Horizonte Académico
Revista Multidisciplinaria
Recibido:12/10/2024 Aprobado:20/11/2024

DOI: https://doi.org/10.70208/3007.8245.v4.n2.42

Efectos y medidas adaptativas al cambio climático en sistemas agropecuarios del Altiplano: Revisión de literatura

Willy Casto Choque Marca
willy.choque@adm.uto.edu.bo
https://orcid.org/0000-0001-8215-1520
Dirección de Investigación Científica y Tecnológica
Universidad Técnica de Oruro
Bolivia-Oruro

Juan Carlos Torrico Alvino
torrico@web.de
https://orcid.org/0000-0001-5971-521X
Instituto Agrario Bolivia
Bolivia-La Paz

RESUMEN

El cambio climático es la principal amenaza ambiental para la producción agropecuaria del Altiplano. Durante las dos últimas décadas se han generado publicaciones sobre los efectos y las medidas de adaptación al cambio climático en el sector agropecuario producto de proyectos de desarrollo e investigación implementados por entidades gubernamentales, ONG's, cooperación internacional y la academia. Con el objetivo de sistematizar el estado de situación sobre las tendencias climáticas y las sugerencias de medidas adaptativas para la región y el sector, se realizó la presente revisión. Se utilizó el motor de búsqueda Google Scholar con los descriptores "Climate Change Altiplano" y "cambio climático Altiplano" priorizando artículos académicos entre 2014 y 2024. Los estudios revisados reportan tendencias observadas y percibidas de incremento de la temperatura, variación del régimen de lluvias con tendencias de reducción en el Altiplano Centro y Sur, aumento de la evapotranspiración e incremento de eventos extremos, en particular la sequía. Las proyecciones climáticas reportan la continuidad y agudización de las tendencias observadas debido a la posición geográfica y altitud de la región, en particular la temperatura, las precipitaciones y los eventos climáticos extremo. Diversos estudios sugieren que, dado que las causas y efectos del cambio climático son multidimensionales, el fortalecimiento de la capacidad adaptativa en sistemas agropecuarios requiere igualmente un enfoque multidimensional. Finalmente, se tiene sistematizado las medidas adaptativas sugeridas aglutinados en los siguientes ámbitos: económico, ambiental, social, manejo agronómico e institucional.

Palabras clave: eventos extremos, multidimensional, tendencias climáticas, escenarios, sequía

Effects and adaptive measures to climate change in agricultural systems in the Altiplano: Literature review

ABSTRACT

Climate change is the main environmental threat to agricultural production in the Altiplano. Over the last two decades, publications have been generated on the effects and adaptation measures to climate change in the agricultural sector as a result of development and research projects implemented by government entities, NGOs, international cooperation and academia. This review was carried out with the aim of systematizing the state of play regarding climate trends and suggestions for adaptive measures for the region and the sector. The Google Scholar search engine was used with the descriptors "Climate Change Altiplano" and "climate change Altiplano" prioritizing academic articles between 2014 and 2024. The reviewed studies report observed and perceived trends of increasing temperature, variation in the rainfall regime with decreasing trends in the Central and Southern Altiplano, increased evapotranspiration and an increase in extreme events, particularly drought. Climate projections report the continuity and intensification of observed trends due to the geographic position and altitude of the region, particularly temperature, precipitation and extreme weather events. Various studies suggest that, given that the causes and effects of climate change are multidimensional, strengthening adaptive capacity in agricultural systems also requires a multidimensional approach. Finally, the suggested adaptive measures have been systematized and grouped into the following areas: economic, environmental, social, agronomic management and institutional.

Keywords: extreme events, multidimensional, climate trends, scenarios, drought

INTRODUCCIÓN

El cambio climático constituye el principal reto ambiental a nivel global para la supervivencia de múltiples formas de vida en el planeta (Roca Villanueva et al., 2019). Entre las manifestaciones más evidentes del cambio climático se encuentran el aumento de la temperatura media en 1.1°C con relación a la era preindustrial, el incremento de los niveles de evapotranspiración, cambios en los patrones de precipitación, el derretimiento de glaciares, el aumento del nivel del mar, impactos en los ecosistemas naturales por cambio de rangos climáticos, incremento de eventos climáticos extremos (huracanes, incendios forestales, sequías, inundaciones), lo que incide en el incremento de riesgos para la producción agrícola y otros; se plantea la imperiosa necesidad de acciones de mitigación y adaptación (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023).

El altiplano suramericano es una meseta con una altitud promedio de 3700 sobre el nivel del mar, se encuentra entre las latitudes 15° y 21° S y las longitudes 66° y 69° W, abarca la parte el Oeste de Bolivia, el Sur del Perú y el Norte de Argentina y Chile, con un clima clasificado como árido a semiárido de alta montaña caracterizado como una región con temperaturas bajas y seca durante la mayor parte del año, con la excepción del verano cuando ocurren las lluvias entre diciembre y marzo (Aceituno Gutiérrez, 1996).

La producción agropecuaria en el Altiplano boliviano enfrenta limitaciones naturales debido a su elevada altitud, que varía entre 3,650 y 3,800 metros sobre el nivel del mar, las condiciones climáticas y ocurrencia de eventos climáticos extremos, como la sequías, heladas y granizadas, así como la baja fertilidad de los suelos y la escasez de agua (Liuhto et al., 2016; Bonifacio, 2019). No obstante, el cambio climático ha intensificado estos eventos, complicando aún más la producción agropecuaria en la región. Desde la publicación del primer informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) en 1990, la investigación sobre los impactos del cambio climático ha crecido significativamente a nivel mundial. En Bolivia, este interés se formalizó con la creación del Programa Nacional de Cambio Climático (PNCC) en 1995 (Melo Cevallos, 2013), marcando un punto de partida para la implementación gradual

de proyectos de desarrollo e investigación enfocados en comprender los efectos del cambio climático en el país, proyectar escenarios futuros y desarrollar estrategias de mitigación y adaptación.

A partir de la década de 2000, Bolivia ha intensificado sus esfuerzos en esta área a través de instituciones públicas, entidades privadas de desarrollo (Fundaciones y ONG's), cooperación internacional y la academia, aumentando tanto el número como la profundidad de los estudios y proyectos de adaptación al cambio climático. Esta ampliación responde a la creciente evidencia científica de los riesgos asociados al cambio climático en ecosistemas vulnerables, como el Altiplano.

Existe una abundante base bibliográfica sobre el cambio climático en el Altiplano y su impacto en la producción agropecuaria. Resulta fundamental recopilar, analizar y sintetizar esta información para evaluar el estado actual del conocimiento sobre los efectos del cambio climático y las medidas de adaptación en los sistemas agropecuarios del Altiplano, con un enfoque especial en el Altiplano boliviano y en estudios de la última década.

Los objetivos de este trabajo son, por un lado, sistematizar los hallazgos sobre los efectos e impactos del cambio climático en los sistemas agropecuarios del Altiplano boliviano, y por otro, describir las medidas de respuesta frente al cambio climático que han sido documentadas en investigaciones previas en la región.

Esta revisión bibliográfica se guió por las siguientes preguntas:

- ¿Cómo ha cambiado el clima en el Altiplano?
- ¿Qué proyecciones de cambio climático existen para esta región?
- ¿Cuáles son los efectos del cambio climático en los sistemas agropecuarios?
- ¿Qué alternativas se han desarrollado o propuesto para adaptar dichos sistemas productivos ante posibles escenarios climáticos?

MÉTODOS

Criterios de búsqueda inicial

A través del motor de búsqueda académica Google Scholar se identificó estudios sobre cambio climático en la región altiplánica. Para ello se utilizó los descriptores de búsqueda avanzada “cambio climático altiplano” y su traducción en inglés “climate change altiplano” en el título de los estudios.

Criterios de elegibilidad

Para seleccionar las publicaciones incluidas en la revisión se aplicaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

Criterios de inclusión:

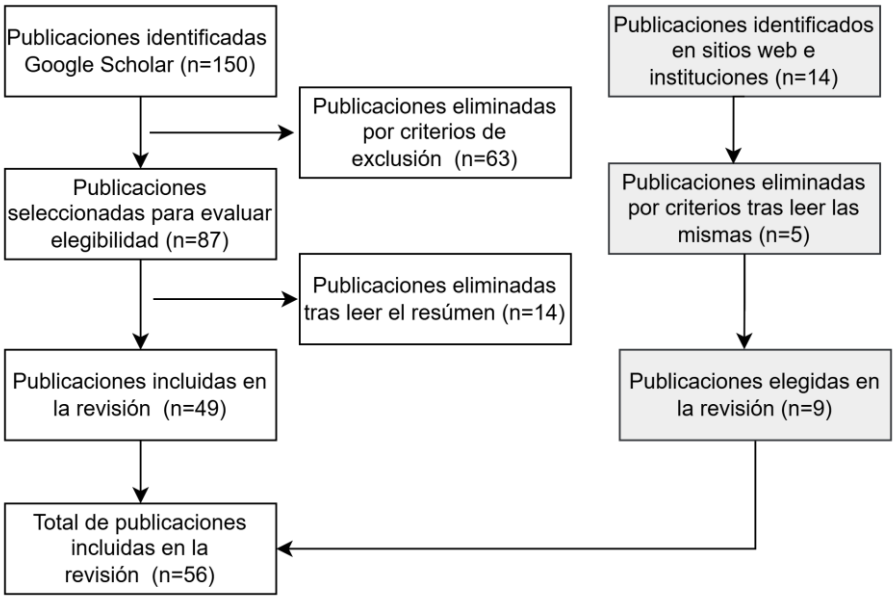
- Publicación de artículo en revista académica indexadas
- Publicadas entre 2014 a 2024
- Aborden la temática de cambio climático en la producción agropecuaria y rural
- Aborden sobre el altiplano de Bolivia, Perú, Argentina y Chile

Criterios de exclusión:

- Publicaciones de tesis.
- Publicadas antes de 2014
- Publicaciones que no aborden la temática agropecuaria y ruralidad
- Aborden otros altiplanos.
- Publicaciones en revistas no indexadas.

Selección de las publicaciones

Figura 1. Diagrama del proceso de selección de publicaciones para la revisión



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cambios observados y percibidos en los factores climáticos

Nueve estudios reportan un aumento de la temperatura en las últimas décadas. Dos estudios cualitativos reflejan la percepción de la población sobre este incremento para el Altiplano Norte y Sur boliviano (Arias, 2015; Liuhto et al., 2016; Meldrum et al., 2018), mientras que estudios de análisis cuantitativos de datos históricos también confirman esta tendencia, aunque en algunos casos no especifican la magnitud exacta del aumento (Perreault, 2020; Fernández-Duque et al., 2023). Otros estudios cuantitativos proporcionan datos sobre estos incrementos. En efecto, el quinto reporte del IPCC estima un incremento de la temperatura media superior a 1°C para el Altiplano suramericano para el período 1901-2012 (Alianza Clima y Desarrollo, 2014), mientras que (López-Moreno et al., 2016) informan que, en el Altiplano peruano–boliviano, que entre 1965 y 2013, la temperatura máxima aumentó entre 0,15 y 0,25∘C por década, y las temperaturas mínimas lo hicieron a una tasa de 0,05 a 0,27∘C por década; por su parte, por su parte (Vallejos et al., 2018), calculan un incremento aproximado de la temperatura media de 0.64ºC para el período 1975– 2013 para la cuenca Poopó que se encuentra en el Altiplano central boliviano.

En cuanto a la evapotranspiración, cinco estudios señalan un aumento en las últimas décadas; de estos, tres estudios mencionan el incremento de la evapotranspiración sin precisar cifras (Meldrum et al., 2018; Satgé et al., 2019; Perreault, 2020), mientras que dos estudios cuantifican este incremento con datos específicos para la cuenca del lago Poopó (Altiplano central); en efecto, (Satgé et al., 2017) reporta que la evapotranspiración aumentó en 12.8% entre 2000 y 2014, en tanto que (Torres-Batlló et al., 2019) estima que el aumento observado entre 2001 a 2014 es de 3,2 mm por año. De manera general, el aumento de las temperaturas influye directamente en la mayor evapotranspiración, ya que ambas variables climáticas están fuertemente correlacionadas en la región de estudio (Carcausto Quispe, 2024) .

La precipitación pluvial en la región altiplánica ha sido objeto de análisis en 13 estudios que examinan tendencias observadas; sin embargo, no existe consenso sobre la dirección de esta variación. Ocho de estos estudios concluyen que las precipitaciones han disminuido en el altiplano, aunque varios no cuantifican específicamente esta reducción (Arias, 2015; Liuhto et al., 2016; Sarricolea et al., 2017; Morales et al., 2018; Machaca, 2020; Morales et al., 2023). Por su parte, Vallejos et al. (2018) estima una tendencia decreciente de 38 mm en el periodo de 1975 a 2013, equivalente a una tasa de −1,00 mm por año en la zona del Lago Poopó en el Altiplano Central, en tanto que Torres-Batlló & Martí-Cardona (2020) estiman una disminución del período de lluvias en −0,4 día por año para la misma zona. Por otro lado, tres estudios sugieren que no existe una tendencia clara en las precipitaciones; Alianza Clima y Desarrollo (2014), analizando el Quinto Reporte del IPCC, indica que la tendencia en el altiplano suramericano es variable, observándose leves incrementos en algunas áreas y disminuciones entre 2.5 a 25 mm en otras.. Huerta y Lavado-Casimiro (2020) concluyen que no hay variaciones significativas en el altiplano peruano, con excepción de la región sur, donde se registra una reducción más acentuada. Por su parte, Ontiveros-Capurata & Ruíz-Álvarez (2019), detectan un leve incremento de las precipitaciones en la década de 1990 para la región andina de Bolivia, aunque no se especifican valores exactos.

Asimismo, cinco estudios reportan cambios en el régimen de lluvias, incluyendo un retraso en el inicio de la temporada, una mayor concentración de precipitaciones en los meses de enero y febrero, el acortamiento de la duración del periodo lluvioso y la ocurrencia de interrupciones dentro de la misma temporada, lo que da lugar a períodos de sequía (Arias, 2015; Liuhto et al., 2016; Meldrum et al., 2018; Torres-Batlló & Martí-Cardona, 2020; Yucra et al., 2023).

Por otro lado, diversos estudios concluyen que la frecuencia de eventos climáticos adversos, tales como sequías, heladas, granizadas, inundaciones y vientos fuertes, ha aumentado significativamente en las últimas décadas en la región altiplánica (Arias, 2015). Entre estos fenómenos, la sequía se identifica como el evento climático adverso más recurrente y de mayor cobertura con impacto negativo, seguida de las heladas (Aparicio Porres, 2019; Ballesteros & Isaza, 2021; Yucra et al., 2023).

Morales et al. (2018) y Morales et al. (2023) en un análisis de largo plazo mediante el estudio de anillos de árboles, determinaron que desde la década de 1970, el Altiplano suramericano ha experimentado la peor sequía en 700 años, con un incremento en la frecuencia; por su parte Torrico Albino (2018) e Incacutipa et al. (2022) destacan las sequías de 1991-1992 por su duración prolongada y sus efectos en los altiplanos de Bolivia y Perú, respectivamente. (Satgé et al., 2017) resaltan la ocurrencia de tres sequías significativas en 1994, 1995 y 2015 para el altiplano central de Bolivia durante el período 1990-2015. Finalmente, (Canedo-Rosso et al., 2021) concluyen que los eventos de sequía más severos se presentan en coincidencia con la ocurrencia del Fenómeno El Niño.

Escenarios climáticos para el Altiplano

Entre los estudios revisados para la región altiplánica, 15 investigaciones presentan proyecciones de escenarios climáticos utilizando diversos métodos de modelización y análisis. En términos generales, estos estudios proyectan cambios en la temperatura, la evapotranspiración, los regímenes de precipitación y los eventos climáticos extremos.

En cuanto a la temperatura, de las 11 investigaciones que analizan escenarios futuros para el Altiplano, todas proyectan un aumento. Cuatro de estos estudios concluyen que la temperatura aumentará,

aunque no precisan de cuanto será dicho incremento (Sánchez-Monje & Olave, 2019; Machaca, 2020; Blin et al., 2022; Puma-Cahua et al., 2024).

Seis estudios cuantifican los incrementos proyectados de la temperatura para el Altiplano boliviano. Canedo & García (2015) estiman que la temperatura mínima y máxima se incrementará entre 2 y 3 °C para Altiplanos Norte y Sur, mientras que (Torrico Albino, 2018) pronostica que este incremento será entre 2 y 5 °C para el Altiplano Norte. Para la zona del Sistema hídrico Titicaca Desaguadero Poopó y Salar de Coipasa - TDPS, Torrez Soria & Soliz Flores (2015) proyectan que las temperaturas mínimas y máximas incrementarán en promedio 2 ºC, en tanto que Vallejos et al. (2018) reporta que para el 2025 la temperatura incrementará 0.84ºC, para el año 2050 en 1.26ºC, para el 2075 en 1.68ºC y 2.10º C para el 2100. Zubieta et al. (2021) en el escenario RCP 8.5 proyecta que la temperatura aumentará entre 1.5 y 3.5 °C para el período 2034 – 2064; Chapi & Medina (2024) realizan proyecciones más detalladas para escenarios SSP2-2.5 y SSP5-8.5 con incrementos entre 2,04 y 4,83°C para las temperaturas mínimas, entre 2,47 y 3,45 °C para las temperaturas medias, y entre 2,91 y 3,76 °C para las temperaturas máximas. Por su parte, Sarricolea Espinoza & Romero Aravena (2015) para el período 2061-2080, proyectan el aumento de la temperatura media por debajo de 2°C para el altiplano chileno.

En cuanto a la evapotranspiración, cinco estudios incluyen el análisis de esta variable, todos coincidiendo en que aumentará la evapotranspiración en el Altiplano. Torrico Albino (2018) proyecta que la evapotranspiración aumentará entre 5% y 10% por cada °C de incremento de temperatura en el Altiplano Norte, mientras que Zubieta et al. (2021) estiman un incremento de entre 8 y 10% para el sistema hídrico TDPS para el período 2034-2064.

Catorce estudios analizan la precipitación en escenarios climáticos futuros para el Altiplano, mostrando conclusiones variadas. Morales et al. (2018) proyectan una disminución de las precipitaciones entre el 26% y el 71% en el Altiplano suramericano bajo los escenarios RCP2.6 y RCP8.5 para el período 2071-2100, con sequías sin precedentes.

Para el Altiplano chileno Sarricolea Espinoza & Romero Aravena (2015), anticipan una disminución de hasta el 100% en las precipitaciones en algunas áreas para el período 2061-2080, junto con un aumento

de hasta en 18 días de sequía durante la temporada de lluvias. Sarricolea et al., (2017) en un estudio complementario para el misma área, sugiere riesgos de condiciones desérticas hacia fines del siglo XXI. En contraste, Sánchez-Monje & Olave (2019) prevén poca variación en el promedio anual de precipitaciones en esta región, aunque proyectan cambios en el ciclo anual, con disminución de lluvias entre octubre a diciembre, e incremento en enero a marzo. Por último, Blin et al. (2022) pronostican una variabilidad de la precipitación hacia finales del siglo XXI, con leves aumentos en algunas zonas.

Para el Altiplano peruano, Lujano Laura et al. (2016) proyectan para el horizonte 2071-2100 una disminución de la precipitación en la mayor parte del territorio, con ligeros incrementos en la parte norte. Puma-Cahua et al. (2024) también prevén una disminución de las precipitación para el período 2023 – 2050. Por su parte, Guzmán et al. (2022) proyectan una tendencia de reducción de la precipitación entre 20230 y 2060 para el Altiplano sur, con una disminución de hasta un 50% en invierno y un leve aumento del 5% en verano.

Para el Altiplano boliviano, Torrico Albino (2018) estima una disminución de la precipitación de hasta un 20% junto con una reducción en la nubosidad para el Altiplano Norte. Canedo y García (2015), por su parte, proyectan una reducción de entre 1-4% para la década 2020-2029, y de entre 1-8% para la década 2046-2055, en el Altiplano centro y sur. En el sistema hídrico TPDS Zubieta et al. (2021) estiman una disminución del 3% en las precipitaciones para el período 2034 – 2064, además, proyectan un aumento en la intensidad de las sequías agrícolas, que podría variar entre un 1% y un 20%, y un incremento en su frecuencia de hasta el 90% al inicio de la temporada de lluvias, extendiéndose por 1 a 2 meses. Vallejos et al. (2018) calculan una reducción de 49.62 mm para 2025, 74.43 mm para 2050, 100 mm para 2075 y 124 mm para 2100. Torres-Batlló & Martí-Cardona (2020) reportan una tendencia proyectada de aumento de la precipitación en el norte y una disminución en el sur del TDPS, con un incremento general de 2.5 mm por año en las lluvias entre diciembre y febrero.

Los escenarios planteados para los factores climáticos del Altiplano, se enmarcan a los pronósticos del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023).

Efectos en los sistemas agropecuarios altiplánicos

La producción agropecuaria en el Altiplano enfrenta altos riesgos de pérdidas debido a la altitud y las condiciones climáticas propias de la región. Esta situación se ve agravada por el cambio climático, que aumenta la frecuencia e intensidad de eventos adversos como sequías, heladas, granizadas y vientos fuertes.

La disminución y escasez de agua es uno de los principales factores que incrementan la vulnerabilidad de los sistemas agropecuarias, debido en gran parte a la variabilidad en el inicio tardío de la temporada de lluvias, la frecuencia de sequías y el incremento de la evapotranspiración (Meldrum et al., 2018). Varios estudios realizados en torno al sistema hídrico TDPS o cuenca endorreica del Altiplano, evidencian la disminución de la disponibilidad de agua. Lujano Laura et al. (2016) reportan disminución de caudales en los principales aportantes del Lago Titicaca. Satgé et al. (2017) reportan una disminución del caudal de descarga del 50% en los últimos 50 años del río Desaguadero al lago Poopó, lo que es corroborado por el análisis de Perreault (2020). La gestión inadecuada y la extracción de agua sin planificación agrava la situación de los recursos hídricos (Whitt, 2022). Otro efecto relevante sobre los recursos hídricos es la salinización de aguas subterráneas, como reporta (Torrez Soria & Soliz Flores, 2015).

La disminución de la disponibilidad de agua incrementa la presión sobre las fuentes hídricas, lo cual se agravaría en escenarios climáticos futuros (Sarricolea Espinoza & Romero Aravena, 2015).

El estudio de Liuhto et al. (2016) en 21 comunidades productoras de quinua del Altiplano sur de Bolivia señala que, para el 84% de las familias, la sequía representa el principal riesgo climático, ya que causa disminución e incluso la pérdida total de la producción; esto se atribuye a la percepción de que las precipitaciones son irregulares y la temporada de lluvias se retrasa. Camacho y Vigabriel (2023) precisan que la sequía de la campaña agrícola 2014-2015 afectó del rendimiento de cultivos en un 54.4% en papa, 47.7% en quinua y 49.7% en forrajes, con pérdidas estimadas en 15 millones de bolivianos para el cultivo de papa y 36 millones de bolivianos para la quinua en el Altiplano de los departamentos de La Paz, Oruro y Potosí.

En el cultivo de tarwi, Yucra et al. (2023) reportan que el inicio tardío de las lluvias, a partir de noviembre, afecta el momento de la siembra. Además, la escasa precipitación durante la etapa de floración, conocida como déficit hídrico o "veranillo", reduce la producción en los Altiplanos norte y centro.

En escenarios futuros, la baja productividad de la quinua podría agravarse debido al aumento del déficit hídrico en el Altiplano chileno (Sánchez-Monje & Olave, 2019). De igual manera, se espera que el cultivo de papa enfrente una disminución en su rendimiento debido a la reducción de las precipitaciones en el Altiplano peruano (Puma-Cahua et al., 2024).

Según Meldrum et al. (2018) otros problemas derivados del cambio climático incluyen el aumento de plagas de insectos, mayor incidencia de enfermedades y degradación del suelo debido a la escasez de humedad. Los cultivos más vulnerables al cambio climático en el Altiplano norte, según este estudio, son la oca, papalisa, isaño, haba y arveja.

Por otro lado, estudios de Torrico Albino (2018) y Benique Olivera (2019) sugieren un posible incremento en los rendimientos de papa y cañahua en los Altiplanos de Bolivia y Perú, respectivamente, debido al aumento en la concentración de CO_2 y la temperatura, lo cual podría favorecer la productividad. Un experimento de laboratorio realizado por (Saugier & Pontailler, 2006) respalda la anterior afirmación; al incrementar el contenido de CO_2 atmosférico en especies nativas del Altiplano, como Stipa ichu, Chondrosum simplex, Baccharis incarum, Parastrephia lepidophylla y Chenopodium quinoa, encontraron una duplicación de la actividad fotosintética de las hojas, lo que sugiere un potencial de aumento en la producción de biomasa.

Estos resultados coinciden con Santoyo et al. (2024), quienes determinan amplio rango de variación de rendimientos en varios cultivos en México, debido a la variabilidad de los factores climáticos, en particular en la agricultura a secano.

En cuanto a la producción pecuaria, los estudios de Meldrum et al. (2018) y (Canedo-Rosso et al., 2021), señalan que la sequía impacta en la disminución de la vegetación y en la disponibilidad de forrajes para la alimentación del ganado, lo que reduce la población ganadera camélida en la región altiplánica. Esta observación coincide con los hallazgos de (Aparicio Porres, 2019), quien reporta que el 57.4% de las

unidades productivas disminuyó su rebaño de llamas en 2016 debido a las sequías, que generaron escasez de agua y forrajes atribuida al cambio climático en el Altiplano de La Paz, Oruro y Potosí.

La disminución o pérdida de la producción agropecuaria provoca impactos multidimensionales en los sistemas de vida rural del Altiplano. El estudio de Incacutipa et al. (2022) en el Altiplano peruano indica que las sequías prolongadas de 1991-1992 ocasionó déficit alimentario, insostenibilidad agrícola y ganadera, dificultades para la subsistencia familiar y migración rural, lo que llevó a la inserción en nuevas actividades económicas urbanas, algunas con resultados exitosos. En el caso del Altiplano boliviano, los estudios de Practical Action (2024), Matijasevic (2014) y Perreault (2020) señalan que las pérdidas en la producción agropecuaria impactan en la economía de las familias, generan desempleo, limitan el acceso a servicios básicos y fomentan la migración del campo a la ciudad. Esta aseveración coincide con Santoyo et al. (2024), quienes mencionan efectos en la economía y la calidad de vida de la disminución de rendimientos por sequías en la agricultura mexicana.

Capacidad adaptativa multidimensional

Las causas y efectos del cambio climático son complejos, y comprenden dimensiones ambientales, sociales, económicas, políticas y culturales (Quintana, 2017). Según el estudio de Practical Action (2024) en tres municipios de las ecoregiones Altiplano, Valles y Llanos de Bolivia, concluye que los desafíos del cambio climático requiere que la capacidad adaptativa aborde con un enfoque integral que incluya tanto las dimensiones medioambientales como las sociales y económicas.

Para los sistemas productivos de camélidos en el Altiplano peruano, Barrantes et al. (2021), establecen que la capacidad adaptativa se sustenta en cinco dimensiones: recursos humanos (edad, tamaño y nivel educativo de la familia), recursos físicos (superficie del predio, cantidad de ganado, acceso a agua para abrevadero, cobertizos, servicios de maquinaria), recursos financieros (acceso a crédito, seguro de salud, apoyo estatal y privado), recursos de información (nivel de organización comunitaria, asistencia técnica, acceso a medios de comunicación como radio y televisión), y recursos de diversidad (uso del suelo, variedad de especies animales, fuentes de ingresos y actividades económicas).

Ruiz et al. (2019), con base en estudios realizados en sistemas productivos de comunidades del Altiplano Norte de Bolivia, concluyeron que la capacidad de adaptación de los sistemas agropecuarios depende de cinco tipos de recursos: humanos (conocimientos sobre riesgos, técnicas agrícolas, salud), sociales (ahorro, acceso a crédito, organización campesina, capacidad institucional), físicos (infraestructura de riego, silos de almacenamiento), naturales (fuentes hídricas, suelos fértiles, flora y fauna), y financieros (seguros, ingresos diversificados).

Liuhto et al. (2016) proponen fortalecer la capacidad adaptativa de los sistemas de producción de quinua en el Altiplano sur boliviano mediante varias estrategias: mejorar las capacidades del Estado en aspectos de apalancamiento de recursos financieros, el apoyo institucionalidad y tecnológico, desarrollar políticas de adaptación y mitigación con un enfoque participativo de abajo hacia arriba, implementar programas para ampliar la superficie de riego eficiente y mejorar la infraestructura de almacenamiento de agua, crear una plataforma de intercambio de conocimientos y capacitación sobre los efectos y medidas adaptativas al cambio climático, promover el seguro agrícola para compensar pérdidas, y fomentar sistemas productivos sostenibles a través de la certificación orgánica.

La propuesta de multidimensionalidad de la capacidad adaptativa coincide con propuestas de estrategias integrales territoriales para responder al cambio climático en diferentes contextos del mundo (Segura et al., 2022; Pérez et al., 2024).

Medidas de adaptación en sistemas agropecuarios del Altiplano

En 27 estudios se proponen medidas de adaptación, algunas con enfoques integrales y otras con enfoques específicos. Estas medidas varían en su aplicabilidad, desde escalas regionales hasta escala a nivel predial, y se agrupan en siete ámbitos principales.

Medidas en el ámbito económico - financiero

Se identifica la diversificación económica y productiva como medidas claves para mitigar los riesgos de pérdidas en la producción (Bedregal & Del Granado, 2015; Ruiz et al., 2019); PROSUCO (2023), complementada por el fortalecimiento de la educación financiera, con el fin de fomentar el ahorro en las familias.

El seguro agrícola es una medida adaptativa clave, ya que permite reducir los riesgos asociados a desastres climáticos y mitigar los daños en la producción agrícola; proporciona a los productores una herramienta de protección económica frente a fenómenos climáticos adversos, y en el caso boliviano, está principalmente orientado a los agricultores de zonas con mayor vulnerabilidad climática y niveles elevados de pobreza (Liuhto et al., 2016; (Murillo, 2017; Chávez et al., 2019; Ruiz et al., 2019; PROSUCO, 2023).

Para mejorar la eficiencia municipal, PROSUCO (2023) plantea aumentar los ingresos propios del gobierno municipal, así como incrementar la inversión pública en medidas adaptativas adecuadas a las características de la región.

Medidas en el ámbito ambiental - natural

Considerando las condiciones actuales y las proyecciones de disminución de los recursos hídricos en el Altiplano, atribuibles al cambio climático, las medidas adaptativas más frecuentes se orientan a la captura y almacenamiento de agua de lluvias mediante infraestructuras como represas, atajados, abrevaderos y tanques, destinados al uso doméstico, productivo e industrial (Ruiz et al., 2019; Pilares-Hualpa et al., 2019). Loayza et al. (2020) destacan prácticas ancestrales como las wijiñas, que son reservorios utilizados para almacenar agua de lluvia destinada al consumo del ganado, el uso de zanjas de infiltración y kurmi khotas que favorecen la retención de agua y mantener humedad en el suelo.

La ampliación de la cobertura de riego y la mejora en la eficiencia de su aplicación en la agricultura constituyen otra medida adaptativa clave, ya que permiten optimizar el uso del recurso hídrico (Liuhto et al., 2016; Pilares-Hualpa et al., 2019). El aprovechamiento sostenible de agua subterránea mediante pozos superficiales y semiprofundos es otra medida recomendada para la escasez hídrica (Ruiz et al., 2019; Loayza et al., 2020). Por otra parte, PROSUCO (2023) propone como medida de gestión del agua la realización de inventarios y el monitoreo de aguas superficiales y subterráneas, a fin de una mejor planificación y uso sostenible de este recurso.

Ruiz et al. (2019) recomiendan la forestación y la implementación de barreras vivas con especies nativas como una medida para mitigar los efectos del cambio climático en el Altiplano, ya que estas prácticas contribuyen a la protección del suelo, la regulación del microclima y la conservación del agua.

Medidas en el ámbito socio organizativo

La educación de la población es una de las medidas adaptativas más recomendadas para fortalecer los recursos humanos. Un mayor nivel educativo se traduce en mejores oportunidades de migración, una mejora en las condiciones de inserción laboral, una mayor diversificación económica y un incremento en las capacidades locales para responder al cambio climático (Ruiz & Osorio, 2015; Bedregal & Del Granado, 2015; Liuhto et al., 2016; Ruiz et. al., 2019; PROSUCO, 2023).

Por otra parte, se recomiendan las plataformas ciudadanas y el uso de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) como medidas adaptativas, ya que facilitan el intercambio de conocimientos y la comprensión de los efectos del cambio climático y las medidas adaptativas, promoviendo la participación y el empoderamiento comunitario (Liuhto et al., 2016; PROSUCO, 2023).

Otras medidas adaptativas recomendadas incluyen la planificación y normas de gestión territorial el fortalecimiento de la organización comunitaria (Ruiz et al., 2019; Torrico et al., 2020), la internalización del enfoque agroecológico en los valores y objetivos de gestión comunitaria (Hart et al., 2016), y la implementación de un marco de gobernanza del agua que favorezca su aprovechamiento sostenible (Whitt, 2022).

Medidas en el ámbito de manejo agronómico

El riego constituye una medida adaptativa fundamental y de alta eficiencia comprobada en la agricultura altiplánica, especialmente ante las tendencias observadas y proyectadas de reducción y variabilidad de las lluvias, así como el aumento de la evapotranspiración; garantiza el agua en momentos críticos del ciclo de los cultivos, disminuyendo la dependencia de las precipitaciones y mitigando las sequías, permite estabilizar e incluso incrementar la productividad agrícola (Canedo & García, 2015; Torrico Albino, 2018; Sánchez-Monje & Olave, 2019). El riego como una medida estratégica para responder al

cambio climático en la agricultura, coincide con otros autores de contextos diferentes (Balmaseda & Mederos, 2019).

El mejoramiento genético de cultivos altiplánicos como la papa, quinua y cañahua, enfocado en lograr variedades más precoces, resistentes a la sequía y tolerantes a condiciones adversas, es una medida importante para responder al cambio climático. Esta estrategia busca mejorar la productividad, reducir la vulnerabilidad de los productores locales ante escenarios de acortamiento del período de lluvias e incremento eventos climáticos extremos, y contribuir a la seguridad alimentaria y sostenibilidad agrícola en zonas vulnerables. (Coca & Coronado, 2014; Bonifacio, 2019; Gabriel, 2019; Sánchez-Monje & Olave, 2019).

Para ello, es fundamental aprovechar la alta biodiversidad local y la mayor tolerancia de los ecotipos nativos, como las variedades de papa amarga (*Solanum juzepczukii, S. curtilobum y S. ajanhuiri*), que han demostrado adaptabilidad a condiciones extremas. Asimismo, especies silvestres de quinua, como la ajara, y de cañahua, como la illamanco, presentan características clave para la adaptación climática (Meldrum et al., 2018; Ruiz et. al., 2019; Bonificacio, 2019). En el caso del tarwi, se han identificado ecotipos de ciclo corto que también podrían ser valiosos en estrategias de adaptación agrícola (Yucra et al., 2023). El mejoramiento genético o uso de material genético de la biodiversidad local como medida de adaptación, coincide con varios autores que determinan la importancia de identificar criollo o desarrollar material genético adecuadas a determinados contextos climáticos específicos (Botero O. & Arias, 2018; Caridad & Ceballos, 2022; Sánchez et al., 2024)

La modificación del calendario agrícola es una estrategia propuesta para adaptar la agricultura de secano del Altiplano a un inicio tardío de las lluvias. Según (Coca & Coronado, 2014) en el Altiplano norte de Bolivia, tanto las variedades de papa tardías como precoces completan su ciclo vegetativo con una siembra en diciembre, aunque las variedades precoces presentan menores rendimientos; este ajuste, reduce la infestación del gorgojo de los Andes y la sarna polvorienta. Quezada (2021), reporta que la combinación de una siembra retrasada, junto con riego suplementario, puede aumentar el rendimiento

del cultivo en un 48%. Sin embargo, Torrico Albino (2018) en una parcela experimental de papa, encuentra que la modificación de fecha de siembra no es una medida efectiva.

La conservación y manejo de la fertilidad de suelos es otra medida adaptativa sugerido por Ruiz et al. (2019) y Ballesteros & Isaza (2021).

El enfoque de sistemas productivos agroecológicos y orgánicos, propuesto para el Altiplano por Liuhto et al. (2016) y (Torrico et al., 2020), es una medida adaptativa que fomenta sistemas agropecuarios resilientes y sostenibles. Este enfoque integra prácticas de conservación de suelos, manejo eficiente de recursos hídricos, uso de insumos locales y producción diversificada mediante policultivos (Ballesteros & Isaza, 2021), complementado con ganadería, uso de estiércol y rotación de cultivos. Estas prácticas mejoran la capacidad de los agroecosistemas, creando paisajes multifuncionales que no solo garantizan la producción de alimentos, sino que también mejoran los medios de vida rurales y restauran ecosistemas saludables (Hart et al., 2016).

Para la producción de bovinos lecheros Torrico et al. (2020), proponen las siguientes medidas adaptativas: el cultivo de forrajes como alfalfa y cebada, el manejo sostenible de praderas nativas, la conservación y procesamiento de forrajes, el mejoramiento genético del ganado, la cría de razas rústicas, el manejo sanitario adecuado, y el desarrollo de infraestructura y equipamiento productivo, incluyendo establos, heniles, bebederos y potreros. Para la ganadería camélida las medidas sugeridas por Barrantes et al. (2021), son el almacenamiento de forrajes, la excavación de pozos para consumo animal, la construcción de vigiñas, atajados o pequeñas represas para cosechar agua en época de lluvias.

Tecnologías como la hidroponía se presentan como soluciones eficientes para la producción forrajera, logrando una reducción del 50% en el uso de agua en comparación con sistemas tradicionales del Altiplano central (Torrez Soria & Soliz Flores, 2015). De igual manera, el sistema de producción biointensivo aumenta la productividad de hortalizas en un 300%, reduce el consumo de agua en un 87% y mejora la actividad microbiológica del suelo (Gonzales-Torrico et al., 2022).

Dos estudios destacan que la combinación de varias medidas es más eficaz para fortalecer la capacidad de respuesta de los sistemas productivos. Quezada Lambertin (2021) señala que, bajo escenarios RCP

8.5, el rendimiento de la papa aumenta un 45% al combinar tres medidas adaptativas: retraso del calendario agrícola, manejo de la biodiversidad y riego complementario. Por su parte, Torrico Albino (2018) reporta un aumento en los rendimientos de papa al combinar riego y mejora de la fertilidad del suelo, ambos en el Altiplano central.

Medidas en el ámbito político – institucional

El fortalecimiento del marco político y el liderazgo del Estado central para apalancar recursos financieros para implementar medidas adaptativas y fortalecer las instituciones locales son medidas sugeridas por Liuhto et al. (2016). Además, es importante potenciar las capacidades de respuesta a riesgos a nivel municipal y consolidar la unidad de gestión de riesgos del gobierno local (PROSUCO, 2023).

Otra medida adaptativa recomendada de manera recurrente son los pronósticos climáticos y los sistemas de alerta temprana para eventos extremos en la agricultura, que combinan conocimientos ancestrales y técnicos. Estos sistemas son herramientas fundamentales para la toma de decisiones oportunas, ya que facilitan la implementación de acciones preventivas y contribuyen a mejorar la productividad agropecuaria (Yucra et al., 2019; Ruiz et al., 2019; PROSUCO, 2023).

La investigación e innovación en la generación de conocimiento sobre los efectos del cambio climático y la efectividad de las medidas de respuesta, el mejoramiento genético de cultivos y ganado, son fundamentales para fortalecer los sistemas productivos, priorizando el uso y la gestión sostenible de los recursos hídricos y del suelo (Ruiz et al., 2019). Asimismo, es esencial que el conocimiento científico se integre de manera sinérgica con el saber local o ancestral, con el objetivo de lograr un mayor impacto y desarrollar medidas más efectivas (Meldrum et al., 2018; PROSUCO, 2023).

CONCLUSIONES

Las tendencias observadas y percibidas de los estudios revisados concluyen que los factores climáticos han variado. Todos los estudios coinciden que la temperatura ha incrementado, así como también la evapotranspiración; en cuanto a la precipitación, no existe consenso sobre su variación, empero la mayoría reporta que el período de lluvias es más corto, principalmente por el inicio tardío del período

de lluvias, con disminución de precipitaciones en los Altiplanos Centro y Sur. También hay consenso en el aumento de eventos climáticos adversos.

En cuanto a escenarios climáticos todos los estudios revisados coinciden en que la temperatura media y la evapotranspiración continuarán en ascenso, incluso con algunas proyecciones superiores a los previstos por el IPCC; asimismo, la mayor parte de las publicaciones prevén disminución de las precipitaciones y cambios en el ciclo de lluvias, con mayor concentración en los meses de enero, febrero y marzo. Algunos estudios indican que la región enfrentará eventos de sequía sin precedentes.

La variación observada y proyectada de la temperatura, lluvias y evapotranspiración incide negativamente en los sistemas agropecuarios, debido a la disminución de disponibilidad de agua, degradación de suelos por disminución de humedad, el acortamiento del ciclo agrícola a secano por el inicio tardío de lluvias y mayor frecuencia de eventos extremos, donde la sequía provoca los mayores impactos en la reducción de la productividad y hasta la pérdida total de la producción, lo que genera múltiples impactos en los medios de vida rural, incluso hasta la migración campo – ciudad de manera permanente. Sin embargo, algunos estudios mencionan que la mayor concentración de CO_2 en la atmósfera y el aumento de temperatura podrían incrementar la fotosíntesis y la producción de biomasa, con la posibilidad de un impacto positivo.

Con relación a las medidas de adaptación, varios estudios proponen que éstas deben implementarse bajo un enfoque multidimensional para fortalecer de manera más efectiva la capacidad de respuesta de los sistemas productivos. En los estudios revisados hay una amplia sugerencia de medidas adaptativas, las cuales se aglutinó en los siguientes ámbitos: a) medidas en el ámbito económico financiero, orientadas a mejorar la economía familiar y la inversión pública, b) medidas en el ámbito ambiental – natural, destinadas al manejo y aprovechamiento sostenible del agua y el agroecosistema en general, c) medidas en el ámbito socio organizativo, dirigidos a mejorar las capacidades de gestión de los recursos humanos y la sociedad, d) medidas en el ámbito agronómico, que enfatiza en el riego como la medida más efectiva, el mejoramiento genético, entre otras, e) medidas en el ámbito político – institucional, orientado a fortalecer la capacidad de respuesta de niveles del Estado y el aporte de la investigación.

Muchas de estas sugerencias provienen de resultados de implementaciones en diversos contextos del Altiplano; sin embargo, en varios casos no se cuenta con la certeza de que hayan sido plenamente validadas. Por lo tanto, es necesario que futuras investigaciones evalúen la efectividad de las medidas adaptativas según las condiciones específicas de cada contexto en la región

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aceituno Gutiérrez, P. (1996). Aspectos generales del clima en el altiplano sudamericano. Revista Geofísica-IPGH, 44, 37-55.

Alianza Clima y Desarrollo. (2014). El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC. Qué implica para América Latina?. Resumen ejecutivo.

Aparicio Porres, J. J. (2019). Una aproximación al efecto del cambio climático en los camélidos domésticos en Bolivia. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 6(1), 87-93.

Arias, C. (2015). Percepciones del cambio climático en el ayllu Corpa: Efectos sobre el agua y clima. En Adaptación al cambio climático en el Altiplano norte de Bolivia: Efectos, indicadores y medidas (1ra., pp. 23-40). Plural Editores.

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. https://doi.org/10.2993/0278-0771-41.3.428

Balmaseda, C., & Mederos, M. (2019). Visión del cambio climático desde la perspectiva del riego y drenaje en Ecuador. Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad, 2(1), 68-73. https://doi.org/10.46380/rias.v2i1.41

Barrantes, C., Flores, E., & Ñaupari, J. (2021). Pastores alpaqueros: Vulnerabilidad, adaptabilidad y sensibilidad al cambio climático. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 32(3), Article 3. https://doi.org/10.15381/rivep.v32i3.20396

Bedregal, K., & Del Granado, S. (2015). Cambios en la actividad productiva del ayllu Corpa. En Adaptación al cambio climático en el Altiplano Norte de Bolivia: Efectos, indicadores y medidas

(1ra.). Plural Editores. https://www.researchgate.net/profile/Christian-Arias-Reyes/publication/332686722_ADAPTACION_AL_CAMBIO_CLIMATICO_EN_EL_ALTIPLANO_NORTE_DE_BOLIVIA_EFECTOS_INDICADORES_Y_MEDIDAS/links/5cc34592a6fdcc1d49b217a0/ADAPTACION-AL-CAMBIO-CLIMATICO-EN-EL-ALTIPLANO-NORTE-DE-BOLIVIA-EFECTOS-INDICADORES-Y-MEDIDAS.pdf

Benique Olivera, E. (2019). Impacto del cambio climático en el rendimiento de la producción de Cañihua (Chenopodium pallidicaule) en la Región Puno. Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research, 21(2), 100-110. https://doi.org/10.18271/RIA.2019.454

Blin, N., Hausner, M., Leray, S., Lowry, C., & Suárez, F. (2022). Potential impacts of climate change on an aquifer in the arid Altiplano, northern Chile: The case of the protected wetlands of the Salar del Huasco basin. Journal of Hydrology: Regional Studies, 39, 100996. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.100996

Bonifacio, A. (2019). Improvement of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) and Qañawa (Chenopodium pallidicaule Aellen) in the context of climate change in the high Andes. Ciencia e Investigación Agraria: Revista Latinoamericana de Ciencias de La Agricultura, 46(2), 113-124.

Botero O., K., & Arias, T. (2018). Uso de las ciencias ómicas para el mejoramiento genético de cultivos. Revista de Ciencias Agrícolas, 35(2), 64-78. https://doi.org/10.22267/rcia.183502.92

Camacho, S., & Vigabriel. (2023). Explorando el impacto de la sequía en la economía agrícola familiar del Altiplano de Bolivia (1/2023; Serie Ideas y Reflexiones IISE-UCB, p. 11). Instituto de Investigaciones Socioeconómicas- Universidad Católica Boliviana. https://iisec.ucb.edu.bo/assets_iisec/publicacion/1_17112023_HSS_SILVANA-LUZ_12.pdf

Canedo, C., & García, M. (2015). Evaluación del requerimiento de agua en zonas productoras de Quinua bajo condiciones de cambio climático. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 2(1), 13-25.

Canedo-Rosso, C., Hochrainer-Stigler, S., Pflug, G., Condori, B., & Berndtsson, R. (2021). Drought impact in the Bolivian Altiplano agriculture associated with the El Niño–Southern Oscillation

using satellite imagery data. Natural Hazards and Earth System Sciences, 21(3), 995-1010. https://doi.org/10.5194/nhess-21-995-2021

Carcausto Quispe, C. (2024). Dinámica de la evapotranspiración en el área del Lago Titicaca y en la frecuencia e intensidad de los episodios de sequía en la región de Puno 2023. Revista de Investigaciones, 13(1), Article 1. https://doi.org/10.26788/ri.v13i1.5753

Caridad, J., & Ceballos, M. (2022). Nota técnica: El Ganado Criollo Lechero Dominicano. Una alternativa ante el Cambio Climático. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 30(2), 133-139. https://doi.org/10.53588/alpa.300207

Chapi, N., & Medina, P. A. P. (2024). Development of an assembled model for the projection of climate change in the Endorheic Basin of the Bolivian Altiplano: Evaluation and validation of historical temperature simulations of CMIP6 models. Journal of Agricultural Sciences Research (2764-0973), 4(5), 2-17. https://doi.org/10.22533/at.ed.973452403049

Chávez, F., Murillo, E., & Gallardo, G. (2019). Enfoque epistemológico del seguro agrario para la agricultura familiar en Bolivia. Apthapi, 5(1), 1517-1523.

Coca, M., & Coronado, Z. (2014). Plantación tardía de variedades de papas (Solanum tuberoum L.) y su relación con la variación climática para reducir pérdidas causadas por el Gorgojo de los Andes (Premnotrypes sp) y la Sarna Polvorienta (Spongospora subterranea) en el Altiplano boliviano. Revista Latinoamericana de la Papa, 18(1), 122-140. https://doi.org/10.37066/ralap.v18i1.210

Fernández-Duque, B., Vicente-Serrano, S. M., Maillard, O., Domínguez-Castro, F., Peña-Angulo, D., Noguera, I., Azorin-Molina, C., & El Kenawy, A. (2023). Long-term observed changes of air temperature, relative humidity and vapour pressure deficit in Bolivia, 1950–2019. International Journal of Climatology, 43(14), 6484-6504. https://doi.org/10.1002/joc.8226

Gabriel, J. (2019). Thirty years of the PROINPA Foundation's contribution to Bolivian agriculture: Case of "Marcela" potato crop. Revista Latinoamericana de la Papa, 23(2), Article 2. https://doi.org/10.37066/ralap.v23i2.369

Gonzales-Torrico, E. M., Pacasa-Quisbert, F., & Hurtado-Barrero, J. (2022). Sistemas de producción biointensiva y tradicional sobre parámetros agronómicos de hortaliza. Journal of the Selva Andina Biosphere, 10(1), 57-65. https://doi.org/10.36610/j.jsab.2022.100100057

Guzmán, D., Porfirio da Rocha, R., Pereira, M., & Simões, M. (2022). Identificação de Regiões Homogêneas de Precipitação e Projeções Climáticas com o RegCM4 no Altiplano Andino. Revista Brasileira de Geografia Física, 15(6), Article 6. https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.6.p2689-2703

Hart, A. K., McMichael, P., Milder, J. C., & Scherr, S. J. (2016). Multi-functional landscapes from the grassroots? The role of rural producer movements. Agriculture and Human Values, 33(2), 305-322. https://doi.org/10.1007/s10460-015-9611-1

Huerta, A., & Lavado-Casimiro, W. (2020). Trends and variability of precipitation extremes in the Peruvian Altiplano (1971–2013). International Journal of Climatology, 41(1), 513-528. https://doi.org/10.1002/joc.6635

Incacutipa, D., Puma, J., & Cachuanihancco, C. (2022). Trayectorias migratorias de los aymaras del altiplano peruano. Alteridades, 32(63), 107-118. https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcsh/alteridades/2022v32n63/incacutipa

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). AR6 Synthesis Report: Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/

Liuhto, M., Mercado, G., & Aruquipa, R. (2016). El cambio climático sobre la producción de quinua en el altiplano boliviano y la capacidad de adaptación de los agricultores. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 3(2), 166-178.

Loayza, J., Blanco, L., Bernabé, A., & Ayala, G. (2020). Saberes locales sobre tecnologías y estrategias de producción agropecuaria para la resiliencia climática. Journal Selva Andina Research Society, 8(1), 32-41. https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080100032

López-Moreno, J. I., Morán-Tejeda, E., Vicente-Serrano, S. M., Bazo, J., Azorin-Molina, C., Revuelto, J., Sánchez-Lorenzo, A., Navarro-Serrano, F., Aguilar, E., & Chura, O. (2016). Recent temperature

variability and change in the Altiplano of Bolivia and Peru. International Journal of Climatology, 36(4), 1773-1796. https://doi.org/10.1002/joc.4459

Lujano Laura, E., Hidalgo Sanchez, L. S., Tapia Aguilar, B., & Lujano Laura, A. (2016). Cambios proyectados de los recursos hídricos bajo escenarios de emisiones RCP4.5 y 8.5 de modelos climáticos globales del CMIP5 en el Altiplano Peruano. Revista Investigaciones Altoandinas, 18(2), 1. http://dx.doi.org/10.18271/ria.2016.200

Machaca, E. (2020). Geografía y ambiente: Las variables claves del cambio climático «actual»en los procesos socio-territoriales del Altiplano Norte. Revista Boliviana de Investigaciones Geográficas, 1(11), Article 11. https://ojs.umsa.bo/ojs/index.php/revigeo/article/view/477

Matijasevic, J. (2014). El círculo vicioso de los efectos del cambio climático en poblaciones rurales migrantes del Altiplano boliviano. Luna Azul, 38, 11-29.

Meldrum, G., Mijatovic, D., Rojas, W., Flores, J., Pinto, M., Mamani, G., Condori, E., Hilaquita, D., Gruberg, H., & Padulosi, S. (2018). Climate change and crop diversity: Farmers' perceptions and adaptation on the Bolivian Altiplano. Environment, Development and Sustainability, 20, 703-730. https://doi.org/10.1007/s10668-016-9906-4

Melo Cevallos, M. (2013). Documento descriptivo, analítico y comparativo de las políticas públicas sobre cambio climático en Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia y su relación con el conocimiento tradicional (p. 37). IUCN.

Morales, M. S., Christie, D., Neukom, R., Rojas, F., & Villalba, R. (2018). Variabilidad hidroclimática en el sur del Altiplano: Pasado, presente y futuro. En La Puna argentina. Naturaleza y cultura (pp. 75-91). Fundación Miguel Lillo. https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/99110

Morales, M. S., Crispín-DelaCruz, D. B., Álvarez, C., Christie, D. A., Ferrero, M. E., Andreu-Hayles, L., Villalba, R., Guerra, A., Ticse-Otarola, G., Rodríguez-Ramírez, E. C., LLocclla-Martínez, R., Sanchez-Ferrer, J., & Requena-Rojas, E. J. (2023). Drought increase since the mid-20th century in the northern South American Altiplano revealed by a 389-year precipitation record. Climate of the Past, 19(2), 457-476. https://doi.org/10.5194/cp-19-457-2023

Murillo, E. (2017). Avances de la transferencia del riesgo agropecuario en Bolivia. Apthapi, 3(3), 831-843.

Ontiveros-Capurata, R., & Ruíz-Álvarez, O. (2019). Análisis histórico de las precipitaciones en la región andina de Bolivia. COMEII-19041. Quinto Congreso Nacional de Riego y Drenaje, Sinaloa, México. https://www.researchgate.net/profile/Ronald-Ernesto-Ontiveros-Capurata/publication/341030432_COMEII-19041_ANALISIS_HISTORICO_DE_LAS_PRECIPITACIONES_EN_LA_REGION_ANDINA_DE_BOLIVIA/links/5ea9e16f299bf18b9587bf9b/COMEII-19041-ANALISIS-HISTORICO-DE-LAS-PRECIPITACIONES-EN-LA-REGION-ANDINA-DE-BOLIVIA.pdf

Pérez, C., Liera, C., Esquivel, N. N., Forero, T., & Santos, T. (2024). Un enfoque integral para agua, saneamiento y cuencas hidrográficas en Guatemala. https://doi.org/10.51414/sei2024.017

Perreault, T. (2020). Climate Change and Climate Politics: Parsing the Causes and Effects of the Drying of Lake Poopó, Bolivia. Journal of Latin American Geography, 19(3), 26-46. https://doi.org/10.1353/lag.2020.0070

Pilares-Hualpa, I. A., Alfaro-Alejo, R., Pilares-Hualpa, R., & Pilares-Calla, C. (2019). Application of an Optimization Model for the Water Management Under Climate Scenarios of the Lagunillas Integral System of the Peruvian Altiplano. 5847-5856. 38th IAHR World Congress. https://doi.org/10.3850/38WC092019-0504

Practical Action. (2024). Diagnóstico de impactos diferenciados del cambio climático entre hombres y mujeres orientado a los sectores productivos y género. Caso de estudio en Municipios de Arani, Santiago de Callapa y Yapacaní. Climate Promise- PNUD.

PROSUCO, P. de la S. y C. C. (2023). Vulnerabilidad de agricultores y riesgo climático en la región andina de Bolivia (Proyecto regional Andes Resilientes al Cambio Climático,). consorcio HELVETAS Swiss Intercooperation- Fundación Avina.

Puma-Cahua, J., Belizario, G., Laqui, W., Alfaro, R., Huaquisto, E., & Calizaya, E. (2024). Evaluating the Yields of the Rainfed Potato Crop under Climate Change Scenarios Using the AquaCrop Model in the Peruvian Altiplano. Sustainability, 16(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/su16010071

Quintana, F. (2017). Dinámica, escalas y dimensiones del cambio climático. TLA-MELAUA, 10(41), Article 41. https://doi.org/10.32399/rtla.10.41.213

Roca Villanueva, B., Beltrán Salvador, M., & Gómez Huelgas, R. (2019). Cambio climático y salud. Revista Clínica Española, 219(5), 260-265. https://doi.org/10.1016/j.rce.2019.01.004

Ruiz, M. C., Osorio, F., Del Granado, S., & Rodríguez, K. (2019). Modelo integral de adaptación al cambio climático del ayllu corpa. En Ciencias en Diálogo: Soluciones en la Práctica—El Trabajo de la Universidad Mayor de San Andrés para Integrar Saberes (pp. 15-30).

Sánchez, A., Arévalo, C., Mungía, R., & López, J. (2024). Evaluar 11 genotipos de fríjol (Phaseolus vulgaris L.) biofortificados adaptados al cambio climático, Santa Teresa, Carazo, primera 2023. Revista Torreón Universitario, 33-47. https://doi.org/10.5377/rtu.v1i1.19041

Sánchez-Monje, M., & Olave, J. (2019). Revisión: ¿Puede el cambio climático afectar la producción de quinoa (Chenoponium quinoa willd.) en el Altiplano chileno? Idesia (Arica), 37(1), 19-23. https://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000202

Santoyo, A. H., Vera, J. V. A., & Ortiz-Paniagua, C. F. (2024). Efectos del cambio climático en la agricultura regional. Caso de la cuenca de Cuitzeo, Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 15(6), Article 6. https://doi.org/10.29312/remexca.v15i6.3246

Sarricolea Espinoza, P., & Romero Aravena, H. (2015). Variabilidad y cambios climáticos observados y esperados en el Altiplano del norte de Chile. Revista de geografía Norte Grande, 62, 169-183. https://doi.org/10.4067/S0718-34022015000300010

Sarricolea, P., Meseguer Ruiz, O., & Romero-Aravena, H. (2017). Tendencias de la precipitación en el Norte Grande de Chile y su relación con las proyecciones de cambio climático. Diálogo andino, 54, 41-50. https://doi.org/10.4067/S0719-26812017000300041

Satgé, F., Espinoza, R., Zolá, R., Roig, H., Timouk, F., Molina, J., Garnier, J., Calmant, S., Seyler, F., & Bonnet, M.-P. (2017). Role of Climate Variability and Human Activity on Poopó Lake Droughts between 1990 and 2015 Assessed Using Remote Sensing Data. Remote Sensing, 9(3), 218. https://doi.org/10.3390/rs9030218

Satgé, F., Hussain, Y., Xavier, A., Zolá, R. P., Salles, L., Timouk, F., Seyler, F., Garnier, J., Frappart, F., & Bonnet, M.-P. (2019). Unraveling the impacts of droughts and agricultural intensification on the Altiplano water resources. Agricultural and Forest Meteorology, 279, 107710. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107710

Saugier, B., & Pontailler, J. Y. (2006). El ciclo global del carbono y sus consecuencias en la fotosíntesis en el Altiplano boliviano. Ecología en Bolivia, 41(3), 71-85.

Segura, E., López, O., & Figueroa, A. (2022). Desafíos de la gestión territorial integral, para la implementación de estrategias de adaptación al cambio climático. Cuadernos de Vivienda y Urbanismo, 15, 35-35. https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu15.dgti

Torres-Batlló, J., & Martí-Cardona, B. (2020). Precipitation trends over the southern Andean Altiplano from 1981 to 2018. Journal of Hydrology, 590, 125485. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125485

Torrez Soria, E., & Soliz Flores, H. L. (2015). Optimización de áreas de riego en base a hidrología estocástica y sistemas hidropónicos en la comunidad Centro Rivera, Río Desaguadero, Altiplano central. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 2(1), 25-34. http://revistasbolivianas.umsa.bo/pdf/riiarn/v2n1/v2n1_a05.pdf

Torrico Albino, J. C. (2018). Vulnerabilidad y opciones de adaptación del cultivo papa (Solanum tuberosum L.) al cambio climático para condiciones de altiplano y valles de Bolivia. JOURNAL CIENCIAGRO. https://www.institutoagrario.org/_files/ugd/c6a5bd_e1c127540e6c46adb02fbef331883a8f.pdf

Torrico, J. C., Peralta, C., & Aragón, O. (2020). Contribución de sistemas de producción a la mitigación y adaptación al cambio climático en seis regiones de Bolivia. "Beneficios socio ambientales alcanzados mediante la Propuesta Económica Productiva del CIPCA; análisis de criterios del Fondo Verde para el Clima" (No. 88; Cuaderno de investigación, p. 219). Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. https://cipca.org.bo/docs/publications/es/233_contribucion-de-sistemas-de-produccion-a-la-mitigacion-y-adaptacion-al-cambio-climatico-en-seis-regiones-de-bolivia.pdf

Vallejos, P., Gerardo, Z., & Jorge, J. (2018). Estimación de la tasa sedimentos en la cuenca minera del lago Poopo mediante el modelo potencial de erosión de suelos (EPM) y tendencias ante variaciones climáticas—Uso de herramientas SIG y teledetección. Revista de Medio Ambiente y Mineria, 4, 50-67.

Whitt, C. (2022). From flooded fields to a vanished lake: The politics of broken water cycles in the Bolivian Altiplano. Geoforum, 131, 243-251. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.03.009

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), Article 1. https://doi.org/10.53287/acsp6694sw33w

Zubieta, R., Molina-Carpio, J., Laqui, W., Sulca, J., & Ilbay, M. (2021). Comparative Analysis of Climate Change Impacts on Meteorological, Hydrological, and Agricultural Droughts in the Lake Titicaca Basin. Water, 13(2), Article 2. https://doi.org/10.3390/w13020175