a la mayor intensidad de los eventos climáticos extremos combinado con la introducción de especies y variedades de mayor valor comercial, aunque con menor rusticidad, tal como reportan algunos autores (Taboada et al., 2017).

Tabla 4. Percepción del grado de afectación y de la tasa de pérdida reportada por los productores de las comunidades participantes.

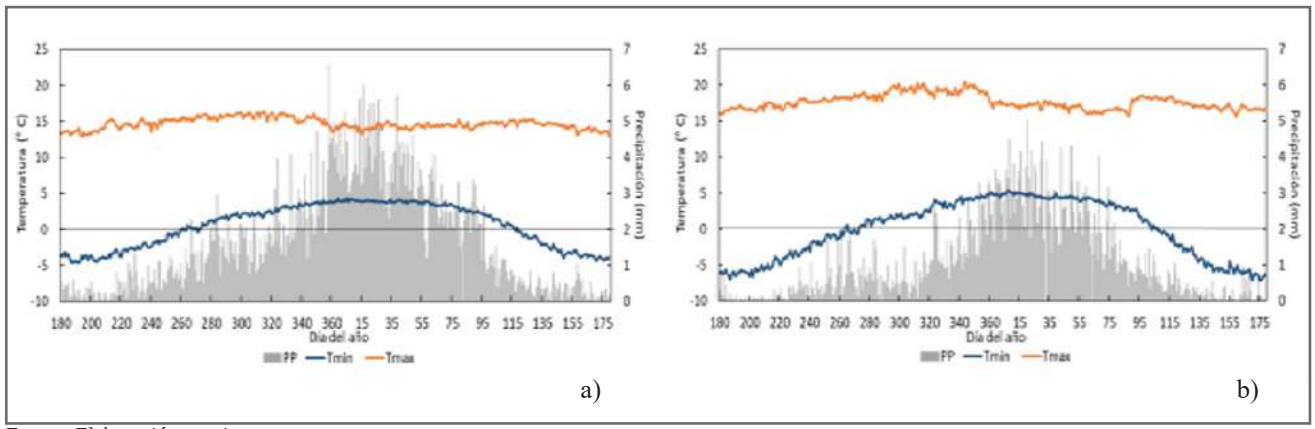
	Altiplano Norte (Ancoraimes)				Altiplano Central (Umala)			
	2006		2023		2006		2023	
Tipo de amenaza	% de hogares que reportan pérdidas	% reportado de pérdida	% de hogares que reportan pérdidas	% reportado de pérdida	% de hogares que reportan pérdidas	% reportado de pérdida	% de hogares que reportan pérdidas	% reportado de pérdida
Inundaciones	31.2	9.9	27	51	60	13.1	56	54
Sequías	21.2	17.5	88	65	41	20.3	100	70
Heladas	66.8	29.9	100	69	69	8.5	97	71
Granizo	30.0	19.76	28	33	49	24.5	41	52

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Información y tendencias climáticas

La climatología de las zonas (Figura 1) obtenida del registro promedio local (2013-2023), presenta similar estacionalidad de la precipitación, dado que ambas se encuentran afectadas por el mismo sistema climático (Canedo-Rosso et al., 2019; R. Garreaud, 2009) , aunque la magnitud de la precipitación es mayor en el Norte gracias a procesos de transporte de aire húmedo muy locales. Desde un punto de vista térmico, la mayor diferencia entre los valores promedio de Tmax y Tmin en el Altiplano Central, variable también conocida como Amplitud térmica, demuestra una mayor aridez, pues la pérdida de radiación infrarroja nocturna no es suficientemente modulada por la baja humedad del aire, efecto menos claro en el Altiplano Norte, especialmente en invierno. Ambas zonas muestran inviernos con temperaturas mínimas por debajo de 0°C, aunque la intensidad media de las heladas es mayor en el Centro que en el Altiplano Norte, efecto que podría estar relacionado al mayor contenido de vapor de agua en el aire del Altiplano Norte, gracias a la cercanía al Lago Titicaca. Las temperaturas máximas no muestran oscilaciones anuales debido a la latitud tropical de la zona altiplánica, presentando valores mayores en el Altiplano Central. La termopluviometría indica que la agricultura a cielo abierto y de secano es viable en el verano austral, cuando las lluvias convectivas y las temperaturas mínimas por encima del punto de congelación reducen el riesgo de heladas y sequías.

Figura 1. Valores promedio diarios del registro histórico de Ancoraimes (a) y Umala (b) de Temperatura mínima, Temperatura máxima y Precipitación.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.1. Tendencias históricas en las Temperaturas Máximas medias y extremas mensuales

La evolución anual de las Temperaturas máximas medias mensuales muestra tendencias ascendentes en invierno y en meses de transición (abril a septiembre) probablemente por el menor contenido de vapor de agua y la reducida nubosidad que disminuyen la capacidad de amortiguación de la atmósfera, incrementando la acumulación energética; este proceso es moderado o desaparece en los meses de lluvia, reduciendo la significancia de la tendencia (Tabla 5). Similar comportamiento se presenta en los valores máximos extremos mensuales de las temperaturas máximas que muestran suaves ascensos en invierno y claras tendencias de incremento en los meses primaverales, probablemente debido a la menor nubosidad en días puntuales, efecto producido por la concentración de la precipitación, lo que provoca que en días soleados se reciba mayor insolación directa. En el caso de los valores más bajos de las *Tmax* en Ancoraimes, estos muestran comportamientos variables probablemente por la ocurrencia de nevadas que podrían, en algunos casos, reducir sus valores, mientras que en Umala la significancia ascendente es clara.

Tabla 5. Valor del estadístico Z de la prueba de Mann Kendall, mostrando la tendencia y significancia estadística en los índices relacionados a la temperatura máxima. Valores positivos (negativos) denotan tendencias ascendentes (descendentes).

	TMax-media				*Tmax-X*				*Tmax-N*			
	Ancoraimes		Umala		Ancoraimes		Umala		Ancoraimes		Umala	
Mes	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.
Ene	1,19	ns	1,02	ns	1,41	ns	1,22	ns	1,93	+	0,73	ns
Feb	0,69	ns	0,45	ns	0,42	ns	0,31	ns	0,22	ns	1,20	ns
Mar	1,53	ns	1,97	*	0,28	ns	1,31	ns	0,68	ns	2,36	*
Abr	1,69	+	3,06	**	1,83	ns	3,07	**	1,55	ns	2,98	**
May	1,63	ns	2,94	**	0,98	*	2,78	**	0,37	ns	2,10	ns
Jun	3,94	***	3,11	***	2,17	*	2,99	**	0,84	ns	2,46	*
Jul	1,87	+	3,01	**	1,83	*	2,40	*	-0,24	ns	2,27	*
Ago	3,00	**	2,21	*	1,42	*	0,86	ns	1,60	ns	2,14	*
Sep	3,00	**	2,94	**	2,70	+	0,64	ns	2,68	**	2,67	**
Oct	2,63	**	0,98	ns	2,59	*	0,41	ns	1,74	+	0,49	ns
Nov	2,96	**	1,66	+	2,43	+	1,36	ns	1,41	ns	2,12	*
Dic	0,20	ns	0,17	ns	1,32	ns	0,31	ns	0,85	ns	0,46	ns

Tendencia: + significativa al 90 %; *significativa al 95%; **significativa al 99%; ***significativa al 99.9%, ns denota valores no significativos.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Tendencias en las Temperaturas Mínimas

En Ancoraimes, la *Tmin-media* aumenta en verano, pero tiende a descender entre abril y septiembre, aunque sin significancia. Esto favorece la acumulación de energía para cultivos entre noviembre y marzo, pero mantiene el riesgo de heladas al inicio y final de la temporada agrícola. Las *Tmin-N* también descienden entre abril y octubre, lo que eleva el riesgo para cultivos de secano y reduce el éxito de la agricultura invernal, incluso en un clima más cálido. Este riesgo se agrava por la posible mayor aridez en el altiplano (menor humedad atmosférica), que intensifica las heladas entre abril y noviembre, con mayor frecuencia. Las *Tmin-X* aumentan moderadamente en invierno y significativamente en primavera-verano, influenciadas por el incremento global de GEIs (Tabla 6).

En Umala, la *Tmin-media* sube entre diciembre y febrero, con tendencias débiles el resto del año. Las *Tmin-N* no muestran aumentos entre abril y noviembre,

y solo suben durante la temporada de lluvias. El número de días con temperaturas bajo cero aumenta ligeramente en abril y noviembre, sin grandes cambios en otros meses. Aunque las temperaturas promedio suben, el riesgo de heladas destructivas al inicio y final del ciclo agrícola persiste. Las *Tmin-X* muestran una tendencia ascendente, también relacionada con el aumento global de GEIs (Tabla 6).

Tabla 6. Valor del estadístico Z de la prueba de Mann Kendall, mostrando la tendencia y significancia estadística en los índices relacionados a la Temperatura mínima. Valores positivos (negativos) denotan tendencias ascendentes (descendentes); ns denota valores no significativos.

	TMin-media				*Tmin-N*				*Tmin-X*				Días con helada			
	Ancoraimes		Umala		Ancoraimes		Umala		Ancoraimes		Umala		Ancoraimes		Umala	
Mes	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.
Ene	1,65	+	1,92	+	1,19	ns	3,11	**	3,20	**	3,07	**	ns	ns	ns	ns
Feb	0,98	ns	3,04	**	0,46	ns	2,51	*	3,45	***	3,17	**	ns	ns	ns	ns
Mar	0,97	ns	-0,16	ns	0,67	ns	0,58	ns	1,24	ns	0,54	ns	ns	ns	ns	ns
Abr	0,10	ns	-0,54	ns	-0,92	ns	-0,61	ns	1,15	ns	0,67	ns	2,32	*	0,43	ns
May	-0,12	ns	0,13	ns	-0,86	ns	-0,16	ns	0,26	ns	1,16	ns	1,37	ns	-0,49	ns
Jun	1,52	ns	-0,08	ns	-0,88	ns	-0,12	ns	0,72	ns	0,81	ns	1,60	ns	-1,46	ns
Jul	1,44	ns	1,11	ns	-0,55	ns	0,83	ns	1,56	ns	0,00	ns	-0,45	ns	-0,73	ns
Ago	-0,89	ns	1,83	+	-0,92	ns	0,26	ns	1,04	ns	1,67	+	-0,68	ns	0,00	ns
Sep	0,17	ns	1,92	+	-0,63	ns	-0,40	ns	3,49	***	2,77	*	1,67	+	-2,08	*
Oct	-0,28	ns	1,41	ns	-0,25	ns	1,73	+	3,28	**	2,00	*	1,45	ns	-0,76	ns
Nov	0,94	ns	0,50	ns	0,89	ns	0,80	ns	4,16	***	0,94	ns	0,58	ns	0,32	ns
Dic	1,53	ns	3,09	**	0,38	ns	1,94	+	3,16	**	1,92	+	ns	ns	ns	ns

Tendencia: + significativa al 90 %; *significativa al 95%; **significativa al 99%; ***significativa al 99.9%, ns denota valores no significativos.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Tendencias en la Precipitación

La cantidad acumulada de precipitación mensual muestra señales levemente negativas, aunque poco o no significativas en los meses de invierno, mientras que en verano existe cierta tendencia al incremento, aunque con baja significancia en diciembre y febrero en ambas localidades.

La baja significancia en todos los meses y en forma anual no permite concluir cambios en esta variable, aunque sí una cierta señal de concentración entre los meses de diciembre a febrero. Similar comportamiento presenta el número de días con precipitación, con descensos en la mayor parte de los meses, aunque con baja significancia estadística. La tendencia negativa identificada de días con lluvia, (incluso en los meses en que la precipitación asciende) sugiere que los eventos de precipitación extrema se estarían incrementando a lo largo del año con excepción de febrero. En caso de que el número de días con lluvia continuaría disminuyendo, esto se traduciría en una mayor cantidad de días sin nubosidad, incrementándose el riesgo de heladas y tal vez el valor de las *Tmax-X*.

Un análisis detallado del comportamiento de la precipitación media diaria en ambas zonas entre 1980-1999 (línea negra) y desde 2000 hasta 2016 (línea roja) (Figura 2), confirma las tendencias de concentración de la lluvia, recordando que las características de la época de lluvias, determinan la decisión de cuándo ocurrirá la siembra para la agricultura a secano.

En Ancoraimes, la precipitación promedio que caía antes de 2000 (en negro) presenta tendencia a la concentración y al retraso después de 2000. Si bien hasta fines de octubre la dinámica es similar entre los periodos analizados, la precipitación que se recibe posteriormente es menor entre noviembre y diciembre

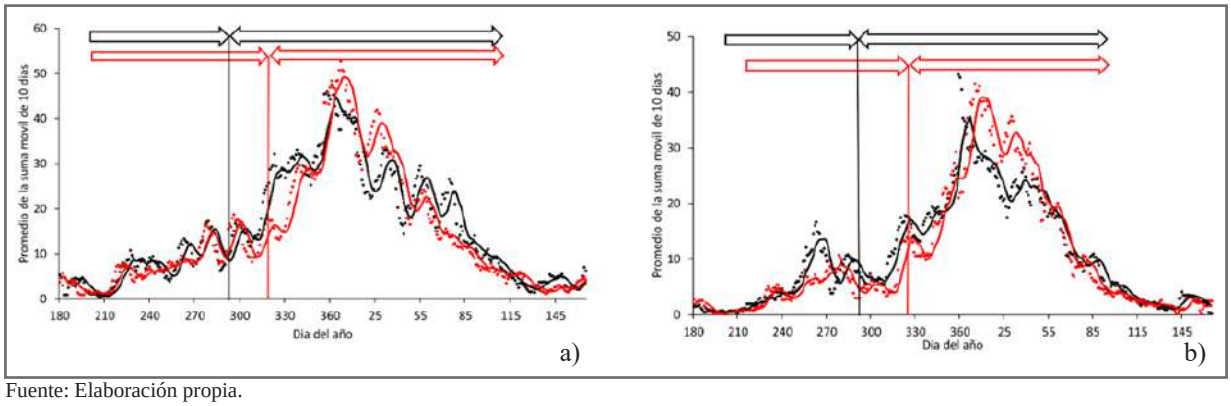
para luego concentrarse en enero y febrero (Figura 2 a), lo que reduce la posibilidad de éxito de los cultivos si serían sembrados en la época tradicional anterior (flecha negra), pues en los meses de germinación, estarían expuestos a igual o mayor probabilidad de heladas que antes (Tabla 6). A pesar del retraso en el inicio, la finalización de la época de lluvias no muestra diferencias entre los periodos analizados.

Tabla 7. Valor del estadístico Z de la prueba de Mann Kendall, mostrando la tendencia y significancia estadística en las variables de Precipitación y derivados. Valores positivos (negativos) denotan tendencias ascendentes (descendentes); ns denota valores no significativos.

	PP acumulada mensual				Días con precipitación				Índice de Aridez				Índice de estacionalidad de la PP			
	Ancoraimes		Umala		Ancoraimes		Umala		Ancoraimes		Umala		Ancoraimes		Umala	
Mes	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.	Test Z	Sig.
Ene	0,00	ns	-0,25	ns	-0,18	ns	-0,75						2,29	*	2.26	*
Feb	1,45	ns	1,01	ns	1,06	ns	2,14	*	1,45	ns	0,37	ns				
Mar	-0,56	ns	-2,06	*	-0,46	ns	-1,34	ns								
Abr	-0,88	ns	-0,91	ns	0,04	ns	-0,67	ns								
May	-1,12	ns	-0,56	ns	-0,96	ns	-0,57	ns	-1,01	ns	-3,00	**				
Jun	-1,07	ns	-0,81	ns	-1,04	ns	-0,33	ns								
Jul	1,65	+	-0,90	ns	1,24	ns	-0,10	ns								
Ago	-1,27	ns	-0,97	ns	-2,28	*	-1,18	ns	-1,82	+	-0,58	ns				
Sep	-1,41	ns	-2,12	*	-0,09	ns	-1,78	+								
Oct	0,24	ns	-0,96	ns	-1,61	ns	-1,29	ns								
Nov	-0,64	ns	-1,44	ns	-1,88	+	-0,68	ns	-1,29	ns	-2,06	*				
Dic	2,31	*	2,72	**	1,62	ns	1,30	ns								

Tendencia: + significativa al 90 %; *significativa al 95%; **significativa al 99%; ***significativa al 99.9%, ns denota valores no significativos.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Promedio de la suma móvil de la precipitación recibida en 10 días en las zonas estudiadas en los periodos 1980-1999 (línea negra) y 2000-2020 (línea roja), en Ancoraimes (a) y Umala (b). Las flechas exhiben el ciclo que podrían tener los cultivos a secano considerando el inicio y final de la época de lluvias para ambos periodos (en similares colores).



Fuente: Elaboración propia.

En el caso del Altiplano Central (Figura 2 b), el proceso de retraso de la lluvia es más claro pues el periodo de un pequeño pico de precipitación en septiembre (línea negra), que proveía de humedad al suelo hasta el anterior siglo, de tal manera de proceder a la siembra en octubre, prácticamente ha desaparecido (línea roja) y la siembra recién puede realizarse en la segunda mitad de noviembre.

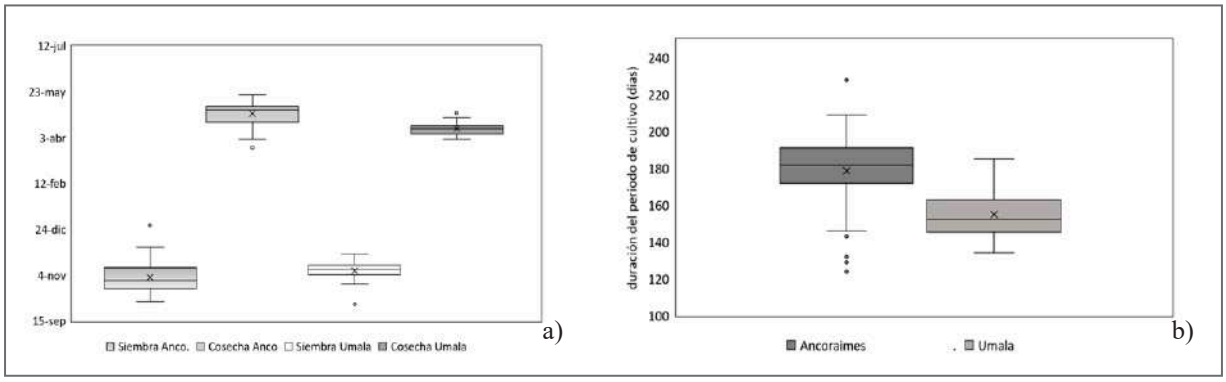
En Umala la probabilidad de días con heladas en octubre y noviembre no muestra cambios significativos. Al igual que en Ancoraimes, el desplazamiento del inicio de la época de lluvias no la prolonga, sino que concluye en el mismo periodo que antes, por lo que la ventana de ciclo de cultivo con elevada probabilidad de éxito, se ha reducido, e igualmente que en Ancoraimes, las temperaturas mínimas y máximas presentan tendencias ascendentes durante el ciclo de cultivo (Tablas 5 y 6). Por los procesos combinados descritos previamente, la flecha negra (antes de 2000) y la roja (luego de 2000) muestran una aproximación del periodo de cultivo a secano, que contaría con baja amenaza de falta de agua, baja probabilidad de heladas y elevada acumulación de calor, pues las temperaturas han ascendido

3.3 Análisis del ciclo productivo

La evaluación productiva y fenológica del cultivo de papa en 4 gestiones agrícolas en las zonas estudiadas se concentró a la variedad Waycha que es cultivada en todas las comunidades estudiadas, así como en el resto del Altiplano, tanto por la calidad del producto y su potencial de comercialización, como por su mayor rusticidad en comparación con las otras variedades comerciales del mercado. Estas propiedades tendrían relación con el origen de la variedad que conserva el potencial genético de las variedades nativas.

La Figura 3 a), muestra el rango de fechas de siembra y cosecha del cultivo de papa en ambas localidades durante los cuatro años de seguimiento en las parcelas de agricultores. En Ancoraimes tanto la siembra como la cosecha presentan mayor dispersión en la fecha de ocurrencia, lo que es consecuencia de las condiciones más benignas y de la estación lluviosa más extendida (Figura 1 a)).

Figura 3. a) Rango de fechas de siembra y de maduración/cosecha de cultivos de papa var. Waycha durante 4 gestiones agrícolas en las zonas estudiadas, evaluadas en parcelas de agricultores; b) duración en días del ciclo del cultivo en las 4 gestiones analizadas en parcelas de agricultores en las zonas estudiadas.

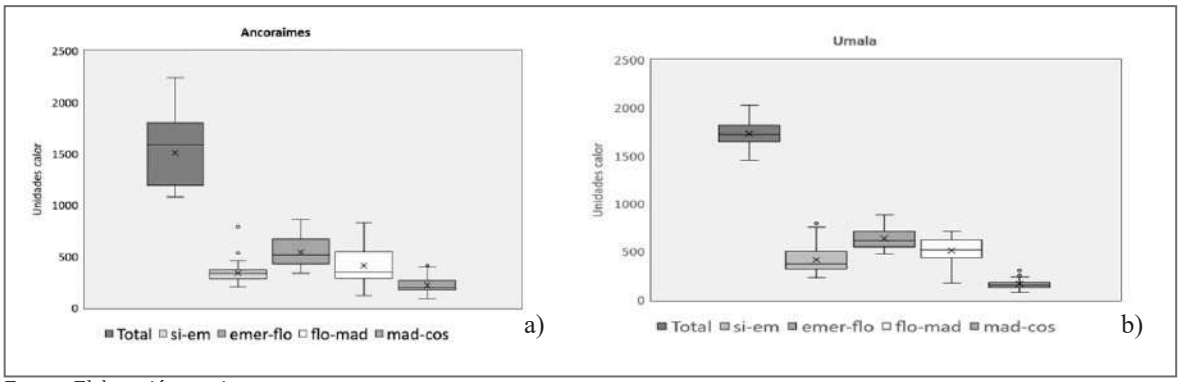


Fuente: Elaboración propia.

En el Altiplano Central, las condiciones limitantes de inicios tardíos de la época de lluvias, y persistencia de heladas al inicio y al final de la época de lluvias determina un menor potencial de ajuste y de decisión tanto para la siembra como para la cosecha, por tanto, menor variación en las actividades agrícolas dentro

del ciclo de cultivo. La Figura 3 (a) también muestra que los productores de ambas zonas prácticamente ya no toman la decisión de sembrar en épocas tempranas (previamente conocidas como primera siembra entre finales de septiembre y mediados de octubre) en ninguna de las zonas, habiéndose adaptado a las condiciones limitantes de retraso de lluvias y persistencia de heladas en los meses de siembra temprana. También se aprecia que, el ciclo de cultivo muestra mayor variabilidad y duración en Ancoraimes (Figura 3b) confirmando la influencia de temperaturas más benignas y la tipología de la época de lluvias a diferencia de Umala que muestra menor variabilidad en la duración del ciclo de cultivo, por las condiciones atmosféricas restrictivas que no permite siembras tempranas ni cosechas tardías. La Figura 4 muestra la cantidad y variabilidad de Grados-día (Unidades Calor) acumulados por el cultivo de papa en cuatro gestiones y por etapa fenológica. Ancoraimes presenta mayor variabilidad que Umala debido a diferencias en fechas de siembra, duración del ciclo y altitud.

Figura 4. Rango de variación de acumulación de Unidades-Calor o Grados-Día en las comunidades de Ancoraimes y de Umala en el ciclo vegetativo y en las fases fenológicas del cultivo..



Fuente: Elaboración propia.

Las Figuras 3 y 4 demuestran la plasticidad de la variedad cultivada que produce con éxito (definido por los agricultores) en rangos calóricos desde aportes bajos (Chojñapata) hasta valores relativamente elevados de necesidad térmica (Chinchaya y especialmente comunidades de Umala), las cuales son dadas por las características térmicas de la localidad e incluso por la tipología del año en que son cultivadas (Figura 5).

La Tabla 8, presenta la duración del ciclo de cultivo y la acumulación térmica promedio para cada gestión analizada mostrando que, la duración del periodo de cultivo responde a las temperaturas y a la duración de la época de lluvias, acortándose en Umala debido a la presencia de heladas en octubre y noviembre que definen siembras tardías y a las temperaturas más elevadas entre diciembre y marzo que aceleran el ciclo pues coinciden también con los meses de mayor precipitación, mientras que en Chojñapata la duración del ciclo de cultivo se adapta a la ocurrencia de una estación de lluvias más extensa con mayor flexibilidad en la siembra y cosecha.

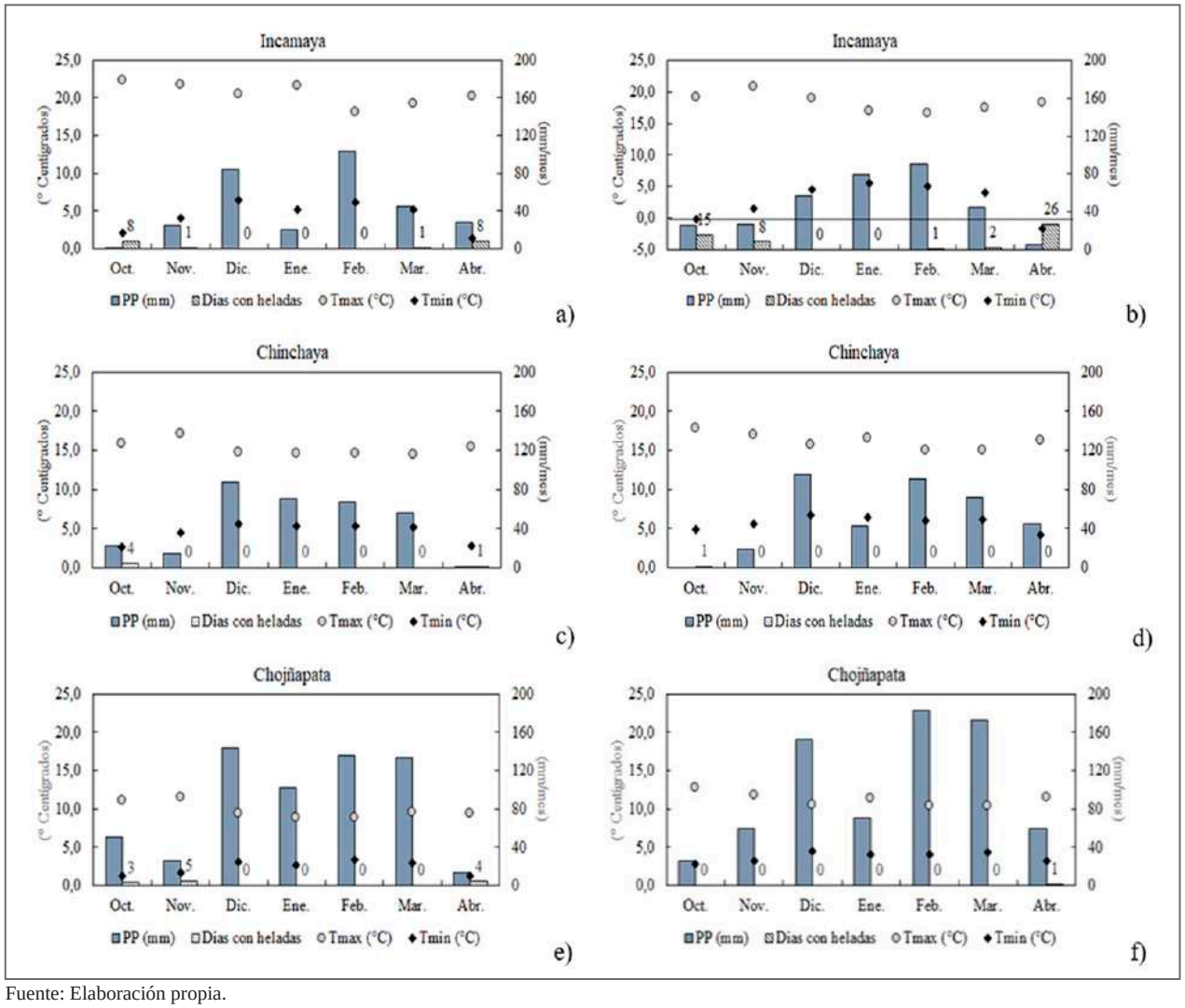
Gracias a la reducida ocurrencia de heladas tempranas y tardías, la siembra puede adelantarse levemente y la cosecha retrasarse, para acumular unidades calor y alcanzar la madurez, alargando el ciclo de cultivo. En Chinchaya, cuyas temperaturas son intermedias, el ciclo también tiene una duración intermedia, según la época de lluvias, que, en general, es más extendida que en Umala.

Tabla 8. Acumulación de calor como Grados-Día o Unidades Calor en tres comunidades del altiplano boliviano, en relación a la duración de los ciclos productivos desde siembra a cosecha, para las gestiones en que se realizó el monitoreo y seguimiento.

Gestión	**2017-2018**			**2020-2021**		
Comunidad	Incamaya	Chinchaya	Chojñapata	Incamaya	Chinchaya	Chojñapata
U.C. (Grados-día)	1656,6	1808,0	1187,5	1813,3	1773,8	1114,0
Ciclo productivo (días) promedio	150,4	181,6	191,0	161,7	180,0	184,5
Gestión	**2021-2022**			**2023-2024**		
Comunidad	Incamaya	Chinchaya	Chojñapata	Incamaya	Chinchaya	Chojñapata
U.C. (Grados-día)	1819,6	1598,4	1207,1	1781,4	1729,2	1307,3
Ciclo productivo (días) promedio	163,2	165,3	181,1	140,5	154,0	172,0

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Temperaturas mínimas (rombos), y máximas (óvalos) promedio mensual para las comunidades de Incamaya, Chinchaya y Chojñapata, precipitación acumulada promedio mensual y número de días con helada para cada mes del ciclo de cultivo de papa a secano para las gestiones 2017-2018 (a), c), e)) y 2023-2024 (b), d) f)). Las temperaturas siguen el eje vertical izquierdo, mientras que la precipitación sigue el eje vertical derecho. Los días con helada se mencionan con números. Las escalas son las mismas para todas las gráficas, excepto Incamaya que va de -5 a 25 °C.



Fuente: Elaboración propia.

En Chojñapata (mayor altitud y más bajas temperaturas que se observan en la Figura 5, inferior), la acumulación energética fue de 1000-1200 U.C., mientras que en Chinchaya (menor altitud y más elevadas temperaturas que se observan en la Figura 5, centro) fue de 1500-1800 U.C. En Umala (Figura 5, superior), la acumulación ronda las 1700 U.C. con poca variación y ciclos más cortos por siembras tardías causadas por mayores temperaturas. En Ancoraimes, la menor necesidad de calor está en la fase siembra-emergencia, mientras que en Umala esta fase requiere más calor debido a heladas iniciales que retrasan la germinación.

La presencia de días con heladas en la primera parte del cultivo en Umala frente a las comunidades de Ancoraimes (Figura 5), sería el factor determinante para este comportamiento, pues las bajas temperaturas ralentizan el proceso de germinación, o en caso de haberse producido ya la germinación, el daño a las plántulas jóvenes prolongaría la duración de esta fase, pues las plántulas deben recuperar vitalidad. El posterior aporte de calor, acelera el ciclo, llevando adelante las fases más rápidamente que en Ancoraimes.

El Altiplano altoandino, por su altitud, ha sido históricamente vulnerable a las heladas, especialmente en la época seca y de transición. Aunque se preveía que el calentamiento global reduciría su frecuencia, las heladas siguen preocupando a los agricultores, especialmente al inicio y final del ciclo agrícola (Tabla 3), sumándose las percepciones de mayor presencia de sequías en la zona (Figura 2). El análisis climático confirma estas percepciones: las heladas persisten entre abril y octubre, y la variabilidad en las lluvias, junto con el aumento de temperaturas, refuerza la presencia de sequías.

En cultivos de secano, la siembra depende de las lluvias, pero, aunque estas se retrasan, el aumento térmico acelera el ciclo de cultivo, forzando cosechas entre abril y mayo. Los agricultores que adelantan la siembra se arriesgan a heladas tardías, agravadas por la baja humedad. La percepción de pérdidas por eventos extremos ha crecido del 70 % en 2006 a casi el 100 % en 2023.

El cambio climático ha modificado también la toma de decisiones sobre la siembra de papa (Figura 3), eliminando la tradicional “primera siembra” que ocurría entre agosto y septiembre y concentrando la actividad entre octubre y noviembre, la “tercera siembra” (Araujo, 2008) . En Umala, las cosechas son más tardías que en Ancoraimes debido a heladas tempranas. Aunque Ancoraimes también sufre heladas, sus temperaturas mínimas más altas reducen el impacto en los cultivos. Además, las variedades andinas de papa muestran una notable plasticidad para enfrentar diversos rangos térmicos, permitiendo una producción exitosa en distintas condiciones ambientales, tal como fue mostrado por Condori et al., (2014) para diferentes variedades del cultivo en el altiplano.

4. CONCLUSIONES

Los sistemas productivos altoandinos tropicales están subrepresentados en los modelos climáticos actuales, los cuales no reflejan con precisión las tendencias de temperaturas ni la frecuencia de heladas. En especial, la temperatura mínima, influida por la transparencia atmosférica nocturna, no es adecuadamente compensada por el aumento de gases de efecto invernadero en épocas secas, aunque sí tiene efectos durante la temporada de lluvias, coincidente con el ciclo agrícola principal.

Las proyecciones climáticas evidencian desafíos productivos importantes, como el retraso en el inicio de las lluvias y una estación lluviosa más intensa pero breve, lo que aumenta el estrés hídrico inicial. No obstante, el aumento térmico permite pensar en la introducción de cultivos de ciclo corto que se adapten a la nueva ventana agrícola.

En cultivos como la papa, la siembra se ha desplazado hacia octubre o noviembre para evitar heladas, pero esto también ha permitido aprovechar mejor las lluvias y temperaturas más altas, logrando cosechas

relativamente exitosas. Estas condiciones podrían ser aprovechadas para introducir nuevos cultivos como hortalizas o implementar sistemas alternativos en ambientes atemperados, siempre que se maneje cuidadosamente el riego por la fragilidad de los suelos.

Frente al cambio climático, los sistemas agrícolas altoandinos necesitan enfoques de manejo innovadores que integren el conocimiento tradicional con el monitoreo climático local. La transformación térmica del periodo de lluvias abre oportunidades para diversificar cultivos con bajo impacto ambiental, apoyados por prácticas sostenibles de conservación de suelo como compostaje, biochar, riego deficitario y estrategias agroecológicas. Varias de estas alternativas ya están siendo exploradas por los agricultores, pero requieren mayor respaldo institucional, técnico y científico para consolidarse.

5. REFERENCIAS

Andersen, L., & Mamani, R. (2009). Cambio Climático en Bolivia hasta 2100: Síntesis de Costos y Oportunidades. "Estudio Regional de Economía del Cambio Climático en Sudamérica, 1-41.

Araujo, H. (2008). Estrategias de adaptación ante el cambio climático en las comunidades campesinas de la parte alta de la cuenca del rio Suches. Perspectivas sobre el cambio climático, 65-81.

Canedo-Rosso, C., Uvo, C. B., & Berndtsson, R. (2019). Precipitation variability and its relation to climate anomalies in the Bolivian Altiplano. International Journal of Climatology, 39(4), 2096-2107. https://doi.org/10.1002/joc.5937

Condori, B., Hijmans, R. J., Ledent, J. F., & Quiroz, R. (2014). Managing Potato Biodiversity to Cope with Frost Risk in the High Andes: A Modeling Perspective. PLOS ONE, 9(1), e81510. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081510

Garreaud, R. (2009). The Andes climate and weather. Advances in Geosciences, 7(7), 1-9.

Garreaud, R. D., Garreaud, R. ¤, Vuille, M., Clement, A. C., & Clement, A. C. (2003). The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 194, 5-22. https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)0026-4

Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D., Thomson, A. M., & Wolfe, D. (2011). Climate impacts on agriculture: Implications for crop production. Agronomy Journal, 103(2), 351-370. https://doi.org/10.2134/agronj2010.0303

Hijmans, R. J., Condori, B., Carrillo, R., & Kropff, M. J. (2003). A quantitative and constraint-specific method to assess the potential impact of new agricultural technology: the case of frost resistant potato for the Altiplano (Peru and Bolivia). Agricultural Systems, 76(3), 895-911. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00081-1

Peterson, T. c., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., & Plummer, N. (2001). Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001. WMO.

Posse, R., Valani, F., Souza, C., Posse, S., Sales, R., Oliveira, E., Quartezani, W., & Leite, M. (2018). Basal Temperature and Thermal Constant for the Production of Cacao Tree Seedlings. Journal of Experimental Agriculture International, 25(3), 1-16. https://doi.org/10.9734/jeai/2018/43321

Salmi, T., Maatta, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., & Amnell, T. (2002). Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Solpe Estimates the Excel Template Application MAKESENS. Finnish Meteorological Institute. https://www.researchgate.net/publication/259356944

Sanabria, J., Calanca, P., Alarcón, C., & Canchari, G. (2014). Potential impacts of early twenty-first century changes in temperature and precipitation on rainfed annual crops in the Central Andes of Peru. Regional Environmental Change, 14(4), 1533-1548. https://doi.org/10.1007/s10113-014-0595-y

Segura, H., Junquas, C., Espinoza, J. C., Vuille, M., Jauregui, Y. R., Rabatel, A., Condom, T., & Lebel, T. (2019). New insights into the rainfall variability in the tropical Andes on seasonal and interannual time scales. Climate Dynamics, 53(1-2), 405-426. https://doi.org/10.1007/s00382-018-4590-8

Seth, A., Thibeault, J., Garcia, M., & Valdivia, C. (2010). Making Sense of Twenty-First-Century Climate Change in the Altiplano: Observed Trends and CMIP3 Projections. Annals of the Association of American Geographers, 100(4), 835-847. https://doi.org/10.1080/00045608.2010.500193

Taboada, C., Garcia, M., Gilles, J., Pozo, O., Yucra, E., & Rojas, K. (2017). Can warmer be better? Changing production systems in three Andean ecosystems in the face of environmental change. Journal of Arid Environments, 147, 144-154. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.08.005

Valdivia, C., Seth, A., Gilles, J. L., García, M., Jiménez, E., Cusicanqui, J., Navia, F., & Yucra, E. (2010). Adapting to climate change in Andean ecosystems: Landscapes, capitals, and perceptions shaping rural livelihood strategies and linking knowledge systems. Annals of the Association of American Geographers, 100(4), 818-834. https://doi.org/10.1080/00045608.2010.500198

Zhu, T., Fonseca De Lima, C. F., & De Smet, I. (2021). The heat is on: How crop growth, development, and yield respond to high temperature. En Journal of Experimental Botany (Vol. 72, Número 21, pp. 7359-7373). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/jxb/erab308

CAMBIOS EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DEL ALTIPLANO BOLIVIANO: TRANSFORMACIÓN Y VULNERABILIDAD

Changes in Productive Systems in the Bolivian Altiplano: Transformation and Vulnerability

Edwin Yucra[1], Magali Garcia[2], Jere Gilles[3]

RESUMEN

El relativo éxito de los sistemas agrícolas altoandinos se da en un contexto influido por factores institucionales, sociales y tecnológicos. Este estudio realizó evaluaciones participativas en comunidades del Altiplano Central y Norte para describir sus sistemas productivos. Aunque geográficamente cercanas, cada zona presentó sistemas agrícolas distintos, definidos por sus capitales (financiero, humano y social), por su ecosistema físico y por la influencia diferenciada de factores como el clima, el mercado, la intervención institucional, los arreglos sociales y la tecnología, que han modificado estos sistemas en las últimas cuatro décadas. Las decisiones de los agricultores han transformado modelos orientados a la seguridad alimentaria en los años 80 hacia sistemas más conectados al mercado, como la producción intensiva de cebolla (Chinchaya), papa comercial (Chojñapata) o la ganadería lechera (Altiplano Central). Además, los procesos migratorios han alterado el tejido social, afectando la estabilidad de estos sistemas. Aunque algunas decisiones productivas han sido exitosas a corto plazo, podrían generar presiones sobre el ecosistema, por lo que su sostenibilidad debe ser cuidadosamente evaluada.

Palabras clave: Sistemas de producción, Factores de cambio, mercado.

ABSTRACT

The relative success of high Andean agricultural systems occurs within a context shaped by institutional, social, and technological factors. This study conducted participatory assessments in communities of the Central and Northern Altiplano to describe their productive systems. Although geographically close, each area presented distinct agricultural systems, defined by their types of capital (financial, human, and social), its ecosystemic characteristics, and by the varying influence of factors such as climate, market dynamics, institutional involvement, social arrangements, and technology, all of which have transformed these systems over the past four decades. Farmers' decisions have shifted models once oriented toward food security in the 1980s toward systems more connected to the market, such as intensive onion production (Chinchaya), commercial potato farming (Chojñapata), or dairy cattle ranching (Central Altiplano). Additionally, migratory processes have altered the social fabric, affecting the stability of these systems. While some productive decisions have been successful in the short term, they may create pressure on the ecosystem, and thus their sustainability must be carefully evaluated.

Keywords: Production systems, Factors of change, market.
https://doi.org/10.53287/auef2520rg77p

[1] Investigador CIPYCA UMSA
[2] Investigadora IIDEPROQ, Facultad de Ingenieria UMSA
[3] Prof. Emérito UMissouri USA

1. INTRODUCCIÓN

La actividad agropecuaria en el Altiplano boliviano se ha desarrollado históricamente en un entorno de condiciones adversas. Esta problemática es multifacética, influenciada por una compleja interacción de factores socioeconómicos y ambientales, que han forzado a los agricultores a modificar sus sistemas productivos, a menudo con consecuencias mixtas para su sostenibilidad y vulnerabilidad.

Los cambios en los sistemas productivos agrícolas del Altiplano a partir de 1980 son el resultado de la convergencia casi simultánea de (entre otros) dos procesos de influencia extrema: el cambio climático expresado en incremento en algunas variables térmicas y la mejora de la conexión con los mercados urbanos. Estos factores catalizaron un nuevo esquema de toma de decisiones productivas, llevando en muchos casos a un cambio completo y a transformaciones significativas en los sistemas agrícolas, redefiniendo las prácticas tradicionales y orientando la producción hacia un modelo más comercial e intensivo.

La transformación de los sistemas agrícolas del Altiplano es una respuesta dinámica y compleja a la interacción de factores climáticos y socioeconómicos. Si bien las adaptaciones locales han brindado beneficios a corto plazo, como la mejora de los medios de vida, también han introducido nuevas dependencias y presiones sobre los recursos naturales y la estructura social, lo que podría aumentar la vulnerabilidad a largo plazo.

Luego de varios años de investigación participativa y observacional, en el presente artículo se evalúa la estructura y cambios del sistema de producción agropecuaria de las comunidades estudiadas desde 1980 al presente, llevadas en parte por el cambio climático, pero también identifica un contexto y de las razones que llevaron a dichos cambios, evaluadas por los propios agricultores y agricultoras.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Áreas de Trabajo

El análisis realizado en el presente trabajo de investigación se desarrolló en comunidades del Altiplano Boliviano, ubicadas en el Altiplano Norte y Central presentados en el mapa 1, capítulo 1 de la presente edición especial de la revista.

Levantamiento de información productiva

Para identificar y describir los cambios en los sistemas de producción de cada comunidad a lo largo de las cuatro décadas anteriores, se utilizaron métodos de investigación participativa con manejo de hitos históricos. A través de talleres y entrevistas realizadas en 2009 con el equipo de Valdivia et al. (2010) y posteriormente en 2022 y 2023 con el equipo de profesionales del proyecto UMSA McKnight, se pidió a los entrevistados que recordaran cómo era el sistema de producción desde 1980, así como la descripción de los cambios en el uso de la tierra y el sistema agrícola desde entonces. Adicionalmente, en 2023, se aplicaron 80 entrevistas a hogares para evaluar, entre otros, las percepciones del riesgo. Los resultados fueron comparados para observar el cambio en percepciones. La investigación se enmarcó bajo el tipo de investigación descriptiva temporal (Yapu et al., 2015) y se emplearon métodos tanto cualitativos como cuantitativos para la recolección de datos empíricos.

También se aplicaron técnicas de observación sistemática y estructurada (Barragán et al., 2008). Esta herramienta se aplicó con todas las personas asistentes a los encuentros y con primordial énfasis con los productores. Finalmente se organizaron grupos focales con productores que hayan permanecido en su localidad desde los años ochenta con el objeto de recabar la información en los siguientes aspectos:

- Influencia del sistema climático sobre la toma de decisiones.

- Base del capital físico-construido: mercados, caminos, infraestructura y tecnología.
- Hitos climáticos y productivos cruciales en cada localidad.
- Esquematización gráfica de los sistemas productivos por cada generación desde los años ochenta.

En cada grupo focal se emplearon herramientas pertinentes para la obtención de datos como diagramas, maquetas, línea de tiempo y trabajos de grupo. Con el empleo de los hitos históricos definidos en grupos focales se identificaron las gestiones con hechos trascendentales a nivel local. Por último, se emplearon historias de caso, lo cual consiste en que el informante pueda proporcionar datos sobre su experiencia particular con la actividad productiva y con este objeto se emplearon entrevistas a profundidad (Barragán et al., 2008) con el apoyo de un esquema de preguntas de carácter flexible para que el participante tenga la libertad de expresar sus experiencias, para así poder recolectar diferentes testimonios que nutran la investigación. En consenso y consentimiento de los productores se grabaron las entrevistas, dejando claro que estas serían utilizadas solo para la investigación para luego ser archivadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hasta la década de 1980, los sistemas productivos tanto de las comunidades del Altiplano norte como del central, estaban fuertemente marcadas por el riesgo climático y una orientación muy importante hacia la seguridad alimentaria. Estos sistemas productivos se llevaban con poca adición de insumos externos y con poca diversidad de cultivos, debido a las bajas temperaturas que no permitían el desarrollo de la mayor parte de los cultivos comerciales. En las siguientes décadas, diferentes factores cambiaron las estructuras de los sistemas productivos de las comunidades, mismos que serán descritos a continuación.

3.1. Características de la línea base del sistema productivo antes y a inicio de la década de 1980

3.1.1. Altiplano Norte

En la década de 1980, en el Municipio de Ancoraimes, las comunidades de Chojñapata, Calahuancane y Chinchaya, ilustran una subsistencia más precaria, donde las condiciones climáticas adversas y el minifundio, reducían las acciones productivas impulsando a la dependencia de la ganadería camélida y el cultivo de variedades nativas y criollas de papa (lucki, sani imilla, etc), oca, avena, cebada, cañahua y quinua. De esta manera la agricultura se mantuvo orientada al autoconsumo y trueque, como también menciona Jimenéz (2013). En las comunidades se contaba con parcelas comunales o Aynocas con un ciclo de rotación de cultivos de 7 a 10 años con el ciclo papa-oca-cebada o avena y descanso. Por la distancia, el acceso a los mercados era limitado (Feria de Achacachi, Morocollo, Chejepampa, Ancoraimes y Valles de Chuma, Ayata). La tecnología se limitaba a herramientas manuales (Chaquitajlla, Pico, Lijhuana, etc.), en algunos casos se utilizaba la yunta para la preparación de suelo. Por los costos y la topografía del área de producción, la presencia de tractor era nula, así como el riego.

3.1.2. Altiplano Central

Durante la década de los 80, en el altiplano central, específicamente en el municipio de Umala, las comunidades de Iñacamaya, Sabilani e Incamaya desarrollaban una agricultura de subsistencia basada en la producción de papa y ganado ovino para la producción de carne, destinada al mercado de Cochabamba, y quinua, cañahua y cebada principalmente para el autoconsumo. Las parcelas cercanas al centro poblado y la carretera se distribuían por familias, mientras que el terreno hacia el sur en planicies de inundación, se dedicaba a la poca ganadería menor que predominaba. La producción principalmente era realizada con yunta y herramientas menores, dada la distancia hacia el centro más poblado y la inaccesibilidad de las vías para la maquinaria agrícola.

3.2. Cambios en el sistema productico a partir de la década de los 90s identificados por los productores y por las herramientas aplicadas

Los resultados de los trabajos de levantamiento participativo en varios puntos del Altiplano revelaron que los agricultores de las comunidades tuvieron y tienen una idea clara del cambio en los parámetros climáticos y que también han sido afectados por factores globalizadores. De acuerdo a conversaciones llevadas con los productores, los agricultores percibieron claramente el aumento de las temperaturas tras el intenso evento de El Niño de 1983 y comenzaron a adaptar sus sistemas de cultivo en consecuencia, en función de los recursos disponibles. Al presente, la percepción de los agricultores, en general, es que el clima sigue cambiando, lo cual, fundamentalmente se expresa por una sentida elevación de la temperatura máxima, afectando incluso sus costumbres en las labores agrícolas:

> *"De acuerdo a lo vivido en los últimos años se siente más calor en el día, así que es mejor trabajar en las mañanas, porque en las tardes nos da flojera por lo fuerte del calor y es más en los meses secos porque las noches son más frías y en los meses húmedos en la comunidad las tardes tienen más vientos fríos y fuertes"*

Por otra parte, el incremento de las temperaturas provoca que las comunidades ubicadas en las zonas más altas del altiplano (altitud > 3.800 m), antes afectadas fuertemente por las heladas, hayan cambiado de vocación productiva, como lo demuestra la siguiente afirmación:

> *"Antes, hace 20 años, las heladas eran muy fuertes. Solo podíamos sembrar papa amarga (resistente a heladas) quinua y cañahua, por eso los de la comunidad teníamos que irnos hasta los valles para cambiar productos. Salíamos a las cuatro de la mañana para llegar a las nueve. Después nos hemos dado cuenta que el clima había cambiado y era posible la siembra de papa dulce (*blanca comercial*), nabo, cebada y otros, porque ya no hacía tanto frío y la papa crece bien por que llueve bien en este sector"*

Los cambios de sistemas productivos, no se restringen a las comunidades altas del altiplano. También se dan en comunidades de menor altitud, con cambios orientados hacia cultivos comerciales. Por ejemplo, en la comunidad de Chinchaya del Altiplano Norte, desde inicios de siglo, se comenzó con la producción de cebolla y arveja a nivel comercial, respondiendo a las temperaturas más benignas y a la implementación de riego. De esta manera, el cultivo de cebolla actualmente permite generar recursos económicos, sin dejar de lado la producción de papa comercial e incluso ha llevado a la asociatividad. Sin embargo, este sistema ya no tiene lugar para cultivos rústicos pero resistentes como oca, quinua, cañahua y papa amarga, los cuales están desapareciendo.

> *"La comunidad vio por conveniente producir cebolla porque estábamos cerca de la carretera y porque nuestros suelos eran negros, también porque perforando pozos podíamos llegar fácilmente al agua que está entre 3 a 6 metros, para eso también nos compramos bombas de riego y regamos por aspersión. A pesar de que después se endurece el suelo, nos da buena producción por lo que nos es difícil pensar en cambiar de cultivo. Más que todo ahora estamos organizados en una asociación, con la que podemos asegurar nuestros puestos de venta y surtirnos de insumos para la producción."*

Los trabajos de evaluación demuestran claramente el cambio de la vocación productiva de las comunidades. Las Figuras 1 y 2, como ejemplo ilustrativo, muestran que los agricultores de Chinchaya han cambiado de sistemas productivos rústicos y muy diversificados hacia sistemas con menor agrobiodiversidad, pero con productos mejorados y más comerciales. Más aún, en la Figura 1 c) se aprecia que el cambio gradual, tiene una

fuerte tendencia a la especialización hacia el cultivo de cebolla. Las maquetas de la Figura 1 a) y b) fueron construidas durante la evaluación de 2009, mientras que la Figura 1 c) lo fue durante la evaluación de 2023. La línea de tiempo presentada en la Figura 2, demuestra la utilidad del uso de la metodología de los hitos, para describir los sustanciales cambios que se han producido en el altiplano boliviano.

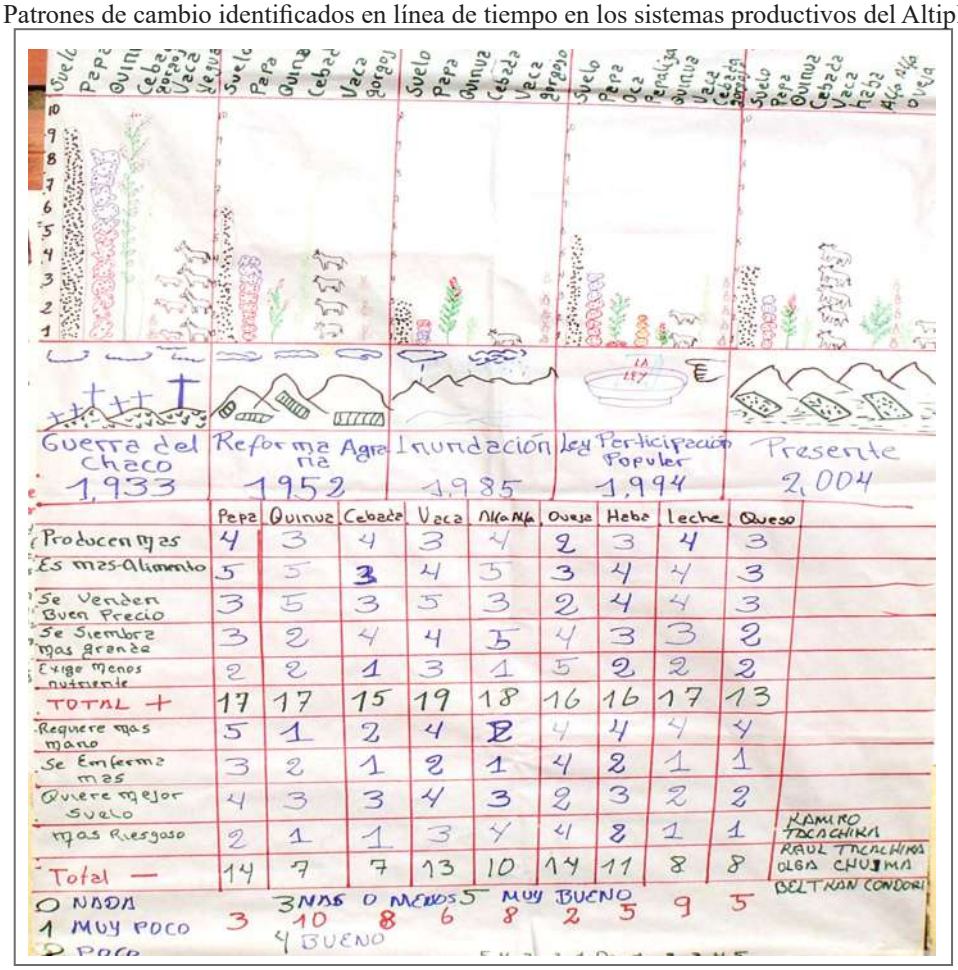
Figura 1. Sistemas productivos de la comunidad de Chinchaya en: a) 1986; b) 2006; c) 2023.



a) b) c)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Patrones de cambio identificados en línea de tiempo en los sistemas productivos del Altiplano Norte.



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la lluvia, los agricultores perciben que esta se produce en menor cantidad o con retraso en su época de ocurrencia tendiendo a la concentración de ellas.

> *"Nosotros sentimos que las lluvias no llegan a su tiempo y que los días de lluvia son menores, porque nuestros cultivos se retrasan en la siembra, en ocasiones esta diferencia llega hasta dos meses a lo acostumbrado, y después llueve fuerte y tenemos que sacar canales profundos en los surcos para que salga el agua. En el día hace mucho calor y en las tardes un fuerte viento, en una ocasión, en el mes de julio, ha destechado las casas de algunas familias."*

La percepción de los agricultores sobre la influencia de los eventos climáticos extremos en sus decisiones productivas también ha cambiado gradualmente pues en 2006 no consideraban que éste sea el mayor problema productivo, sino que más bien identificaban a las plagas y enfermedades que surgieron por efecto de la elevación térmica como el problema principal para su sistema productivo (Valdivia et al., 2010). Sin embargo, en la nueva encuesta realizada en 2023 las pérdidas reportadas por plagas y enfermedades son menores en comparación a aquellas por heladas, sequías y granizadas, siendo el tema atmosférico, la mayor preocupación para los productores, sin descuidar el tema fitosanitario.

Los resultados encontrados muestran que la percepción de los agricultores sobre el patrón climático ha influenciado directamente a la estructura de su sistema productivo cuya ocurrencia coincidió con la mejora de las vías camineras y con ello el acceso a mercados tanto para la venta como para el acceso a material de producción.

La Tabla 1 resume los cambios descritos por los agricultores en los sistemas agrícolas entre la producción antes de 1983 y la actualidad, así como las principales causas de este cambio. A partir de las encuestas, también se determinó el calendario agrícola y la composición de los cultivos. La Figura 3 facilita un análisis comparativo del sistema agrícola típico hasta alrededor de 1983 en las comunidades encuestadas, en relación con el sistema que se desarrolla en la actualidad.

Tabla 1. Cambio y razones para el cambio de los sistemas productivos en las comunidades estudiados.

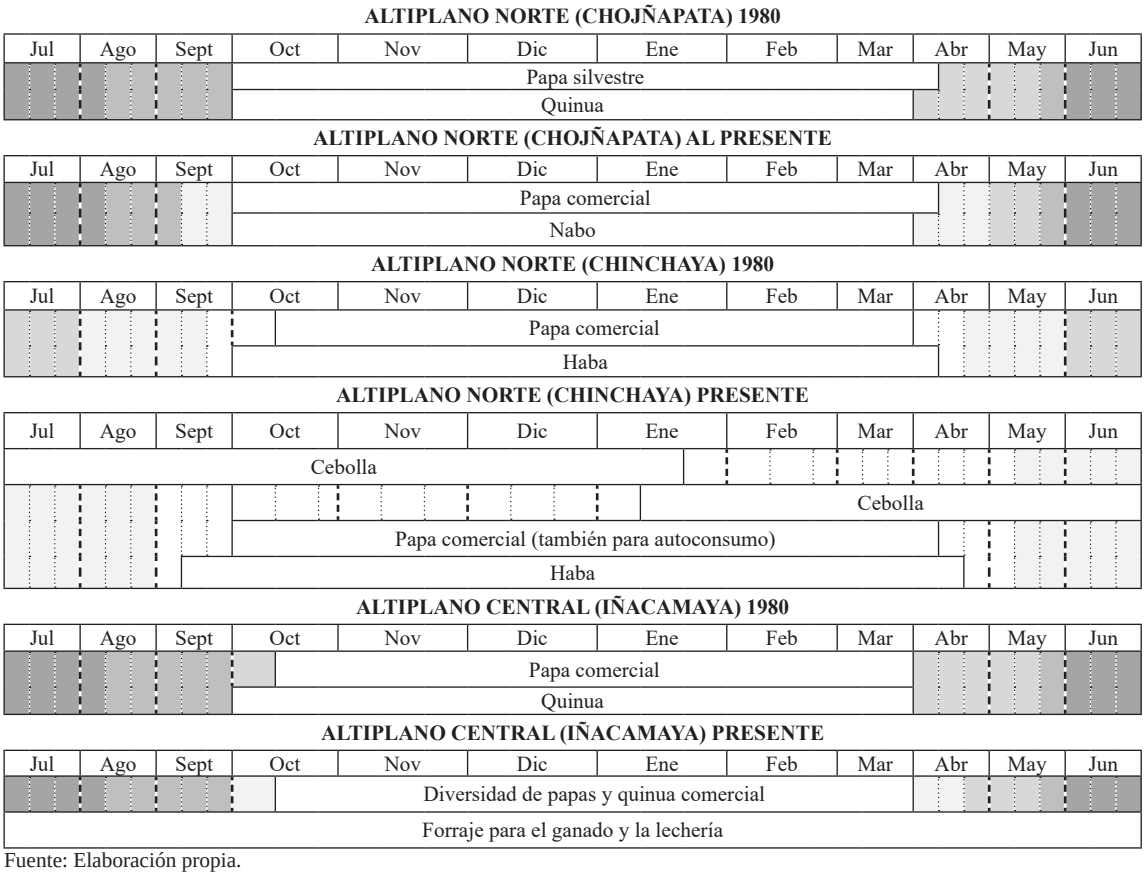
Comunidad	Actividad productiva en los 80s	Actividad productiva al presente	Razón para el cambio	Factor determinante para el cambio
Chojñapata	Papa amarga silvestre (*Solanum jucepzukii*)	Nabo y papa blanca comercial	Mejores precios, menor riesgo de heladas.	Temperaturas más benignas, carreteras y caminos disponibles.
Chinchaya	Papa comercial a secano (*Solanum tuberosum*)	Cebolla, diversidad de variedades de papa blanca comercial, y haba	Mejores precios, menor riesgo de heladas, parcelas pequeñas no aptas para cultivos extensivos, agua disponible para riego.	Temperaturas más benignas, apertura de mercado demandante en forma garantizada y permanente.
Iñacamaya	Papa comercial a secano	Lechería y forrajes, quinua comercial y papa comercial	Precios mejores y más estables, parcelas extensas, servicio de apoyo a la producción de lácteos y a la producción de quinua comercial.	Mercado todo el año, precios estables, forraje más resistente a las heladas. Buen mercado para la quinua.

Fuente: Elaboración propia.

Al percibir que las condiciones térmicas son más benignas, los agricultores han iniciado hace más de tres décadas, un proceso de adaptación y de aprovechamiento de las oportunidades que estas nuevas condiciones traen consigo. Al mismo tiempo, estas decisiones no han sido limitadas por la percepción de una menor cantidad de precipitación, pues los agricultores reconocen que estas nuevas condiciones también requieren de medidas adicionales de respuesta como el riego que, bajo la nueva estructura, se convierte en un factor crítico de producción, lo cual podría provocar conflictos antes inexistentes cuando los sistemas productivos eran totalmente a secano.

En Chojñapata (la comunidad más alta), los agricultores relatan que, si bien las heladas persisten en invierno, durante el verano, su probabilidad ha reducido considerablemente y es posible cultivar papas blancas comerciales. En Chinchaya, siendo una comunidad de menor altitud, las decisiones tomadas por los agricultores en respuesta a las temperaturas benignas incluyeron tanto el cambio del calendario agrícola como del cultivo principal (Figura 3). El aumento de las temperaturas redujo el riesgo de heladas incluso en invierno, y la disponibilidad de riego motivó el cultivo invernal de cultivos de alto valor (especialmente cebolla). Las familias adaptaron los recursos disponibles a las nuevas condiciones climáticas y de mercado, pues no cuentan con parcelas extensas para la producción extensiva de papa blanca, por lo que los agricultores decidieron cultivar hortalizas intensivas de mayor valor para comercializar en ciudades cercanas, con una mejor relación costo-beneficio (3,0 en comparación con 1,3 para la papa blanca de secano). Finalmente, en Iñacamaya, el riesgo de heladas no ha disminuido significativamente en invierno y podría no hacerlo en el futuro. Allí, el riego es una opción difícil y costosa. En consecuencia, los agricultores también migraron a otros cultivos, pero optaron por la integración de diversas variedades de papa blanca de secano, y el cultivo de forrajes durante todo el año para la producción lechera gracias a la mayor extensión de tierra disponible (Figura 3) y a la existencia de un mercado seguro y regular (cada dos semanas) para los productos lácteos.

Figura. 3. Sistema de estructura agrícola anual representativo en las comunidades encuestadas de los primeros años de la década del 80 y en la actualidad. Las áreas grises sombreadas representan la intensidad de las heladas, donde una sombra más oscura significa mayores riesgos de heladas (en base a Taboada et al., 2017)



Fuente: Elaboración propia.

3.3. Factores que ocasionaron los cambios de los sistemas productivos

Los varios factores que los productores mencionaron durante los trabajos participativos, se agruparon en factores socioeconómicos y eco-sistémicos, los cuales se describieron como importantes en el desarrollo de las comunidades.

3.3.1. Factores institucionales

En ambas zonas la intervención institucional de programas, proyectos, sean estatales o externos, ha sido diferente, pero su presencia o ausencia también ha influido en la dirección de los cambios, impulsando las actividades a las que orientaron a través de la capacitación y la introducción de tecnologías.

En el Altiplano Central, se construyó el camino desde Patacamaya a las comunidades de Umala, hecho que también estimuló la llegada de compradores para productos agrícolas, especialmente papa y quinua y de ganado bovino desde La Paz y el Perú, y el acceso de los pobladores a la ciudad, creando un intercambio de conocimientos y experiencia. También en las décadas 80 y 90 se registró un elevado apoyo financiero y técnico del Programa Mundial de Alimentos, de DANIDA-DANCHURCHAID y diversas ONGs que encontraron oportunidades de trabajo en la zona. En la década de los 90 gracias a la PIL-La Paz se implementaron los primeros módulos lecheros comunales, junto a maquinarias agrícolas para la producción de forraje. Más tarde en 2010, las comunidades reciben apoyo de PICAR y proyecto ACCESO para perforaciones de pozos para riego.

En el municipio de Ancoraimes, el factor institucional decisivo para el cambio fue la construcción de caminos entre las décadas 80 a 90 y la conclusión del camino asfaltado hasta la ciudad de La Paz y hasta las comunidades de mayor altitud (Chojñapata en este estudio), integrando y vinculando a las comunidades entre ellas y con los mercados urbanos. Los productores también reportaron la presencia de diversas ONGs e instituciones estatales que fortalecieron las capacidades a través de respaldo técnico (introducción de sementales, inseminación artificial, semillas de pastos mejorados) y entrenamiento en agricultura y ganadería, aunque su presencia tuvo menor impacto que en el caso del Altiplano Central.

Los primeros indicios que reportaron los agricultores que afectaban sus sistemas productivos, fueron las sequias de la campaña 1982/1983 (Gilles et al., 2022) y las inundaciones del 1985/1986, afectando a las producciones y la seguridad alimentaria (Yucra et al., 2023).

Estos eventos producidos por las fases positiva y negativa del proceso ENSO provocaron migración especialmente masculina, en el altiplano central, hacia centros poblados para trabajar en otros oficios. Posteriormente, los entrevistados reportaron que, a partir del inicio de siglo, la migración fue motivada por razones educativas, dada la falta de colegios de nivel secundario en esas comunidades. Madres con hijos adolescentes migraron a las ciudades grandes e intermedias, mientras que los varones se quedaron en el campo, cuidando los animales y cultivos. El establecimiento de educación secundaria y la apertura de mercados, redujo este proceso, aunque otros factores globalizadores también promueven la migración (no analizados en este estudio).

Similarmente en el municipio de Ancoraimes, los pobladores de Chojñapata, afectados por las sequías provocadas por los eventos ENSO (1982 y 1997) migraron a centros urbanos y ciudades intermedias en busca de empleos alternativos, aunque la migración no involucró el desligarse de sus responsabilidades comunales y muchos adultos vuelven a su comunidad por responsabilidades orgánicas en asumir cargos en las organizaciones comunales. Los productores de Chinchaya, al contrario, debido a la disponibilidad de mano de obra calificada, invierten en tecnología para la producción de cebolla, accediendo a mejores ingresos por este rubro y respondiendo en forma relativamente eficiente al impacto del cambio climático.

Debido a la migración temporal o permanente de la población joven al presente, la disponibilidad de mano de obra es reducida durante los momentos claves del ciclo productivo. También el crecimiento familiar marca más el minifundio por temas hereditarios, reduciendo la inversión y acceso a créditos, impulsando a algunos agricultores jóvenes a alquilar sus tierras para luego migrar.

3.3.3. Factores tecnológicos

Según lo reportado por los productores, en el Altiplano central, la comunidad de Incamaya (más alejada del cantón), no logró la introducción de tecnología, como fue el caso de Sabilani (comunidad vecina a Iñacamaya) e Iñacamaya, a pesar de estar apoyados por las mismas instituciones y compartir ecosistema. Se identificó que en Incamaya las personas más jóvenes migraron quedando las personas mayores quienes por falta de recursos o por pensamiento conservador, impidieron el avance tecnológico. Otro factor a favor para la introducción de tecnología en Sabilani e Iñacamaya fue la disponibilidad de terrenos extensos y suelos fértiles para forrajes y cultivos comerciales en los que la presencia de maquinaria era necesaria, mientras que Incamaya se caracteriza por extensiones más pequeñas de parcelas.

En la comunidad de mayor altitud del altiplano norte, la maquinaria no era ni es una alternativa, debido a la fisiografía reinante y a la reducida superficie de los terrenos. Esto determina el manejo productivo, con implementos tradicionales como la chaquitajlla y la yunta, trabajo comunal y algún tipo de tecnología de bajo impacto. En cambio, en Chinchaya (menor altitud) se introduce tecnología para el roturado, siembra y cosecha de la producción especialmente para las labores agrícolas de papa y cebolla que están más cerca a los predios de vivienda. Por otra parte, logran el acceso a bombas de agua para el riego para no depender de las lluvias y reducir el impacto negativo de las heladas.

3.3.4. Factores relacionados con el mercadeo de su producción

En el Altiplano central, a inicios de la década de los 80, los productores reportaron que, debido a la poca accesibilidad caminera, la comercialización de papa se realizaba los domingos en Patacamaya, gracias a un camión contratado por la Cooperativa San José, en un viaje que duraba 4 horas. A partir de la habilitación de un camino en buen estado, disminuyó el tiempo de transporte a 1 hora y por tanto la comercialización de productos agrícolas y leche recolectada por la empresa PIL se incrementó. Más aún, con la construcción de la doble vía La Paz – Oruro, el mercado en Patacamaya y hacia La Paz se dinamiza con procesos de comercialización diarios, o incluso la presencia de compradores en la misma parcela de producción. Esto facilita la comercialización por no depender del transporte, pero disminuye el margen de ganancia, pues no cuentan con un observatorio que dé referencias de precios de los productos y dependen de la oferta de los compradores.

En el Altiplano Norte, la comunidad de mayor altitud (Chojñapata), hasta la década de los 80, era parte de ferias de intercambio entre productores del Valle y del Altiplano pues ecosistémicamente colinda al noreste con zonas de valle al atravesar la cordillera.

La construcción del camino de acceso a la carretera principal hacia el sureste y hacia el lago en inicios de siglo anula la feria de trueque, pues se cuenta con transporte para trasladar los productos hacia centros de comercialización llegando hasta la Ciudad de El Alto, donde se ofertan mejores precios. Aunque previamente la comunidad de menor altitud (Chinchaya) tenía participación en algunas ferias cercanas, después del 2000, con la carretera disponible, este intercambio se potencia y los productores se organizan en una asociación, logrando alquilar un puesto por 10 años en un mercado de la ciudad de El Alto, comercializando dos veces por semana como productores cebolleros de Chinchaya. La demanda permite que la producción se incremente con periodos escalonados para cubrir mayor tiempo la demanda del producto.

3.3.5. Factor climático

Las percepciones expresadas por los agricultores coinciden claramente con las tendencias exhibidas por el clima de la zona en varios de los parámetros de importancia, especialmente la Temperatura y el Déficit de Evapotranspiración expresados en los registros meteorológicos. Sin embargo, en el caso de la percepción de reducción de la precipitación, ésta no se expresa en forma estadística en los registros analizados (Garcia, 2025). Un análisis más detallado muestra que esta sensación, podría estar expresando la mayor sequedad de la zona (crecientes temperaturas máximas), la concentración de la lluvia en menor cantidad de días con lluvia, periodos secos más largos, e intensificación del Déficit de Evapotranspiración. La percepción de los agricultores de la reducción de la cantidad de lluvia recibida, también podría explicarse por la tendencia al retraso en el inicio de la época de lluvias, lo cual coincide con el periodo de mayor recepción de radiación, situación explicada por Seth, Rojas, et al. (2010) y Seth, Thibeault, et al. (2010).

El factor climático fue discutido en el inciso 3.2. sin embargo, se complementa la clara mención del megaevento ENSO positivo de 1983, así como su fuerte versión negativa en 1986, como el periodo de inflexión identificado por los productores mayores o por las historias transferidas a los jóvenes. A partir de entonces, se percibe el claro incremento térmico y la mayor incertidumbre de la ocurrencia de la precipitación. De acuerdo a los productores, en el Altiplano central, en la década de los 80, las precipitaciones importantes para el ciclo agrícola se iniciaban desde la primera quincena de octubre y concluían en la primera quincena de marzo. Sin embargo, los productores reportaron que, desde 1983 y mucho más desde 2000 la precipitación se retrasaba hacia diciembre generando incertidumbre en la toma de decisiones productivas. Se analizaron las tendencias de Tmax para Bolivia durante los últimos 30 años (Seiler et al., 2013; Garcia et al, 2025), mostrando una tendencia general creciente con un punto de cambio determinado estadísticamente en 1986/87 (muy cercano al punto de inflexión determinado participativamente en 1983). Seiler et al., (2013) no encontraron cambios significativos de precipitación en toda la zona hasta 2013, lo que continua hasta el presente (Garcia et al, 2025). El aumento de Tmax se refleja en una tendencia al alza de los valores de ETo, lo que fue confirmado para toda la región (Valdivia et al., 2010). Por lo tanto, la estabilidad de la precipitación, vinculada al aumento de las tasas de demanda atmosférica (ETo), resulta en la atmósfera baja más seca en los altos Andes bolivianos, representado por el Déficit Hídrico Atmosférico, lo que a su vez afecta la disponibilidad de agua del suelo para los cultivos.

3.4. Cambios en el ecosistema productivo y en los capitales

3.4.1. Cambio en el ecosistema productivo

El ecosistema productivo, se refiere a los recursos naturales disponibles en la comunidad como la tenencia de tierra, el suelo como unidad de producción y la diversidad de especies. Hasta la década de los 80, las comunidades de Ancoraimes contaban con Aynocas de entre 7 a 12 hectáreas permitiendo un manejo sostenible de los suelos y diversidad de cultivos. A partir de la década de los 80s estas costumbres fueron gradualmente perdiéndose, por la presión para producir más. Hacia el inicio del siglo XXI y, debido a los incrementos térmicos percibido por los agricultores, se visualiza una oportunidad de cambiar variedades de los cultivos y también incorporar nuevos cultivos. La buena producción motiva a incrementar el área productiva. En el caso en Chojñapata se cambió las papas nativas por comerciales más demandantes y menos resistentes a la helada, mientras que Chinchaya se especializó en la producción intensiva de cebolla con hasta 2 ciclos de cebolla gracias la implementación de riego. En ambos casos, el descanso previamente establecido fue reduciéndose y el área cultivada incrementándose.

En Umala durante los 80 la principal actividad era de ganadería ovina y practicaban una agricultura de subsistencia, sin presencia de Aynocas con el manejo basado en la rotación y descanso de las parcelas. El

ingreso a la actividad lechera en la década de los 90s con adquisición de ganado mejorado, estimula la expansión en área para la producción de forraje. Esto ocasionó una modificación drástica en el uso del suelo reduciendo los cultivos anteriores de cebada, cañahua y quinua reemplazándolas por alfalfa y expandiéndose a nuevas áreas de cultivo. También se reportó la introducción de nuevas variedades comerciales de papa, lo que produjo la ampliación de las parcelas productivas reduciendo los periodos de descanso de 7 años a solo dos. Este manejo intensivo del suelo ocasionó la proliferación de plagas, como el gusano blanco de la papa.

En ambas zonas, el cambio del ecosistema productivo desde 1970, ha ocasionado la degradación del suelo mediante la compactación por el uso de tractores, la salinización por el uso de aguas para riego y la pérdida de fertilidad por la reducción de los periodos de descanso. También ocasionó la pérdida de agrobiodiversidad por la introducción de variedades comerciales como la papá Waycha y la especialización productiva cómo la implementación de forrajes para la producción lechera o cebolla en sectores del lago ocasionando la eliminación de variedades nativas.

Esta nueva forma del ecosistema productivo también incrementa la dependencia de insumos externos para incrementar la fertilidad de los suelos, disminuir el creciente ataque de plagas, uso excesivo de maquinarias, e implementación de riego sin optimización de agua. Con este manejo más intensivo, aunque con diferente vocación productiva en ambas zonas, se pone en riesgo la sostenibilidad del ecosistema productivo, pues se aplica fertilizantes y plaguicidas tóxicos, se daña el suelo y no se mantiene un uso racional del agua.

3.4.2. Cambio en el capital físico

Por las características del sistema productivo, antes de la década de los 80s, el capital físico en las comunidades era rudimentario por el uso de herramientas manuales y la tracción animal. A finales de los 80s, las exigencias de un nuevo ecosistema productivo promovieron cambios también en la tecnología necesaria para la producción.

En el Altiplano norte, la comunidad de Chinchaya, alrededor de 1988 introdujo los primeros tractores, pero debido a elevados costos de alquiler, todavía no se masificó su uso. Por otra parte, la comunidad de altura, por sus características de pendientes pronunciadas y parcelas pequeñas, no internaliza el uso de maquinaria en su sistema de cultivo. La creciente tendencia de exigencias del mercado y comercialización provoca que a inicios del siglo XXI ocurra un incremento exponencial en el manejo de maquinaria en la preparación de suelo en las comunidades situadas en zonas relativamente planas. Para el año 2006 el 80% de las familias usaban tractor, aunque un 10 o 20% seguía usando la yunta. Al presente, esta proporción se mantiene, con solo 20% de manejo de yunta en parcelas y comunidades con pendiente.

En el caso del altiplano central, en 1975 la comunidad San José adquiere el primer tractor, pero cuyo alquiler era elevado y no fue masificado en las últimas décadas del anterior siglo. Sin embargo, en el presente siglo, con el establecimiento ya definitivo de los nuevos sistemas productivos forrajeros y paperos y las amplias áreas de terreno, se hizo necesaria la maquinaria, por lo que, gradualmente, para 2016, el 50% de agricultores ya poseían su propio tractor, lo que también fomentó el incremento en las áreas de producción y una reducción en tiempos y costo.

El acceso a riego fue incrementándose en ambas zonas, gradualmente incrementando la construcción de pozos para obtener agua a través de motobombas para regar las parcelas de cebolla y papa. Sin embargo, la diferencia de altitud, en el Altiplano Norte, produjo que la comunidad de mayor altitud, opuestamente, por su fisiografía y las pendientes dominantes no se estableció ni riego ni maquinaria.

La migración de la mano de obra joven también motivó el cambio de capital físico pues se impuso la necesidad de mecanización para compensar la escasez de trabajo familiar en los momentos claves del ciclo productivo. La incorporación de maquinaria y riego, también fue un

factor que facilitó la intensificación del uso del suelo, mayor frecuencia de cultivos con reducción de periodos de descanso, proliferación de plagas y enfermedades y reducción de la agrobiodiversidad.

3.4.3. Cambio en el capital social

El capital social, que se define por las redes y conexiones entre miembros de la comunidad y su participación en los grupos formales, también fue influenciado por los factores climáticos, económicos, e institucionales.

En el caso del altiplano central, las intervenciones institucionales cómo el caso del Proyecto Ingavi, DANIDA, INTERVIDA, CIPCA entre otros, además de proveer tecnología y capacitaciones, apoyaron en la formación de asociaciones de productores, mediante las cuales reconfiguraron las redes sociales y productivas orientándolas hacia una actividad comercial más especializada. En 2014 se fortalece la organización de mujeres Bartolina Sisa, cuya participación activa a nivel municipal y provincial, permite captar recursos de proyectos estatales, demostrando la capacidad de las comunidades, para generar nuevas formas de capital social en respuesta a oportunidades y necesidades. La multi-crisis ha ocasionado una migración temporal de jefes de hogar o de madres con hijos en edad escolar, lo que también ha reconfigurado el capital social. La migración provoca que algunas familias alquilen sus tierras mientras sus miembros buscan ingresos en las ciudades y estos ingresos son reinvertidos en la comunidad manteniendo un lazo y un flujo de capital y permitiéndoles ser parte de la sociedad. Por otra parte, la falta de mano de obra familiar obliga a las comunidades a monetizar el trabajo, que antes se realizaba mediante el Ayni, lo que reduce la percepción de rentabilidad y desmotiva la producción.

En las comunidades del altiplano norte se observa un mayor deterioro del capital social tradicional. En Chinchaya y Chojñapata la organización para el uso de las Aynocas se ha ido perdiendo desde el año 2000, en parte porque los migrantes al retornar no conocen el sistema de manejo lo que lleva a siembras individuales y también por los procesos migratorios y globalizadores. En muchos casos, los productores (especialmente los varones) dividen sus actividades entre la producción agrícola y otras actividades rurales no agrícolas y altamente ligadas con los centros urbanos (comercio, servicios, provisión de insumos, etc). En Chojñapata se experimenta problemas de liderazgo, debido a la migración y a creencias que fortalecen el individualismo y coartan los usos, tradiciones y costumbres.

En esencia, las comunidades del altiplano están en un proceso de reconfiguración de su capital social, desarrollando nuevas redes y capacidades para insertarse a los mercados más amplios y aprovechar los cambios del clima, pero al mismo tiempo están enfrentando la erosión de sus estructuras tradicionales por lo que surge la necesidad de fortalecer capacidades internas con análisis introspectivos de cuál serían las estructuras asociativas que mejor representarían la actual realidad.

3.5. Acciones y vulnerabilidades en los sistemas productivos por los cambios detectados.

El análisis de los factores que influyeron en el cambio de los sistemas productivos agrícolas, en las dos zonas, revela que el agricultor andino ha reaccionado a la variabilidad y cambio climático representada principalmente por la elevación térmica, y ha aprovechado las oportunidades de mercado, gracias a su elevada capacidad de adaptación autónoma, heredada culturalmente en una zona de permanentes limitaciones atmosféricas. Estas acciones incluyeron la modificación de la estructura productiva, cambios en la actividad económica familiar, el capital social y el manejo de los recursos naturales. Sin embargo, si bien se ha logrado mejorar los medios de vida en el corto plazo, también se ha incrementado la dependencia a insumos y recursos externos, con mayor extensión de áreas con monocultivo, lo que induce una mayor vulnerabilidad en los sistemas ante futuros cambios drásticos que podrían darse en la coyuntura global, política e incluso fitosanitaria. Es por ello la necesidad de un respaldo institucional adecuado y estrategias

integrales que orienten a potenciar los beneficios que ya lograron los productores, mitigar los riesgos posibles que se espera tener a futuro según los nuevos escenarios climáticos, y catalizar impactos de mercado y políticas internacionales que influyan en el comportamiento humano. Los sistemas productivos han logrado mejorar su productividad, pues las previas limitantes relacionadas al clima, han reducido en su impacto, especialmente las bajas temperaturas promedio, sin embargo, las acciones para ello podrían estar llevando a la degradación creciente del ecosistema, la dependencia de insumos externos, pérdida de la biodiversidad y, en suma, de los recursos naturales.

La información recopilada entre 2022 y 2023 muestra que los productores de las zonas estudiadas han demostrado gran capacidad de adaptación a nuevas condiciones ecológicas y socioeconómicas, modificando sus sistemas productivos desde aproximadamente 1985 ante señales de calentamiento global, integrando diversificación, especialización y tecnologías como sistemas de riego y bioinoculantes; sin embargo, estas transformaciones, junto con cambios en la infraestructura y acceso a mercados, han aumentado la vulnerabilidad del sistema tradicional frente a amenazas climáticas, plagas, dependencia tecnológica y fluctuaciones de precios, lo que subraya la necesidad de políticas de apoyo estatal o no gubernamental y la incorporación del conocimiento local para fortalecer la resiliencia agrícola.

4. CONCLUSIONES

Los sistemas agrícolas altiplánicos han experimentado una transformación compleja en su vulnerabilidad al cambio climático. Si bien las adaptaciones les han permitido aprovechar algunas oportunidades, también han generado nuevas vulnerabilidades. Para lograr una adaptación sostenible, es esencial fortalecer el apoyo institucional, fomentar la agrobiodiversidad, mejorar el manejo del suelo y del agua, y apoyar a los agricultores en la diversificación de sus actividades económicas.

El crecimiento de la población en el área urbana, demanda mayor cantidad y calidad de alimentos a la cual los productores han respondido aprovechando las mejores conexiones a los mercados, y las temperaturas más elevadas, que estimularon la producción intensiva y de alto valor económico, como la cebolla o la leche. El ingreso de dinero constante y seguro por la producción (cultivo o lechería), incentiva el cambio hacia esta actividad, pero también la vuelve más vulnerable al depender de menos productos hacia pocos mercados. Es así que la preferencia por un tipo de alimento al tener buena aceptación promueve la especialización, pero falta la incorporación de sistemas de gestión para reducir riesgos. Por otra parte, los agricultores tienen percepciones de ganancia, pero no incluyen los costos ocultos (mano de obra familiar, insumos propios) que subsidian fuertemente los precios en los mercados urbanos.

Las comunidades del altiplano están en un proceso de reconfiguración de su capital social, desarrollando nuevas redes y capacidades para insertarse a los mercados más amplios y aprovechar los cambios del clima, pero al mismo tiempo están enfrentando la erosión de sus estructuras tradicionales y la necesidad de fortalecer capacidades internas. Ante ello, se requiere de estrategias integrales que mejoren la resiliencia agropecuaria, fortalezcan la estructura institucional, aseguren un uso más justo de los recursos y fomenten una inserción al mercado más equitativa, integrando el conocimiento local con el científico.

5. REFERENCIAS

Barragán, R., Salman, T., Aillón, V., Córdova, J., Langer, E., Sanjinés, J., Rojas, R., & Paz -Bolivia, L. (2008). Guía para la formulación y ejecución de proyectos de investigación (Plural, Ed.; 4th ed.). Fundación PIEB. www.pieb.com.bo

Garcia, M. (2025). Tendencias en las amenazas climáticas con impacto en los sistemas productivos de comunidades de dos zonas de Los Andes Bolivianos. IIDEPROQ, 1–14.

Gilles, J. L., García, M., Yucra, E. S., Quispe, R., Poma, A., Quispe, J. M., Rojas, K., & Cabrera, P. (2022). Validating local meteorological forecast knowledge in the Bolivian Altiplano: moving toward the co-production of agricultural forecasts. Climate and Development, 0(0), 1–12. https://doi.org/10.1080/17565529.2022.2077692

Jimenéz, E. (2013). Cambio climático y adaptación en el Altiplano boliviano (H. Alvarez, Ed.). CIDES-UMSA.

Seiler, C., Hutjes, R. W. A., & Kabat, P. (2013). Climate variability and trends in bolivia. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 52(1), 130–146. https://doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0105.1

Seth, A., Rojas, M., & Rauscher, S. (2010). CMIP3 projected changes in the annual cycle of the South American Monsoon. Climatic Change, 98(3), 331–357. https://doi.org/10.1007/s10584-009-9736-6

Seth, A., Thibeault, J., Garcia, M., & Valdivia, C. (2010). Making Sense of Twenty-First-Century Climate Change in the Altiplano: Observed Trends and CMIP3 Projections. Annals of the Association of American Geographers, 100(4), 835–847. https://doi.org/10.1080/00045608.2010.500193

Taboada, C., Garcia, M., Gilles, J., Pozo, O., Yucra, E., & Rojas, K. (2017). Can warmer be better? Changing production systems in three Andean ecosystems in the face of environmental change. Journal of Arid Environments, 147, 144–154. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.08.005

Valdivia, C., Seth, A., Gilles, J. L., García, M., Jiménez, E., Cusicanqui, J., Navia, F., & Yucra, E. (2010). Adapting to climate change in Andean ecosystems: Landscapes, capitals, and perceptions shaping rural livelihood strategies and linking knowledge systems. Annals of the Association of American Geographers, 100(4), 818–834. https://doi.org/10.1080/00045608.2010.500198

Yapu, M., Komadina, R., Cordova, J., Pereira, R., Gutierrez, N., & Gonzales, G. (2015). Pautas metodológicas para investigar en ciencias sociales y humanas (B. Cajias, Ed.). Fundación PIEB.

Yucra, E., Taboada, C., Iturralde, M., & Machicao, L. (2023). Análisis de efecto del cambio del clima en zonas productoras de Tarwi y su efecto en sistemas acoplados. CIBUM SCIENTIA, 2(1), 27–39. https://doi.org/10.53287/acsp6694sw33w

LECCIONES APRENDIDAS SOBRE EL USO DE PRONÓSTICOS LOCALES EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

Lessons Learned on the Use of Local Forecasts in the Bolivian Altiplano

Jere Gilles[1], Edwin Yucra[2], Magali Garcia[3]

RESUMEN

Los científicos han mostrado interés en el conocimiento indígena sobre predicción del tiempo, aunque la mayoría de estudios se basan en datos de un solo año y rara vez se contrastan con registros meteorológicos. Este artículo presenta lecciones aprendidas durante más de 10 años de estudio del conocimiento local sobre predicción meteorológica en el Altiplano Norte y Central de Bolivia, utilizando datos históricos de varios años. Entre otros, se examinaron un indicador de pronóstico estacional y dos indicadores del inicio de las lluvias. El primero fue la presencia de humedad bajo las piedras durante la Fiesta de San Juan (24 de junio), y los otros, el patrón de floración de dos especies vegetales. La temperatura mínima se utilizó como proxy para la humedad bajo las piedras. Se encontró que la temperatura mínima del 24 de junio explica el 55,5% de la variación en la precipitación de la temporada de crecimiento a lo largo de 30 años. Los patrones de floración se ven afectados por heladas severas, y hubo una correlación entre las heladas y las lluvias tardías. Estos resultados muestran que el conocimiento local puede complementar los pronósticos agrometeorológicos modernos y contribuir a reducir riesgos climáticos en comunidades agrícolas.

Palabras clave: Conocimiento local, Altiplano boliviano, indicadores, clima, pronóstico

ABSTRACT

Scientists have been interested in indigenous knowledge of weather prediction for some time. Most studies involve the collection of data from a single year with almost no meteorological verification. This article examines data from several years and presents lessons learned from over 10 years of studying local knowledge of weather prediction in the Northern and Central Altiplano of Bolivia. Among others, one seasonal forecast indicator and two indicators of the onset of rainfall were examined using historical data. The seasonal indicator was the presence of moisture under rocks on the Feast of San Juan (June 24), and the other indicator was the flowering pattern of two plant species. Minimum temperature was used as a proxy for moisture under rocks. The minimum temperature on June 24 explained 55.5% of the variance in growing season precipitation over a 30-year period. Flowering patterns are affected by severe frosts, and there was a correlation between frost and late rainfall. The results demonstrate the potential of local knowledge to complement agrometeorological forecasts and its potential to help reduce climate-related risks.

Keywords: Local knowledge, Bolivian highland, indicators, climate, forecasting
https://doi.org/10.53287/jjdb4333wb27x

[1] I Prof. Emérito UMissouri USA
[2] Investigador CIPYCA UMSA
[3] Investigadora IIDEPROQ, Facultad de Ingenieria UMSA

1. INTRODUCION

Este artículo presenta las lecciones aprendidas de 20 años de investigación sobre los indicadores tradicionales de pronóstico meteorológico utilizados por los agricultores aymaras del Altiplano. La investigación sobre indicadores comenzó a principios de la década de 2000 cuando un grupo de investigadores norteamericanos, y bolivianos realizó un levantamiento en dos comunidades del departamento de Puno en Perú y un cantón de Bolivia sobre el uso de pronósticos meteorológicos entre agricultores indígenas del Altiplano (Gilles & Valdivia, 2009). Esta investigación reveló que los pronósticos proporcionados por el servicio meteorológico y distribuidos por televisión y radio eran utilizados por aproximadamente el 20% de los agricultores en las comunidades peruanas, y por menos del 5% en la zona analizada de Bolivia (Gilles & Valdivia, 2009). En cambio, los agricultores utilizaban los conocimientos tradicionales/locales para gestionar los riesgos relacionados al clima. Los agricultores reportaron elevada confianza en métodos de pronóstico basados en la observación de fenómenos naturales como las estrellas, los vientos y el comportamiento de las plantas y los animales.

El hecho de que los agricultores no utilizaran pronósticos meteorológicos era esperable dadas las condiciones ecosistémicas, la altitud y los microclimas existentes en el altiplano. Por otra parte, la baja densidad de estaciones meteorológicas que contaban con información histórica confiable que permitiera la producción de pronósticos agrícolas útiles en el Altiplano, era un factor que reducía la precisión y confiabilidad de los pocos pronósticos liberados. Estas conclusiones llevaron al cuestionamiento sobre si los indicadores locales, combinados con los pronósticos meteorológicos podrían proporcionar una herramienta de gestión de riesgos más útil que el uso de cualquiera de ellos por separado. Los conocimientos locales fueron y son el resultado de siglos de observaciones y esfuerzos por parte de los agricultores y su incorporación a sistemas formales podría compensar la escasez de datos meteorológicos relevantes a las necesidades de los agricultores de la región.

El artículo presenta el resultado de actividades participativas cuyo objetivo fue determinar qué indicadores naturales son los más utilizados y observados en comunidades del Altiplano Norte y Central de Bolivia, su cumplimiento y confiabilidad. En el siguiente capítulo de esta misma publicación, se describe las razones para la pérdida en la tasa de uso, por lo que se considera un artículo complementario al presente.

2. MATERIALES Y METODOS

De 2012 a 2019 se realizaron más de 50 talleres y actividades con grupos focales para identificar indicadores locales de pronóstico y comprender su uso. Los talleres se llevaron a cabo en los municipios de Umala en el Altiplano Central y Ancoraimes en el Altiplano Norte. Se logró identificar 43 indicadores en los tres municipios estudiados: 21 indicadores animales, 12 indicadores vegetales y 10 indicadores abióticos (atmosféricos y astronómicos).

El siguiente objetivo fue evaluar si estos indicadores podrían complementar los pronósticos meteorológicos locales. Con este fin, se realizó una serie de talleres y entrevistas. En los primeros talleres se identificaron indicadores y se desarrolló un calendario para luego evaluarlos. En total, 216 familias de los municipios de Ancoraimes y Umala participaron en estas actividades (Tabla 1). Los primeros talleres en cada comunidad tenían como objetivo identificar todos los indicadores de pronóstico conocidos en estas áreas, para identificar su propósito y la época del año en que se observaban. Los talleres posteriores discutieron el uso y la confiabilidad de los indicadores de pronóstico.

Tabla 1. Familias participantes en los talleres y entrevistas-

Comunidad	Municipio de Umala			Municipio de Ancoraimes		
	Iñacamaya	San José	Incamaya	Chojñapata	Calahuancane	Cohani
Número de familias participantes en talleres	15	10	6	11	14	18
Número de familias entrevistadas	20	15	11	18	16	15

Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Identificación de indicadores y su fiabilidad percibida

Los agricultores del Altiplano Central identificaron 13 (trece) indicadores naturales de pronóstico, nueve de los cuales eran bióticos y cuatro abióticos. Estos indicadores, y las evaluaciones que los agricultores hacen de ellos, se encuentran en la Tabla 2. En comparación, los productores del Altiplano Norte identificaron 20 (veinte) indicadores naturales de pronóstico: 15 bióticos y cinco abióticos (Tabla 3).

Las condiciones ambientales en el Altiplano Norte son más heterogéneas que en el Altiplano Central, por lo que la distribución de plantas y animales está influenciada por la proximidad al Lago Titicaca y los cambios de elevación (como se describe en el Capítulo 1 de la presente edición especial de la revista). Los entrevistados y entrevistadas identificaron dos indicadores confiables en el Altiplano Central y ocho en las comunidades del Altiplano Norte, pero refirieron menor tasa de uso que antes por su menor confiabilidad. Es importante señalar que los indicadores bióticos tienden a ser específicos de cada lugar. Solo se observaron dos especies de plantas y tres especies de animales en ambos municipios.

Tabla 2. Evaluación del productor sobre la confiabilidad de los indicadores biológicos de pronóstico en Umala en el Altiplano Central. Niveles de confianza: 1 indicador muy confiable, 2 indicador moderadamente confiable, 3 poco confiable.

Tipo de Indicador	Indicador	Fechas de Observación	Objetivo de la observación	Rango de confiabilidad
Fito	Thola *Parastrephia lepidophylla*	Agosto 15 a Octubre 15	Época de siembra y tipo de año (previsión estacional)	1
Fito	Phuscalla *Opuntia boliviana Salm - Dick*	Agosto 15 a Octubre 15	Época de siembra y tipo de año (previsión estacional)	2
Fito	Amañoke *Ombrophytum subterraneum*	Deciembre a Febrero	Previsión del cultivo (corto plazo)	2
Fito	Q´uta *Junellia minima*	Octubre 15 a Diciembre 15	Época de siembra y tipo de año (previsión estacional)	3
Zoo (zorro)	Tiula *Pseudalopex culpaeus*	Agosto a Octubre	Época de siembra y tipo de año (previsión estacional)	1
Zoo (ave)	Liki liki *Vanellus resplendens*	Octubre a Diciembre	Tipo de año (húmedo o seco), granizo y relámpagos (pronóstico estacional)	2
Zoo (ave)	Tuju *Ctenomys opimus*	Agosto a Septiembre	Si el año será lluvioso o seco (pronóstico estacional)	3
Zoo (ave)	Ch´ijta *Phrygilus plebejus*	Agosto a Octubre	Si el año será húmedo o seco (pronóstico estacional)	3
Zoo (ave)	Tiki tiki o Phiskillo	Octubre a Diciembre	Si el año será húmedo o seco (pronóstico estacional)	3
Abiótico (Físico)	Escarcha/humedad bajo las piedras el 24 de junio	Junio 24th	Si el año será húmedo o seco (pronóstico estacional)	2
Abiótico (Físico)	Vientos	Marzo a Noviembre	Heladas y granizo (pronóstico de corto plazo)	1
Abiótico (astronómico)	Cruz del Sur (constelación)	Mayo	Si el año será húmedo o seco (pronóstico estacional)	2
Abiótico (Astronómico)	Cinturón de Orión (constelación)	Agosto	Si el año será húmedo o seco (pronóstico estacional)	2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Evaluación del productor sobre la confiabilidad de los indicadores biológicos de pronóstico en Ancoraimes en el Altiplano Norte. Niveles de confianza: 1 indicador muy confiable, 2 indicador moderadamente confiable, 3 poco confiable.

Tipo de Indicador	Indicador	Fechas de Observación	Objetivo de la observación	Rango de confiabilidad
Fito	Sank´ayu *Lobivia caespietosa J. Porpus*	Agosto a Dicembre	Época de siembra y niveles productivos (medio-término)	1
Fito	Phuscalla *Opuntia boliviana Salm – Dick*	Agosto 15 a Septiembre 15	Época de siembra y niveles productivos (medio-término)	2
Fito	Q´uta *Junellia minima*	Octubre 15 a Diciembre 15	Época de siembra y niveles productivos (medio-término)	2
Fito	Qariwa o Wacha *Senecio clivicola*	Agosto a septiembre	Época de siembra, probabilidad de heladas y niveles productivos (medio-término)	2
Fito	Kúa *Satureja boliviana*	Agosto a noviembre	Época de siembra, probabilidad de heladas y niveles productivos (medio-término)	3
Fito	Laq´u (Alga) *Chlorophyceae*	Septiembre a noviembre	Probabilidad de heladas y niveles productivos (medio-término)	3
Fito	Thola *Parastrephia lepidophylla*	Agosto 15 a octubre 15	Época de siembra y probabilidad de heladas	3
Zoo (zorro)	Tiula *Pseudalopex culpaeus*	Agosto a octubre	Época de siembra y niveles productivos (estacional)	1
Zoo (ganso andino)	Wallata *Oressochen melanopterus*	Septiembre a diciembre	Niveles productivos y probabilidad de lluvias (estacional)	2
Zoo (roedor)	Achaku *Apodemus sylvaticus*	Septiembre a octubre	Época de siembra y niveles productivos (estacional)	2
Zoo (insecto)	Kisimira (ants)	Diciembre a abril	Probabilidad de lluvia en el siguiente periodo de cultivo. Niveles productivos y probabilidad de heladas (estacional)	1
Zoo (ave)	Tiki tiki o Phiskillo	Agosto a noviembre	Probabilidad de lluvia en el siguiente periodo de cultivo- Niveles productivos y probabilidad de heladas (estacional)	3
Zoo (araña)	Cusi Cusi *Polybetes pythagoricus*	Mayo a Julio	Niveles productivos (estacional)	3
Zoo (anfibio)	Jamphatu *Bufo bufo*	Septiembre a Marzo	Probabilidad de lluvia y niveles productivos (corto plazo)	3
Zoo (ave)	Liki liki *Vanellus resplendens*	Septiembre a Noviembre	Probabilidad de lluvia, granizo y niveles productivos (estacional)	3
Abiótico (físico)	Escarcha/humedad bajo las piedras el 24 de junio	Junio 24	Distribución de lluvia en la siguiente época de cultivo (estacional)	2
Abiótico (físico)	Vientos	Marzo a diciembre	Heladas y granizo (corto plazo)	1
Abiotico (astronómico)	Cruz del Sur (constelación)	Mayo 3	Tipo de año de cultivo	1
Abiotico (astronómico)	*Pleiades* (constelación)	Junio 24	Distribución de lluvia en la siguiente época de cultivo	2
Abiotico (astronómico)	*Ursa major* (constelación)	Noviembre	niveles productivos	3

Fuente: Elaboración propia.

Los fito-indicadores se observan con el fin de determinar cuándo sembrar la papa que es un cultivo de mucha importancia en la zona. La papa se siembra entre mediados de octubre y principios de diciembre cuyo momento óptimo está determinado por las condiciones del suelo y los pronósticos del inicio de la temporada de lluvias. Si las lluvias llegan temprano, las siembras de mediados de octubre tendrán los mejores rendimientos porque los cultivos serán menos vulnerables a las heladas en puntos cruciales en el ciclo de desarrollo de la papa. Sin embargo, si las lluvias no llegan temprano, los cultivos de siembra temprana deben replantarse a un costo significativo para los agricultores. En años medios, las papas se siembran a finales de octubre y principios de noviembre. Si las lluvias llegan tarde, el mejor momento para plantar es a finales de noviembre o principios de diciembre. Los agricultores deben equilibrar los riesgos que presenta la probabilidad de sequía y la probabilidad de heladas. Cuanto más tarde se siembre la papa, mayor será la probabilidad de que cuenten con precipitación necesaria y adecuada para permitir la producción exitosa de las plantas, pero también enfrentará un mayor riesgo de heladas dañinas al final de la época de cultivo.

Las especies de plantas utilizadas para pronosticar las fechas óptimas de siembra de papa, florecen hasta en tres periodos entre agosto y octubre. El periodo en que la planta indicadora florece con éxito, indica el tiempo óptimo de siembra. Si la primera floración se daña por heladas o clima severo, los agricultores presumen que no deben sembrar temprano, e inversamente si no están dañadas, los agricultores pueden sembrar temprano. La segunda fecha de siembra se asocia con la segunda floración de las especies indicadoras y la tercera siembra con la última floración, bajo el mismo razonamiento. Para este propósito, solo dos especies de plantas se identificaron como indicadores muy confiables (una en cada municipio), la Thola (*Parastrephia lepidophylla*) en el Altiplano Central y Sank'ayu (*Lobivia caespietosa J. Porpus*) en el Altiplano Norte. Interesantemente, aunque la Thola fue reconocida como un indicador de pronóstico en ambos municipios, se incluyó entre los más confiables en Umala y entre las menos confiables en Ancoraimes. El otro fitoindicador encontrado en ambas comunidades, la Phuscalla (*Opuntia boliviana* Salm – Dick), fue un indicador secundario en ambos municipios. Los agricultores también observan algunas especies a finales de la primavera o principios del verano para predecir el rendimiento de los cultivos (año bueno o malo).

Los indicadores animales se utilizan generalmente para realizar pronósticos estacionales de lluvia o producción agrícola. Las vocalizaciones de los zorros se consideraron el indicador más confiable tanto en el Altiplano Central como en el Norte. El comportamiento de anidación del Liki liki (*Vanellus resplendens*) fue el único otro indicador animal utilizado en ambos municipios observándose la ubicación y la altura de la nidificación.

En relación a los indicadores físicos, en Umala, se observan fuertes vientos provenientes del oeste y del sur para pronósticos a corto plazo de heladas y granizo. La aparición y/o centelleo de constelaciones se consideraron indicadores moderadamente confiables. La constelación de las Pléyades, que se observa el 24 de junio, se consideró moderadamente confiable en el Altiplano Norte, y la Cruz del Sur fue un indicador confiable en la región norte, pero menos confiable en la región central. Este indicador también se utiliza en Perú (Orlove et al., 2000, 2002).

3.2. Pronósticos

Aunque la mayoría de los agricultores pudieron identificar los indicadores de pronóstico para su comunidad para la siguiente estación de lluvias, la mayoría no son los encargados de pronosticar el tiempo, sino que confían en los expertos locales en pronósticos. Los expertos son hombres y mujeres mayores que viven todo el año en la comunidad. Los agricultores consultan con los expertos locales o siguen el liderazgo del experto cuando preparan sus campos, plantan y procesan papas.

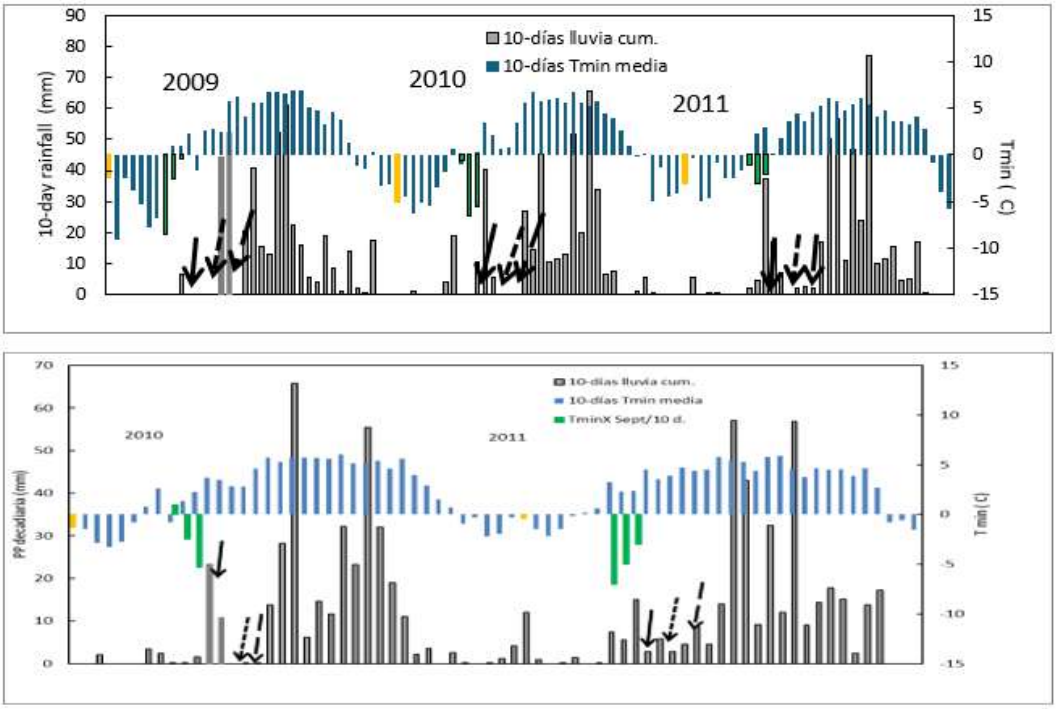
Los expertos hacen dos tipos de pronósticos estacionales. El primero es si el año será un buen o mal

año (húmedo o seco). El segundo predice el inicio de las lluvias. Los expertos también hacen pronósticos a corto plazo de los riesgos de heladas y granizo y predicciones de las condiciones de la cosecha después de la siembra. Las Tablas 2 y 3, muestran que hay múltiples indicadores para predecir los mismos eventos climáticos. Por ejemplo, en Umala hay tres indicadores confiables utilizados para predecir el inicio de las lluvias y ocho para predecir la calidad del próximo año: dos plantas, dos animales y cuatro indicadores abióticos. Dos indicadores de plantas y el indicador animal más confiable se observan entre agosto y octubre y un indicador animal se observa entre octubre y diciembre. Los indicadores abióticos se observan con anterioridad, por ejemplo, la Cruz del Sur y el cinturón de Orión se observan en mayo y agosto, y la humedad bajo las rocas se observa el 24 de junio. La concordancia de los indicadores aumenta la solidez de los pronósticos, y cuando no coinciden pueden indicar un cambio del pronóstico.

3.3. Validación de los indicadores confiables del inicio de las lluvias

Para examinar los fitoindicadores que por su condición vegetacional son influenciados por las heladas, se analizó las temperaturas mínimas promedio de diez días y la precipitación acumulada de 2009, 2010 y 2011 (Umala) y 2010 y 2011 (Ancoraimes), obtenidas de las estaciones meteorológicas instaladas en los sitios (Figura 1). Las barras grises muestran la precipitación acumulada, las barras azules las temperaturas mínimas promedio y las barras verdes las temperaturas mínimas extremas de septiembre. Se buscó la relación entre las heladas severas y la aparición de lluvias fiables unas semanas después de la ocurrencia de las heladas. En general, las percepciones de los agricultores sobre la precipitación y las temperaturas mínimas coincidieron con los datos obtenidos de las dos estaciones meteorológicas.

Figura 1. Distribución decadiaria de precipitación acumulada (gris), Tmin promedio (azul), Tmin extrema en septiembre (verde) y Tmin promedio de los últimos 10 días de junio (naranja) para Umala (arriba) y Ancoraimes (abajo). La flecha sólida muestra la lluvia en la primera época de siembra, la flecha cortada en trozos cortos muestra la lluvia en la segunda época de siembra y la flecha cortada en trozos gruesos muestra la lluvia en la tercera época de lluvias.



Fuente: Elaboración propia.

En Umala, en 2009, los promedios de Tmin de los dos primeros diez días fueron muy bajos, así como su Tmin extrema, y todas las flores (indicadoras) habrían muerto. En el tercer decenio, se registraron pocas heladas y la Tmin extrema no alcanzó valores de daño, lo que corresponde a un inicio tardío de la temporada de lluvias, tal como lo muestran las flechas. En 2010, solo los primeros diez días tuvieron temperaturas suaves, mientras que la segunda y la tercera década fueron muy heladas. En consecuencia, hubo un breve período lluvioso temprano, seguido de un período seco que duró aproximadamente un mes. En 2011, las heladas en el primer período de observación fueron suaves y, unos 20 días después, se produjo un período concentrado de lluvias, seguido de lluvias muy escasas y escasas.

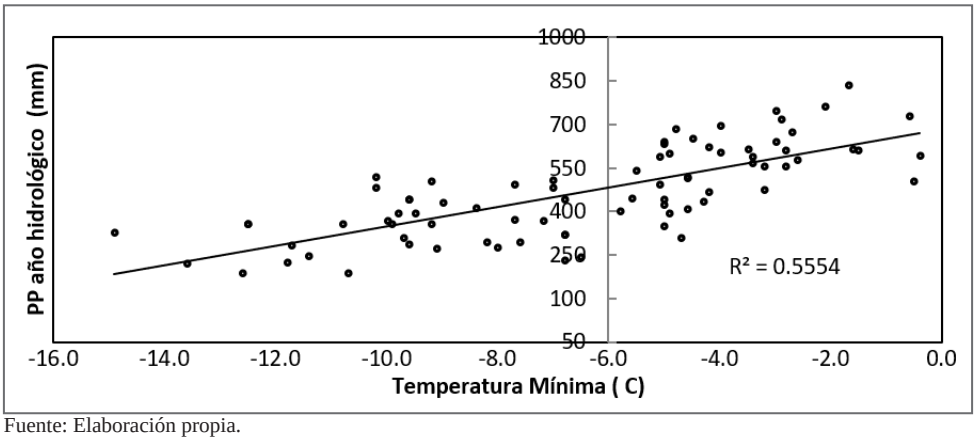
En Ancoraimes, en 2010, las Tmín de los primeros diez días fueron muy altas, sin haber sufrido ninguna helada, pero las Tmín de los siguientes veinte días fueron bastante bajas. A las lluvias tempranas les siguió más de un mes sin precipitaciones. En 2011, todos los Tmín durante los períodos de observación fueron muy bajos. Las lluvias tempranas fueron lentas y no hubo un inicio bien definido de la temporada de lluvias.

Por lo tanto, en ambos municipios, la presencia de heladas en septiembre coincidió con períodos sin lluvia alrededor de un mes después.

3.4. Validación meteorológica del indicador de la fiesta de San Juan.

El análisis de la relación entre las temperaturas previas al amanecer en la Fiesta de San Juan (23 de junio) y la precipitación anual es compleja. Los agricultores creen que, si hay humedad bajo las rocas al amanecer del día de San Juan, el año agrícola siguiente tendrá buenas precipitaciones y condiciones para una buena cosecha de papa. El agua bajo las rocas depende de la temperatura mínima que será más alta cuanto mayor sea la humedad del aire, aunque la mayor humedad atmosférica tendrá elevada probabilidad de condensación la que se convertirá en escarcha. Se graficó la relación entre las temperaturas mínimas del 24 de junio y la precipitación anual para tres estaciones meteorológicas (Patacamaya, El Alto, y Oruro) con datos históricos de precipitación y se determinó un coeficiente de correlación y un R^2. La relación fue bastante fuerte (Figura 2). Hubo una correlación de 0,775 entre la temperatura mínima del 24 de junio y la precipitación estacional. Por lo tanto, conocer la temperatura mínima del 24 de junio permite predecir el 55,5 % de la variación anual de la precipitación.

Figura 2. Correlación entre las temperaturas mínimas del 24 de junio y la precipitación anual para tres estaciones meteorológicas (Patacamaya, El Alto y Oruro).



Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

Las evaluaciones de los indicadores observados por agricultores para pronósticos meteorológicos son poco frecuentes en la región andina. Hasta la fecha, solo se han publicado cuatro artículos científicos sobre la evaluación de indicadores de pronóstico: Claverías (2000); Gilles et al. (2023); Orlove et al. (2000, 2002). Esta tarea es difícil debido a la naturaleza probabilística e iterativa de los pronósticos meteorológicos, que requiere varios años de datos que solo pueden recopilarse en campo. Este estudio representa uno de los pocos esfuerzos para validar el conocimiento local sobre pronósticos, basándose tanto en las percepciones de los productores (conocimiento local) como en varios años de datos meteorológicos. La falta de este tipo de investigación ha impedido la aceptación del conocimiento local por parte de los gobiernos y los servicios climáticos nacionales. La investigación sobre pronósticos estacionales y pronósticos para el inicio de lluvias confiables muestra que poseen un alto grado de pericia. Esto es una buena noticia, dado que el número de estaciones meteorológicas en la región es insuficiente para abordar la heterogeneidad de los paisajes andinos y generar pronósticos agrícolas precisos. El trabajo en el Altiplano demuestra el valor de la coproducción de pronósticos meteorológicos que combinan la modelización meteorológica con el conocimiento local para ayudar a reducir el impacto de los riesgos climáticos en la región. Dichos pronósticos pueden proporcionar a los agricultores la información necesaria para decidir qué y dónde plantar, y pueden orientar sus decisiones de compra de insumos. Pronosticar el inicio de lluvias sostenidas puede ayudar a los agricultores a maximizar sus rendimientos y evitar pérdidas causadas por heladas o la llegada tardía de lluvias sostenidas.

Examinar el conocimiento local también puede ampliar y mejorar el conocimiento científico. Por ejemplo, la alta correlación entre las temperaturas mínimas del 24 de junio y la precipitación del año agrícola siguiente sugiere que existe una conexión remota, hasta ahora no identificada, entre las condiciones en torno al solsticio de invierno austral y los patrones de lluvia en enero y febrero del año siguiente. Esta conexión aún no se ha estudiado a fondo, pero Lupo et al. (2017) han observado un cambio en los patrones de las corrientes en chorro en torno a estas fechas y Rojas-Murillo et al. (2021) ha explorado esta relación con resultados interesantes. Estos hallazgos brindan la oportunidad de mejorar los pronósticos estacionales en la región andina.

Aunque se ha establecido la validez y habilidad de algunos indicadores de pronóstico, el uso de los conocimientos meteorológicos locales está disminuyendo. Algunos agricultores jóvenes dudan de que el conocimiento tradicional, desarrollado en una era de agricultura de subsistencia y condiciones ambientales más estables, siga siendo válido en el futuro. Además, el giro de la agricultura de subsistencia a una producción orientada al mercado, combinado con el aumento del empleo no agrícola, ha llevado a una pérdida de conocimientos agrícolas en general (Stone, 2007, 2016). Muchos jóvenes no tienen tiempo para acompañar a los pronosticadores tradicionales para adquirir sus conocimientos. La coproducción de conocimiento meteorológico puede contribuir a la conservación del conocimiento local, otorgándole mayor legitimidad a los agricultores y a los técnicos de los gobiernos y las organizaciones. Sin embargo, incluso en Bolivia, donde la conservación y el respeto del conocimiento local están consagrados en la constitución, existen pocos recursos disponibles para apoyar la coproducción de pronósticos. Si bien la importancia del conocimiento local y la coproducción de conocimiento climático se citan en foros internacionales, estos no han recibido financiación significativa de la comunidad meteorológica internacional ni del servicio meteorológico nacional.

5. REFERENCIAS

Claverías, R. (2000). Conocimientos de los campesinos andinos sobre los predictores climáticos: elementos para su verificación. Trabajo Expuesto En El Seminario-Taller Organizado Por Proyecto NOAA.

Gilles, J. L., García, M., Yucra, E. S., Quispe, R., Poma, A., Quispe, J. M., Rojas, K., & Cabrera, P. (2023). Validating local meteorological forecast knowledge in the Bolivian Altiplano: moving toward the co-production of agricultural forecasts. Climate and Development, 15(4), 280–291. https://doi.org/10.1080/17565529.2022.2077692

Gilles, J., & Valdivia, C. (2009). Local forecast communication in the Altiplano. Bulletin of the American Meteorological Society, 90(1), 85–91.

Lupo, A. R., Garcia, M., Rojas, K., & Gilles, J. (2017). ENSO Related Seasonal Range Prediction over South America. Proceedings, 1(5). https://doi.org/10.3390/ecas2017-04140

Orlove, B., Chiang, J., & Cane, M. (2000). Forecasting Andean rainfall and crop yield from the influence of El Niño on Pleiades visibility. www.nature.com

Orlove, B., Jhon, C., & Mark, C. (2002). Ethnoclimatology in the Andes. American Scientist, 90, 428–435.

Rojas-Murillo, K., Lupo, A. R., Garcia, M., Gilles, J., Korner, A., & Rivera, M. A. (2021). ENSO and PDO related interannual variability in the north and east-central part of the Bolivian Altiplano in South America. International Journal of Climatology, 42(4), 2413–2439. https://doi.org/10.1002/joc.7374

Stone, G. D. (2007). Agricultural Deskilling and the Spread of Genetically Modified Cotton in Warangal. Current Anthropology, 48(1), 67–103. https://doi.org/10.1086/508689

Stone, G. D. (2016). Towards a General Theory of Agricultural Knowledge Production: Environmental, Social, and Didactic Learning. Culture, Agriculture, Food and Environment, 38(1), 5–17. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/cuag.12061

FACTORES DE PÉRDIDA DE CONOCIMIENTOS DE USO DE LOS INDICADORES CLIMATICOS LOCALES EN COMUNIDADES DEL ALTIPLANO NORTE Y CENTRAL[1]

Loss factors for knowledge on the use of local climatic indicators in Bolivian North and Central Highlands

Jere Gilles[2], Edwin Yucra[3], Magali García[4], Rogelio Quispe[5], Gladys Yana[5]

RESUMEN

En los últimos años se ha manifestado un fuerte interés en la recuperación de los conocimientos locales de agricultores de los Andes, que, en muchas zonas los mantienen y utilizan para pronosticar el clima en el corto y mediano plazo con el fin de planificar y manejar los riesgos climáticos que influyen en su producción. El uso, evaluación y valoración de los indicadores es de gran importancia, pero también se percibe una tendencia al desuso y la pérdida de ellos, lo cual podrían estar minando la riqueza cognitiva de la relación del agricultor con su medio. Paradójicamente, mientras varias organizaciones promueven su revalorización, en muchas comunidades continúa su abandono. Este estudio intenta examinar cuáles son los factores de mayor influencia para la pérdida de conocimientos sobre el uso de indicadores locales para pronosticar el clima, con el fin de contribuir con conocimientos que permitan reducir esta pérdida. Se ha determinado que los factores socioeconómicos son los más importantes para el desuso de los indicadores, con menor importancia relativa del clima. Esto señala la importancia de planificar el mantenimiento de este conocimiento a través de fuentes formales de transferencia, pues las informales han disminuido en su capacidad de mantener el conocimiento.

Palabras clave: Indicadores, altiplano, variabilidad climática, pérdida

ABSTRACT

In recent years there has been a strong interest in the recovery of the local knowledge of farmers in the Andes, which, in many areas utilize it to predict the weather in the short and medium term in order to plan and manage climate risks affecting production. Most studies focus on the use, evaluation and measurement of indicators, but misuse and loss that would be undermining the cognitive richness of farmer relationship with their environment has not been evaluated. It is well reported that while many organizations promote recovery processes for such practices, in the communities there is a tendency to stop using and lose this knowledge. The present study attempts to examine the factors most influential to the loss of knowledge of the use of local indicators for forecasting the weather, in order to contribute knowledge to reduce this loss. It has been determined that the most important factors for the disuse of indicators are socioeconomic and not climatic, which is placed as of relatively less importance. This points out the importance of planning the maintenance of this knowledge through formal sources of transfer, as the informal declined in their ability to maintain knowledge.

Key words: Indicators, Highlands, climatic variability, loss
https://doi.org/10.53287/gvni8894vk87h

[1] Publicado en 2013 en: Cambio climático y adaptación en el Altiplano boliviano, Jimenez E.
[2] Prof. Emérito UMissouri USA
[3] Investigador CIPYCA UMSA
[4] Investigadora IIDEPROQ, Facultad de Ingenieria UMSA
[5] Becarios del Proyecto MARCLOC

1. INTRODUCCIÓN

Desde generaciones anteriores, en los Andes Bolivianos, los indicadores climáticos locales han cumplido un rol importante en la seguridad alimentaria, por su posibilidad de pronosticar el comportamiento del clima con cierto nivel de certidumbre y confianza (Claverías, 2000; FAO, 2012; Orlove et al. 2002; UNAPA, 2005; Kessel y Enriquez, 2002) y girando mayormente alrededor de la papa, principal cultivo en la región andina. En la última década, se han incrementado los esfuerzos para recuperar estos conocimientos pues podrían fortalecer la planificación agrícola del país (Chilón, 2011; Valdivia et al, 2010), esfuerzos apoyados incluso por la nueva Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia. Sin embargo, se registra testimonios sobre la pérdida del conocimiento de la expresión de los indicadores usados sin un estudio sobre las razones para ello.

El presente trabajo fue realizado, bajo ese contexto, en dos zonas del Altiplano Boliviano; en el Municipio de Umala en el Altiplano Central y el Municipio de Ancoraimes en el Altiplano Norte, en dos comunidades de cada localidad, donde los indicadores locales se utilizan para pronosticar el tiempo en el corto y mediano plazo, de acuerdo a su manifestación y en respuesta al ambiente, meses antes de iniciar la campaña agrícola. El trabajo tuvo como objetivo explorar las razones que determinan el menor uso y observación reportados de los indicadores del tiempo atmosférico a futuro. Las comunidades utilizan lo observado, para pronosticar el comportamiento de la precipitación, las mejores épocas y lugares para la siembra, la cantidad probable de producción y los eventos extremos como heladas y granizo, entre otros (Yucra, Garcia, & Gilles, 2007). Entre los indicadores más empleados están los zooindicadores, como el Zorro (Pseudalopex culpaeus), Lik´i lik´i (Ave - Vanellus andina), Sapo (Bufo bufo), y Wallata (Ave – Chlophaga melanoptera); los fitoindicadores que incluyen al Sankayu (Lobiviaca espietosa J. Porpus), Phuskalla (Opuntia boliviana Salm - Dick), T´hola (Parastrephiale pidophylla) y K'oa (Clinopodium bolivianum); los indicadores astronómicos como ser el Q´utu (pleyades), Ururi (Marte), Cruz del Sur y la Luna y los indicadores atmosféricos como los vientos, nubes, arco iris y heladas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Al iniciar la investigación se recolectó información sobre la línea base de las comunidades. Posteriormente, se aplicaron adicionalmente tres herramientas:

1) La primera encuesta fue aplicada a una muestra representativa de los habitantes de las comunidades en los municipios de Umala (181 jefes/as de hogar) y Ancoraimes (159 jefes/as de hogar), con el fin de determinar las características de las familias que mantienen el uso de indicadores naturales de predicción. En este caso se aplicó la técnica de regresión logística bivariable que contó como variable independiente a una pregunta categórica (usa o no usa indicadores). En la encuesta se incluyeron dos modelos de análisis. El primero con variables demográficas de la familia como el municipio donde viven, la edad, nivel de educación, género e ingresos adicionales del jefe/a de familia, la mano de obra disponible, área cultivada, ingresos familiares, distancia al mercado, y el número de ovejas y vacas. El segundo modelo incluyó adicionalmente el análisis sobre cinco prácticas agrícolas: uso de tractor, fertilizantes químicos, riego, estiércol, y número de variedades de papa sembradas.

2) Se aplicó una segunda encuesta a 105 jefes/as de hogar que participaron en talleres mensuales sobre indicadores en los dos municipios y se concentraron al uso y manejo de indicadores climáticos. Esta encuesta fue diseñada tratando de identificar los factores posibles para la pérdida de indicadores, tales como sociales, económicos y ambientales. Además, la encuesta trataba de establecer principalmente el conocimiento local para el uso de indicadores naturales, el grado de confiabilidad de los indicadores, cómo se obtuvo el conocimiento y si se lo difunde. Los resultados obtenidos fueron discutidos en los consecuentes

talleres para consensuar discrepancias de los mismos participantes. Es importante mencionar que los participantes de talleres, no constituyen una muestra aleatoria de la población de cada comunidad involucrada en el estudio, sino a un grupo de personas con deseos de aprender e intercambiar criterios sobre estos temas, personas que recibieron capacitación en el uso y manejo de indicadores o familias que fortalecieron sus conocimientos. Este grupo reflexionó sobre el uso de indicadores durante más de un año convirtiéndose en gente muy versada en el tema.

3) Entrevistas semi-estructuradas, realizadas a 60 informantes clave de los dos municipios. Los informantes fueron identificados, siendo aquellas personas que son reconocidas en la comunidad como mejores productores o comercializadores de los productos. La entrevista consistía en establecer su grado de conocimiento sobre indicadores, su nivel de planificación de acuerdo a sus recursos y su capacidad para aplicar varios indicadores que les permitan tomar decisiones. También se consultó sobre la existencia o confianza en otro informante clave, como referencia para generar su pronóstico, para poder establecer la red de conocimientos y manejo de los indicadores y cómo esto podrían ser otro factor para la pérdida de los conocimientos de los indicadores. Los resultados fueron utilizados para complementar la información obtenida de las dos encuestas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1, presenta la información demográfica de base de las comunidades estudiadas en Umala y Ancoraimes obtenida de Valdivia et al, (2010). Es apreciable el minifundio que prevalece en Ancoraimes en relación a Umala, lo cual tiene relación con el ingreso de las familias de ambas zonas.

Tabla 1. Estadísticas de jefes/as de hogar, en Umala y Ancoraimes, de: Valdivia et al, (2010).

Promedios variables continuas	Descripción	Umala	Ancoraimes
Edad	años	49.8	47.6
Área cultivada	hectáreas	8.8	1.5
Ingresos	Bolivianos	20.517	6.823
Distancia al mercado	Horas de viaje	1.0	2.3
Ovinos	Número de cabezas	24.7	18.1
Vacas	Número de cabezas	5.3	2.7
Variedades de papas	Numero variedades	3.8	2.1
Porcentajes variables categóricas			
Género jefe/a hogar	Porcentaje de jefes varones	81%	77%
Otros empleos	% de jefes de hogar que tienen otros ingresos	38%	36%
Tractor	Porcentaje que usa	73%	37%
Irrigación	Porcentaje de practica	8%	26%
Abonos químicos	Porcentaje que aplica	55%	37%
Estiércol	Porcentaje que aplica	43%	97%
Indicadores locales	Porcentaje que considera que redujo su uso	37%	4%

Fuente: Elaboración propia.

a. Encuesta a jefes de hogar

Los resultados del primer modelo indican que hay pocas variables demográficas relacionadas al uso de los indicadores (Tabla 2). Tampoco se percibe una relación entre la edad de un productor y el uso de indicadores. Las personas que accedieron a educación primaria y algo de secundaria, tienden a emplear menos los indicadores, que los sin educación primaria o solamente educación primaria. Por otro lado, no existe ninguna relación entre el uso de indicadores y las personas que culminaron sus estudios secundarios.

Tabla 2. Resultados de la regresión logística bivariable de la encuesta aplicada a los hogares de las comunidades involucradas en 2012. Variable dependiente = uso de indicadores *p< .05 **p<.01 ***p<.001.

Variable	Modelo 1	Modelo 2
Municipio	-4.037***	-3.825***
Edad	.019	.022
Educación 1	1.522*	-1.637*
Educación 2	-1.611	-1.952*
Educación 3	-1.435	-1.345
Mano de obra disp.	.321*	.294*
Área cultivable	.025	-.012
Área cultivada	-.003	-.002
Ingresos totales	.052	.054
Ingresos	.000	-.001
Distancia mercado	-.199	.022
Genero	.205	.182
Numero ovinos	.002	.000
Numero bovinos	.011	.036
Otras actividades	-.187	-.249
Tractor		.977
Riego		-.435
Fertilizante químico		.016
Estiércol		1.129*
Variedades de papa		.298*
Constante	-2.020	-3.946**
Coeficiente de determinación Cox/Snell	.265	292
Coeficiente de determinación Nagelkerke	413	496

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del Modelo 2 fueron muy parecidos a los obtenidos del Modelo 1. Las relaciones entre el municipio, el nivel de educación y la disponibilidad de mano de obra se mantuvieron, pero hubo una relación positiva entre el uso de indicadores, el uso de estiércol y el número de variedades de papa cultivada.

b. Encuestas aplicadas a los participantes de los talleres

En ambas regiones, los participantes de los talleres manifestaron que han percibido pérdida del uso de los indicadores en sus comunidades, pero este porcentaje subió significativamente en Ancoraimes (del 4% al 95%) y en Umala, (del 37% al 66,7%). Estos resultados coinciden con los análisis de Gilles y Valdivia (2009) y Valdivia et al. (2010), sobre una disminución del porcentaje de personas que utilizan los indicadores locales en comunidades del Altiplano Central, desde 96% en el 2000 hasta sólo 37% en 2006.

La Tabla 3 muestra que los factores más identificados en Ancoraimes para la reducción del uso de los indicadores fueron la migración y el desinterés. En Umala, en cambio, se identifica el desinterés con 26,7% como el factor más fuerte seguido de la mecanización (22%). A pesar de estos números, también se percibió que durante los talleres y en oportunidad de opinar sobre la pérdida de los indicadores, los participantes no tenían una clara explicación del porqué de dicha pérdida.

Tabla 3. Porcentaje de participantes que, en los talleres, identificaron cada factor dentro de su percepción, que ha contribuido a la pérdida de indicadores.

ANCORAIMES			UMALA		
1.	Migración	56.7%	1.	Desinterés	26.7%
2.	Desinterés	33.3%	2.	Mecanización	22%
3.	Acceso a terreno	13.3%	3.	Variabilidad climática	20.2%
4.	Minifundio	11.7%	4.	Extensión parcelas	15.6%
5.	Variabilidad climática	8.3%	5.	Vocación ganadera	8.7%
6.	Variabilidad pronostico	5%	6.	Migración	6.7%
7.	Olvido	5%	7.	Variabilidad pronostico	6.7%

Fuente: Elaboración propia.

Migración

Según los entrevistados en Ancoraimes, la migración es el factor principal que explica la perdida en el uso de indicadores. Según M.M. (21 años)"…*Yo creo que la migración es un problema para la transmisión de conocimiento ya que, los jóvenes cuándo regresan a la comunidad ya no se acuerdan de algunas costumbres que aprendieron de sus padres y solo siembran papa por necesidad…*". Por su parte N.Q. (29 años) manifiesta que *"…no manejo los indicadores naturales, porque no he aprendido, debido a que me fui a los Yungas, recién estoy volviendo a vivir en esta comunidad…".*

De acuerdo a los productores, la migración está impulsada tanto por las oportunidades fuera de la comunidad como por la falta de oportunidades dentro de ella. Se tiene por ejemplo el testimonio de C.M. (42 años) quien menciona: "…*hemos visto que a nuestros hijos ya no les interesa quedarse en la comunidad debido a la parcelación continua de la superficie cultivable. La migración se da en busca de mejores oportunidades y se va olvidando los conocimientos locales…".* En este caso se aprecia que la parcelación y el minifundio están vistos como factores que influyen en la decisión de migrar, y no, así como factores independientes que influyen sobre la pérdida de conocimientos.

En Umala la migración no se ve como el factor más importante para la pérdida del uso de indicadores porque se cuenta con mayores extensiones de terreno disponible y también por las oportunidades que representa la lechería. Sin embargo, aunque en menor grado, también se reconoce como factor de pérdida de indicadores: *"…la migración de los jóvenes afecta al uso de indicadores naturales, porque ellos se van a la ciudad y vuelven de mucho tiempo, y no practican ya su uso…."* R.M. (21 años).

Desinterés

El factor identificado como más importante para explicar la pérdida del uso de indicadores en Umala fue el desinterés (26,7%), mientras que en Ancoraimes éste fue el segundo más mencionado (33,3%). Al referirse a este factor, los entrevistados se inclinaron por describir la actitud de la gente que no utiliza los indicadores, antes que justificar la disminución de su uso. Este factor puede ocurrir como resultado del rechazo de conocimientos y costumbres ancestrales: *"…con relación a la transmisión de los conocimientos, los hijos de hoy son diferentes, la educación es de muy bajo nivel, se va perdiendo el saludo y respeto a las personas mayores, se visten diferente, escuchan músicas diferentes de otros países; existe una erosión cultural y es difícil que mantengan nuestras costumbres..."* (F.H., 75 años); "…*la mayoría de los jóvenes no maneja estos indicadores, porque se ha incorporado la ciencia y tecnología en los jóvenes"* (G.Q., 28 años). También se ha identificado el rechazo del uso de indicadores

por razones religiosas: *"…Yo no entiendo eso del uso de los indicadores naturales, porque no creo sobre la expresión de los indicadores, solo me guío por mi fe en Dios y me va bien, pero la gente no entiende; es el mejor indicador que podemos tener, porque yo soy cristiana…"* (F.M., 32 años).

Mecanización

En Umala, la mecanización de la producción es un factor de importancia para la reducción del uso de los indicadores donde fue identificado por 22% de los encuestados. Además de la preferencia por tecnologías modernas y la introducción del tractor ha cambiado los criterios utilizados para escoger el momento de sembrar, pues esta actividad se ha vuelto dependiente de la disponibilidad de la maquinaria. Es más importante en Umala porque las extensiones de terreno son grandes y el 73% de los productores utilizan y dependen de los tractores, lo que no ocurre en Ancoraimes por su elevada parcelación.

Con el uso de fertilizantes químicos y el tractor, los productores deben acumular un capital para pagar el abono y los costos de roturación. Por ejemplo, E.S. (75 años) menciona: *"…actualmente el sistema de siembra ha cambiado porque toman decisión quedando en acuerdo en reunión de la comunidad cuando hay disponibilidad de tractor, y se inicia la siembra de papa, no se da la importancia cuando sembrar, más es por costumbre…"*. T.M.C. (83 años) menciona: *"… actualmente la mayoría de las personas ya no creen en los indicadores solo es costumbre…"*. El término: "... *por costumbre…"* significa que siembran en la misma época cada año lo que es común en Umala. En este caso, ya no muestran interés en los indicadores que indican la época de siembra y comportamiento de las lluvias, sino que se planifica en función a la disponibilidad de tractor que ocurre alrededor de la misma fecha.

La tenencia de tierra

La tenencia de tierra se identifica como un factor que influye para la pérdida del uso de indicadores. Es interesante mencionar que en el caso de Ancoraimes la escasez de tierras es el problema, mientras que en Umala más bien lo es la amplia extensión de las tierras. En Ancoraimes el minifundio y la falta de acceso a terreno, además de ser una razón para que los jóvenes migren, también lo es para que las personas con poca disponibilidad de terreno no lleven adelante la producción de papa que es el cultivo alrededor del que giran los indicadores. Con poco terreno, no existen opciones para escoger dónde sembrar y entonces el uso de indicadores no está motivado. En el caso de Umala, las personas con grandes extensiones se interesan más en obtener recursos para el pago de la mano de obra y los insumos para la producción que en verificar lo expresado por los indicadores.

Clima

Aunque el 60% de los productores en Ancoraimes y el 97.8% en Umala consideran que la variabilidad del clima influye en la expresión de los indicadores, el porcentaje no es el mismo cuando a los participantes se les pregunta si piensan que esta explica la perdida de indicadores. En Ancoraimes sólo el 8.3% y en Umala el 20.2 % de los encuestados manifiestan que la variabilidad climática fue un factor importante para la reducción del uso, menor confiabilidad o en este caso para la pérdida de los indicadores. C.M. (24 años) manifiesta *"…La pérdida de los indicadores se da por la variación del clima, debido a que los animales y plantas están migrando de los lugares de origen..."* y F.M. (32 años) dice *"…Ya no es necesario hacer uso de los indicadores naturales, porque no funcionan, ya no es como antes, porque durante estos últimos años existe la variación del clima, los pájaros, los nidos, las tholas ya no son seguras, si hacemos el seguimiento a los indicadores, los cultivos producen mal…"*.

Más específicamente en Ancoraimes, el 95% de los entrevistados consideran que la forma de expresión de los indicadores no ha cambiado, pero en Umala sólo el 26.5% dijeron que los indicadores siguen iguales, mientras que un 60% de ellos expresan el término *"más o menos"* expresando una preocupación por la variabilidad.

Otros factores mencionados

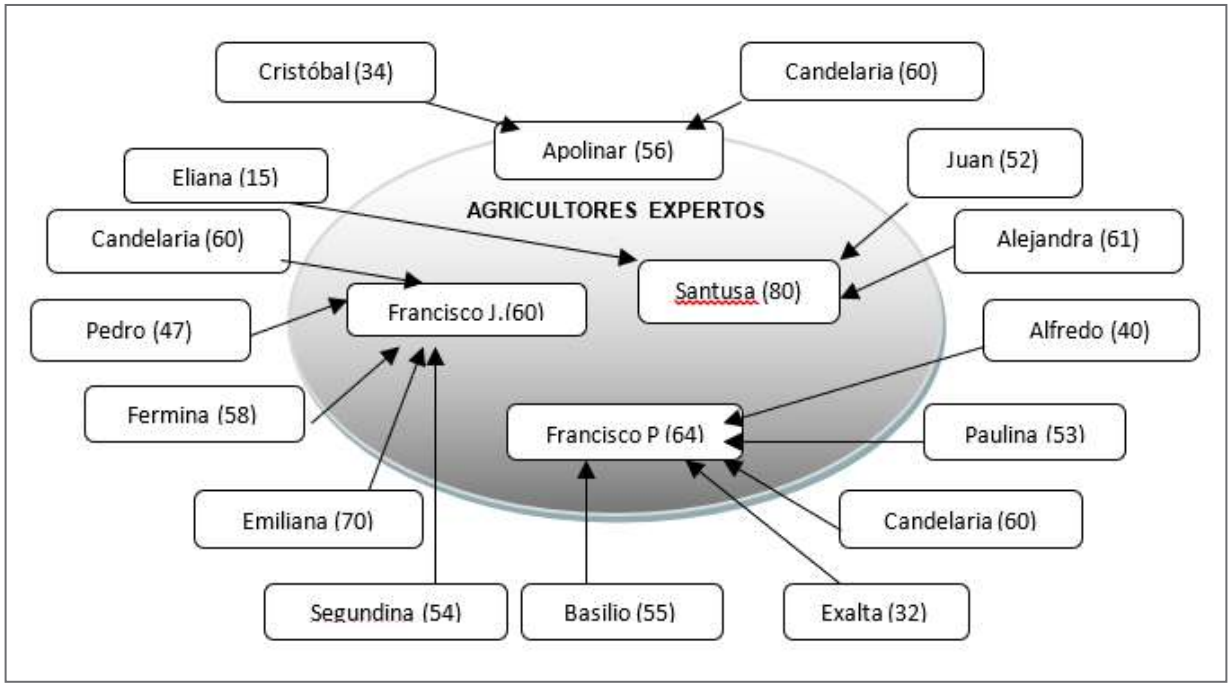
Otros factores indicados para la pérdida o reducción del uso de indicadores fueron; la variabilidad de pronóstico y el cambio de sistema productivo hacia la ganadería. En Ancoraimes, el 5% y en Umala el 6.7% de los entrevistados mencionaron que se generó gran variabilidad en la forma de pronosticar y también menciona poca confiabilidad. Por ejemplo E.S. (75 años), un experto local en indicadores sostuvo que *"..hoy en día los indicadores se manifiestan en cualquier momento, antes se cumplía (manifestaban) los indicadores en su momento y se cumplían de acuerdo a las estaciones, ahora existe mucha variación, ya no es igual. El interés por los indicadores se ha perdido por la variación del clima, por ejemplo, cuando florecía la Thola, era en su momento, pero hoy en día, en cualquier momento se presenta los cambios del clima y la thola florece más antes o después, ya no es creíble el pronóstico…".*

Por otra parte, un 8.7% de los encuestados en Umala mencionan a la ganadería como factor de pérdida del uso de los indicadores. Por ejemplo, J.C. (49 años) indica que*"…los indicadores se fueron desplazando, acentuándose más la ganadería, sembrando alfalfa como forraje para el ganado lechero, invadiendo las zonas donde crecían naturalmente las plantas y se ocultaban o hacían sus nidos los animales..".*

c. Red de información climática local

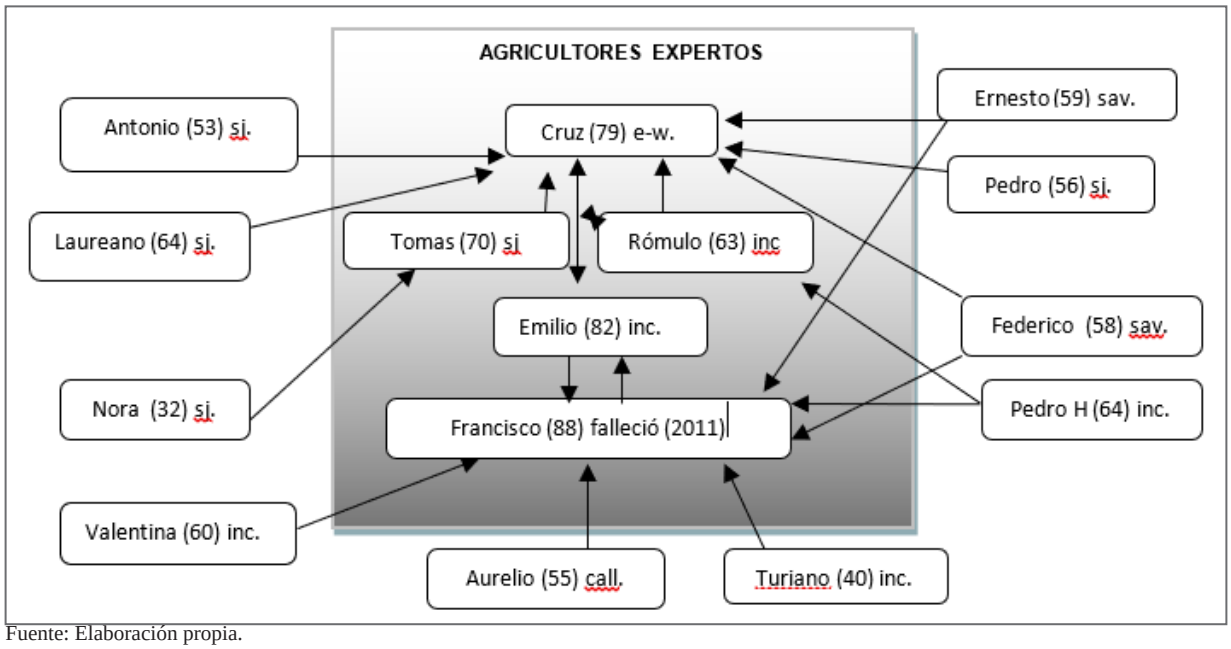
De los resultados obtenidos, también se identificó que las redes de intercambio de pronóstico climático son muy importantes para el mantenimiento del uso de los indicadores, aunque cada zona muestra su característica particular. En Ancoraimes, cada comunidad forma su propia red, pues están distribuidas a diferentes altitudes. Los productores que son parte dependen de los conocimientos de los expertos, quienes son de edades variadas. Como ejemplo, la comunidad de Calahuancane Baja, (Figura 1) tiene 4 personas de confianza, que mantienen los conocimientos y observan la expresión de los indicadores para pronosticar el clima y manejar el ciclo productivo.

Figura 1. Red de información climática en Ancoraimes, Comunidad Calahuancane.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Red de información climática en Umala. Incluye expertos de varias comunidades.

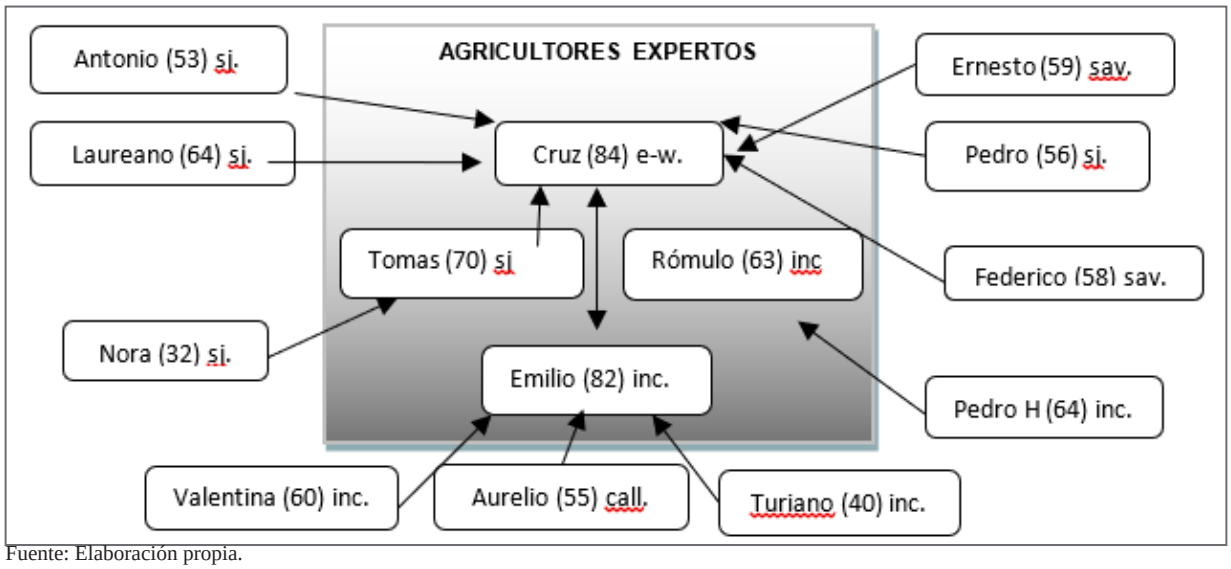


Fuente: Elaboración propia.

En las comunidades de Umala, (Figura 2), bajo las condiciones ecosistémicas homogéneas del Altiplano Central, la red incluye a expertos de todas las comunidades. Sin embargo, la edad de los expertos es mayor que en Ancoraimes, lo que aumenta la fragilidad de la red y el riesgo para el uso continuado de los indicadores. Esto confirma que en la zona, siendo el desinterés el principal factor de pérdida del uso de los indicadores y por ello no existe renovación de expertos.

Como ejemplo se menciona que, al inicio de la investigación, en Umala los expertos eran cinco personas de mayor edad y de diferentes comunidades (Figura 2). Sin embargo, el fallecimiento de uno de los expertos no determinó un remplazo, sino que la red se reorganizó como muestra la Figura 3 alrededor de los cuatro expertos restantes. Así, en caso de desaparecer ellos, la red corre riesgo de simplemente desaparecer.

Figura 3. Red de información climática actual. La red ha sido reorganizada



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que es evidente que el uso de los indicadores locales para pronosticar el tiempo y organizar la campaña agrícola está disminuyendo, a pesar de que, en este momento de crisis climática y productiva, estos conocimientos serían más útiles para los agricultores. También se vislumbra una disminución en su expresión, aunque esto fue más débilmente identificado.

Las razones para que el uso de los indicadores locales haya disminuido se encuentran en un amplio abanico económico, cultural y ambiental entre los que, sorprendentemente, la variabilidad climática no se encuentra como preponderante. Adicionalmente, el medio productivo también influye heterogéneamente a este problema. Las condiciones sociales como la migración, la educación y el cambio de valores parecen ser especialmente importantes en las comunidades del Altiplano Norte, donde la falta de tierra y de oportunidades, incentivan a los pobladores a buscar alternativas en zonas urbanas o a tratar de educarse para migrar en condiciones más favorables. De esta manera se dificulta la transmisión de los conocimientos, pues el modo tradicional de hacerlo es informal, normalmente en conversaciones en el campo donde los abuelos, padres e hijos trabajan juntos. Si los hijos están en la escuela o fuera de la comunidad, no cuentan con el tiempo para aprender de sus padres y/o abuelos. La migración, incluso por periodos transitorios, limita la capacitación sobre las observaciones en los momentos importantes para ello, si estos no coinciden con la presencia del migrante en la comunidad.

El desinterés de parte de los jóvenes por la cosmovisión andina, creencias y rituales ancestrales, es importante para ambas zonas. Los expertos en indicadores incluyen en sus lecturas también rituales tradicionales. Ya sea porque consideran esto obsoleto o pagano, el uso de indicadores es parte de un sistema de creencias que muchos consideran no válidos.

En ambas zonas, los cambios en los sistemas de producción han reducido el valor de los indicadores en sus estrategias de producción. Como se mencionó, la mayoría de los indicadores se relacionan con el cultivo de papa. Entonces, ya sea por minifundio (Altiplano Norte) o por mejores ingresos por la lechería (Altiplano Central), muchos agricultores han dejado de producir papa por lo que los conocimientos relacionados a su producción tienen menos interés. Adicionalmente, muchos productores no tienen interés en utilizar los indicadores locales, porque no tienen la capacidad de variar la época de siembra o no tienen las semillas de variedades que pueden aprovechar en distintos momentos o lugares de siembra.

En el caso del Altiplano Central, también destaca la necesidad de definir la época de siembra en función a sus recursos, pues esta actividad depende de reservar un tractor, comprar fertilizantes y semillas o contar con mano de obra antes de decidir cuándo sembrar. Así, los indicadores que indican el mejor momento para siembra pasan a un nivel secundario.

La variabilidad y el cambio climático podrían favorecer la pérdida o reducción de la expresividad de los indicadores. Se conoce que la producción agrícola es afectada por el cambio en el clima, entonces es posible que estos cambios también afecten el comportamiento de los indicadores, especialmente los bióticos. Los modelos de comportamiento climático indican que las temperaturas aumentan y que las precipitaciones varían más que antes (Thibeault et al., 2010). Entonces es posible que los indicadores no se expresen en las épocas o lugares donde, según las costumbres, debían expresarse. Los indicadores atmosféricos y/o astronómicos también podrían estar variando, sin embargo, no existen reportes que demuestren esto y, de hecho, los agricultores tampoco identifican a este factor como el de mayor importancia para el desuso o pérdida de los indicadores.

Finalmente, en ambas zonas la transmisión de los conocimientos se genera a través de redes de información, que se muestran vulnerables, considerando que gran parte de la información depende de pocas personas,

generalmente mayores, que por su edad y reducción de su capacidad física de recorrer distancias u observar detalladamente a los indicadores, llegará a romper el ciclo de la información, y perder los conocimientos de pronóstico y manejo del ciclo agrícola.

4. CONCLUSIONES

Los resultados presentados muestran que los indicadores locales del clima anual están entrando en desuso, más que en pérdida, fundamentalmente debido a factores sociales, culturales y económicos. Aunque el clima y su variabilidad obviamente influyen en su expresión, no se constituyen en el factor más importante para su desuso y/o pérdida. Por tanto y siendo que los factores son modificables, es posible plantear algunas acciones para mantener su uso y reducir su pérdida si existiera. Existen tres acciones posibles que incluyen: crear nuevos espacios formales para la transmisión de estos conocimientos, crear la capacidad de utilizar los indicadores y realizar más investigaciones sobre el uso y manejo de indicadores.

En primer lugar, el crear espacios formales para la transmisión de estos conocimientos, podría inducir a que estos se consideren más seriamente y a que sean valorizados, lo que reduciría su vulnerabilidad. Luego, el mejorar el acceso a crédito o a recursos para la agricultura y mejorar la diversidad de semillas disponible motivaría a las familias a usar los indicadores pues necesitarían de este conocimiento para llevar adelante su producción.

Queda establecida también, la importancia de documentar los conocimientos locales, los que, al estar en conocimiento en pocas personas, corren un fuerte riesgo de simplemente desaparecer. Se requiere tomar acciones para comprender cómo funcionan los indicadores y como utilizarlos en los micro ecosistemas diversos del Altiplano.

5. REFERENCIAS

Chilón, E. 2011. Conocimiento Ancestral Bioindicadores Locales: Ciencia y Alcances (pp. 1–5). La Paz - Bolivia.

Claverías, R. 2000. Conocimientos de los campesinos andinos sobre los predictores climáticos: elementos para su verificación. Expuesto en el Seminario-Taller. Puno.

FAO. 2012. Buenas Prácticas: Bioindicadores Bolivia TCP/RLA 3112, TCP/RLA 3217 Asistencia a países andinos en la reducción de riesgos y desastres en el sector agropecuario". http://www.fao.org/climatechange/68068/es/

Gilles, J. L., y C. Valdivia. 2009. Local Forecast Communication in the Altiplano. Bulletin of the American Meteorological Society 90, no. 1, 2009: 85-91.

Kessel, J. van, y P. Enríquez. 2002. Las señas. (R. Díaz Quezada, Ed.) (AbyaYala, pp. 309). Quito - Ecuador: AbyaYala, Quito.

Orlove, B. S., J. C. H. Chiang, y M.A. Cane. 2002: Ethnoclimatology in the Andes: a cross-disciplinary study uncovers a scientific basis for the scheme Andean potato farmers traditionally use to predict the coming rains. American Scientist 90:428(8).

Thibeault, J., A. Seth y G. Wang. 2010. Mechanisms of Summertime Precipitation Variability in the Bolivian Altiplano: Present and Future. International Journal of Climatology. DOI: 10.1002/joc.2424.

UNAPA. 2005. Nuestros bioindicadores naturales. Conozcámoslos y aprendamos de ellos. Cartilla de difusión para hacerle frente a riesgos naturales-Ingavi. Unión de Asociaciones Productivas del Altiplano.

Valdivia C, Seth A, Gilles J, García M, Jiménez E, Cusicanqui J., Navia F. y Yucra. E., 2010. Adapting to Climate Change in Andean Ecosystems: Landscapes, Capitals, and Perceptions Shaping Rural Livelihood Strategies and Linking Knowledge Systems. Annals of the Association of American Geographers 100:818 - 834.

Yucra, E., M. Garcia, y J. Gilles, 2007. Evaluación de los indicadores climáticos tradicionales como herramienta de alerta temprana. Reporte Proyecto. La Paz - Bolivia.

PRÁCTICAS TRADICIONALES EN TRANSICIÓN: USO Y MANEJO DE SUELOS EN EL ALTIPLANO NORTE Y CENTRAL

Traditional Practices in Transition: Land Use and Management in the Northern and Central Highlands

Gavi Alavi[1], Magalí Garcia [2], Alex Blanco[3]

RESUMEN

En la región andina, prácticas tradicionales o locales fundamentales para la sostenibilidad y resiliencia agropecuaria, están siendo combinadas o reemplazadas por tecnologías modernas. Este estudio, realizado en comunidades del Altiplano Norte y Central, evidencia cambios en estas prácticas: el incremento en el uso de tractores para preparar terrenos desde 1990 en zonas planas principalmente, mientras que la fertilización mineral, cada vez más común, prioriza los resultados a corto plazo a la sostenibilidad. Asimismo, la diversidad de cultivos, especialmente de variedades de papa, está disminuyendo. Estos cambios, impulsados por la interacción de factores ambientales y socioculturales, representan una amenaza no solo para la salud del suelo sino para la sostenibilidad de estas comunidades.

Palabras clave: Practicas locales, Uso de la tierra, Manejo de suelos, altiplano boliviano, Andes

ABSTRACT

In the Andean region, traditional or local practices essential for agricultural sustainability and resilience are increasingly being combined or replaced by modern technologies. This study, conducted in communities of the Northern and Central Altiplano, highlights significant shifts in these practices: the rising use of tractors for land preparation since 1990, particularly in flat areas, while mineral fertilization is increasingly common, prioritizing short-term productivity at the expense of long-term sustainability. Additionally, crop diversity, especially among potato varieties, is declining. These changes, driven by the interplay of environmental and sociocultural factors, represent a significant threat to soil health and the long-term sustainability of these communities.

Keywords: Traditional practices, Land use, Soil management, Bolivian Altiplano, Andes
https://doi.org/10.53287/djnc3599nz36h

1. INTRODUCCIÓN

Los servicios ecosistémicos brindados por el suelo son esenciales para la vida en el mundo, como la filtración del agua, ciclo de nutrientes, regulación de la temperatura, y ser el hábitat de muchas especies entre los más relevantes. El suelo ha sido objeto de tanto de procesos naturales como de presiones antropogénicas para el aprovechamiento de estos servicios, resaltando su uso en agricultura y en la crianza animal. Bajo el contexto de cambio climático y degradación de ecosistemas, los suelos se convierten en una herramienta fundamental. El suelo es el segundo reservorio más grande de carbono terrestre, solo después de los océanos, al representar un tercio del carbono global (Gardi et al., 2014). El uso y manejo sostenible de suelos no solo conserva este recurso, sino que, en un escenario de cambio climático, podría prevenir la pérdida de grandes cantidades de carbono y consecuentemente la reducción de gases de efecto invernadero (GEIs) en la atmósfera (Lal, 2004).

[1] Investigadora asociada IIDEPROQ, - [2] Investigadora IIDEPROQ - [3] Consultor Proyecto MARCLOC

Por las condiciones climáticas y topográficas adversas de los Andes, los suelos son frágiles, con limitaciones en términos de fertilidad y retención de humedad (García et al., 2014). Además, la región andina posee una extensa historia de ocupación humana y de cambio de paisajes por actividades antropogénicas. El crecimiento constante de la población, junto con factores climáticos, socioeconómicos y culturales, ha ejercido una presión significante sobre los suelos (Brandt & Townsend, 2006). En los Andes, los pequeños agricultores han manejado tradicionalmente sus suelos sustentándose en conocimientos locales transmitidos de generación en generación. Sin embargo, en las últimas décadas, estos saberes se han combinado con tecnologías científicas. Al presente, el manejo de suelos en general enfrenta desafíos climáticos y socioeconómicos, poniendo en riesgo las practicas sostenibles en favor de resultados a menores plazos (Pestalozzi, 2000).

En los Andes, los sistemas agrícolas combinan especies nativas e introducidas. Estos sistemas se complementan con la crianza de camélidos nativos, ganado vacuno, y ovino principalmente (Fonte et al., 2012). En el Altiplano norte boliviano, el aumento de temperaturas ha cambiado los cultivos tradicionales hacia opciones de ciclo corto y mayor valor comercial (Taboada et al., 2014; Valdivia et al., 2013), intensificando la producción y aumentando la presión sobre el suelo. Prácticas tradicionales como el uso de estiércol están en riesgo debido a la escasez de mano de obra (Gilles et al., 2013).

Winkler Prins & Barrera-Bassols (2004) y Sandor & Furbee (1996) mencionan que culturas indígenas de todo el mundo tienen un conocimiento sustancial y sistemático sobre suelos. Los Andes no difieren de este conocimiento. Gilles et al. (2013a) ratifica que el manejo sostenible de suelos en los Andes se fundamenta en conocimientos locales y tradicionales que han sido transmitidos a través de las generaciones. Este saber empírico, aunque poco documentado, complementa el conocimiento científico, permitiendo un manejo más específico y sostenible (Barrera-Bassols et al., 2006; Sandor & Furbee, 1996).

Los agroecosistemas andinos usan estrategias acondicionadas al entorno sociocultural y ecosistémico. Por ejemplo, en él, se encuentran estructuras antiguas adaptadas a topografías difíciles conocidas como terrazas o andenes que permiten conservar agua y suelo, mejorando la fertilidad. Fonte et al. (2012) y Pestalozzi (2000) han registrado terrazas de hace 15 siglos en el Valle del Colca (Perú), implicando el conocimiento de códigos constructivos y agrícolas muy resistentes a las duras condiciones altoandinas. En el altiplano boliviano, se registraban prácticas de rotación tradicional de cultivos, en las que se cultivaban papa (cultivo principal) y cereales (cebada, avena, quinua, cañahua) por 2-3 años, seguidos de 5-10 años de descanso (Coûteaux et al., 2008; Pestalozzi, 2000). Fonte et al. (2012) y Pestalozzi (2000) mencionan también prácticas que todavía persisten como las aynoq'as que consisten en cultivar sectorialmente un determinado espacio por unos cuantos años y luego dejar estos suelos en descanso; y las p'urumas (suelos en descanso) que son suelos que se cubren espontáneamente de vegetación en periodos de 3-15 años y permiten la restauración de la fertilidad e incremento en la productividad. Sin embargo, son escasas las claras referencias sobre el cambio del uso del suelo y del manejo de la fertilidad, por lo que, bajo todo lo expuesto, esta investigación pretende mostrar temporal y cualitativamente el uso y manejo de suelos de las últimas tres décadas, llevado por pequeños agricultores en comunidades del Altiplano Norte y Central de Bolivia en base a recolección participativa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

Las áreas de estudio se localizan en cuencas del altiplano norte (Huanquisco) y altiplano central (Umala) de la zona altoandina boliviana (Mapa 1 del Capitulo 1).

Huanquisco es parte del área circunlacustre del Lago Titicaca con un rango altitudinal de 3800 a 4200 msnm. Umala con un rango altitudinal de 3800 a 4200 msnm. Por un lado, la cuenca Huanquisco se caracteriza por pendientes pronunciadas en la parta alta y una planicie en abanico extendida a lo largo de la parte baja circunlacustre. En esta cuenca existen bofedales en la parte alta y el lado este de la cuenca. Es una cuenca de vocación agropecuaria siendo la papa el principal cultivo. La parte alta y media combinan su actividad agrícola con la ganadería, principalmente de camélidos y ovinos. En la parte baja, además de la papa, la cebolla y arveja son cultivos comerciales de gran relevancia. Por otro lado, Umala se caracteriza como una planicie. Es una cuenca de vocación agrícola y su principal cultivo es la papa, aunque gran parte del suelo también se utiliza para la producción de forraje.

El clima en Huanquisco se caracteriza por temperaturas máximas que oscilan entre 10-15 ºC durante todo el año, mientras que la temperatura mínima varía entre -3 ºC en julio y 5 ºC en febrero y laa precipitación anual presenta rangos entre 450-560mm. En Umala, las condiciones son más secas, las temperaturas máximas oscilan entre 15 y 20 ºC, permaneciendo en ese rango durante todo el año, en cambio, la temperatura mínima fluctúa considerablemente más entre -8 ºC en julio y 5 ºC en enero, con una precipitación anual promedio de 300mm.

2.2. Recopilación de información

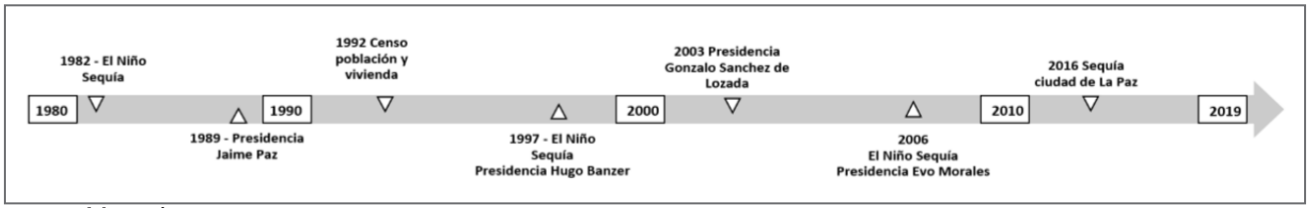
Para la recolección de la información, se utilizaron entrevistas semiestructuradas, entrevistas no estructuradas, y conversaciones abiertas, permitiendo a los participantes expresar experiencias y profundizar en los temas de cambio de uso y manejo de suelo. Para ello se identificaron grupos focales, con participantes claves de ambas cuencas que cuentan con conocimiento relevante sobre el suelo y entonces se registraban en notas de campo y planillas de encuestas semiestructuradas.

En cuanto a las entrevistas semiestructuradas (ESE2019), se diseñaron para determinar 1) el cambio temporal del uso de suelo; y 2) el cambio temporal en el manejo de suelo del periodo 1980-2020. Ambas incluyeron una línea de con hitos históricos políticos, sociales y climáticos (Figura 1) para estructurar los cambios observados por los agricultores.

1) Cambio temporal del uso de suelo: Las entrevistas incluyeron preguntas sobre cultivos (papa, cebada, avena, quinua, pastura, y años de descanso) y ganadería (ovinos, camélidos y vacunos), poniendo como referencia de tiempo, los hitos identificados. Asimismo, se abordaron preguntas sobre plagas y enfermedades, incluyendo preguntas específicas sobre su presencia en cultivos y animales.

2) Cambio temporal en las prácticas de manejo de suelo: Se incluyeron preguntas sobre el uso de fertilizantes orgánicos (estiércol de llama, oveja o vacuno) y químicos (urea, triple fosfato diamónico y nitro-fosca) igualmente que en el párrafo anterior. También, se incluyeron preguntas sobre métodos de preparación del suelo.

Figura 1. Línea histórica de eventos políticos-sociales y climáticos del periodo 1980-2020



Fuente: Elaboración propia.

La metodología de lista libre por década se aplicó a 12 agricultores. Las respuestas se tabularon por década (1980-2020). Las menciones se agruparon por década y se calculó la frecuencia relativa de cada cultivo por el porcentaje de menciones sobre el total. Esto permitió comparar la importancia de los cultivos a lo largo del tiempo según los agricultores. Adicionalmente, se empleó y complementó la información con tres encuestas:

1) Encuestas sobre sistemas productivos (proyecto MARCLoc, 2014-2015), enfocadas en plantas cultivadas, herramientas y productividad. Se obtuvo información sobre preparación, rotación y fertilización de suelos (SP2014)

2) Encuesta "Redes de Información Climática y Agrícola Bolivia 2019 (Fundación McKnight), aplicada en regiones andinas de Bolivia, incluyendo La Paz, Cochabamba y Chuquisaca. Se obtuvo información relevante al manejo de suelos en la cuenca de estudio (RIC2019)

3) Cuestionario de estrategias de vida 2022-2023, desarrollado en Ancoraimes y Umala dentro del proyecto "Manejo de Riesgos del Clima". Se obtuvo información relevante a manejo y uso de suelos (CE2023)

La disponibilidad de información por año se desglosa en la Tabla 1

Tabla 1. Disponibilidad de información por año, Altiplano (Norte y Central) y encuesta

Año	Altiplano	Municipio	Comunidades	Encuesta	Nro de encuestas
1980	Norte	Ancoraimes	Chojñapata, Calahuancani, Chinchaya	ESE2019	12
1990	Norte	Ancoraimes	Chojñapata, Calahuancani, Chinchaya	ESE2019	12
2000	Norte	Ancoraimes	Chojñapata, Calahuancani, Chinchaya	ESE2019	12
2010	Norte	Ancoraimes	Chojñapata, Calahuancani, Chinchaya	ESE2019	12
2014	Norte	Ancoraimes	Chojñapata, Calahuancani, Chinchaya	SP2014	29
2019	Norte	Ancoraimes	Chojñapata, Calahuancani, Chinchaya	RIC2019	7
2019	Central	Umala	Incamaya, Iñacamaya, Sabilani	RIC2019	12
2020	Norte	Ancoraimes	Chojñapata, Calahuancani, Chinchaya	ESE2019	12
2023	Norte	Ancoraimes	Chojñapata, Calahuancani, Chinchaya	CE2023	47
2023	Central	Umala	Incamaya, Iñacamaya, Sabilani	CE2023	23

Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

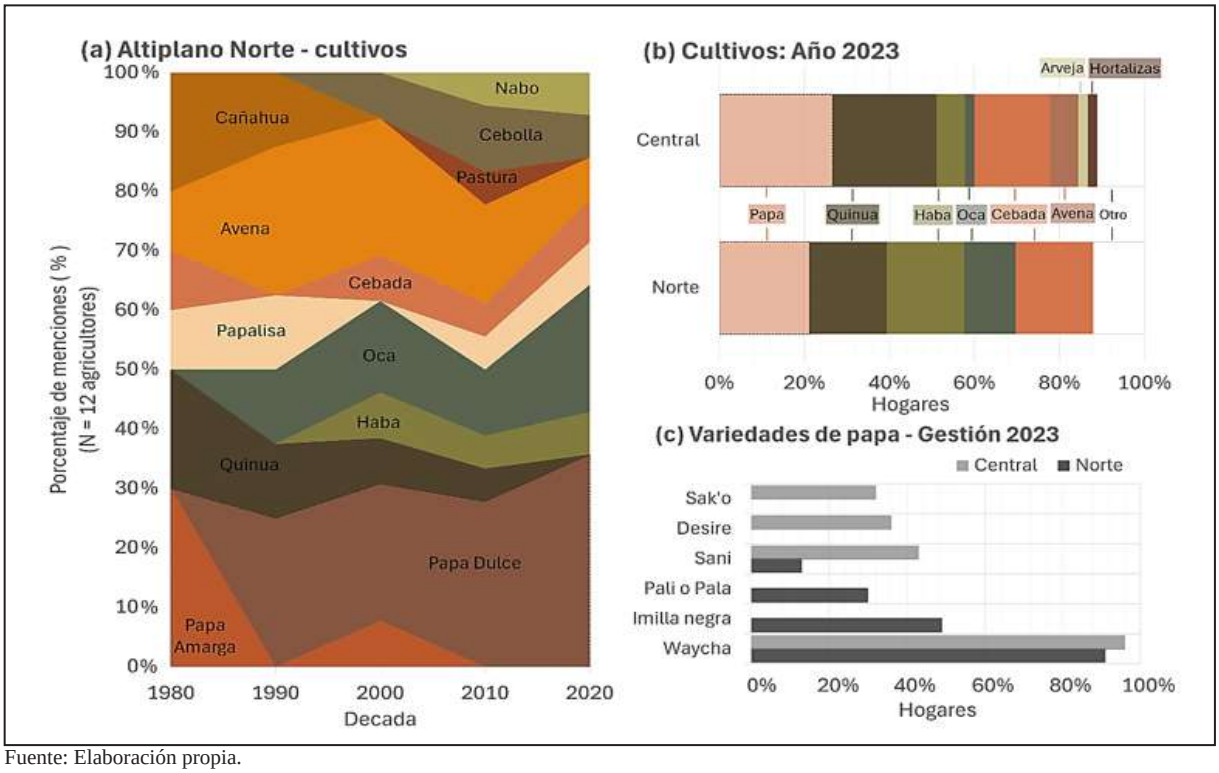
La información recopilada fue sintetizada y analizada, con el fin de obtener resultados de índole cualitativo relacionados con los cambios en el uso y manejo de suelos en las últimas décadas en el Altiplano Norte y Central de Bolivia.

3.1. Cambio temporal en el uso de suelo

La papa es el cultivo principal entre 1980 y 2020 siendo cultivada por alrededor del 30% de las familias en Huanquisco (Figura 2, izquierda). Las variedades blancas cultivadas han sufrido fluctuaciones en desmedro de las variedades amargas. Desde los 1990s, la papa blanca o dulce ha ganado protagonismo, mientras que disminuyó el cultivo de papa amarga (resistente a heladas) debido a las ventajas técnicas y comerciales de la papa dulce, como su resistencia a plagas, buen desempeño con fertilizantes y menor requerimiento de mano de obra. Esta información concuerda con lo mostrado por Taboada et al., (2014), quienes

demostraron que la economía de las comunidades de Huanquisco se organiza a partir de la producción de la papa Waycha, que se toma tras la producción de papa amarga y oca. En CE2023 se encontró que la variedad Waycha, predominaba en 2023 entre las variedades de papa, siendo cultivadas por más del 80% de los hogares que cultivan papa en ambas zonas (Figura 2, derecha abajo). Otras variedades como Imilla negra son más comunes en el Norte, mientras que variedades como Sak'o, Desire y Sani tienen una menor distribución y están más localizadas en el Altiplano Centro.

Figura 2. Cambio temporal de uso de suelo en Huanquisco (Altiplano Norte) durante el periodo 1980-2020. (a) Porcentaje de agricultores que cultivan cada cultivo por década (valores expresados como porcentaje de agricultores que mencionaron el cultivo en la década correspondiente). N = 12 informantes (total). (b) Comparación de cultivos en el Altiplano Norte y Altiplano Central (porcentaje de agricultores por cultivo y región). (c) Variedades de papa cultivadas en Altiplano Norte y Central (porcentaje de agricultores que declararon cultivar cada variedad).



Fuente: Elaboración propia.

Entre los otros cultivos reportados, la avena va siendo remplazada por las familias en los últimos diez años, al igual que los granos andinos como la quinua y la cañahua, que eran comunes en los años 80 y 90.

Otros cultivos como la oca, haba, cebolla y nabo han evidenciado un incremento en años recientes probablemente por las mejores condiciones en cuanto a temperatura percibidas en estas regiones y su relación con el mercado.

Si los cambios en el uso y manejo de suelos dependen de factores climáticos, es importante considerar que proyecciones climáticas realizadas en esa región, (Valdivia et al., 2013) indican que las precipitaciones serán menores y las temperaturas más altas causando mayor evapotranspiración. Asimismo, Garcia et al., (2023) reportan ascendencias persistentes en las Temperatura máximas, mayormente debido a concentración de los días lluviosos y mayor cantidad de insolación directa, condiciones que repercutirían directamente en el contenido de humedad del suelo.

Garcia et al. (2023), reportan que la precipitación a escala anual no muestra cambios significativos, pero que se presenta un descenso entre octubre y diciembre (inicio de actividad agrícola), concentrándose en enero y febrero. En términos de temperatura, tanto las máximas (a lo largo del año) y mínimas (sin significancia estadística) están en aumento, y aunque las heladas son menos limitantes por el incremento de la temperatura mínima (Valdivia et al., 2013) durante el verano, en invierno y en los meses de transición, su persistencia es significativa. Especialmente el incremento en las temperaturas, ha promovido los cultivos menos rústicos, aunque con mayor valor en mercado, así como la introducción de pequeñas hortalizas bajo riego en invierno.

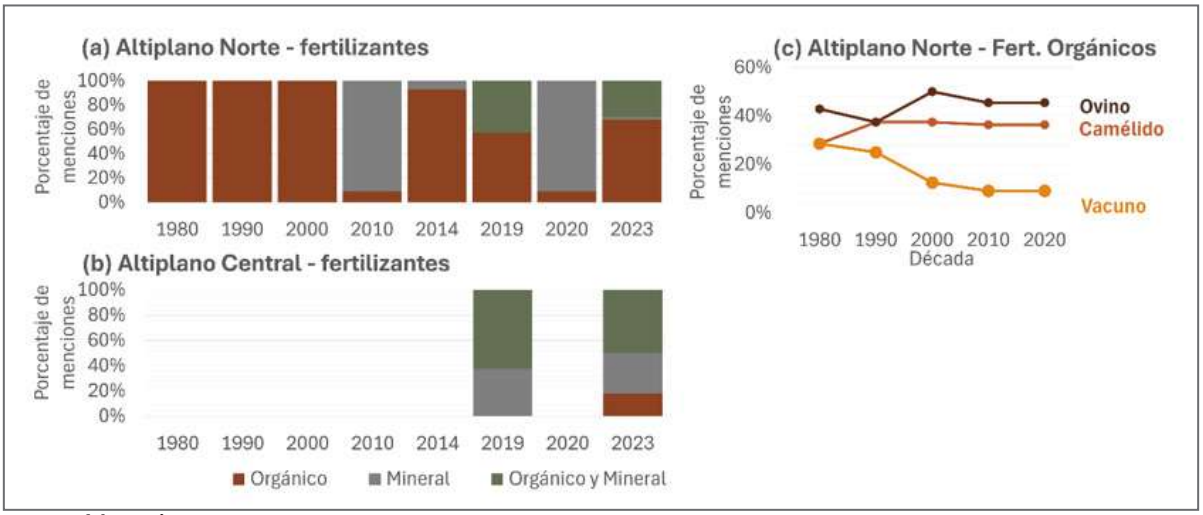
3.2. Cambio temporal en el manejo de suelo

Las prácticas de manejo de suelos analizadas son el uso de fertilizantes y la preparación de suelos. La Figura 3 (izquierda) muestra que en el altiplano Norte, la importancia de la fertilización orgánica ha disminuido progresivamente, mientras que, en los últimos años, se registra el poco uso de fertilizantes orgánicos en el Altiplano Central, no contándose con información anterior para esta zona.

La tendencia en el incremento de uso de fertilizantes minerales se debe principalmente a la facilidad en mano de obra para su aplicación y los resultados instantáneos en la productividad. La mayor frecuencia de uso de fertilizantes minerales se ha registrado en la cuenca baja de Huanquisco (Chinchaya) donde la actividad agrícola es más intensiva (Gilles et al., 2013).

En cuanto al tipo de fertilizante orgánico, la información disponible en el Altiplano Norte (Figura 3, derecha) muestra que la aplicación de estiércol vacuno ha disminuido, el estiércol de camélido se mantiene constante y el estiércol de ovino se ha incrementado desde 1990.

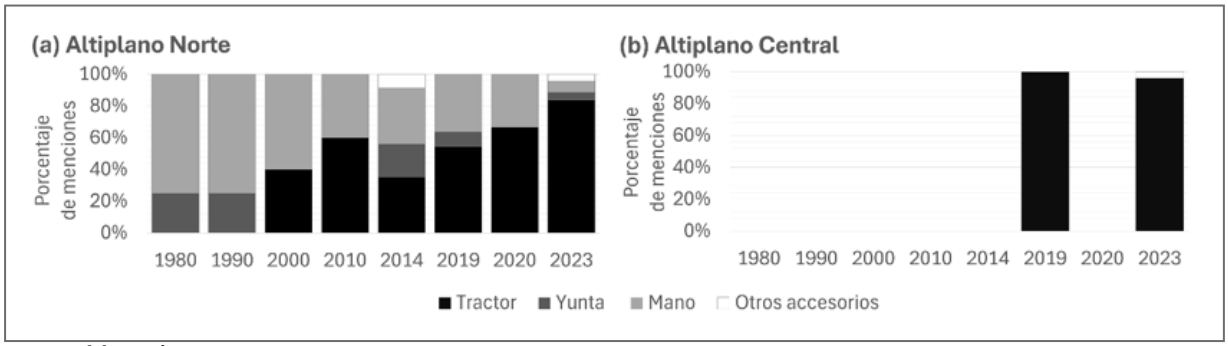
Figura 3. Uso de fertilizantes en el Altiplano Norte (Izquierda arriba) y Central (Izquierda abajo). Uso de tipos de fertilizantes orgánicos en el Altiplano Norte (Derecha arriba).



Fuente: Elaboración propia.

En relación con la preparación del terreno, se muestra un aumento mayoritario en la utilización de tractores en zonas con pendientes menores como lo es Umala del Altiplano Central (Figura 4) y las planicies del Altiplano Norte, donde la utilización de la tracción animal ha disminuido entre los agricultores consultados, siendo que su uso se restringe a las áreas con pendientes pronunciadas, donde la preparación con yunta o manual de suelos son las únicas opciones.

Figura 4. Uso de herramientas/maquinaria para la preparación del terreno para el cultivo en el Altiplano Norte y Central.



Fuente: Elaboración propia.

Gilles et al. (2013) mencionan que los cambios en los sistemas iniciaron en los años 90, lo que concuerda con la forma de preparar el suelo principalmente en el Altiplano Norte. También se sugiere que el uso de tractor o fertilizantes seria mayor si el costo de estos no sería tan elevado para los agricultores de pequeña escala. Simultáneamente, factores como la pobreza y la falta de tierra complicarían el mantenimiento de prácticas tradicionales para la gestión de suelos, la rotación de cultivos y sistemas de descanso (aynoq'as). Muchas de las prácticas de manejo y uso de suelos siguen una tendencia de abandono lo que, según Gilles et al. (2013) y Orlove & Godoy (1986) se debe a diversos factores como inconvenientes financieros, técnicos e institucionales, brechas de información y conocimiento, presión demográfica para el uso de la tierra, dinámicas de migración permanente y temporal de agricultores a centros urbanos y nuevas formas de comercialización y estímulos para la generación de ingresos.

Entonces, la implementación de tecnologías modernas ha relegado progresivamente las prácticas tradicionales locales. Entre estas, el uso de semillas mejoradas ha disminuido la diversidad de variedades de papa, destacándose un cambio significativo desde 1985 (Taboada et al., 2014). Asimismo, el uso intensivo de tractores en zonas planas exige especial atención por la fragilidad de los suelos. Por otro lado, la reducción gradual en la aplicación de estiércol, fundamental para mantener la calidad del suelo, plantea la necesidad de evaluar el impacto de la práctica de aplicación de fertilizantes comerciales.

4. CONCLUSIONES

Conjuntamente con las tendencias globalizadoras, los sistemas productivos de las zonas estudiadas que incluyen a la papa como el cultivo principal, han remplazado a las variedades amargas con variedades dulces o más comerciales, siendo la variedad Waycha la más común probablemente debido a su resistencia a plagas, y buena respuesta a los fertilizantes minerales. Sin embargo, esta variedad, es sensible a las heladas que aún afectan algunos periodos de la época de cultivo, y es demandante en nutrientes, lo que fuerza al uso de fertilizantes minerales reduciendo la aplicación de fertilizantes orgánicos. Este proceso globalizador también ha provocado que la diversidad de cultivos de hace 40 años haya disminuido con baja presencia de avena, quinua y cañahua. En algunas áreas con condiciones climáticas más benignas, como las planicies circunlacustres del Altiplano Norte se han introducido cultivos como la haba, cebolla y nabo, debido al incremento en las temperaturas tanto máxima como mínima, aunque, los eventos de helada no han desaparecido por lo que aún son una amenaza para los cultivos sensibles.

El uso de fertilizantes minerales ha incrementado especialmente en áreas de agricultura intensiva, como la cuenca baja de Huanquisco, debido a su facilidad de aplicación y resultados inmediatos en productividad. Asimismo, el uso de estiércol vacuno ha disminuido,

mientras que el estiércol de camélidos se mantiene constante y el de ovino ha incrementado desde 1990. En cuanto a la preparación del suelo, el uso de tractores se ha incrementado en zonas planas; de esta manera, mientras que el uso de la yunta es mínimo o inexistente en el Altiplano Central, en terrenos con topografías pronunciadas de las comunidades del Altiplano Norte, la preparación manual y su importancia persiste.

El monitoreo del cambio en el uso de suelo y su manejo es esencial para evaluar el impacto a largo plazo del uso de fertilizantes minerales y tecnologías modernas sobre la sostenibilidad de los suelos, información que desafortunadamente no existe. Además, las tendencias climáticas y las dinámicas socioeconómicas deben integrarse en el delineamiento de estrategias integrales que promuevan la resiliencia agropecuaria en la región.

Nuestros resultados muestran que la modernización agrícola expresada en el incremento sistemático de uso de tractores, el incremento de uso de fertilizantes minerales y las demandas de mercado, han reducido la diversidad de cultivos y aumentado la presión sobre los suelos, lo que en conjunto está exacerbando la degradación del suelo en el Altiplano, afectando negativamente la porosidad, retención de agua, balance de nutrientes y la biodiversidad microbiana. A esto se debe considerar los efectos del cambio climático como el cambio en la distribución de precipitación, cambio diferencial en las temperaturas máximas y mínimas y por lo tanto la evapotranspiración, agravando la perdida de humedad de suelo que afectaría directamente al desarrollo de vegetación. Estos procesos combinados estarían debilitando la resiliencia del suelo, comprometiendo la sostenibilidad agrícola, lo que va a requerir y exigir la adopción de estrategias que busquen el balance entre la productividad y conservación de ecosistemas a largo plazo.

Es necesario continuar con el monitoreo del cambio en el uso de suelo y su manejo y asimismo evaluar el impacto a largo plazo del uso de fertilizantes minerales y tecnologías modernas sobre la sostenibilidad de los suelos. Transversalmente, las tendencias climáticas y las dinámicas socioeconómicas deben considerarse para desarrollar estrategias integrales que promuevan la resiliencia agropecuaria en la región.

5. REFERENCIAS

Barrera-Bassols, N., Alfred Zinck, J., & Van Ranst, E. (2006). Symbolism, knowledge and management of soil and land resources in indigenous communities: Ethnopedology at global, regional and local scales. Catena, 65(2), 118–137. https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.11.001

Brandt, J. S., & Townsend, P. A. (2006). Land Use – Land Cover Conversion, Regeneration and Degradation in the High Elevation Bolivian Andes. Landscape Ecology, 21(4), 607–623. https://doi.org/10.1007/s10980-005-4120-z

Coûteaux, M., Hervé, D., & Mita, V. (2008). Carbon and Nitrogen Dynamics of Potato Residues and Sheep Dung in a Two-Year Rotation Cultivation in the Bolivian Altiplano. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39(3–4), 475–498. https://doi.org/10.1080/00103620701826621

Fonte, S. J., Vanek, S. J., Oyarzun, P., Parsa, S., Quintero, D. C., Rao, I. M., & Lavelle, P. (2012). Chapter Four - Pathways to Agroecological Intensification of Soil Fertility Management by Smallholder Farmers in the Andean Highlands. In D. L. Sparks (Ed.), Advances in Agronomy (Vol. 116, pp. 125–184). Academic Press. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394277-7.00004-X

Garcia, M., Miranda, R., & Fajardo, H. (2014). Manual de manejo de la fertilidad de suelo bajo riego deficitario para el cultivo de la quinua en el altiplano boliviano. UNESCO-CAZALAC. https://doi.org/10.2307/j.ctt1w76t8f.12.

Garcia, M., Yucra, E., & Gilles, J. (2023). Aproximación de la vulnerabilidad de dos zonas representativas del altiplano norte y central de Bolivia al Cambio Climático. IIDEPROQ, Facultad de Ingenieria, UMSA.

Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, C., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendoca Santos Brefin, M., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., & Vara Rodriguez, M. (2014). Atlas de suelos de América latina y el Caribe. Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. https://doi.org/10.2788/37334

Gilles, J., Thomas, J., Valdivia, C., & Yucra, E. (2013). Laggards or Leaders: Conservers of Traditional Agricultural Knowledge in Bolivia. Rural Sociology, 78(1), 51–74. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ruso.12001

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. In Science (Vol. 304, Issue 5677, pp. 1623–1627). https://doi.org/10.1126/science.1097396

Orlove, B., & Godoy, R. (1986). Sectoral Fallowing systems in the Central Andes. Journal of Ethnobiology, 6(1), 169–204.

Pestalozzi, H. (2000). Sectoral Fallow Systems and the Management of Soil Fertility: The Rationality of Indigenous Knowledge in the High Andes of Bolivia. In Source: Mountain Research and Development (Vol. 20, Issue 1). https://www.jstor.org/stable/3674209

Sandor, J. A., & Furbee, L. (1996). Indigenous Knowledge and Classification of Soils in the Andes of Southern Peru. Soil Science Society of America Journal, 60(5), 1502–1512. https://doi.org/https://doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000050031x

Taboada, C., Garcia, M., Cuiza, A., Pozo, O., Yucra, E., & Gilles, J. (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, 16. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182014000100004&script=sci_arttext

Valdivia, C., Thibeault, J., Gilles, J. L., García, M., & Seth, A. (2013). Climate trends and projections for the Andean Altiplano and strategies for adaptation. Advances in Geosciences, 33, 66–77. https://doi.org/10.5194/adgeo-33-69-2013

WinklerPrins, A. M. G. A., & Barrera-Bassols, N. (2004). Latin American ethnopedology: A vision of its past, present, and future. Agriculture and Human Values, 21(2–3), 139–156. https://doi.org/10.1023/B:AHUM.0000029405.37237.c8

PERCEPCIONES DE INSTITUCIONES Y PRODUCTORES CON RELACIÓN AL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA EN EL ALTIPLANO DE LA PAZ

Perceptions of Institutions and Producers Regarding the Early Warning System in the Altiplano of La Paz

Magali Garcia[1], Janneth Quispe[2], Omar Pozo[3]

RESUMEN

Iniciando el presente siglo, en Bolivia se trabaja en la implementación de sistemas tecnológicos de alerta temprana (SAT) para el sector productivo, que deberían estar integrados con sistemas de observación local realizados por los productores, pues estos tienen amplia aceptación a nivel agricultor. Para ello enfrentan una diversidad de dificultades de van desde lo tecnológico e institucional hasta lo cultural. Esta investigación nace de la necesidad de conocer cuál es la percepción de los actores institucionales y de los productores sobre su concepto de SAT y su potencial de integración con un sistema de recolección de la información provista por los indicadores locales. La investigación permitió determinar que la concepción del SAT es diferente entre productores e instituciones y que los directos beneficiarios (productores) en la mayoría desconocen el trabajo de este sistema, siendo que los pronósticos no son de acceso directo para ellos, mientras que las instituciones tienen reducida aceptación a las observaciones de los productores, a pesar que ellos cuentan con esta fuente como principal origen para sus fines y decisiones. Es necesaria una verdadera aceptación de la validez de ambos sistemas de conocimiento, la cual debe ser promovida por la institucionalidad tanto de actores públicos como privados.

Palabras clave: Percepción, productores, sistema de alerta temprana.

ABSTRACT

Bolivia has been working on implementing early warning technological systems (EWS) for the productive sector since the early 2000s. These systems need to be integrated with local observation systems used by producers. However, the initiative faces challenges ranging from technological and institutional to cultural barriers. This research aims to understand the perception of institutional actors and producers regarding EWS and their potential integration with local information collection systems. The study revealed differences in the conception of EWS between producers and institutions. Producers, who are the direct beneficiaries, are often unaware of the system's work as forecasts are not easily accessible to them. Additionally, institutional acceptance of producers' observations is minimal, despite farmers relying on this information for their decisions. There is a need for true acceptance and integration of both knowledge systems, which should be promoted by public and private institutions.

Keywords: Perception, producers, municipality, early warning system.
https://doi.org/10.53287/djnc3599nz36h

[1] Investigadora IIDEPROQ, Facultad de Ingenieria UMSA -
[2] Becaria Proyecto MARCLOC -
[3] Consultor Proyecto MARCLOC

1. INTRODUCCIÓN

Los fenómenos meteorológicos extremos, como sequías, inundaciones, heladas y granizadas tienen repercusiones negativas particularmente sobre las comunidades campesinas indígenas del altiplano andino y en proyección se estima que irán en aumento (Potter et al., 2023). Ante esto es necesario tomar medidas concertadas preventivas y de respuesta al cambio climático global como es permanentemente resaltado por el IPCC (2018) en ocasión de abogar por restringir el calentamiento en un máximo de 1,5°C y asegurar que los servicios de información meteorológica deben ser accesibles a todos los actores de la sociedad (Hansen et al., 2019). El cambio climático sigue una tendencia creciente y suele afectar a regiones enteras o a grupos muy numerosos de personas en forma simultánea. Las consecuencias de estos procesos llevan a la disminución de los recursos hídricos, aumento de los conflictos por el uso del agua, procesos de contaminación, aceleración de los procesos de desertificación, aumento de las pérdidas agropecuarias y de los procesos de descapitalización rural, migración y aparición de nuevas plagas y enfermedades, entre otros muchos (Shazad et al., 2021). El conjunto de estos cambios aumenta la vulnerabilidad de la población, principalmente, en las zonas rurales.

Las instituciones (públicas y privadas) deben tomar un rol protagonista para la implementación de las diferentes fases del marco de la Gestión de Riesgos y Desastres y lucha contra el impacto negativo del cambio climático (Baas et al., 2009; Mayta, 2016) y es importante fortalecer y acompañar las estrategias para enfrentar las alteraciones del clima. Entre estos programas, el desarrollo de Sistemas de Alerta Temprana para los productores agrícolas tiene una prioridad elevada, por lo que su construcción se ha planteado en incremento a nivel global, aunque existe un descontento general porque se percibe una reducida llegada a los usuarios finales, especialmente agricultores de pequeña escala, a pesar de existir la voluntad e inversiones en su implementación. Hansen en 2002, ya planteaba que los servicios climáticos y de alerta temprana sufrían de una desconexión entre los formatos publicados y las necesidades de los usuarios, especialmente en términos de relevancia, legitimidad, escalas, limitaciones e incertidumbres. Con el fin de analizar si este proceso también se produce en Bolivia y las razones para esta desvinculación entre las acciones del Estado y los resultados logrados, se planteó esta investigación que se llevó adelante en comunidades de Municipios del Altiplano Norte y Central de Bolivia y en la ciudad de La Paz, como centro institucional de Bolivia. El objetivo principal de esta investigación, es el de determinar la relación institucional de la generación de información meteorológica con la conceptualización y expectativas de estos servicios por parte de los agricultores de pequeña escala del Altiplano boliviano. La investigación es exploratoria, y se vincula a Municipios representativos de las zonas de estudio, donde además se cuenta con presencia y contacto permanente de la Universidad con los productores, por lo que se considera que los resultados a ser obtenidos son confiables.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de índole exploratorio y descriptivo se estructuró en dos partes:

a) Contextualización del marco legal y normativo del Sistema de Alerta Temprana agropecuario.

b) Aplicación de entrevistas y consultas con instituciones públicas y privadas y productores agrícolas y líderes de comunidades.

2.1. Análisis del marco legal y normativo

Con el objetivo de contextualizar la normatividad de los servicios de alerta temprana y establecer su pertinencia, se realizó la lectura analítica de la normativa que guía la aplicación de los SAT. Ello permitió analizar su aplicabilidad, financiamiento y las funciones de las entidades encargadas por ley para promover los sistemas de alerta temprana. Adicionalmente se

analizó la normativa relacionada con la integración del conocimiento local en los servicios climáticos. Para el análisis de la normativa nacional se realizó una lectura analítica de fuentes oficiales de carácter gubernamental que refieren el marco legal y normativo de los sistemas de alerta temprana para productores de pequeña escala. Esta revisión incluyó la revisión de la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, políticas nacionales, leyes y reglamentos nacionales y departamentales.

2.2. Entrevistas a actores institucionales y productores agrícolas

Con el objetivo de comparar la percepción de los diferentes grupos involucrados en la implementación y puesta en marcha de un SAT se realizó entrevistas (semi) estructuradas con preguntas abiertas a varios actores involucrados en la puesta en marcha del SAT y de la recepción y uso de la información generada. Las entrevistas se realizaron en el sector Estatal, No-estatal y descentralizado (Tabla 1), actores que fueron determinados por la experiencia en el tema y el protagonismo institucional. Finalmente, y como parte de otra entrevista realizada, se aplicaron preguntas sobre el conocimiento y factibilidad de integración de conocimientos locales dentro de los sistemas de alerta temprana, explorando sobre la comprensión misma del conocimiento indígena local por parte de actores involucrados de diferentes sectores, incluyendo a los mismos productores. Dado que los actores institucionales son pocos y no es posible seleccionar al tipo de actor, no se realizó una estratificación. En el estudio se aplicó un enfoque de investigación cualitativa en el que se analizaron las respuestas provistas, clasificando en criterios comunes con el fin de utilizar los resultados para informe de políticas (Creswell, 2014).

Tabla 1. Instituciones y actores entrevistados para realizar el trabajo descriptivo

GRUPO	Número de entrevistados
Estatal	10
No estatal (ONGs)	7
Gobiernos Autónomos Municipales (GAM)	4
Cooperación internacional	5*
Investigadores científicos de Universidad	5*
Productores agrícolas	29

* Actores que solo participaron de las preguntas sobre conocimiento indígena local
Fuente: Elaboración propia.

Los entrevistados fueron seleccionados de acuerdo a las siguientes características:

a) Tomadores de decisiones que implementan o ejecutan los SAT a diferentes niveles gubernamentales (Ministerios, Gobernación Departamental y Gobiernos Autónomos Municipales) en la región del altiplano de Bolivia.
b) Actores que colaboran, implementan, ejecutan o contribuyen al SAT a nivel no gubernamental (ONGs) en la región del altiplano del Departamento de La Paz.
c) Oficiales de cooperación internacional con acciones relacionadas a la productividad agrícola y al riesgo climático
d) Investigadores universitarios relacionados con el estudio de la atmósfera y el impacto del Cambio Climático, especialmente en el área rural.
e) Productores rurales de cuatro Municipios de la región del altiplano paceño (Tabla 2) con residencia permanente en su comunidad, que tengan como principal medio de vida la agropecuaria y con experiencia mayor a diez años.

Tabla 2. Descripción de productores entrevistados

Municipio	Comunidad	Actividades agropecuarias
Umala	Iñacamaya	Agricultura y pecuaria
	Incamaya	Agricultura y pecuaria
	Sabilani	Agricultura y pecuaria
Ancoraimes	Chojñapata	Agricultura y pecuaria
	Calahuancane	Agricultura
	Chinchaya	Agricultura y pecuaria
Batallas	Cutusuma	Agricultura y pecuaria
Tiahuanacu	Yanamani	Agricultura y pecuaria

Fuente: Elaboración propia.

Las entrevistas a productores se realizaron en municipios del altiplano del departamento de La Paz, cuya actividad económica es principalmente agrícola (papa, quinua, cebada, oca y cebolla), pecuaria (ganado de engorde, leche y derivados), y combinada en la mayor parte de los casos. Con los productores se exploró también la fuente principal de información meteorológica que ellos reciben y el uso de ella.

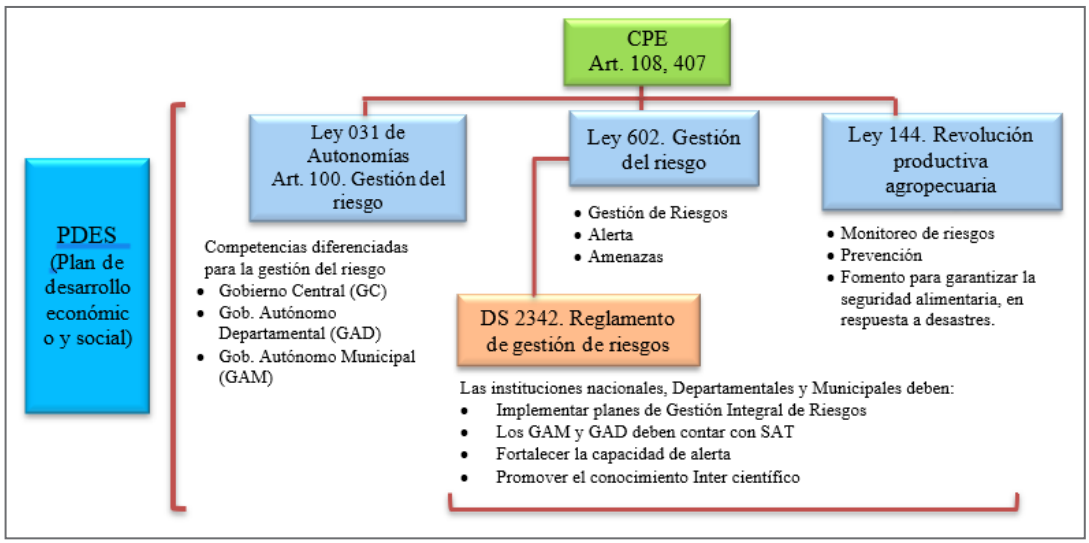
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Aplicación y normativa de la gestión de riesgos y desastres climáticos en áreas productivas

3.1.1. Aspectos normativos vigentes del SAT

El análisis de la normativa relacionada a la provisión de información meteorológica que incluya a los conocimientos locales mostró que a nivel nacional se cuenta con normativas que respaldan la creación de Sistemas de Alerta Temprana para lidiar con todos los tipos de riesgos climáticos y otros desastres, incluyendo las zonas urbanas y rurales (por medio de sus Unidades de Gestión de Riesgos de cada municipio). En la Figura 1 se muestra un resumen representado en un esquema de las leyes y decretos supremos más importantes relacionados con la creación y ejecución en los diferentes niveles gubernamentales. La normativa relacionada a la gestión del riesgo menciona explícitamente la necesidad de fomentar la formación y funcionamiento de la Unidades de Gestión del Riesgo, y de la integración del conocimiento local y ancestral, a través de procesos de fomento del diálogo inter-conocimiento.

Figura 1. Esquema de las normativas que respaldan la creación del SAT



Fuente: Elaboración propia.

Se destaca que el tema de la protección a los ciudadanos se incluye desde el nivel normativo de mayor rango hasta normativas locales. Así, la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia (CPE) analiza el tema del impacto climático esencialmente desde el punto de vista del desastre. En general señala "*Son deberes de las bolivianas y bolivianos, entre otros socorrer con todo el apoyo necesario en casos de desastres naturales y otras contingencias*" (Constitución Política Del Estado, 2009) (Art. 108: 11) . Más específicamente en el tema rural se encuentra el artículo 407, numeral 4 que indica "*Proteger la producción agropecuaria y agroindustrial ante desastres naturales e inclemencias climáticas, geológicas y siniestros. La ley preverá la creación del seguro agrario*".

La Ley Marco de Autonomías y Descentralización Andres Ibañez, (2010) Nº 031, deriva las obligaciones implicadas por la CPE, y las deriva hacia las entidades territoriales autónomas, de tal manera que, en todos los niveles de decisión, se asuma las necesidades genéricas de la población boliviana en relación a la acción frente a la ocurrencia de desastres, desde la planificación hasta la reacción y desde el Gobierno Nacional hasta los Gobiernos municipales. Adicionalmente esta ley incluye a los conocimientos indígenas originarios tanto desde los gobiernos autónomos indígenas como desde la obligación del rol del Gobierno Central en la promoción e integración de los conocimientos locales: "*Fomentar la recuperación y preservación del conocimiento y tecnologías ancestrales que contribuyan a la seguridad y soberanía alimentaria"* (Artículo 91).

La Ley de Gestión de Riesgos (2014) Nº 602, es el marco normativo para la organización, ejecución en la gestión de riesgos a nivel nacional. Entre los aspectos más relevantes relacionados con los Sistemas de Alerta Temprana diversos artículos exhiben la obligatoriedad de inclusión del tema en forma ejecutiva. La Ley explícitamente analiza el derecho de los bolivianos (as) a recibir información oportuna y efectiva sobre la probabilidad de ocurrencia de desastres de todo tipo, ***respetando los saberes y medios de comunicación ancestrales*** para ello. También la ley explicita que deben articularse Sistemas de Alerta Temprana de Desastres (conocidos como SNATD). Adicionalmente y en forma explícita en el artículo 23 menciona: "…*El nivel central del Estado y las entidades territoriales autónomas, deberán identificar, evaluar, sistematizar, revalorizar y aplicar los saberes y prácticas ancestrales en la gestión de riesgos, conjuntamente con los pueblos indígena originarios campesinos, comunidades interculturales y afrobolivianos, en el marco de la cosmovisión de los mismos y respetando sus estructuras organizativas territoriales naturales…"*. El relevamiento de la normativa muestra que la operativización de los sistemas de alerta temprana con incorporación de conocimientos locales se encuentra dentro de un marco factible y que la normativa fomenta explícitamente la protección de los ciudadanos y distribuye obligaciones a todos los niveles de decisión del Estado.

3.1.2. Aplicabilidad y operatividad de la normativa en temas de SAT en los municipios entrevistados

La recurrencia de eventos adversos en Bolivia ha evidenciado la necesidad de fortalecer e institucionalizar los procesos de gestión de riesgos a nivel municipal, la cual, como se mostró previamente, cuenta con un marco institucional respaldatorio. En el presente estudio, se realizó un levantamiento de información mediante entrevistas dirigidas a profesionales de las Unidades de Gestión de Riesgo (UGR) en los municipios con los que se trabajó en el Proyecto MARCLOC. En primer lugar, se identificó que no todos los municipios cuentan con una UGR formalmente constituida (Tabla 3). En aquellos casos, la responsabilidad en materia de gestión de riesgos recae en las direcciones de desarrollo agropecuario, que asumen de manera fáctica dichas funciones. Esta situación genera una sobrecarga operativa y una dispersión en la respuesta institucional frente a los eventos adversos, comprometiendo la eficacia de las acciones de prevención, preparación y atención.

Tabla 3. Situación de las UGR´s en los Gobiernos Municipales del departamento de La Paz.

Gobierno Autónomo Municipal	Cuenta con UGR´s	Situación y problemática reportada
Batallas	Si, pero no funciona en toda su capacidad.	Reciben capacitación, pero tienen problemas al implantar un sistema que responda a las demandas de los productores, falta fortalecimiento técnico y recursos humanos.
Tiahuanaco	Si, pero no funciona en toda su capacidad.	Cambio de autoridades y políticas, condiciones económicas, poco interés de los productores, conocimiento de la parte técnica, etc., impiden el buen desarrollo del SAT.
Umala	En proceso de implementación	Problemas de recursos económicos, el 2016 recién se creó esta unidad.
Viacha	No tiene	Voluntad política y formación de los técnicos que dificulta la implementación de un SAT.
Ancoraimes	En proceso de implementación	Se cuenta con un presupuesto para la gestión de riesgos que se encuentra en proceso de implementación.

Fuente: Elaboración propia.

La ausencia de Unidades de Gestión de Riesgo (UGR) en varios municipios rurales limita significativamente la capacidad de llevar a cabo una gestión integral del riesgo, incluyendo acciones de prevención, respuesta, rehabilitación y reconstrucción, así como la incorporación del enfoque de riesgos en los planes de desarrollo municipal. Aunque los municipios analizados no representan una muestra estadísticamente significativa, comparten características relevantes como su ubicación periurbana y conexión con centros urbanos importantes. Las entrevistas realizadas revelan múltiples limitaciones para la implementación de Sistemas de Alerta Temprana, entre ellas: insuficiencia presupuestaria, debilidad institucional, alta rotación de personal, falta de capacidad técnica y desconocimiento normativo. Esta situación se agrava en los municipios sin asignaciones presupuestarias específicas para la gestión de riesgos, lo que impide la conformación de UGRs y aumenta la vulnerabilidad, especialmente cuando los escasos recursos disponibles se redirigen a otras áreas como infraestructura o servicios básicos.

A pesar de la importancia y de que la normativa es clara sobre la necesidad implícita de incluir dentro de la estructura orgánica a alguna Unidad Municipal responsable de la gestión de riesgos (comúnmente conocida como Unidad de Gestión de Riesgos UGR) que tenga a cargo la coordinación de las medidas de mitigación a ser implementadas en las comunidades, pocos Municipios rurales integran esta unidad. El estudio evidenció la reducida asignación de recursos para acciones de Alerta Temprana y la inestabilidad institucional por la rotación de personal. Los municipios tienen ya destinado el presupuesto para ítems específicos especialmente de construcción, mientras que la prevención y reacción ante los eventos climáticos extremos negativos para el sector agrícola cuenta con poca priorización.

Idealmente, al ser la actividad agropecuaria principal en los municipios rurales, un SAT municipal debería ser dirigido al usuario y sus necesidades, es decir identificar los eventos causantes de perdida en sus rendimientos tanto en el corto como en el mediano plazo y fundamentalmente a través de los niveles de gobierno más cercanos a ellos como los Gobiernos Municipales. Esto implica, por ejemplo, la asignación de recursos económicos, la capacitación de los técnicos

y profesionales encargados sobre el tema y una intensa interacción con los productores de su territorio, lo que, se encuentra mencionado explícitamente en las normativas. De esta manera la combinación de factores (falta de presupuesto, débil gobernanza local, escaso conocimiento técnico, sobrecarga de trabajo a otras unidades, etc.) configura patrones comunes de debilidad institucional para el desarrollo y operatividad del SAT y su articulación con los saberes locales.

3.2. Percepciones sobre los SAT

3.2.1 Características del Sistema de Alerta Temprana

La definición de Sistema de Alerta Temprana según la UNISDR (2009) es: "conjunto de capacidades necesarias para generar y difundir información de alerta que sea oportuna y significativa, con el fin de permitir que las personas, las comunidades y las organizaciones vulnerables a una amenaza se preparen y actúen de forma apropiada y con suficiente tiempo de anticipación para reducir la posibilidad de que se produzcan pérdidas o daños.". La definición incluye componentes clave desde la disponibilidad de capacidades, la generación y difusión de alertas oportunas y significativas, la preparación para la respuesta, la respuesta, y la reducción de pérdidas y daños.

Habiendo conocido el concepto de un SAT, se consideró importante conocer la definición por parte de los actores institucionales ya sean gubernamentales o no gubernamentales. Por tal razón se consultó la definición que cada entrevistado tiene sobre el Sistema de Alerta Temprana. Las respuestas brindadas clasificadas por grupos institucionales, se concentran en la Tabla 4.

Tabla 4. Conceptualización de la función del SAT por parte de diferentes actores.

Grupos	Respuesta a los efectos extremos negativos de la variabilidad climática y del cambio climático	Sist. de prevención para responder a la probabilidad de ocurrencia de eventos negativos que dañen la producción	Información sobre la probabilidad de ocurrencia de eventos negativos, con acciones de respuesta	Respuesta ambigua
Instituciones Estatales	22.2 %	33.3 %	22.2 %	22.2 %
Municipios	25.0 %	37.5 %	37.5 %	
Instituciones Privadas (ONGs)		60.0 %	40.0 %	

Fuente: Elaboración propia.

La mayoría de técnicos de instituciones públicas considera que el SAT se relaciona con la provisión de información y prevención de daños, mientras que, para la mayoría de los técnicos de los municipios e instituciones no gubernamentales, un SAT se refiere a las acciones de prevención y acción ante eventos extremos, aunque incrementa el porcentaje de actores de esta categoría que consideran también a la acción en consecuencia como importante. También es evidente la ocurrencia de una significativa proporción de actores estatales nacionales que proveyeron respuestas ambiguas, es decir que el concepto de difusión y necesidad de información no se encuentra claramente identificado a este nivel de actores. Prácticamente ningún actor clasificó los SATs en su adecuada magnitud y con todos sus componentes. Un Sistema de Alerta Temprana no solo es una definición sino tiene un conjunto de elementos y acciones las cuales deben de cumplirse para que pueda funcionar. Tal como menciona la (UNISDR (2009) , "*necesariamente, un sistema de alerta temprana en función de la gente, comprende elementos fundamentales: el conocimiento del riesgo; el seguimiento de cerca (o monitoreo), el análisis y el pronóstico de las amenazas; la comunicación o la difusión de las alertas y los avisos; y las capacidades locales para responder frente a la alerta recibida*".

La conceptualización de los entrevistados sobre cuál sería la estructura y componentes que debería de tener el sistema de alerta temprana se presenta en Tabla 5.

Tabla 5. Organización del SAT según los entrevistados

	Integrado entre conocimiento local (indígena) y tecnológico	Integrado entre el equipo (hardware) y el mecanismo de recolección de datos (software)	Integrado entre los mecanismos nacionales y locales	Integrado: conocimiento local, tecnológico, municipal y sociedad civil con elementos de difusión y reacción	Respuesta ambigua
Instituciones Estatales	11,1 %	22,2 %	33,3 %	33,3 %	
Municipios		12,5 %	37,5 %	25,0 %	25,0 %
Instituciones Privadas (ONGs)		40,0 %	40,0 %	20,0 %	

Fuente: Elaboración propia.

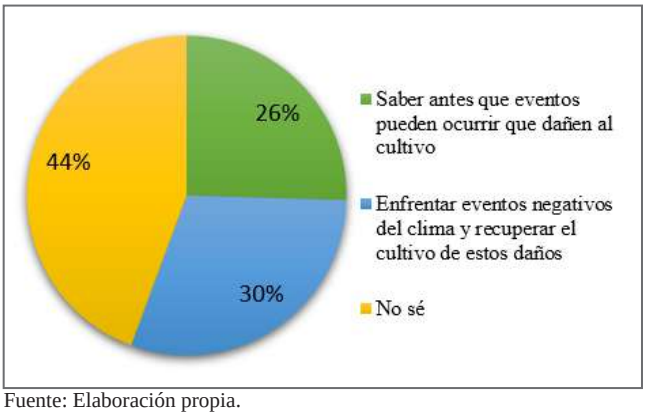
La ley 602 establece que la finalidad de los SAT es la prevención con participación de todos los actores y sectores involucrados, asimismo el objetivo es la reducción del riesgo a través de la prevención, mitigación, recuperación y la atención de desastres y/o emergencias. La mayor proporción de los técnicos de Municipios coincidieron en las repuestas brindadas, concentrando sus respuestas en el manejo de tecnología y la integración de mecanismos locales y tecnológicos. La proporción de actores que incluye a la difusión y reacción como parte de los SATs es menor, pero la proporción de actores que consideran al SAT como la integración entre sistemas locales ancestrales y tecnológicos, se muestra, significativamente menor, mostrando la reducida conceptualización sobre la necesidad de integración y sinergia de sistemas de conocimiento alternativos para la estructura del sistema en sí mismo.

Ante esta realidad, la consulta a los actores estatales, sobre la viabilidad de implementación de un SAT municipal como lo establece la Ley 031, muestra que esta es muy dificultosa, pues el concepto de SAT engloba varias partes cuya implementación es compleja sin una verdadera voluntad del ejecutivo de la cual depende. La percepción de este concepto precisamente en la mayor parte de los actores no cubre las partes de ella. De hecho, la mayor parte de los actores consideran la provisión de información como la parte más importante del SAT, con poca mención a la preparación previa y a la respuesta necesaria en caso de ocurrencia de un evento negativo.

3.2.2 Percepciones de los agricultores respecto al SAT

Como se puede evidenciar en la Figura 2, el 44% de los productores entrevistados desconocen la definición de un SAT, a pesar de enfrentar cotidianamente eventos extremos y preparar respuestas a los eventos climáticos negativos. En contrapartida, una elevada proporción de los productores consideran a un SAT como la posibilidad de contar con información para enfrentar eventos negativos del clima y actuar en consecuencia.

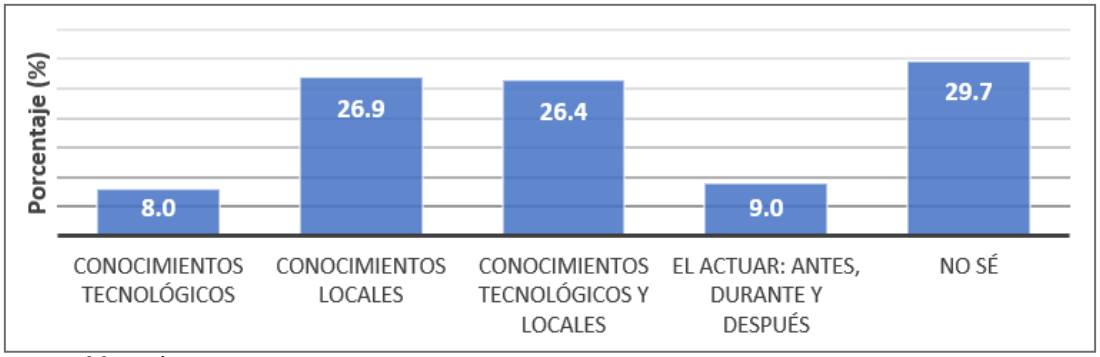
Figura 2. Respuestas de los productores respecto a su concepto de un Sistema de Alerta Temprana



Fuente: Elaboración propia.

En equivalencia se indagó como considera el productor que debería estar organizado un sistema de alerta temprana. Las respuestas brindadas reflejan que aproximadamente el 30 % no sabe cómo se organizaría un SAT. Aunque en las respuestas no se recibieron menciones a sistemas complejos con software, hardware, difusión, etc., más del 50 % de los entrevistados consideran la necesidad que los conocimientos locales sean protagonistas del SAT (Figura 3).

Figura 3. Respuestas de la percepción que tiene los productores en la organización de un sistema de alerta temprana.



Fuente: Elaboración propia.

Las percepciones de los agricultores frente al sistema de alerta temprana están marcadas por diversos factores contextuales, como la diversidad de ecosistemas, la limitada disponibilidad de recursos para instalar múltiples estaciones meteorológicas y la inestabilidad institucional. Estas condiciones dificultan la implementación efectiva de sistemas de monitoreo, generando desconfianza o escaso uso por parte de los productores. No obstante, muchos agricultores reconocen la existencia de indicadores locales para anticipar fenómenos climáticos, aunque el número de estos indicadores identificados sigue siendo reducido, incluso entre los propios productores.

Una razón para ello es que el conocimiento sobre los indicadores locales suele estar concentrado en manos de unos pocos especialistas dentro de las comunidades rurales. Por otro lado, existe una diferencia importante en la percepción del alcance temporal de los sistemas de alerta: mientras que los agricultores tienden a observar y utilizar los indicadores desde meses antes (por ejemplo, desde marzo) para planificar actividades productivas relacionadas con la época de lluvias (a partir de octubre), los actores externos al sistema productivo -como técnicos o instituciones- tienden a considerar los sistemas de alerta más útiles solo para pronósticos de corto plazo (horas o días). Esta diferencia en las percepciones puede limitar la efectividad del sistema de alerta temprana como herramienta de planificación agrícola, especialmente en decisiones clave como qué cultivar y cuándo sembrar.

3.3 Comprensión de los conocimientos locales para su inclusión en los SAT´s

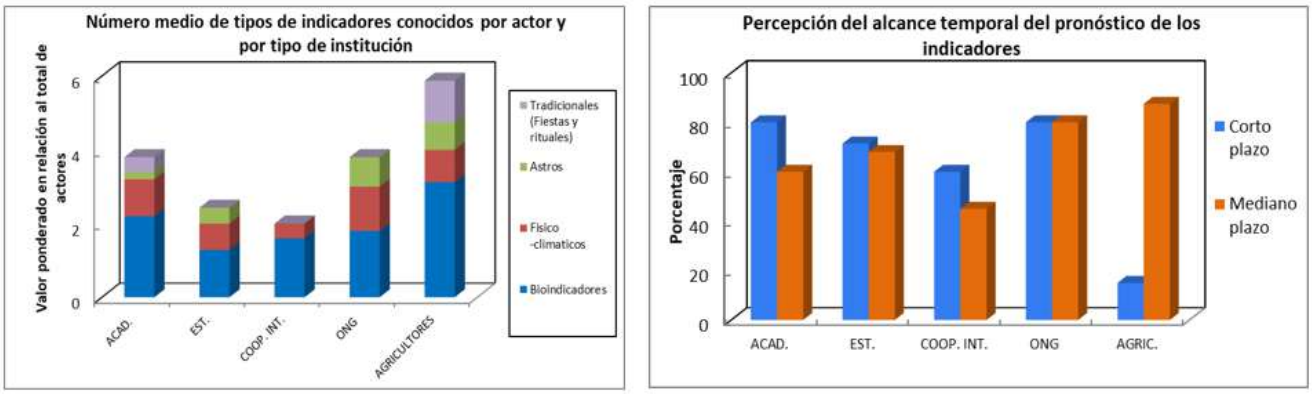
Esta parte de la entrevista fue también aplicada a actores de la Cooperación internacional y de la Academia (Tabla 1). La primera consulta estuvo relacionada a la conciencia de la existencia de indicadores locales del clima utilizados por los agricultores. En todos los grupos de actores, más del 80 % afirmaron conocer la existencia de las observaciones locales y la expresión de indicadores utilizadas por los agricultores andinos para el pronóstico de las condiciones atmosféricas futuras. Esta proporción también se mantuvo cuando se planteó la pregunta a agricultores, lo que muestra que no todos los productores manejan esta información ya sea por desconocimiento o por religión. Sin embargo, cuando se solicitó la mención de qué indicadores conocían que eran utilizados por los productores para el pronóstico de las condiciones atmosféricas futuras, la respuesta fue diversa (Figura 4, izq.).

La información presentada, muestra que los actores a cargo de la integración del conocimiento local en los sistemas de alerta temprana, podrían tener poco conocimiento sobre qué tipo de indicadores son utilizados e integrados por los productores. Llama la

atención que los productores, en promedio conocen un número relativamente reducido de indicadores. Es importante, recalcar que la variabilidad en el número de indicadores manejado por actor individual fue mayor entre productores que entre los actores de las otras categorías, debido a que, en las comunidades, existen agricultores expertos que manejan este conocimiento y transmiten los resultados a la comunidad.

También se preguntó sobre la percepción del alcance temporal de la observación de la expresión los indicadores, ante lo cual se encontró también divergencias entre los conceptos de actores externos al sistema productivo y los mismos productores. Los agricultores coincidieron que casi el 90 % de los indicadores observados, señalan pronósticos a mediano plazo (entre 1 a 6 meses) y solo alrededor del 15 % pueden considerarse para pronosticar eventos de corto plazo (días u horas). En contraposición, los actores decisores y ejecutores consideran que las expresiones observadas, se utilizan mayormente para pronósticos de corto plazo. El alcance de los pronósticos debe ser claramente conocido para su eficaz integración en sistemas formales de alerta temprana y las respuestas sugieren divergencia y hasta desconocimiento.

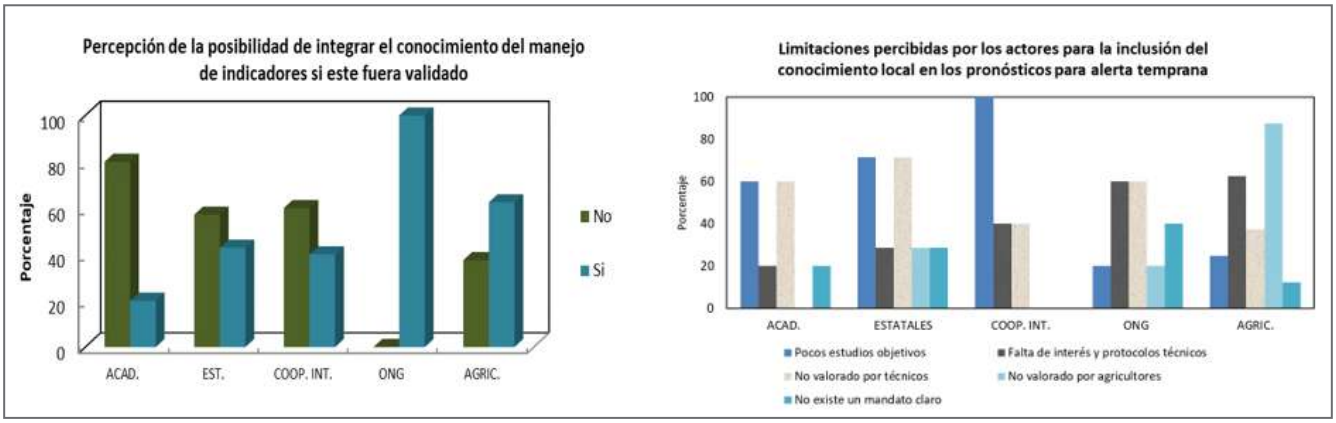
Figura 4. Conocimiento de indicadores (izq.) y percepción de su alcance (der.).



Fuente: Elaboración propia.

La percepción de la posibilidad de integrar efectivamente los conocimientos locales dentro de los pronósticos convencionales fue también evaluada (Figura 5, izquierda), incluyendo en la pregunta un contexto de existencia de estudios que demuestren su validez. La respuesta estuvo segmentada entre quienes perciben reducidas posibilidades de integración (académicos, actores estatales e internacionales) y quienes sí consideran que la integración es posible o incluso un proceso mandatorio (ONGs y agricultores), siguiendo el mandato de las varias normativas presentadas en el presente artículo. Resalta que los actores con mayor alcance y contacto con las parcelas y la producción, son los que perciben la posibilidad y necesidad de la integración de este conocimiento. En cuanto a las limitaciones identificadas, los autores externos al sistema de producción perciben la existencia de pocos estudios objetivos y cuantitativos, mientras que también resalta la respuesta de que los mandatos para integrar este conocimiento no son claros (Figura 5, derecha). Los agricultores identifican también que el conocimiento no es valorado internamente como razón importante para la no inclusión del conocimiento local y existe coincidencia en los autores en identificar a la poca valoración del personal técnico de este tipo de conocimiento.

Figura 5. Percepción sobre la integración de indicadores en sistemas convencionales de pronóstico (izq.) y limitaciones identificadas para ello (der.).



Fuente: Elaboración propia.

3.4 Uso y llegada de pronósticos convencionales a agricultores

El 100 % de los participantes en todas las categorías aseveró que no considera que los productores reciban y apliquen la información proveniente de fuentes convencionales de pronóstico y alerta temprana para la toma de decisiones. De hecho, menos del 5 % de los agricultores participantes mencionaron recibir pronósticos de los servicios estatales, y más del 80% identificó como fuente de información para alerta temprana, la información de los indicadores observada directamente o a través de familiares o de la comunidad. Las razones identificadas para el escaso alcance se distribuyeron en proporciones similares entre a) un formato y transmisión inadecuada para el interés del agricultor con un 48 % de las respuestas y b) la mayor confianza en sus propias observaciones con un 41 %.

Dado que el formato y la transmisión a los productores es la razón más importante para la llegada de los pronósticos convencionales a la comunidad, se evaluó la pregunta ¿cuáles deberían de ser los medios de difusión de los pronósticos climáticos y alertas? Según la Ley Nº 602 es derecho de las personas recibir información oportuna y efectiva sobre la probabilidad de ocurrencia de desastres de origen natural, por lo que esta pregunta es natural. Los actores estatales mencionaron una mayor diversidad de alternativas de medios de difusión que los productores y los actores de ONGs (Tabla 6). Se aprecia que las alternativas planteadas por los actores estatales y académicos se orientan a medios de difusión dirigidos a técnicos o personal con acceso y conocimiento convencional, resaltando la transmisión de mapas de riesgos y el correo electrónico que no son de uso de los productores.

Tabla 6. Medios de difusión de pronósticos y alertas que se usan o usarían según los entrevistados.

Estatal		ONGs	Productores
Instituciones del gobierno central y Académicas	Municipios		
Celular Boletines Radio Mapa de riesgos Televisión Correo electrónico	Boletines Radio Celular Televisión Correo electrónico Boletines comunitarios	Celular Radio Televisión Boletines comunitarios	Radio Celular Boletines comunitarios

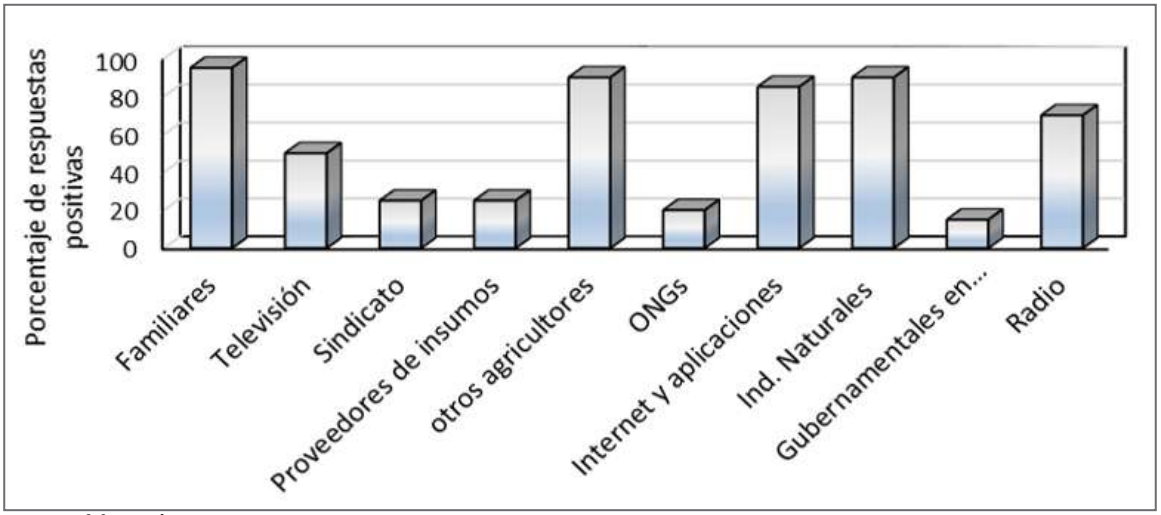
Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, uno de los técnicos del Ministerio correspondiente señala: *"...se manda un comunicado al municipio y gobernación a través de boletines informativos generados por el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), los técnicos deben hacer llegar esta información por radios comunitarias, y hacer llamadas a los dirigentes principales, para que ellos puedan tomar decisiones".*

Adicionalmente, los productores expresaron la necesidad antelada del pronóstico, de manera directa y simple, por lo que identifican a la radio y al celular como potenciales medios de transmisión. Los boletines comunitarios también son identificados pues si uno o más productores reciben el pronóstico o la alerta, esta información puede ser difundida en la comunidad por medio de sus mecanismos locales tales como sirenas u otros tipos de alertas comunitarias.

Finalmente se consultó a los agricultores sobre la fuente de la información recibida para realizar actividades agropecuarias, ante lo cual las respuestas se concentraron en familiares, indicadores naturales y, sorprendentemente internet y aplicaciones externas (Figura 6). Las fuentes gubernamentales, no mostraron preponderancia en la fuente de información.

Figura 6. Fuentes de información para realizar actividades agropecuarias.



Fuente: Elaboración propia.

Los agricultores reconocen que los pronósticos climáticos convencionales y las alertas meteorológicas pueden ser herramientas fundamentales para mejorar su planificación agrícola y la toma de decisiones, especialmente para adoptar medidas que les permitan enfrentar eventos climáticos adversos. Muchos productores manifiestan que algunos fenómenos, debido a su creciente intensidad, ya no pueden ser controlados solo con las medidas tradicionales, por lo que requieren alternativas y apoyo efectivo. A pesar de esto, la información que reciben suele ser insuficiente o poco oportuna, lo que limita su capacidad de reacción.

La llegada y uso de pronósticos convencionales presenta desafíos importantes en la comunicación y acceso a la información. En muchos municipios no existen estaciones meteorológicas conectadas a sistemas satelitales o a la red nacional, dificultando la obtención de datos precisos adaptados a los diversos ecosistemas locales. Los agricultores, por su parte, suelen obtener información sobre el clima a través de fuentes familiares, comunitarias, internet y la observación directa de indicadores locales, aunque la integración de estos conocimientos con los pronósticos oficiales es limitada. Esto se debe, en gran medida, a

la falta de estudios que validen científicamente estos indicadores tradicionales y a la escasa valoración que reciben dentro del ámbito técnico y profesional.

Además, la transmisión de pronósticos y alertas presenta una brecha significativa entre los productores y las entidades responsables. Las instituciones públicas tienden a canalizar la información a técnicos municipales, quienes muchas veces no la comunican de manera efectiva a los agricultores por limitaciones logísticas o de tiempo. Por ello, los productores demandan recibir información clara, confiable y oportuna mediante medios simples, que les permita planificar y responder tanto en el corto como en el mediano plazo. La falta de integración real entre los sistemas de conocimiento local y los pronósticos convencionales retrasa la adopción de medidas efectivas, evidenciando la necesidad de incluir a los agricultores en el diseño y ejecución de estos sistemas para mejorar su utilidad y alcance.

4. CONCLUSIONES

Las normas bolivianas señalan una serie de procedimientos para la implementación de un sistema de alerta temprana. El SAT forma parte de los Planes de Desarrollo Económico y Social y su implementación con integración del conocimiento local es respaldada por políticas y normativas nacionales. Sin embargo, hoy en día la implementación y ejecución no se ha concretado en varios municipios especialmente rurales por diversos factores entre ellos el desconocimiento de estas políticas por gran parte de la población, reducido presupuesto y poca voluntad para la implementación.

El concepto de SAT que manejan los actores externos, es cercano al concepto científico, contrastante con el concepto de los productores que en mayoría no conocen el concepto, pero lo practican con los medios que tienen a la mano especialmente la observación de la expresión de los indicadores naturales. En cuanto a la organización, los productores tienen claro que es un trabajo conjunto de autoridades y productores y que debe incluir el conocimiento local. En cambio, y a pesar de la existencia de normativas explícitas al respecto, el personal de instituciones estatales, académicas e internacionales no considera factible la inclusión de elementos del conocimiento local entre las bases del pronóstico y el Sistema de Alerta Temprana. De cualquier forma, ninguno de los grupos tiene completamente claro lo que es un SAT.

En la trasferencia de la información se identificaron dificultades como el factor económico puesto que muchos municipios no cuentan con fondos para optimizar este proceso. La rotación de personal es otra limitante que también influye en la continuidad de las actividades ya que estos cambios ocurren muchas veces por gestión.

Es notoria la ausencia de políticas públicas a nivel de Gobiernos Municipales que prácticamente no cuentan con programas, proyectos, instancias y/o espacios de discusión sobre estos temas, situación por la que muchos municipios del altiplano están pasando. Así mismo el apoyo de los gobiernos departamental y nacional aun no es suficiente para apoyar a las familias productoras de esta región.

Los medios de difusión para los pronósticos y alertas no son los más apropiados puesto que la información no llega al productor sino a los técnicos quienes no puede difundir la información de manera eficiente y oportuna. Ante estas dificultades es importante tomar en cuenta las alternativas que los productores brindaron, en las que mencionaron el envío de la información a los celulares, y por radio.

5. REFERENCIAS

Baas, S., Ramasamy, S., Dey de Pryck, J., & Battista, F. (2009). Análisis de Sistemas de Gestión del Riesgo de Desastres. FAO. http://www.fao.org

Chilon, E., Huarachi, E., & Huayllani, A. (2012). Sistema integral de información agroclimática para la gestión del riesgo y la seguridad alimentaria con soberania. MDRyT-VDRA-UCR.

Constitución Política Del Estado, Estado Plurinacional de Bolivia (2009). http://bolivia.infoleyes.com/shownorm.php?id=469[12/28/20114:30:59PM]

Creswell, J.W., 2014. Research design: qualitative, quantitative and mixed methods approach, 4th ed. Sage, Thousand Oaks.

Hansen, J.W., Vaughan, C., Kagabo, D.M., Dinku, T., Carr, E.R., Korner, J., Zougmore, R. B., (2019). Climate Services Can Support African Farmers' Context-Specific Adaptation Needs at Scale. Front. Sustain. Food System 3 (21). https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00021.

Ley de Gestión de Riesgos, Ley No 602, Estado Plurinacional de Bolivia (2014).

Ley Marco de Autonomías y Descentralización Andres Ibañez,Ley Nº 032,Estado Plurinacional de Bolivia (2010).

Lozano-Povis, A., Alvarez-Montalván, C. E., & Moggiano, N. (2021). Climate change in the Andes and its impact on agriculture: a systematic review. Scientia Agropecuaria, 12(1).

Mayta, F. (2016, June 15). Efectos del cambio climático en el Altiplano boliviano. CIPCA Notas. https://www.cipca.org.bo/analisis-y-opinion/cipca-notas/efectos-del-cambio-climatico-en-el-altiplano-boliviano

Potter, E. R., Fyffe, C. L., Orr, A., Quincey, D. J., Ross, A. N., Rangecroft, S., ... & Pellicciotti, F. (2023). A future of extreme precipitation and droughts in the Peruvian Andes. npj Climate and Atmospheric Science, 6(1), 96.

Shahzad, A., Ullah, S., Dar, A. A., Sardar, M. F., Mehmood, T., Tufail, M. A., ... & Haris, M. (2021). Nexus on climate change: Agriculture and possible solution to cope future climate change stresses. Environmental Science and Pollution Research, 28(12), 14211-14232.

UNISDR. (2009). Terminología sobre reducción del riesgo de desastres. Naciones Unidas.

ECOSISTEMAS ALTO-ANDINOS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO: EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO Y CAPTURA DE CARBONO POR VEGETACIÓN NATIVA

Andean Ecosystems in the Face of Climate Change: Carbon Dioxide Emissions and Carbon Sequestration by Native Vegetation

Gavi Alavi[1], Verónica Condori[2], Alex Blanco[3]

RESUMEN

El estudio analiza la dinámica del carbono en ecosistemas altoandinos, donde bofedales y pasturas nativas están presentes. Se evaluaron las emisiones de dióxido de carbono (CO2) del suelo y la capacidad de captura de la vegetación mediante mediciones de fluorescencia fotosintética (Ft y Qy). Los resultados muestran diferencias estadísticas significativas, las pasturas muestran mayor biomasa aérea, en contraste, los bofedales acumulan biomasa radicular significativa, mayor contenido de carbono orgánico (COS) y biomasa microbiana del suelo. Los bofedales registran emisiones de CO2 significativamente más altos, especialmente en época húmeda vinculados al alto contenido de COS y alta actividad microbiana, mientras que las pasturas muestran emisiones menores, también con clara estacionalidad. La eficiencia fotosintética es superior en bofedales, donde existe una mayor diversidad florística, indicando mayor capacidad de captura de carbono de las especies presentes en el bofedal incluso bajo condiciones climáticas extremas presentes en las altas-montañas. Estos resultados confirman el papel estratégico de los bofedales como reservorios de carbono y reguladores climáticos, aunque también como fuentes importantes de CO2. Su conservación, junto con un manejo sostenible de pasturas, es fundamental para fortalecer la resiliencia de los ecosistemas andinos y orientar políticas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Palabras clave: Suelo; Emisión de CO2; Andes; Bofedal; Pasturas; Actividad fotosintética

ABSTRACT

This study analyzes carbon dynamics in high Andean ecosystems, where wetlands and native pastures are present. Soil carbon dioxide (CO2) emissions and vegetation capture capacity were assessed using photosynthetic fluorescence (Ft and Qy) measurements. The results show significant statistical differences: pastures show greater aboveground biomass, while wetlands accumulate significant root biomass, higher organic carbon (SOC) content, and higher soil microbial biomass. Wetlands record significantly higher CO2 emissions, especially during the wet season, linked to high SOC content and high microbial activity, while pastures show lower emissions, also with clear seasonality. Photosynthetic efficiency is higher in wetlands, where there is greater floristic diversity, indicating a greater carbon capture capacity of the species present in the wetland, even under extreme climatic conditions found in high mountains. These results confirm the strategic role of wetlands as carbon reservoirs and climate regulators, but also as important sources of CO2. Their conservation, along with sustainable pasture management, is essential for strengthening the resilience of Andean ecosystems and guiding climate change mitigation and adaptation policies.

Keywords: Soil; CO2 emissions; Andes; Wetland; Pastures; Photosynthetic activity
https://doi.org/10.53287/cqtp2551oa57u

[1] Investigadora asociada IIDEPROQ, Facultad de Ingenieria UMSA
[2] Becaria VLIR TEAMS, Facultad de Ingenieria UMSA
[3] Consultor Proyecto MARCLOC

1. INTRODUCCIÓN

Las emisiones y la captura de dióxido de carbono (CO2) en suelos constituyen una parte muy importante del balance de Carbono y el conocimiento de su dinámica es necesario para enfrentar los desafíos del cambio climático, especialmente en regiones vulnerables como los Andes bolivianos. En estos ecosistemas coexisten distintos usos de suelo, así como áreas con cobertura de vegetación nativa.

Las emisiones de CO2 del suelo están en función del tipo de uso de la tierra, el manejo agrícola y las condiciones ambientales. Su análisis es primordial para promover estrategias sostenibles que las minimicen y favorezcan la conservación o incremento del contenido neto de carbono orgánico en el suelo.

Al mismo tiempo, la captura de carbono mediante el proceso de fotosíntesis convierte a la vegetación nativa en un componente estratégico de estos ecosistemas. Su ocurrencia, incluso en la época seca y fría, se constituye en una contribución constante a la fijación de CO2 atmosférico (Shanker et al., 2019). En ese sentido, Maquera (2017) destaca que sistemas con cobertura nativa, como bofedales, pajonales, pastizales y especies arbóreas nativas, tienen un alto potencial de captura, especialmente cuando se mantienen prácticas tradicionales como el descanso de suelos.

Sin embargo, ambos procesos, emisión y captura, están amenazados por la expansión de modelos de producción agrícola intensiva y continua y por los efectos del cambio climático. Estos cambios, además de alterar el balance de carbono, ponen en riesgo la resiliencia de los ecosistemas altoandinos, que podrían tener un protagonismo importante en la regulación climática a nivel local y regional.

A pesar de su importancia, se verifica muy poco conocimiento respecto al balance de carbono en ecosistemas altoandinos de Bolivia, en particular sobre la magnitud de las emisiones y la capacidad de captura de carbono por la vegetación nativa bajo las particulares condiciones ambientales, que se caracterizan por condiciones extremas de temperatura y humedad.

Ante ello, el presente estudio pretende cooperar en el conocimiento de la dinámica de ambos procesos (emisiones y captura de CO2) con los objetivos de: (i) cuantificar las emisiones de CO2 del suelo bajo cobertura de vegetación nativa y (ii) determinar la capacidad de captura de carbono a través de la medición de la actividad fotosintética de varios tipos de cobertura de suelos, desde bofedales de zonas altas hasta pastura nativa. Como hipótesis se plantea que los bofedales presentan mayores emisiones y mayor capacidad de captura que la pastura nativa.
Con este enfoque, se busca generar evidencia científica que contribuya a una gestión sostenible de los recursos naturales altoandinos y que sirva para políticas de conservación, adaptación al cambio climático y fortalecimiento de prácticas tradicionales de manejo de suelo y vegetación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se desarrolló en ecosistemas altoandinos de Bolivia, específicamente en la cuenca Huanquisco en el Departamento de La Paz (descrita en el Capítulo 1), con una altitud que varía de 3800 en el Lago Titicaca hasta los 4600 msnm.
El clima de la región presenta dos épocas bien definidas: una seca y otra húmeda. La época seca se caracteriza por bajas precipitaciones y temperaturas mínimas que habitualmente descienden por debajo de 0□C, mientras que la época húmeda concentra aproximadamente el 70% de la precipitación anual y presenta temperaturas mínimas más elevadas (Seiler et al., 2013), lo que permite la actividad agrícola. Eventos extremos como heladas, sequias, y granizadas están presentes, los cuales constituyen factores de riesgo tanto para la producción agrícola como para la estabilidad de los ecosistemas (Valdivia et al., 2010).
Los suelos varían a lo largo y ancho de la cuenca. En la cuenca alta se observa suelos con alto contenido

de carbono orgánico, baja densidad aparente y valores de pH relativamente bajos (Goretti, 2021) muy probablemente asociados a condiciones de mayor acumulación de materia orgánica por las bajas temperaturas (Montanarella et al., 2015). En contraste, en las zonas media y baja, el contenido de carbono disminuye, mientras que la densidad aparente y valores de pH tienden a ser mayores, siendo el área que desarrolla mayor actividad agrícola.

2.1. Emisiones de CO2 del suelo

Se evaluaron las emisiones de CO2 de dos tipos de cobertura y uso de suelo (CUS): suelos en proceso de descanso o en recuperación de su vegetación nativa de pasturas (agrupadas como Pasturas), y suelos de bofedales. Para ello, sobre la superficie de cada CUS estudiado se instalaron cámaras cerradas con solución alcalina (NaOH) para captura de las emisiones de CO2 del suelo durante un periodo de aproximadamente dos horas. Posteriormente, estas soluciones fueron tituladas en laboratorio con HCl para determinar la cantidad de CO2 capturado. En total se realizaron 19 campañas de medición a lo largo del año, abarcando la época seca y la época de lluvias. Simultáneamente, se registró la temperatura de suelo a 5cm de profundidad y se tomaron muestras de suelo para determinar humedad y sus propiedades físicas y químicas.

2.2. Cuantificación de captura de carbono por actividad fotosintética

El potencial de captura de carbono de las CUS se cuantificó a través de la determinación del carbono capturado en vegetación, suelo y microorganismos y la actividad fotosintética. Para cuantificar el contenido de carbono en cada CUS se incluyeron los valores de vegetación, suelo, y microorganismos. Se cuantificó el carbono capturado en forma de biomasa vegetal (raíces, tallos, hojas, etc.), en puntos representativos, recolectando la biomasa aérea y subterránea de las especies predominantes, la que fue secada a 60°C (Quito, 2018). Simultáneamente, se determinó el contenido de carbono orgánico del suelo (COS), para lo que se colectaron muestras a los 30 cm de profundidad las que fueron analizadas en laboratorio para determinar el carbono orgánico total (método Walkley & Black (1934)) y la densidad aparente (método del cilindro), entre otras variables. La biomasa microbiana se determinó por el método de fumigación-extracción (Brookes et al., 1985). Finalmente, para evaluar la actividad fotosintética, se utilizó el equipo portátil FluorPen FP110, que mide dos parámetros: fluorescencia instantánea (Ft) y eficiencia cuántica fotosintética (Qy) (Padhi et al., 2021). Ft indica la fluorescencia emitida por la clorofila; valores altos sugieren estrés ya que la planta no usa eficientemente la luz para la fotosíntesis. Qy mide la eficiencia fotosintética y es la proporción entre fluorescencia mínima y máxima (Fv/Fm); valores bajos sugieren una reducción en la capacidad de conversión de luz a energía (Thwe and Kasemsap, 2014).

2.3. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) con el fin de determinar la existencia de diferencias significativas en las emisiones de CO_2, y de parámetros de actividad fotosintética (Ft y Qy) entre pastura nativa y bofedal. En caso de encontrar diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para comparaciones entre medias. Asimismo, se realizaron análisis de correlación de Pearson para explorar la relación entre la actividad fotosintética (Ft y Qy) y las emisiones de CO_2 del suelo, así como con variables climáticas registradas en la estación meteorológica. Todos los análisis se realizaron utilizando el software RStudio.

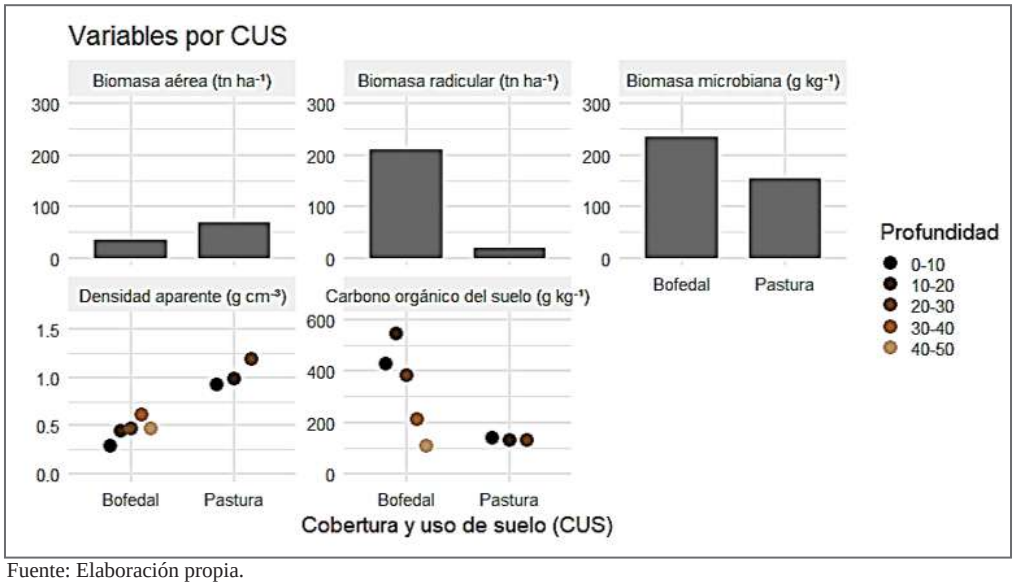
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados, sobre el contenido de carbono orgánico en el suelo y las salidas e ingresos del carbono.

3.1. Contenido de carbono orgánico en el suelo

El carbono orgánico en el suelo se divide en: a) el carbono de la biomasa vegetal (aérea y radicular); b) el carbono orgánico en la matriz del suelo (COS) como tal, y c) la biomasa microbiana. Los resultados muestran contrastes marcados entre los bofedales y las pasturas en relación con las variables evaluadas (Figura 1). En primer lugar, la biomasa aérea es mayor en las pasturas, lo que refleja una mayor productividad sobre el suelo asociada al predominio de gramíneas adaptadas al pastoreo. En contraposición, los bofedales presentan una menor acumulación de biomasa aérea. En términos de biomasa radicular la tendencia se invierte: los bofedales concentran una cantidad muy superior de biomasa radicular (200 tn ha-1) respecto a las pasturas (< 20 tn ha-1). La biomasa microbiana es mayor en bofedales (240 g kg-1) comparado a las pasturas (160 g kg-1). El contenido de COS a diferentes profundidades también muestra diferencias. Los bofedales contienen mucho más carbono en los primeros 40 cm que las pasturas. La densidad aparente en bofedales es menor, indicando suelos más porosos y con mayor capacidad de retención de agua. En las pasturas, la densidad aparente aumenta con la profundidad mostrando compactación y menor espacio poroso en comparación al bofedal.

Figura 1. Variación de variables edáficas y biológicas según cobertura y uso de suelo (CUS) en bofedal y pastura.



Fuente: Elaboración propia.

Las dos coberturas evaluadas, bofedales y pasturas muestran acumulación de carbono y biomasa contrastantes. Las pasturas muestran mayor biomasa aérea, mientras que los bofedales concentran mayor COS, biomasa radicular y biomasa microbiana, lo que fortalece la estructura del suelo y actividad biológica. Esto se refleja en la densidad aparente, ya que los bofedales mantienen suelos más porosos, por lo tanto, con mayor capacidad de retención de agua, en contraste con las pasturas, en las cuales la densidad aparente es mayor lo que demuestra compactación, limitando la acumulación de carbono, la actividad microbiana y la capacidad de retención hídrica.

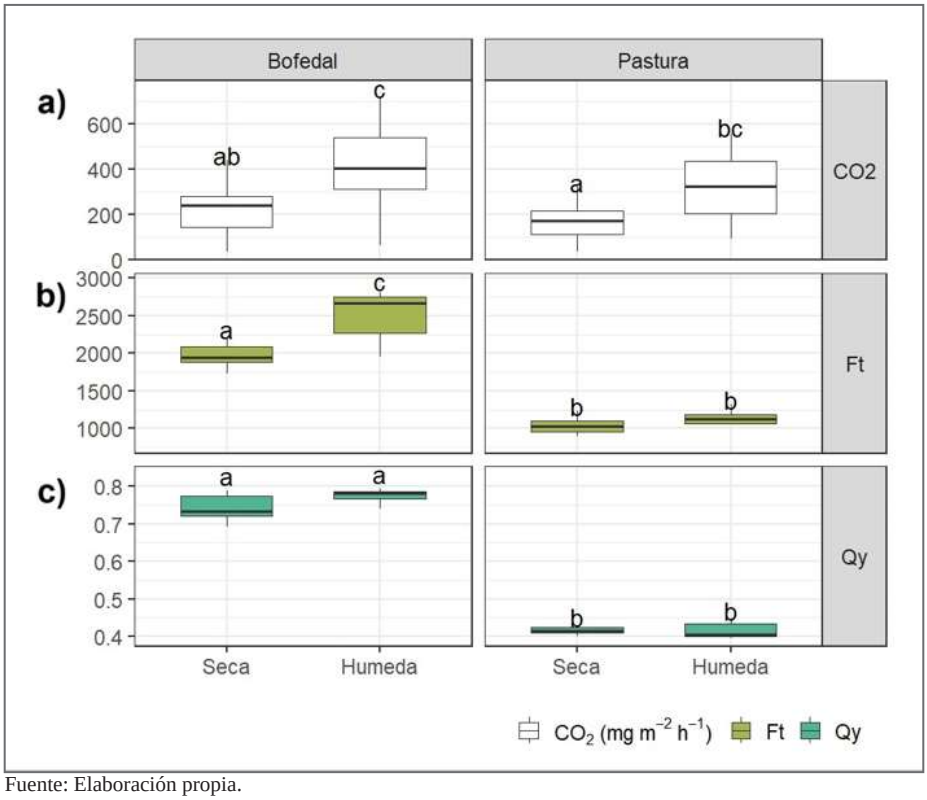
3.2. Emisión de CO2 del suelo y actividad fotosintética en función de la CUS

En la Figura 2 se observa las diferencias entre las emisiones de CO2 ocurridas en época seca y húmeda, Ft y Qy del bofedal y la pastura. Se observa que los

bofedales registraron valores significativamente mayores en época húmeda comparado a la pastura, lo que confirma su rol como puntos clave de emisión de carbono en ecosistemas altoandinos. En época seca las diferencias son menores (Figura 2a).

Entre los parámetros de actividad fotosintética, por un lado, la fluorescencia instantánea (Ft) es sistemáticamente mayor en bofedales, especialmente época húmeda. Las pasturas, mantienen valores bajos y sin variación entre épocas (Figura 2b). Estos resultados indicarían mayor eficiencia fotosintética en bofedales. Por otro lado, la eficiencia cuántica fotosintética (Qy) muestra una diferencia estadística más clara entre los bofedales y pasturas, sin diferencia significativa entre épocas (Figura 2c).

Figura 2. a) Comparación de la emisión de dióxido de carbono (CO2, mg m-2 h-1), parámetros de actividad fotosintética: b) fluorescencia instantánea (Ft, adimensional) y c) eficiencia cuántica fotosintética (Qy, fracción) por Cobertura y Uso de Suelo (CUS), por época seca y húmeda.



Fuente: Elaboración propia.

En conjunto, estos resultados permiten concluir que los bofedales funcionan como reservorios clave de carbono y de biomasa subterránea, además de mantener los suelos menos compactados y con mayor actividad microbiana, lo que fortalece su rol en la regulación climática y en la resiliencia ecosistémica. Las pasturas, por su parte, aunque sostienen mayor productividad aérea, lo hacen en detrimento de la salud edáfica y de la capacidad de almacenamiento de carbono, lo que incrementa el riesgo de emisiones de CO_2 y compromete la sostenibilidad de estos sistemas.

Los bofedales actúan como fuentes importantes en época húmeda estival, asociadas a su alta actividad microbiana y disponibilidad de carbono, con diferencias significativas con las emisiones que ocurren en invierno, mientras que las pasturas muestran menores flujos y menor diferencia entre épocas. Adicionalmente, la

eficiencia fotosintética es mayor en los bofedales, reflejando su mayor capacidad de secuestrar carbono de manera más constante y eficiente que las pasturas. En contraposición, el área más extensa de las pasturas compensaría, en términos de balance de carbono, la diferencia a escala con los bofedales.

3.3. Diversidad florística y actividad fotosintética por especie

La Tabla 1 muestra diferencias de composición florística entre las CUS. En los bofedales, la cobertura se distribuye entre especies dominantes como Phylloscirpus desertícola y Plantago tubulosa (cada una con un 35% de cobertura aproximadamente), junto a otras especies que añaden diversidad. Asimismo, la fluorescencia fotosintética (Ft) y de la eficiencia cuántica (Qy), particularmente durante el periodo húmedo es mayor, donde el Qy total llega a ser 0.77.

Por otro lado, las pasturas tienen una diversidad y cobertura efectiva más reducidas, con un 41% de suelo desnudo. Esto restringe la captura de carbono y la estabilidad del ecosistema. La actividad fotosintética es menor, la eficiencia de la fotosíntesis (Qy = 0.42) se mantiene sin alteraciones durante las estaciones.

Tabla 1. Diversidad florística, Porcentaje de cobertura y actividad fotosintética: fluorescencia instantánea (Ft, adimensional) y eficiencia cuántica fotosintética (Qy, fracción) por especie y época.

Cobertura y uso de suelo	Especie	Proporción cobertura (%)	Ft		Qy	
			Seca	Húmeda	Seca	Húmeda
Bofedal	*Plantago tubulosa Decne*	35	818	1022	0.27	0.28
	Phylloscirpus desertícola	36	676	857	0.27	0.28
	Calamagrotis curvula wedd.	15	158	245	0.09	0.11
	Gentiniana sedofilia	14	322	380	0.11	0.11
	TOTAL		**1974**	**2503**	**0.74**	**0.77**
Pastura	*Festuca dolichopylla*	25	383	453	0.18	0.18
	Festuca rigences	24	490	471	0.17	0.17
	Deyeuxia vicunarum Wedd	10	177	177	0.07	0.07
	Sin vegetacion	41	0	0	0	0
	TOTAL		**1049**	**1100**	**0.42**	**0.42**

Fuente: Elaboración propia.

Estos hallazgos confirman que las áreas con diversidad de coberturas, que incluyan bofedales funcionan como reservorios críticos de carbono y biomasa situada estratégicamente ya sea en la zona radicular o como biomasa aérea. Aunque con mayor tasa de emisiones, mayor actividad microbiana, acumulación de carbono subterráneo y de fotosíntesis por parte de los bofedales, estos en conjunto con amplias áreas cubiertas por las pasturas nativas, contribuyen a un elevado y significativo almacenamiento de carbono, por lo que su manejo adecuado contribuye a la mitigación del cambio climático. Se requieren estudios adicionales de su papel en la regulación climática local a través de la modulación del balance energético.

4. CONCLUSIONES

El estudio evidencia la complejidad de la dinámica del carbono en ecosistemas altoandinos, al integrar tanto las emisiones de CO_2 del suelo como la capacidad

de captura vía fotosíntesis de la vegetación nativa (Ft y Qy). Los resultados muestran que los bofedales concentran carbono en raíces y suelo, con alta actividad microbiana y fotosíntesis eficiente, mientras que las pasturas destacan por biomasa aérea y mayor cobertura en comparación con los bofedales. Las emisiones de CO2 muestran una clara estacionalidad, y los bofedales emiten más CO2 durante la época húmeda. Los bofedales presentan emisiones relativamente altas debido a su elevada acumulación de carbono orgánico y alta actividad microbiana, consolidándolos como ecosistemas estratégicos para la mitigación del cambio climático.

Estos resultados destacan la importancia de conservar bofedales por su papel en el almacenamiento de carbono y su resiliencia ecosistémica, y de gestión del manejo sostenible de pasturas considerando su mayor cobertura espacial. Esta información es crucial para el desarrollo de estrategias de manejo del suelo adaptadas a los ecosistemas altoandinos, integrando tanto la capacidad de secuestro de carbono como la influencia de factores climáticos determinantes de la estacionalidad.

4. REFERENCIAS

Brookes, P.C., Landman, A., Pruden, G., Jenkinson, D.S., 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. Soil Biol. Biochem. 17, 837–842. https://doi.org/10.1016/0038-0717(85)90144-0

Goretti, M., 2021. Evaluación de la aptitud de uso de la tierra en la subcuenca del río Huanquisco del municipio de Ancoraimes. Universidad Mayor de San Andres.

Maquera, D., 2017. Determinancion del contenido de carbono por especie forestal en el bosque del CIP Camacani. Universidad Nacional del Altiplano.

Montanarella, L., Pennock, D., Mckenzie, N., Alavipanah, S., Alegre, J., Alshankiti, A., Arrouays, D., Aulakh, M., Badraoui, M., Costa, I., Black, H., 2015. Status of the World's Soil Resources., Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome, Italy.

Padhi, B., Chauhan, G., Kandoi, D., Stirbet, A., Tripathy, B.C., Govindjee, G., 2021. A comparison of chlorophyll fluorescence transient measurements, using handy pea and fluorpen fluorometers. Photosynthetica 59, 399–408. https://doi.org/10.32615/ps.2021.026

Quito, K., 2018. Evaluación del volumen de captura de carbono en la chakra andina en tres pisos altitudinales en la parroquia San Miguel de Porotos, provincia del Cañar y su aporte al efecto invernadero. Universidad Politécnica Salesiana.

Seiler, C., Hutjes, R.W. a., Kabat, P., 2013. Likely Ranges of Climate Change in Bolivia. J. Appl. Meteorol. Climatol. 52, 1303–1317. https://doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0224.1

Shanker, A.K., Coe, R., Sirault, X., 2019. Integrated high-resolution phenotyping, chlorophyll fluorescence induction kinetics and photosystem II dynamics under water stress and heat in Wheat (Triticum aestivum). bioRxiv. https://doi.org/10.1101/510701

Thwe, A.A., Kasemsap, P., 2014. Quantification of OJIP Fluorescence Transient in Tomato Plants Under Acute Ozone Stress. Kasetsart J. 48, 665–675.

Valdivia, C., Seth, A., Gilles, J., Garcia, M., Jiménez, E., Cusicanqui, J., Navia, F., Yucra, E., 2010. Adapting to Climate Change in Andean Ecosystems: Landscapes, Capitals, and Perceptions Shaping Rural Livelihood Strategies and Linking Knowledge Systems. Ann. Assoc. Am. Geogr. 100, 818–834. https://doi.org/10.1080/00045608.2010.500198

Walkley, A., Black, I.A., 1934. Walkley, A. and Black, I.A. (1934) An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. Soil Sci. 37, 29–38. https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003



AGRICULTURA FAMILIAR: VALORANDO A LOS PRODUCTORES INNOVADORES DE CARA A LOS CAMBIOS AMBIENTALES

Family farming: Valuing innovative producers in the face of environmental changes

Magali Garcia[1], Edwin Yucra[2] Andrea Pozo [3]

RESUMEN

En el presente trabajo se explora las tipologías de adopción de innovaciones en cinco agricultores identificados en las actividades del proyecto MARCLOC, como altamente participativos y con aparente espíritu innovador provenientes de las dos zonas del proyecto i.e. Altiplano Norte y Central de Bolivia. Se describió las diversas tipologías en pocos agricultores que son quienes integran innovaciones en sus sistemas productivos, siendo agricultores investigadores con curiosidad innata, así como aquellos que mantienen el uso del conocimiento local generando información y pronóstico que ayuda en la toma de decisiones. También se identificaron actitudes innovadoras en relación al estado y fluctuación del mercado de los productos integrados en el sistema. Las motivaciones para incluir innovaciones en los agroecosistemas se centraron en evitar los riesgos, aprovechar las oportunidades, obtener reconocimiento de la comunidad o simplemente llevadas por la curiosidad innovativa del agricultor, que podría ser innata. También se identificó una aparente relación que muestra que, una mayor inclusión de innovaciones, está relacionada con un relativo mayor ingreso monetario, sin embargo, el pequeño tamaño de la muestra no permitió llegar a conclusiones que permitan generalizaciones.

Palabras clave: Productor Innovador, Investigación, conocimiento local, adaptación tecnológica, riesgos climáticos.

ABSTRACT

This work explores the typologies of innovation adoption in five farmers identified in the activities of the MARCLOC project, as highly participatory and with an apparent innovative spirit coming from the two project areas i.e. Northern and Central Altiplano of Bolivia. The diverse typologies of farmers who integrate innovations into their production systems were described, with farmers being researchers with innate curiosity, as well as those who maintain the use of local knowledge, generating information and forecasts that help in decision-making. Innovative attitudes linked to knowing the market situation of the products integrated into the system were also identified. The motivations for including innovations in agroecosystems focused on avoiding risks, taking advantage of opportunities, obtaining recognition from the community or simply driven by the farmer's innovative curiosity, which could be innate. An apparent relationship that shows that a greater inclusion of innovations is related to a relatively higher monetary income was identified; however, the small size of the sample did not allow us to reach conclusions that allow generalizations.

Keywords: Innovative Producer, Research, local knowledge, technological adaptation, climate risks.
https://doi.org/10.53287/qnjy1636be56b

[1]Investigadora IIDEPROQ, Facultad de Ingenieria UMSA
[2]Investigador CIPYCA UMSA
[3] Doctorante Proyecto NMA UMSA

1. INTRODUCCIÓN

La innovación agrícola existe desde que el ser humano comenzó a domesticar a las plantas para obtener sus alimentos. Con el tiempo se enfrentó la necesidad de seguir innovando para lidiar con las dificultades de falta de alimentos, que se presentaban por el incremento de la población y las mayores exigencias en cantidad y calidad de productos. En ese contexto, el concepto mismo de innovación incluía solamente a la tecnología integrada con el fin de incrementar la productividad agrícola. Sin embargo, ya desde el anterior siglo, se considera el contexto social y cultural dentro de la conceptualización de innovación para la agricultura. De hecho, desde 2019, la FAO crea su oficina para la innovación y conceptualiza la innovación en agricultura como "…el proceso por el que las personas u organizaciones introducen por primera vez en un determinado contexto el uso de productos, procesos o formas de organización nuevos o existentes con el fin de aumentar la eficacia, la competitividad, la resiliencia ante las perturbaciones o la sostenibilidad medioambiental, favoreciendo así la seguridad alimentaria y la nutrición, el desarrollo económico y/o la ordenación sostenible de los recursos naturales" (FAO, 2025).

En general, los productores agroalimentarios ligados y dependientes de los recursos naturales en ecosistemas marginales son más vulnerables a los impactos de estreses externos que los productores que cultivan con elevada cantidad de insumos (Ballesteros & Isaza, 2021). Específicamente, la vulnerabilidad a la variabilidad climática es consecuencia de la falta de opciones de respuesta a las condiciones del clima cada vez más cambiante, que de alguna forma están ligadas a la falta de opciones innovativas o a la aversión a introducir innovaciones en el sistema productivo (Altieri & Nicholls, 2013).

Las características condiciones climáticas adversas persistentes de las zonas altoandinas (como se describe en el Capítulo inicial), han forzado a los agricultores a desarrollar habitualmente una actividad agropecuaria innovadora, valorada y validada en el tiempo por las siguientes generaciones. En la actualidad la problemática multifacética, influenciada por una compleja interacción de factores socioeconómicos, y ambientales globalizadores, ha inducido una mayor vulnerabilidad en los sistemas productivos de las familias altoandinas, pues muchos eventos extremos ocasionan la perdida de sus recursos naturales y económicos, provocando colapsos de los sistemas de producción.

Ante este nuevo contexto y durante el contacto con agricultores de las áreas de trabajo del Proyecto MARCLOC, se destacó el surgimiento de requerimientos de conocimientos externos sobre avances tecnológicos, biológicos e incluso sociales, para responder a los eventos climáticos recurrentes y extremos, conservar sus recursos naturales y sociales, y continuar con la tradición innovadora bajo sus condiciones locales.

El objetivo de este artículo es presentar los resultados de un análisis de casos que se realizó con agricultores destacados en sus comunidades ya sea por participar activamente en el proyecto, por mostrar una actitud innovadora en las reuniones llevadas en las reuniones del proyecto MARCLOC o ambas características. Se intentó identificar el perfil de innovación y sus actitudes hacia el éxito productivo con el objetivo de comparar sus actitudes y decisiones y analizarlas para contribuir a la discusión sobre innovación en la agricultura alto-andina.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Agricultor y Productor agrícola

La distinción entre Agricultor y Productor agrícola no es completamente clara. Algunos consideran que son sinónimos, pero estos responden a diferencias estructurales desde el punto de vista de producción, relaciones sociales y marcos institucionales. El termino

productor agrícola ha sido promovido por políticas públicas, orientadas al rendimiento económico, mientras que el de **agricultor** mantiene una carga simbólica y cultural aferrada al concepto de territorio (Hernández, 1994). Por otra parte, Escobedo, (2014), clasifica a los **productores agrícolas** en función a su capital económico y acceso a servicios, pero destaca el rol del **agricultor tradicional** como sujeto estratégico en procesos de desarrollo rural sostenible. El termino agricultor innovador va más allá de la persona que busca producir más, si no, aquel productor que busca y explora alternativas que le apoyen para producir mejor o a responder mejor a un factor adverso que afecta su producción.

2.2. Innovación

Podemos establecer que la innovación, al mismo tiempo es un proceso y un resultado. La innovación ocurre por medio de la interacción social y es acumulativa por su naturaleza. La innovación llevada por los agricultores de pequeña escala, según Bragdon & Smith, (2015), toma forma y acciones según criterios que la hacen diferentes como:

a) **Aplicación de la Innovación técnica (IT)** (desarrollo de nuevas variedades, herramientas y técnicas) (Gupta et al., 2003), e Institucional (Cambio en las relaciones entre agentes, tanto fuera como dentro de la comunidad) cuando los recursos ya no abastecen la necesidad de ello (Röling, 2009).
b) **Aplicación del conocimiento local a las circunstancias cambiantes (CL)**, incluye los criterios, la sabiduría, las ideas y las opiniones, así como el conocimiento ambiental y etnobotánico (Beckford & Barker, 2007) y cómo los agricultores que afrontan circunstancias únicas y cambiantes aplican y modifican de forma selectiva aplicando el conocimiento local.
c) **El mantenimiento, uso y manejo de la agrobiodiversidad (DA)** y las prácticas de manejo agrario, para adaptarlas a condiciones cambiantes que podrían desarrollarse (cambiando los cultivos y las variedades que se siembran, dónde y cuándo se siembran) (Howard et al., 2008)
d) **Adaptación a las tensiones ambientales y socioeconómicas (AC),** la adaptación está íntimamente relacionada con la innovación. El cambio climático y la degradación del medio ambiente constituyen factores importantes que motivan la innovación en los sistemas agrícolas, particularmente entre la gente de escasos recursos que vive en áreas marginales y cuya subsistencia depende de los recursos naturales (Rodima-Taylor et al., 2012).
e) **La adaptación de tecnologías "modernas" (AT)** para satisfacer las necesidades locales. Sin embargo, las nuevas tecnologías que no se adoptan extensivamente pueden ser inferiores a las técnicas existentes o inadecuadas en un contexto particular (Scoones and Thompson, 2009).

2.3. Motivación de los agricultores para la innovación

La literatura revisada y disponible sobre las motivaciones del agricultor para innovar es variada, aunque resaltan las siguientes razones que se muestran comunes para motivar la búsqueda de innovaciones (Saad, 2001; Scoones and Thompson, 2009; Ballesteros, & Isaza 2021):

a) **Riesgo, principalmente los climáticos**, la volatilidad del precio en los mercados, inseguridad alimentaria, que hacen que se busquen opciones que estabilicen o garanticen la producción.
b) **Oportunidades,** que surjan como la apertura de nuevos mercados con mejores precios, disponibilidad de infraestructura, equipo, tecnología y recursos.
c) **Factores socioculturales,** a través del deseo de reconocimiento y posición social dentro de la comunidad.

d) Curiosidad investigativa propensión natural a experimentar, por un afán de curiosidad de su contexto.

3. METODOLOGÍA

3.1. Áreas de Trabajo

Las comunidades en las que se llevó procesos de seguimiento e identificación de agricultores innovadores fueron Chinchaya en Ancoraimes, e Iñacamaya, Sabilani e Incamaya en Umala. Las características ecosistémicas de estas zonas, siguen lo presentado en el Capítulo inicial de esta publicación. El análisis se centra en la valoración de las actitudes mostradas por los productores identificados como generadores de opciones o exploradores de tecnologías o conocimiento en beneficio propio, local y comunal.

Para el estudio de estos casos, se utilizaron inicialmente métodos de investigación participativa para aplicar criterios que diferencien a los productores innovadores. Se aplicaron criterios de amplia y constante participación en las actividades del proyecto, por mostrar una actitud innovadora en las reuniones llevadas en las reuniones del proyecto MARCLOC o ambas características. En las reuniones iniciales con los componentes de las comunidades se pidió a los participantes que recordaran cómo era su sistema productivo desde que hicieron su producción familiar, así como experiencias sobre cambios en el uso de la tierra y sistema agrícola y cuáles fueron las acciones tomadas al respecto. En reuniones posteriores se conversó individualmente sobre la situación productiva individual al momento de la conversación (2022). Se registraron y grabaron las respuestas y se visitó sus parcelas donde se evidenció el estado productivo. Posteriormente se analizaron los datos del INE (Instituto Nacional de Estadística) y SENAMHI para validar los recuerdos de los agricultores. Se inició el procesamiento describiendo las características de la población en 2012 tal como se describen en la Tabla 1, así como el número de agricultores identificados para el estudio del potencial innovador.

Tabla 1. Características de la población en las comunidades de estudio.

Municipio	Comunidad	Población	Nº Familias	Hombres	Mujeres	Agr.destacados
Ancoraimes	Chinchaya	109	61	54	55	2
	Iñacamaya	234	52	108	126	1
Umala	Sabilani	107	21	51	56	1
	Incamaya	141	33	73	68	1

Fuente: Elaboración en base a resultados del Censo de 2012 (INE).

Para evaluar los parámetros definidos como criterios de agricultor innovador, se aplicaron técnicas de observación sistemática y estructurada (Barragan et al., 2008). Durante las entrevistas individuales se emplearon herramientas pertinentes para la obtención de información sobre los puntos 2.2. y 2.3 de este documento como ser diagramas, línea de tiempo, experiencias exitosas, maquetas, etc. Por último, se aplicó la metodología de historias de caso (Stake, 1999), que consiste en que el informante pueda proporcionarnos historias sobre su experiencia particular con la actividad productiva y para ello se emplearon entrevistas a profundidad (Simons & Filella, 2011) con el apoyo de un esquema de preguntas de carácter flexible para que el participante tenga la libertad de expresar su experiencia, así poder recolectar diferentes testimonios que nutran la investigación.

Para la valoración de criterios del uso de tipologías de innovaciones mencionadas en el punto 2.2. de esta publicación se diseñó una adecuación de escala Likert, asignando valores en base y en función de las respuestas recibidas (Margarita et al., 2007; Mendez & Peña, 2009)). El estímulo (item o juicio) que expresó el agricultor, representa la propiedad que se deseaba evaluar y las respuestas se diferenciaron en niveles desde la muy baja o ninguna aplicación o uso hasta la experticia en la acción evaluada (Tabla 2).

Tabla 2. Escala de Likert, adecuada a la valoración de los Innovadores de la aplicación de los criterios desplegados en 2.2.

Escala	Valoración
1	Desconoce la aplicación de la práctica o acción evaluada o la aplicación que realiza en muy baja
2	Baja aplicación de la práctica o acción evaluada
3	Regular aplicación de la práctica o acción evaluada
4	Elevada o muy elevada aplicación de la práctica o acción evaluada
5	Experto en aplicación de prácticas y conocimientos locales

Fuente: Elaboración propia

La aplicación de esta escala permitió valorar las acciones de los innovadores, de acuerdo a lo descrito en 2.2 en función de la aplicación o uso de a) Innovación técnica (IT); b) Conocimiento local (CL); Desarrollo y manejo de la agrobiodiversidad (DA); Adaptación a las tensiones ejercidas por el clima y la sociedad (AC); Adopción de tecnologías modernas (AT). Posteriormente se procesó la adición de los valores asignados de acuerdo a las respuestas obtenidas con el fin de medir y comparar el nivel innovativo de loa agricultores identificados para este estudio.

Por otra parte, se evaluó e indago por las razones que motivan el uso o adopción de innovaciones clasificando las respuestas en a) Reducción del Riesgo (R); b) Oportunidades surgentes (O); c) Factores Socioculturales (FS); d) Curiosidad investigativa (CI).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los agricultores identificados para los estudios de caso son varones mayores de 50 años con ingresos variables. Su ocupación principal al presente es la agricultura, aunque no siempre fue el caso (Tabla 3).

Tabla 3. Características de los estudios de caso en relación al uso y aplicación de innovaciones.

Municipio	Comunidad	Código asignado al agricultor	Actividad Antes	Actividad Ahora	Sumatoria de calificación Likkert	Ingreso anual*
Umala	Incamaya	A	Agricultor	Agricultor-ganadero	9	Muy bajo
	Iñacamaya	B	Ganadero	Agricultor	22	Alto
	Sabilani	C	Ferretero	Agricultor	19	Alto
Ancoraimes	Chinchaya	D	Agricultor	Agricultor Cebollero	13	Alto
	Chinchaya	E	Agricultor	Agricultor	17	Medio

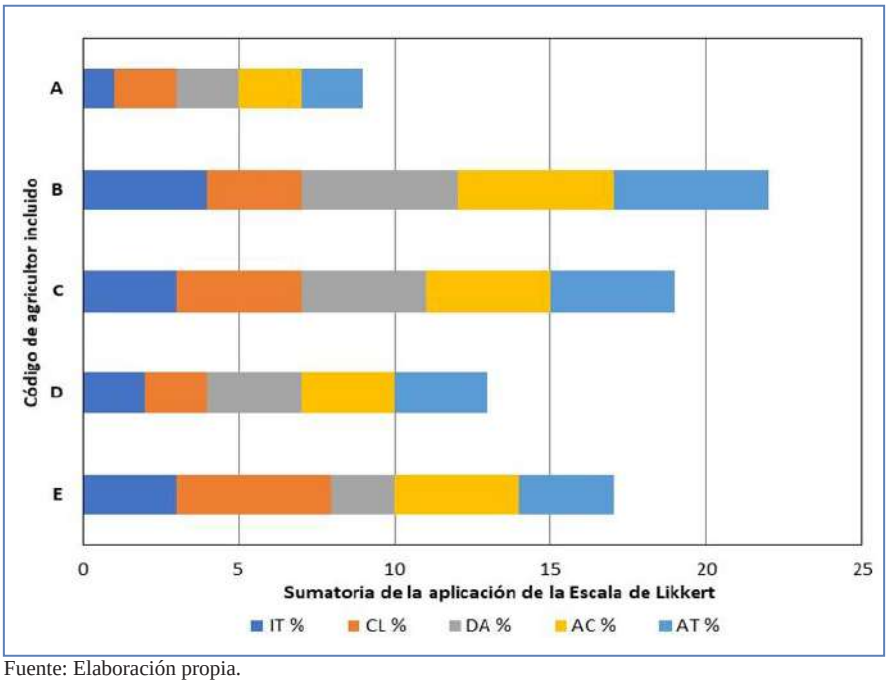
Fuente: Elaboración propia.
*Igual o menor a la suma de salario básico de un año

4.1. Categorización de los Innovadores

Las respuestas al trabajo de investigación participativa y de aplicación de cuestionarios abiertos se encuentran detalladas en el Anexo 1 y los valores individuales y en sumatoria de los valores asignados en la escala tipo Likkert para los criterios del acápite 2.2. se encuentran en la Figura 1. De la lectura de lo obtenido se puede establecer que los innovadores que más llevaron la Adopción tecnológica (AT) gracias al Internet son B y C lo que también les ha permitido entender y poder responder con Adaptaciones a las tendencias medioambientales (AC); otra fortaleza común en ellos es mantener y manejar la Agrobiodiversidad (DA). En el primer caso, esto le ha generado más oportunidades para responder al cambio climático, pues plantea alternativas que respondan a los eventos meteorológicos extremos, por ejemplo, llevó experimentó con producción intensiva de tubérculos en invernaderos, con tres cosechas al año. También aplica implementación de riego con agua inoculada con microorganismos, abastecimiento de plantines de papa a partir de esquejes de planta, manejo de abono orgánico en diferentes versiones y sustratos. Este tipo de nuevos conocimientos, adecuándolos a sus condiciones locales, parten de la preocupación de perdida de producción por sequía y heladas con los que crea nuevas líneas de trabajo.

Con similares habilidades el agricultor C, a raíz de la degradación de los suelos de sus parcelas, introduce el cultivo de tarwi (Lupinus mutabilis) y otras leguminosas por su potencial mejorador de suelo. También instala sistemas de riego de profundidad para cultivos anuales, o aspersores de largo alcance para introducir el riego de forrajes, muy poco tradicional enla zona y que es tratado para mejorar la calidad de nutrientes y almacenaje. Con ello ha elevado fuertemente su producción lechera, habiendo incorporado también tecnologías de conservación de leche en su predio para entregar a las empresas procesadoras, pues desea reducir sus riesgos de pérdidas de cultivos como en años Niño con categoría extrema que se presentaron en años previos

Figura 1. Sumatoria de valores asignados en la escala tipo Likkert para cada agricultor identificado. El máximo posible es de 25 puntos.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Figura 1 el tercer innovador que integra prácticas poco frecuentes o con reducida confianza de parte de los agricultores, es el agricultor E. cuya innovación es mantener el seguimiento y pronóstico climático en base a indicadores naturales. En base a su expresión, se produce la toma de decisiones productivas de qué y cuándo se cultivará. Adicionalmente, aplica conocimientos adquiridos sobre el manejo agroecológico de bio-insumos que mejoran su producción o la recuperan del impacto de eventos extremos. Estos conocimientos adquiridos y mejorados son difundidos por el mismo agricultor hacia una red de productores que él lidera de diferentes provincias y departamentos. El manejo y observación de indicadores fue motivado por las pérdidas enfrentadas previamente debido a la poca información y alertas disponibles de pronósticos meteorológicos de corto y mediano plazo.

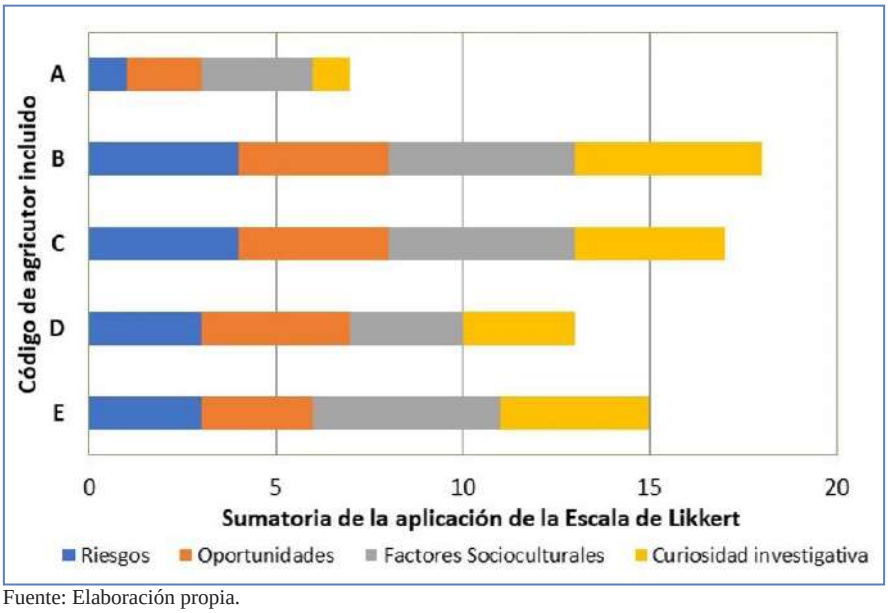
El cuarto innovador, D, más bien innova a través de la conexión con redes, portales y sitios de información externos sobre clima y mercado, así como el comportamiento del precio de su producto centrado en la producción y comercialización de cebolla que es la principal fuente de su ingreso y bienestar de la familia. Su principal motivación se encontró en buscar respuesta ante el comportamiento cada vez más errático del clima y del mercado, lo que le hizo identificar su necesidad de mayor cantidad de información especializada sobre los pronósticos climáticos de portales internacionales como Accuweather o de información de precios de mercado como el Observatorio agroambiental. De esta manera toma decisiones sobre cuándo regar y cuando cosechar para llevar su producto al mercado cuando se presentan los mejores precios.

El agricultor A fue capacitado por diferentes instituciones en producción Agroecológica y producción de leche. El también adquirió conocimiento sobre pronóstico del clima mediante Indicadores naturales, e invirtió en maquinaria para la producción agrícola. A pesar de contar con la información provista por los indicadores y los portales, y de toda la experiencia y conocimiento adquirido, su producción agrícola es reducida, pues no siente confianza para seguir los pronósticos provenientes de fuentes naturales ni utilizar ni aplicar bio-insumos a sus campos de papa y forraje. Se identificó también que el seguimiento del precio de la papa en portales, no demuestra compensación a la inversión y la entrega de leche a las empresas recolectoras es restringida en cantidad y precios. A pesar de ello, el agricultor E no siente la confianza para invertir más en tecnología o bio-insumos, pues siente mucha aversión al riesgo, a pesar de estar consciente de las limitaciones que por ello enfrenta.

4.2. Cómo y porqué innovan los productores

Una de las grandes preguntas que se genera entre los investigadores académicos, sobre la Investigación "empírica" y la inclusión o no de innovaciones que realizan los Productores es la razón de porqué innovan en base a sus investigaciones o por qué no lo hacen. La Figura 2 muestra que las motivaciones para la innovación cubren los cuatro aspectos nombrados en el capítulo 2.2. El agricultor B investiga por una elevada curiosidad investigativa, la que le lleva a analizar un dado problema productivo recurrente que se presenta en su sistema, investiga al respecto en fuentes como el Internet e implementa por criterio propio la práctica a solucionar; ya sea problemas de sequía que afectan a sus cultivos, mejores momentos para riego, mejores preparados de suelo, riego por goteo un día antes de la siembra, distanciar la siembra de semillas por golpe (con herramienta fabricada por él mismo) en el lugar humedecido por el goteo, etc. Con su metodología logró asegurar rendimientos mayores a 4tn/ha de quinoa, en terrenos moderadamente grandes, pues está consciente que no puede controlar más superficie, dado que no cuenta con suficientes equipos, inversión en la que piensa al presente y podría ser la próxima. El agricultor B observa en la quinua una oportunidad de mercado ya sea en grano o en semilla, siempre considerando nuevas oportunidades potenciales y la reducción de los riesgos atmosféricos con mejoras a su tipo de producción.

Figura 2. Sumatoria de valores asignados en la escala tipo Likkert para la motivación para innovar de cada agricultor identificado. El máximo posible es de 20 puntos.



Fuente: Elaboración propia.

El productor C se interesa en innovar especialmente para el forraje y los productos agrícolas, siendo su prestigio comunal un gran motivador para incluir innovaciones, aunque también el riesgo climático y las oportunidades recibidas son factores motivadores para incluir innovaciones que le lleven a demostrar su capacidad de mantener forraje y ganado mejorado. Este agricultor tiene una red grande, no niega el apoyo a sus vecinos y es altamente participativo. Entre sus investigaciones sobresale el trabajo en riego controlado por aspersión de 100 m. de diámetro para forraje, siembra de variedades de alfalfa, elaboración de ensilaje en varios lugares con, aplicación de melaza y otros aditivos para mejorar la calidad del forraje, buen manejo de alimentación y sanidad del ganado para producción de la leche. Es una línea de producción y otras que son complementarias como producción de haba, papa, quinua, etc. con destino a la venta. Es consciente que requiere de apoyo de personal contratado para atender superficies mayores a las 30 hectáreas. Pero para él, los riesgos climáticos fueron considerados como una oportunidad para mejorar sus capacidades en conocimiento, tecnología y principalmente ser un referente para sus vecinos.

Por otro lado, el agricultor E, experimenta en sus parcelas aplicando conocimientos locales y culturales, también enseña al respecto a los estudiantes del colegio, con la finalidad de que las tradiciones, cultura y conocimientos productivos no sean olvidados, haciendo prácticas de observación de Indicadores Naturales de la zona para el pronóstico del clima. Apoya en la enseñanza de elaboración de bioinsumos con materiales e insumos de la zona y ante los riesgos climáticos aplica esos bioinsumos, por lo que tiene seguridad de poder contrarrestarlos. No ve en los cultivos una oportunidad porque están destinados más a la seguridad alimentaria familiar.

Para el agricultor D, la cebolla es más que todo una oportunidad de comercio, por ello sus experimentos van relacionados hacia el mercado, para ello siembra en diferentes épocas con riego controlado, que le permita cosechar y vender en mercado cuando la falta de este producto eleva el precio. El riesgo del mercado y de clima son sus motivaciones para investigar y adecuarse a los cambios.

Finalmente, al agricultor A no realiza experimentos por su cuenta, pero asesora a los jóvenes del lugar como sus hijos en implementar prácticas que pudieran mejorar la producción como probar nuevos cultivos como la zanahoria, incorpora urea a los pastos nativos para alimento y mantiene la producción de leche en ganado bovino, aunque no realiza investigaciones propias.

5. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

Los sistemas de agricultura a pequeña escala, se caracterizan por áreas relativamente pequeñas de acuerdo a las zonas (Ancoraimes hasta 2.5 ha, Umala hasta 20 ha) (Taboada et al., 2011), las que en gran parte dependen de la mano de obra familiar, tratando de reducir los insumos externos. Los agricultores innovadores de las diferentes regiones lograron adaptar sus prácticas de manejo y mejorar sus sistemas productivos para adecuarse a las condiciones cambiantes, ya sea cultivando intensivamente áreas pequeñas, observando las fluctuaciones del mercado para comercializar la producción intensiva de vegetales, introduciendo riego a forrajes, o manejando con detalle sus indicadores locales para reducir el riesgo climático. Con un conocimiento profundo de sus recursos naturales los agricultores clasificados como innovadores realizan continuamente experimentos y observan los cambios que les dan resultados en el tiempo. Estos productores adoptan formas de toma de decisiones que son relativamente exitosas, logradas a través del interés demostrado en capacitaciones, participación que luego se refleja en la integración de tecnologías, insumos y prácticas de manejo, combinando sus conocimientos locales con los obtenidos de otras experiencias semejantes. Sin embargo, el interés no significa necesariamente la innovación, tal como se identificó con el agricultor A quien, a pesar de tener mucho interés en las capacitaciones y actividades productivas con el proyecto, mayormente no aplica lo aprendido ni busca independientemente respuestas a sus inquietudes productivas.

De la experiencia de los innovadores y cómo estos plantean y aplican alternativas de investigación podemos concluir que la innovación no significa necesariamente la adopción de tecnologías provenientes principalmente del Internet, y/o del uso de insumos externos. En muchos casos, las visitas o experiencias en instituciones, permiten que ellos analicen sus tecnologías y las integren con otras nuevas para que se remplacen o se rechacen. Algunos innovadores no adoptan las tecnologías modernas, por que valoran los conocimientos locales, los que se adaptan mejor a su contexto al presente, sin embargo, la influencia de la globalización y la invasión tecnológica, podría provocar en el futuro que se adopten nuevas tecnologías tanto por necesidad como por el ingreso de nuevos actores decisores, por ejemplo, los hijos de los innovadores.

La influencia de los innovadores sobre el resto de la comunidad es elevada, pues, aunque no se presentan evidencias en este documento, se han producidos cambios e innovaciones durante los últimos 30 años, en gran proporción motivados por los innovadores. En Umala, la influencia de los agricultores B y C, al introducir técnicas que trajeron de otras regiones, y que demostraron que se pueden aplicar en sus sistemas, se motivó cambios incluso del sistema productivo, respondiendo satisfactoriamente a las presiones globales del clima, social y económico.

Los innovadores cuentan con una inclinación nata a la investigación, la que se refuerza por la vulnerabilidad sentida a los riesgos especialmente meteorológicos. En adición, la innovación es motivada por factores sociales, pues ayudar a cambiar los sistemas productivos de los vecinos significa prestigio y reconocimiento social.

Las tecnologías que mejoran la eficiencia del uso de los recursos, como la agricultura de precisión, pueden beneficiar a los pequeños agricultores. Sin embargo, la adopción sigue siendo limitada debido a barreras financieras, informativas y de infraestructura. Las estrategias que involucran asociaciones, cooperativas y contratación personalizada son prometedoras para

reducir estos obstáculos. Para su adopción es esencial un enfoque multifacético con apoyo político, financiero y educativo.

El reducido tamaño de la muestra presenta las limitaciones de este estudio que pretendió mostrar las características de los agricultores innovadores alto-andinos. Es recomendable ampliar el análisis a zonas y a mayor cantidad de actores, con el fin de poder encontrar resultados más generalizables.

6. REFERENCIAS

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al Cambio Climático: Principios y Consideraciones metodológicas. In Agroecología (Vol. 8, Issue 1).

Ballesteros, J., & Isaza, C. (2021). Adaptation measures to climate change as perceived by smallholder farmers in the Andes. Journal of Ethnobiology, 41(3), 428-446.

Barragan, R., Salman, T., Ayllón, V., Córdova, J., Langer, E., Sanjinéz, J., & Rojas, R. (2008). Guía para la formulación y ejecución de proyectos de investigación (FUNDACIÓN PIEB). www.pieb.com.bo

Beckford, C., & Barker, D. (2007). The role and value of local knowledge in Jamaican agriculture: adaptation and change in small-scale farming. In: The Geographical Journal (Vol. 173, Issue 2).

Bragdon, S. H., & Smith, C. (2015). La innovación del pequeño agricultor (Lunarmonia). http://quno.org/

Escobedo, J. S. (2014). Sociología Rural: La globalización una nueva realidad, nueva ruralidad.

FAO (2025). Ciencia, Tecnología e Innovación. https://www.fao.org/science-technology-and-innovation/innovation/es Verificado e 15 de noviembre de 2025.

Gupta, A. K., Sinha, R., Koradia, D., Patel, R., Parmar, M., Rohit, P., Patel, H., Patel, K., Chand, V. S., James, T. J., Chandan, A., Patel, M., Prakash, T. N., & Vivekanandan, P. (2003). Mobilizing grassroots' technological innovations and traditional knowledge, values and institutions: Articulating social and ethical capital. Futures, 35(9), 975–987. https://doi.org/10.1016/S0016-3287(03)00053-3

Hernández, R. (1994). Teorías sobre campesinado en América Latina: una evaluación critica. Revista chilena de Antropología.

Howard, P., Puri, R., Smith, L., & Altieri, M. (2008). Globally Important Agricultural Heritage Systems: A Scientific Conceptual Framework and Strategic Principles (FAO).

Margarita, S., Luna, M., María, L., Hinojosa, M., Armando, J., & Moreno, P. (2007). Manual práctico para el diseño de la Escala Likert.

Mendez, L., & Peña, J. (2009). Manual Práctico para el diseño de la escala Likert. Impresora Publimex.

Rodima-Taylor, D., Olwig, M. F., & Chhetri, N. (2012). Adaptation as innovation, innovation as adaptation: An institutional approach to climate change. Applied Geography, 33(1), 107–111. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.10.011

Röling, N. (2009). Pathways for impact: Scientists' different perspectives on agricultural innovation. International Journal of Agricultural Sustainability, 7(2), 83–94. https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0043

Saad, N. (2001). Farmer processes of experimentation and innovation: a review of the literature. Working document No. 21. CGIAR.

Scoones, I. and Thompson, J., (2009). Farmer First Revisited: Innovation for Agricultural Research and Development, Rugby, UK: Practical Action Publishing.

Simons, H., & Filella, R. (2011). Estudio de caso: teoría y práctica. (Ediciones Morata, S.L.

Stake, R. E. (1999). Investigación con estudio de casos (EDICIONES MORATA). Ediciones Morata, S.L.

Taboada, C., Mamani, A., & Raes, D. (2011). Farmers' willingness to adopt irrigation for quinoa in communities of the Central Altiplano of Bolivia. Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico, 16, 7–28. http://www.iisec.ucb.edu.bo/journal/articulos/1601.pdf

Van den Berg, H. (2008). Capítulo 1: Las actividades agrícolas y sus posibilidades. Revista Ciencia y Cultura, 21–37. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-33232008000200002

ANEXO 1

Agricultor	Innovación técnica; variedades, herramientas, tec.	Aplicac. de conocimiento local; Criterios, sabiduría, redes.	Mantenimiento, uso y manejo de prácticas y biodiversidad	Adaptación a tensión ambiental (CC) y socioeconómica	Adopción de tecnología moderna
A	No investiga. Conserva variedades locales de papa, emplea maquinaria para labores agrícolas.	Pronostica el clima con indicadores locales, su red de productores es pequeñas	Conoce sobre producción y Técnicas de Orgánica, mas no aplica su conocimiento	Tiene debilidades para responder a los cambios del clima.	No logra adoptar la tecnología del celular ni las otras alternativas
B	Crea herramientas manuales, Incorpora parcelas de investigación empírica en Materia Orgánica, Riego,	Aplica pronósticos climáticos tecnológicos, Su red de productores es local (5 expertos), tiene red de aliados institucionales (SENASAG, MDRyT, otros)	Conoce y aplica técnicas producción orgánica, en suelo, como microorganismos, control de plagas. etc. Uso eficiente del agua con riego tecnificado. Custodia más de 150 variedades de quinua	Cuenta con estrategias dentro de su sistema contra cambios del clima. La mayoría de los años es autoridad de su comunidad, estando al tanto de problemas.	Adopta eficientemente las tecnologías del celular, obtiene información actualizada de adelantos tecnológicos contra el cambio climático y manejo agroecológico. Crea su red social de productores
C	Prueba variedades de forrajes. Adapta herramientas mecanizadas para sus trabajos	Para el 30% de sus decisiones aplica pronóstico de IN locales, el otro 70 % de pronósticos tecnológicos, su Red comprende productores e instituciones Asociaciones, Gubernamentales y ONG´s	Aplica productos orgánicos de afuera, tiene al menos 10 variedades de papa	Cuenta con varias estrategias y equipos contra cambios del clima. Es un referente de consulta para toma de decisiones sobre problemas sociales y económicos.	Adoptó relativamente la tecnología del celular, pero se apoya más en sus hijos para pronósticos del clima y mercado y noticias de proyectos maquinaria y avances tecnológicos
D	Riego tecnificado, prueba variedades de cebolla, experimenta estrategias a enfermedades de cebolla. Investiga en comercialización	Emplea más los pronósticos tecnológicos, su red es Asociación de cebolleros.	Mantiene cultivos nativos, como oca, papaliza quinua, pero no aplica producción orgánica,	No cuenta con muchas estrategias para enfrentar el cambio climático, algunos años es autoridad o representa a la Asociación de Cebolleros para estar informado de los eventos	Adoptó la tecnología del pronóstico del celular para la mayoría de sus actividades, también para el comportamiento del mercado en cebolla y estrategias de venta.
E	Conserva diversidad de cultivos, emplea herramientas manuales para su trabajo. Investiga con sus propios insumos	Aplica al 70% conocimientos de IN y complementa con Pronósticos tecnológicos. Su red es amplia, en productores en diferentes departamentos y con Instituciones gub. y ONG´s	Su producción es más orgánica, elabora y crea sus propios insumos,	Tiene muchas estrategias locales contra eventos extremos del clima. Su red social técnica es grande, esta informado de posibles problemas sociales,	Aprovecha muy bien los pronósticos del celular. Se comunica muy bien con los otros productores para planificar actividades, no usa las redes sociales más que WhatsApp.

CONCLUSIONES, LECCIONES APRENDIDAS Y DESAFÍOS A FUTURO

Conclusions, lessons learned and future challenges

Magalí Garcia[1], Edwin Yucra[2], Jere Gilles[3]

RESUMEN

Este capítulo integra más de una década de investigación en el Altiplano boliviano, mostrando cómo el cambio climático, la transformación productiva y la reconfiguración social afectan de manera conjunta a la agricultura familiar. Aunque las temperaturas promedio aumentan, las heladas persisten debido a las condiciones atmosféricas propias de gran altitud, lo que obliga a los productores a ajustar continuamente sus decisiones. En este contexto, la innovación emerge como un elemento estratégico: los agricultores combinan saberes locales —incluidos indicadores climáticos tradicionales— con prácticas nuevas que permiten aprovechar ventanas productivas más cortas, diversificar cultivos y reducir riesgos. Sin embargo, estos conocimientos locales están en riesgo debido a migración, cambios en la educación y menor transmisión intergeneracional. El capítulo muestra también que la especialización productiva ha mejorado ingresos, pero ha incrementado la fragilidad ecológica al reducir la agrobiodiversidad y acortar descansos de suelos. A la vez, los suelos y bofedales se revelan como infraestructura natural crítica para adaptación y mitigación. Finalmente, se destaca que los sistemas de alerta temprana requieren integrar ciencia y saber local, y se identifican vacíos de investigación sobre innovación campesina, dinámicas de suelo y procesos sociales que influyen en la capacidad adaptativa de los sistemas productivos altoandinos.

Palabras clave: Altiplano boliviano; innovación agrícola; agricultura familiar; conocimiento local; heladas; cambio climático; adaptación; suelos altoandinos; bofedales; resiliencia.

ABSTRACT

This chapter brings together more than a decade of research in the Bolivian Altiplano, illustrating how climate change, productive transformation, and social restructuring jointly shape small-scale agriculture. Although average temperatures are rising, frost events remain frequent due to high-elevation atmospheric conditions, forcing farmers to constantly adjust their practices. Within this dynamic context, innovation plays a strategic role: farmers blend traditional climate knowledge with new practices that help them cope with shorter growing windows, diversify crops, and manage risk more effectively. However, these local knowledge systems are increasingly threatened by migration, weakened intergenerational transmission, and formal education that is disconnected from community life. The study also shows that shifts toward specialized, commercial production have generated income gains but reduced agrobiodiversity and increased ecological vulnerability. High-Andean soils and wetlands emerge as critical natural infrastructure for both adaptation and mitigation, given their hydrological and carbon-storage

[1] Investigadora IIDEPROQ, Facultad de Ingenieria UMSA
[2] Investigador CIPYCA UMSA
[3] Prof. Emérito UMissouri USA

functions. The chapter further highlights the need for early warning systems that integrate scientific data with local observational expertise. Despite significant progress, major knowledge gaps remain regarding innovation processes, soil and water dynamics, and the social factors shaping adaptive capacity. Addressing these gaps is essential for designing resilient production systems in a rapidly changing climate.

Keywords: Bolivian Altiplano; agricultural innovation; small-scale farming; local knowledge; frost; climate change; adaptation; high-Andean soils; wetlands; resilience.

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura cumple un papel esencial en la alimentación mundial, pero enfrenta crecientes pérdidas por eventos hidrometeorológicos extremos (FAO, 2023). Sin una visión estratégica de largo plazo, los sistemas agroalimentarios no podrán responder a las demandas de una población en aumento ni evitar la degradación de los ecosistemas que sostienen la vida.
En los últimos años, los anteriores "desafíos globales" han sido conceptualizados como una "poli-crisis global", caracterizada por múltiples crisis interconectadas cuyo impacto conjunto supera la suma de sus efectos individuales (Lähde, 2023; Lawrence et al., 2023; FAO, 2023). Dentro de este escenario, el cambio climático influye de forma decisiva y actúa en sinergia con factores como la degradación ambiental, los conflictos por recursos —especialmente agua y suelo— y la inseguridad alimentaria (Sadoff & Muller, 2010). El resultado es un incremento de desigualdades, tensiones geopolíticas, migraciones forzadas y conflictos: el IEP (2020) reporta que los conflictos por el agua han aumentado un 270 % en la última década, principalmente en países del Sur.

Frente a ello, la agricultura familiar de pequeña escala juega un rol crucial para la seguridad alimentaria y la resiliencia climática. Más de 500 millones de explotaciones familiares producen más del 80 % de los alimentos del mundo (UN, 2019; CIPCA, 2025). En Bolivia, las Unidades Productivas Agropecuarias (UPAs) aumentaron de 86.377 en 1950 a 832.443 en 2012, y la superficie cultivada se cuadruplicó en ese período. Aunque el 96 % del número total de UPAs corresponde a unidades llevadas por agricultura familiar, gran parte de la expansión responde a la frontera agroindustrial, en contraste con el aporte central que la pequeña escala mantiene para la seguridad y soberanía alimentaria del país (CIPCA, 2025).

Sin embargo, la agricultura de pequeña escala enfrenta importantes limitaciones: dificultades para asegurar derechos de agua y tierra, escaso acceso a asistencia técnica, tecnologías e infraestructura de riego, y un entorno institucional débil. A esto se suman baja cobertura de seguros y créditos, mercados dominados por intermediarios y una escasa valorización urbana de la producción rural (Arroyo & Boelens, 2013). Estas condiciones reducen la innovación y los ingresos, mientras el oficio agrícola pierde atractivo pese a su relevancia estratégica.

Aun así, la agricultura familiar demuestra capacidad innovadora y evoluciona hacia prácticas más sostenibles y resilientes, como el manejo orgánico, la ganadería familiar integral y la agricultura urbana. En este marco, el proyecto MARCLOC (UMSA–Universidad de Missouri), financiado por la Fundación McKnight, analizó la dinámica de dos zonas de los Andes altos bolivianos donde confluyen los impactos del cambio climático, la disminución de la agrobiodiversidad y relaciones de mercado caracterizadas por desigualdad de poder.

II. LECCIONES APRENDIDAS

A lo largo de ocho capítulos se presentan, en formato técnico-científico, los resultados obtenidos, considerando el margen de error razonable inherente a investigaciones desarrolladas en parcelas de

agricultores y bajo condiciones de campo con un bajo nivel de control experimental. No obstante, los autores mantenemos plena confianza en que los hallazgos aquí expuestos derivan de procedimientos ejecutados con rigor científico y enmarcados en una perspectiva participativa, sustentada en procesos de co-creación de conocimiento. En este contexto, nos permitimos analizar las principales lecciones aprendidas y presentar algunas conclusiones derivadas de los muchos estudios que implicaron la colaboración con la Universidad de Missouri, la Fundación McKnight.

a) La altitud como determinante en la expresión local del cambio climático

Entre los productores altoandinos persiste la interrogante de por qué, a pesar del calentamiento global, continúan registrándose heladas que afectan sus cultivos. Tal como se expone en el Capítulo 2, esta preocupación refleja con precisión la importancia de las variables extremas, particularmente las temperaturas mínimas. En las regiones altoandinas, la combinación de baja humedad invernal, elevada transparencia atmosférica y una marcada pérdida radiativa nocturna explica la persistencia de heladas incluso en un contexto de calentamiento global. Estas condiciones, ampliamente documentadas en estudios sobre climatología de montaña, son características de zonas con atmósferas delgadas y secas (Barry & Blanken, 2016; Pepin et al., 2015).

A pesar del incremento general de las temperaturas medias, el calentamiento global no ha alterado sustancialmente los mecanismos que favorecen temperaturas extremadamente bajas en altitud. La menor cantidad absoluta de gases de efecto invernadero y vapor de agua en la atmósfera de alta montaña reduce la capacidad de retención de calor nocturno, lo que permite que persistan condiciones favorables para heladas (Rangwala & Miller, 2012). Este patrón se intensifica durante la estación seca, cuando la cobertura nubosa disminuye y la atmósfera evidencia su mayor transparencia (Vuille et al., 2018).

En contraste, diversos estudios sugieren que las temperaturas máximas sí muestran aumentos más pronunciados en zonas altoandinas, asociados a la mayor aridez atmosférica, la reducción de nubosidad y el incremento de días despejados (Pabón-Caicedo et al., 2020). A ello se suma un retraso en el inicio de la temporada de lluvias, fenómeno reportado en distintas regiones del Altiplano, que intensifica el enfriamiento nocturno en invierno y amplifica el calentamiento diurno en verano (Seiler et al., 2013).

Si bien se requiere profundizar en estudios específicos para cada ecorregión altoandina, la evidencia disponible confirma que la altitud, la reducida densidad atmosférica y la alta transparencia del aire constituyen factores críticos para comprender la expresión local del cambio climático y sus implicaciones sobre la producción agrícola. En este sentido, resulta fundamental integrar el conocimiento empírico y la observación sistemática de los productores, cuya experiencia permite identificar variaciones climáticas y microclimáticas que muchas veces no quedan registradas en la red instrumental disponible.

b) Sobre la Robustez y Fragilidad del Saber Climático Local

La comparación de indicadores locales frente a datos meteorológicos confirma que el conocimiento tradicional es un sistema atmosférico legítimo, no solo un recurso cultural. Por ejemplo, se evidencia que las heladas de septiembre anteceden sistemáticamente periodos secos semanas después, patrón que coincide con la lectura campesina basada en daños de floración. Esta correspondencia se refuerza con la correlación entre la temperatura mínima del 24 de junio y la precipitación estacional (Gilles et al., 2023), y encuentra paralelos en otras regiones donde los sistemas locales captan señales atmosféricas reales, como los indicadores pastoriles del África Oriental (Egeru et al., 2019) y los bioindicadores vegetales y astronómicos de Tlaxcala (Rivero-Romero et al., 2016). Estudios climáticos con largas series, como los de Canedo-Rosso (2019), o Seiler et al., (2013), ayudan

además a explicar por qué algunos indicadores locales funcionan: captan señales conectadas a dinámicas de gran escala como ENSO y la PDO.

A pesar de su solidez predictiva, el uso de los indicadores está disminuyendo, principalmente por factores sociales y estructurales. El estudio sobre pérdida de saberes en el Altiplano evidencia cómo la migración, la menor convivencia intergeneracional, la mecanización agrícola y la escolarización desligada de la vida comunitaria erosionan las condiciones de transmisión del conocimiento, incluso cuando este mantiene validez ambiental demostrada. Hallazgos semejantes aparecen en México, donde los saberes mayas se vuelven más vulnerables cuando cambian las prácticas agrícolas (Camacho-Villa et al., 2021). Estas lecciones subrayan la necesidad de reconocer el conocimiento local como un archivo climático de largo plazo, coherente con la variabilidad documentada por la ciencia. Su integración en procesos de coproducción no solo mejora la pertinencia de los pronósticos en territorios con baja densidad de estaciones, sino que revitaliza redes locales de observación hoy debilitadas. Como muestra la evidencia internacional, la pérdida de estos saberes no sería solo cultural, sino también una pérdida de capacidades finas para interpretar el clima en regiones donde pocos sistemas logran hacerlo con la misma sensibilidad ecológica.

c) Adaptación que fortalece, cambios que hacen más vulnerables

El estudio de los sistemas productivos del Altiplano boliviano revela que la adaptación campesina es un proceso creativo y dinámico, profundamente influido por factores climáticos, sociales, institucionales y de mercado. En estos sistemas tropicales de gran altitud, las comunidades han aprendido a ajustar sus prácticas frente al aumento de temperaturas y la variabilidad de lluvias. En verano, las Tmin más altas permiten la introducción de nuevos cultivos, mientras que en invierno la Tmin puede descender, generando incertidumbre sobre la viabilidad de los cultivos.

La transición hacia modelos más especializados y comerciales —como la cebolla, la papa mejorada o la lechería— ha mejorado ingresos y abierto nuevas oportunidades, pero también ha generado dependencia de insumos externos, reducido la agrobiodiversidad, acortado los periodos de descanso de los suelos y debilitado estructuras sociales tradicionales como las aynocas o el ayni. La migración, como factor de globalización, ha transformado la disponibilidad de mano de obra y la circulación de conocimientos agrícolas y tradicionales, conectando estas comunidades con experiencias y mercados más amplios.

La lección central es que cualquier estrategia de desarrollo rural en estos contextos de gran altitud debe equilibrar innovación y productividad con sostenibilidad ecológica y social. Fortalecer el acompañamiento institucional, recuperar prácticas tradicionales útiles, manejar mejor el agua y diversificar riesgos resulta clave para que la adaptación de hoy no se convierta en la vulnerabilidad de mañana.

d) Elementos Críticos para un SAT Efectivo: Comunicación, Participación y Convergencia de Saberes

Las experiencias del Altiplano confirman que la eficacia de un SAT depende menos de la tecnología y más de construir puentes reales entre conocimientos institucionales y saberes locales. Diversas revisiones internacionales muestran que los sistemas “centrados en las personas” funcionan mejor cuando incorporan activamente el conocimiento indígena y comunitario como parte del monitoreo y la anticipación del riesgo (UNDRR, 2023). Los estudios sobre SAT comunitarios también subrayan que los cuatro pilares —conocimiento del riesgo, monitoreo, comunicación y respuesta— se fortalecen cuando los productores participan desde el diseño (Paul et al., 2018). Sin embargo, persiste una brecha clara entre lo que los agricultores esperan —información práctica, oportuna y contextualizada— y lo que los técnicos solemos ofrecer —formatos más complejos, de corto plazo y poco adaptados al territorio—, lo que reduce la utilidad real del SAT.

Esta desconexión refuerza la necesidad de integrar ambos sistemas de conocimiento para asegurar alertas relevantes y confiables. De igual manera, la literatura coincide en que la comunicación es tan determinante como el pronóstico mismo: los SAT fallan cuando la información no llega de manera simple y accesible, recomendándose canales como radio, telefonía básica o mecanismos comunitarios (UNDRR, 2022; Paul et al., 2018). Además, organismos como el Banco Mundial y la iniciativa CREWS recuerdan que la sostenibilidad depende de financiamiento estable, gobernanza local y continuidad institucional, sin los cuales el sistema se fragmenta. Estas conclusiones globales coinciden con lo observado en el Altiplano: sin estabilidad municipal, sin recursos y sin una escucha profunda hacia lo que los productores realmente necesitan, cualquier SAT queda incompleto; mientras que una integración técnica y cultural más auténtica permite avanzar hacia sistemas que fortalecen la capacidad colectiva de anticipación y acción.

e) El papel estratégico del suelo en la sostenibilidad productiva, solidaria y climática

La evidencia muestra que la transición desde prácticas tradicionales andinas —como los barbechos sectoriales y la fertilización orgánica con estiércol— hacia sistemas agrícolas más intensivos ha reducido de manera crítica la capacidad de los suelos altoandinos para almacenar carbono, afectando directamente su sostenibilidad productiva. Estudios de largo plazo en el Altiplano demuestran que el acortamiento del descanso del suelo y el incremento del laboreo mecanizado aceleran la pérdida de carbono orgánico y degradan la estructura edáfica, comprometiendo la porosidad del suelo y su capacidad de retención hídrica (Fonte et al., 2012; Poeplau & Don, 2015). De forma complementaria, la sustitución progresiva de fertilizantes orgánicos por minerales aumenta la mineralización rápida del carbono y disminuye los aportes de materia orgánica estable, un efecto ampliamente documentado en sistemas de montaña sometidos a intensificación (Lal, 2004; Hergoualc'h et al., 2012). En conjunto, estos resultados indican que la recuperación de prácticas tradicionales de manejo del suelo constituye no solo una estrategia de resiliencia productiva, sino también una vía efectiva de mitigación basada en la regeneración del carbono edáfico.

Los ecosistemas nativos altoandinos, especialmente los bofedales, emergen como componentes críticos dentro de las estrategias de mitigación basadas en ecosistemas debido a su extraordinaria capacidad de almacenamiento de carbono. Investigaciones reportan stocks superiores a 1,000 Mg C/ha en bofedales de Bolivia y Perú, con tasas de acumulación comparables a turberas boreales, incluso bajo condiciones climáticas extremas (Hribljan et al., 2015; Chimner et al., 2023). Aunque estos humedales pueden emitir CO_2 en épocas húmedas debido a su alta actividad microbiana, su balance neto a largo plazo continúa siendo positivo, reforzando su papel como sumideros estratégicos (Loisel et al., 2021). Su degradación —por drenaje, sobrepastoreo o disminución del aporte hídrico asociada al retroceso glaciar— puede revertirlos hacia fuentes de carbono, lo que subraya la urgencia de priorizar su conservación dentro de políticas climáticas y de adaptación en regiones altoandinas.

Además de estas estrategias eco-basadas, los sistemas agrícolas pequeños del trópico y de alta montaña pueden acceder a recursos climáticos mediante esquemas de cooperación solidaria internacional. Ejemplos de estos mecanismos incluyen los enfoques no basados en el mercado (NMAs) bajo el Artículo 6.8 del Acuerdo de París, diseñados para canalizar financiamiento, cooperación técnica y fortalecimiento de capacidades sin depender de mercados de carbono. Estos instrumentos pueden apoyar acciones comunitarias que generan beneficios climáticos directos —como restauración de suelos, manejo sostenible de pasturas, protección de humedales, y revitalización de prácticas agroecológicas— ampliando el acceso a recursos para mitigación en territorios rurales históricamente excluidos de los mercados tradicionales de compensación. La combinación de conservación de ecosistemas nativos, recuperación de prácticas

tradicionales y participación en mecanismos solidarios climáticos ofrece así un marco robusto para fortalecer la mitigación en sistemas agrícolas vulnerables.

f) Innovación y resiliencia en el Altiplano: evidencia inicial y desafíos pendientes

En el Altiplano altoandino, la innovación es estratégica porque permite que los agricultores enfrenten condiciones extremas —sequías, heladas y suelos frágiles— combinando conocimientos tradicionales con nuevas prácticas y herramientas que mejoran la toma de decisiones. Esto coincide con estudios internacionales que muestran que la resiliencia en sistemas de montaña depende de integrar saber local con innovación agrícola contextualizada (McDowell et al., 2019).

Sin embargo, lo avanzado hasta ahora sigue siendo general y exploratorio: comprender cómo la innovación emerge, se difunde y se adapta en el Altiplano requiere estudios mucho más profundos, especialmente sobre la diversidad de estrategias campesinas, sus redes de conocimiento y las condiciones que facilitan o bloquean el cambio. La literatura resalta que la innovación en agricultura de altura es un proceso complejo y poco documentado (Ensor et al., 2019), por lo que se necesita investigación sistemática que permita reconocer plenamente su papel dentro de un sistema productivo verdaderamente sostenible.

III. DESAFÍOS A FUTURO

Los resultados de este libro sugieren que, aunque se han identificado patrones robustos de cambio climático, respuestas productivas y procesos de innovación en el Altiplano, aún persistimos en análisis parciales frente a la complejidad real del territorio. Avanzar hacia una adaptación más eficiente exigirá ampliar la capacidad de respuesta de los sistemas productivos a las condiciones actuales —no solo a las tendenciales— tal como plantean enfoques recientes de resiliencia climática. Estudios internacionales coinciden en que fortalecer la habilidad de los sistemas agrícolas para enfrentar la variabilidad presente constituye uno de los avances más efectivos hacia la adaptación a futuro, especialmente en regiones donde las señales climáticas se expresan de manera extrema y localizada (Baethgen et al., 2023). Esta recomendación adquiere un valor particular en el Altiplano, donde la toma de decisiones depende de ventanas productivas cortas, alta exposición climática y cambios súbitos en la disponibilidad de agua, temperatura o riesgos de helada.

Al mismo tiempo, la evidencia reunida aquí deja claro que aún sabemos poco sobre varios procesos clave: cómo se transforma el conocimiento local bajo condiciones de cambio acelerado, qué factores determinan la adopción o el abandono de prácticas adaptativas, qué mecanismos permiten sostener suelos y humedales como infraestructura natural, o cómo modelar escenarios que integren clima, mercados y migración. Estos vacíos requieren investigación interdisciplinaria, series temporales más largas y metodologías participativas que capten mejor la diversidad campesina. El desafío a futuro no es solo producir más datos, sino generar conocimiento que permita decisiones oportunas en territorios donde la incertidumbre es alta, pero también lo es la capacidad local para responder y reorganizarse.

IV. AGRADECIMIENTOS

Alrededor de una década de investigación no hubiera sido posible sin el decidido apoyo de la Fundación McKnight a través de la Comunidad de Práctica (CoP-CRFS) de los Andes. Consideramos que el aporte técnico científico y práctico ha sido muy grande, desde la generación de información climática hasta el involucramiento de casi medio centenar de estudiantes como bienes Públicos.

V. REFERENCIAS

Arroyo, A. & Boelens, R. (2013) Ed. Aguas robadas: despojo hídrico y movilización social. Justicia Hídrica, Lima, IEP, Quito, Abya Yala. Agua y Territorio/Water and Landscape, (7), 181-182.

Baethgen, W. E., Meinke, H., & Gimenez, A. (2004). Adaptation of agricultural production systems to climate variability and climate change: lessons learned and proposed research approach.

Barry, R. G., & Blanken, P. D. (2016). Microclimate and local climate. Cambridge University Press.

Camacho-Villa, T. C., Martinez-Cruz, T. E., Ramírez-López, A., Hoil-Tzuc, M., & Terán-Contreras, S. (2021). Mayan traditional knowledge on weather forecasting: who contributes to whom in coping with climate change? Frontiers in sustainable food systems, 5, 618453.

Canedo Rosso, C., Hochrainer-Stigler, S., Pflug, G., Condori, B., & Berndtsson, R. (2018). Early warning and drought risk assessment for the Bolivian Altiplano agriculture using high resolution satellite imagery data. Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions, 2018, 1-23.

Chimner, R. A., Resh, S. C., Hribljan, J. A., Battaglia, M., Bourgeau-Chavez, L., Bowser, G., & Lilleskov, E. A. (2023). Mountain wetland soil carbon stocks of Huascarán National Park, Peru. Frontiers in Plant Science, 14, 1048609.

CIPCA (2025). Regional Cordillera. David Solar Maraz. Disponible en https://cipca.org.bo/analisis-y-opinion/cipca-notas/agricultura-familiar-en-bolivia-resiliencia-y-propuestas-desde-lo-local.

Egeru, A., Barasa, B., Nampijja, J., Siya, A., Makooma, M. T., & Majaliwa, M. G. J. (2019). Past, present and future climate trends under varied representative concentration pathways for a sub-humid region in Uganda. Climate, 7(3), 35.

Ensor, J. E., Wennström, P., Bhatterai, A., Nightingale, A. J., Eriksen, S., & Sillmann, J. (2019). Asking the right questions in adaptation research and practice: Seeing beyond climate impacts in rural Nepal. Environmental Science & Policy, 94, 227-236.

FAO. 2023. The Impact of Disasters on Agriculture and Food Security 2023 – Avoiding and reducing losses through investment in resilience. Rome. https://doi.org/10.4060/cc7900en

Fonte, S. J., Quintero, D. C., Velásquez, E., & Lavelle, P. (2012). Interactive effects of plants and earthworms on the physical stabilization of soil organic matter in aggregates. Plant and Soil, 359(1), 205-214.

Gilles, J. L., García, M., Yucra, E. S., Quispe, R., Poma, A., Quispe, J. M., ... & Cabrera, P. (2023). Validating local meteorological forecast knowledge in the Bolivian Altiplano: moving toward the co-production of agricultural forecasts. Climate and Development, 15(4), 280-291.

Hergoualc'h, K., Blanchart, E., Skiba, U., Hénault, C., & Harmand, J. M. (2012). Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (Coffea arabica) monoculture versus an agroforestry system with Inga densiflora, in Costa Rica. Agriculture, Ecosystems & Environment, 148, 102-110.

IEP. Institute for Economics & Peace. Ecological Threat Register (2020). Understanding Ecological Threats, Resilience and Peace, Sydney, September 2020. Available from: http://visionofhumanity.org/reports (accessed 24/2/2024).

Hribljan, J., Cooper, D., Sueltenfuss, J., Wolf, E. C., Heckman, K., Lilleskov, E., & Chimner, R. (2015). Carbon storage and long-term rate of accumulation in high-altitude Andean peatlands of Bolivia.

Lähde, V. (2022). The polycrisis. https://aeon.co/essays/the-case-for-polycrisis-as-a-keyword-of-our-interconnected-times

Lal, R. (2004). Carbon sequestration in soils of central Asia. Land Degradation & Development, 15(6), 563-572.

Lawrence, Michael and Homer-Dixon, Thomas and Janzwood, Scott and Rockstrom, Johan and Renn, Ortwin and Donges, Jonathan F., Global polycrisis: The causal mechanisms of crisis entanglement (June 18, 2023). Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4483556 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4483556

Loisel, J., Gallego-Sala, A. V., Amesbury, M. J., Magnan, G., Anshari, G., Beilman, D. W., ... & Wu, J. (2021). Expert assessment of future vulnerability of the global peatland carbon sink. Nature climate change, 11(1), 70-77.

McDowell, G., Huggel, C., Frey, H., Wang, F. M., Cramer, K., & Ricciardi, V. (2019). Adaptation action and research in glaciated mountain systems: Are they enough to meet the challenge of climate change?. Global Environmental Change, 54, 19-30.

Pabón-Caicedo JD, Arias PA, Carril AF et al (2020) Observed and projected hydroclimate changes in the Andes. Front Earth Sci 8:61. https://doi.org/10.3389/feart.2020.00061

Paul, J. D., Buytaert, W., Allen, S., Ballesteros-Cánovas, J. A., Bhusal, J., Cieslik, K., ... & Supper, R. (2018). Citizen science for hydrological risk reduction and resilience building. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 5(1), e1262.

Pepin, N., Bradley, R. S., Diaz, H. F., Baraer, M., Caceres, E. B., Forsythe, N., ... & Yang, D. Q. (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. Nat Clim Change 5 (5): 424–430.

Poeplau, C., & Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops–A meta-analysis. Agriculture, Ecosystems & Environment, 200, 33-41.

Rangwala, I., & Miller, J. R. (2012). Climate change in mountains: a review of elevation-dependent warming and its possible causes. Climatic change, 114(3), 527-547.

Rivero-Romero, A. D., Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Castillo, A., & Camou-Guerrero, A. (2016). Traditional climate knowledge: a case study in a peasant community of Tlaxcala, Mexico. Journal of ethnobiology and ethnomedicine, 12(1), 33.

Sadoff C. & Muller M. (2010). La Gestión del Agua, la Seguridad Hídrica y la Adaptación al Cambio Climático: Efectos Anticipados y Respuestas Esenciales. Global Water Partnership. Comité Técnico.

Seiler, C., Hutjes, R. W., & Kabat, P. (2013). Climate variability and trends in Bolivia. Journal of applied meteorology and climatology, 52(1), 130-146.

United Nations (2019). Agriculture technology for sustainable development. Report of the Secretary-General. Resolution A/74/238

UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction). (2023). Global status of multi-hazard early warning systems report. https://www.undrr.org/reports/global-status-MHEWS-2023.

UNDRR ROAMC (2022) Mami Mizutori: We have to include women as leaders of the global climate agenda, 11 April 2022. Available online at: https://www.undrr.org/news/mami-mizutori-we-have-include-women-leaders-global-climate-agenda (accessed on 18/11/2025)

Vuille, M., Carey, M., Huggel, C., Buytaert, W., Rabatel, A., Jacobsen, D., ... & Sicart, J. E. (2018). Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes–Impacts, uncertainties and challenges ahead. Earth-science reviews, 176, 195-213.

CLAIRE NICKLIN Y JERE GILLES NOS HABLAN SOBRE SU EXPERIENCIA DE TRABAJO EN LA UMSA

En el marco de este número especial, dedicado a compartir los resultados del proyecto de investigación y acción desarrollado durante más de una década, con el apoyo de la Fundación McKnight, presentamos entrevistas breves con representantes del programa Colaboración para Sistemas Alimentarios Resilientes (CRFS). Estas entrevistas destacan la relevancia de la alianza entre la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) y la Fundación McKnight, así como los logros alcanzados y los desafíos futuros para fortalecer la investigación en los Andes.

Entrevista a Claire Nicklin



Claire Nicklin
Global Collaborative for Resilient Food Systems, McKnight Foundation

Trabaja desde 2005 en la Fundación McKnight, apoyando la iniciativa de investigación-acción agroecológica en los Andes, con la visión de transitar hacia sistemas alimentarios equitativos, resilientes, sostenibles y saludables. Sus responsabilidades incluyen la gestión de subvenciones, la facilitación de la Comunidad de Práctica Regional, la retroalimentación en investigación y evaluación, la articulación con actores locales, regionales y globales del sistema alimentario, y la contribución al diseño y la estrategia del programa.

1) ¿Cómo valora la relación de trabajo entre la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) y la Fundación McKnight?

El Programa Colaboración Global para Sistemas Alimentarios Resilientes (CRFS) de la Fundación McKnight lleva veinte años apoyando proyectos de investigación-acción agroecológica en los Andes. En este proceso, las universidades locales y regionales son actores clave en la transformación de los sistemas alimentarios. La UMSA se distingue por ser una importante universidad pública comprometida con los temas rurales y agrarios, además de estar localizada en los Andes. Su cuerpo docente y estudiantil refleja una estrecha conexión con los sectores agrarios y rurales, lo que la convierte en una institución académica esencial para promover la innovación local y fortalecer el protagonismo de los actores rurales en la configuración de su propio futuro.

2) Desde su experiencia, ¿cómo describiría el trabajo con profesionales bolivianos de la UMSA?

Los profesionales de la UMSA se caracterizan por su compromiso con el trabajo transdisciplinario, una cualidad poco común en la educación superior en América Latina, donde suele prevalecer la especialización. Para abordar los desafíos contemporáneos, como el cambio climático, la malnutrición y la desigualdad, se necesita integrar enfoques transdisciplinarios, perspectivas científicas y conocimientos locales. Ser transdisciplinario significa trabajar de forma interdisciplinaria, incluyendo las ciencias naturales y sociales al tiempo que se incorporan el conocimiento local y las formas de conocimiento no académicas.

3) ¿Qué resultados o logros significativos destacaría de esta colaboración?

El principal proyecto que hemos financiado con la UMSA es el trabajo sobre pronósticos del cambio climático, que ejemplifican la integración entre la ciencia climática (a cargo de la Dra. Magali García), la sociología (a cargo del Dr. Jere Gilles), y agricultores expertos de todo el altiplano. El trabajo se centra en comprender y adaptarse al cambio climático mediante la validación de previsiones climáticas locales y tradicionales basadas en indicadores naturales, para generar proyecciones a largo plazo que oriente la planificación de actividades agrícolas. Este conocimiento combina la instalación de estaciones meteorológicas locales, el uso de aplicaciones para obtener pronósticos a corto plazo y su vinculación con modelos globales de cambio climático. Además, ha involucrado a numerosas comunidades rurales y ha promovido formación de jóvenes investigadores con investigaciones pioneras en temas como el almacenamiento de carbono en los suelos y la adaptación agroecológica. El apoyo a los estudiantes es esencial para formar generaciones de investigadores y ciudadanos bolivianos.

4) A partir de estos resultados, ¿qué perspectivas identifica para la continuidad y fortalecimiento de este trabajo en el futuro?

Yo quisiera invitar a la UMSA a que siga enfocándose en formar a una diversidad de estudiantes en trabajos transdisciplinarios que aborden los problemas orientados a enfrentar los grandes desafíos de Bolivia y del mundo, como la degradación ambiental y la desigualdad.

Nota editorial: Entrevista realizada para el número especial de los resultados de más de una década de colaboración UMSA – Fundación McKnight: investigación y acción para sistemas alimentarios resilientes en los Andes.

Entrevista a Jere Gilles



Jere Gilles
Department of Rural Sociology
Universiye of Missouri
Asesor cientifico para la UMSA

Sociólogo rural en la Universidad de Missouri (EE. UU.), con amplia experiencia en investigación sobre agricultura, recursos naturales y cambio social. Su trabajo se centra en vincular el conocimiento de los productores y de la ciencia, promoviendo enfoques colaborativos para la gestión sostenible de los recursos. Actualmente colabora en el mejoramiento de pronósticos meteorológicos en el Altiplano boliviano y ha desarrollado investigaciones en África y América Latina sobre manejo del riego, pastizales y cambio climático.

1. ¿Cómo valora la relación de trabajo entre la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) y la Fundación McKnight?

La colaboración entre la Universidad de Missouri (MU) y la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) comenzó en 2004, dentro de un proyecto multilateral de investigación sobre agricultura sostenible en los Altiplanos de Bolivia y Perú. Este trabajo, de carácter multidisciplinario, reunió a economistas, sociólogos, agrónomos, fitopatólogos y meteorólogos con el propósito de identificar vías de sostenibilidad ante los rápidos cambios demográficos, de mercado y climáticos.

Durante ese proceso observamos que los agricultores no utilizaban los pronósticos meteorológicos oficiales, sino que dependían de métodos tradicionales que estaban en riesgo de desaparecer. A partir de estos hallazgos, los equipos de MU y UMSA desarrollamos la idea de integrar el conocimiento científico y local para mejorar los pronósticos agrícolas y contribuir a la adaptación de los productores frente a las nuevas condiciones climáticas. En 2008, la Fundación McKnight convocó en Lima a universidades interesadas en presentar propuestas innovadoras de investigación y extensión agrícola participativa. UMSA y MU propusimos un proyecto para evaluar el conocimiento climático local y desarrollar pronósticos agrícolas mejorados junto a pequeños productores. Esta propuesta fue aceptada, dando inicio, en 2009, al trabajo que hoy se presenta en este volumen.

2. Desde su experiencia, ¿cómo describiría el trabajo con profesionales bolivianos de la UMSA?

La experiencia de trabajo con los profesionales de la UMSA ha sido sumamente valiosa. Su conocimiento técnico, compromiso con las comunidades rurales y apertura al diálogo interdisciplinario han sido esenciales para el éxito del proyecto. La colaboración ha generado un "diálogo de saberes" entre las ciencias sociales, las ciencias naturales y el conocimiento campesino, basado en el respeto mutuo y en la comprensión de los aportes de cada disciplina. Además, la cooperación entre la UMSA y la Universidad de Missouri ha permitido fortalecer la formación académica, con más de 40 estudiantes de licenciatura y maestría que han adquirido experiencia directa en trabajo de campo e interacción con productores.

3. ¿Qué resultados o logros significativos destacaría de esta colaboración?

Gracias al apoyo sostenido de la Fundación McKnight, fue posible realizar una investigación a largo plazo que permitió evaluar los pronósticos locales durante varios años, utilizando datos generados por estaciones meteorológicas instaladas en comunidades agrícolas y comparándolos con pronósticos oficiales. De más de doscientos artículos publicados sobre el tema en revistas indexadas, menos del 10% evalúan el conocimiento local con datos meteorológicos propios, y ninguno lo hace con series de más de cinco años. En ese sentido, los resultados de la colaboración UMSA–MU son únicos en la literatura científica. Además, la interacción constante con agricultores permitió realizar aportes relevantes a la comprensión de los impactos del cambio climático. Por ejemplo, el análisis de observaciones campesinas permitió identificar un aumento del riesgo de heladas en marzo y abril, un fenómeno no detectado por las tendencias generales de calentamiento, demostrando el valor del conocimiento local para la investigación climática.

4. A partir de estos resultados, y considerando su visión y experiencia, ¿qué perspectivas identifica para la continuidad y fortalecimiento de este trabajo en el futuro?

El trabajo desarrollado se ha integrado en las actividades académicas de la Facultad de Ingeniería en Cota Cota y de la Facultad de Agronomía en Viacha, donde docentes y estudiantes continúan con investigaciones y servicios comunitarios inspirados en esta colaboración. La Universidad de Missouri seguirá buscando nuevas fuentes de financiamiento internacional para ampliar esta línea de trabajo, y los equipos de ambas universidades planean publicaciones conjuntas en los próximos años. Esta experiencia demuestra que la investigación participativa y de largo plazo, basada en la colaboración entre instituciones académicas y productores locales, es fundamental para enfrentar los desafíos del cambio climático en los Andes.

Nota editorial: Entrevistas realizadas para el número especial de los resultados de más de una década de colaboración UMSA – Fundación McKnight: investigación y acción para sistemas alimentarios resilientes en los Andes.



Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos – IIDEPROQ











El Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos - IIDEPROQ fue fundado el 7 de julio de 1994. Pertenece a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) y está dedicado a la promoción y apoyo de la generación de conocimiento científico y tecnológico. Actualmente se ha establecido como un pilar fundamental en la investigación aplicada a la ingeniería y procesos químicos, petroquímicos, ambientales y de alimentos, tanto a nivel regional como nacional.

Su misión es responder a los desafíos y retos de los sectores demandantes, generando procesos eficientes que contribuyan al aprovechamiento racional de los recursos naturales y al desarrollo de tecnologías transferibles al sector productivo.

Con una visión orientada hacia la excelencia, el IIDEPROQ se compromete con el avance científico y la innovación, manteniendo su posición como referente académico y de investigación en Bolivia y Latinoamérica.

El IIDEPROQ ofrece una variedad de servicios analíticos y de ingeniería tanto al sector público como privado.



Servicios que ofrece el IIDEPROQ

- Análisis de calidad de agua, suelos, aire y alimentos.
- Análisis fisico-químicos de muestras en general con CG, CLAR, COT y AA. (*)
- Determinación de Poder Calorifico Superior e Inferior de muestras sólidas y liquidas
- Monitoreo de calidad del aire, ambiente e intramuros.
- Medición de ruidos.
- Modelaje y simulación de contaminación hídrica y atmosférica.
- Investigación y desarrollo de procesos químicos, ambientales y de alimentos.
- Biorremediación ambiental.
- Capacitación y adiestramiento en ingeniería ambiental y biotecnología.

(*) CG Ceumatografia de Cases
CLAR Cromatografia Lapunda de Also Komment
COT Carbono Depanco Total
AA: Absorción Atómica

Áreas de investigación

- Lineas de investigación
- Catálisis y petroquímica
- Calidad del aire
- Eficiencia energetica
- Calidad ambiental y acuas
- Modelación y simulación numérica
- Clima y manejo de suelos
- Digestión anaerobia
- Bioingeniería y biorrefinería
- Recursos evaporíticos y tecnologia de sales
- Tecnologia de alimentos
- Economía circular

INSTITUTO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO DE PROCESOS QUÍMICOS – IIDEPROQ
Oficina: Campus universitario Cota Cota, ingreso Calle 30, Complejo Facultad de Ingeniería.
Portal: www.iideproq.umsa.bo
Correo: servicios.iideproq@gmail.com
Teléfono: (+591) 2774412

Derechos Reservados

Se permite el uso o reproducción para fines educativos, de investigación privada, o de crítica y comentario, siempre que se respeten los límites y se cite la fuente.

Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos – IIDEPROQ. Facultad de Ingeniería. UMSA.
La Paz, Bolivia, 2025



IIDEPROQ

Instituto de Investigacion y Desarrollo de Procesos Químicos

Facultad de Ingeniería. Universidad Mayor de San Andrés

Universidad Mayor de San Andrés

Revista Científica - N°2 Año 2025

La Paz - Bolivia

INSTITUTO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO DE PROCESOS QUÍMICOS – IIDEPROQ
Oficina: Campus univeritario Cota Cota, ingreso Calle 30, Complejo Facultad de Ingeniería.
Portal: www.iideproq.umsa.bo
Correo: servicios.iideproq@gmail.com
Teléfono: (+591) 2774412