ANÁLISIS DE EFECTO DEL CAMBIO DEL CLIMA EN ZONAS PRODUCTORAS DE TARWI Y SU EFECTO EN SISTEMAS ACOPLADOS

Analysis of the effect of climate change in tarwi producing areas and its effect on coupled systems

Edwin Yucra[1], Cristal Taboada[2], Milenka Iturralde[3], Luis Machicao[4]

RESUMEN

El cambio del clima en el altiplano de Bolivia, es percibido por las familias productoras principalmente por afectar a la producción agrícola, uno de los sistemas afectados y, casi olvidados, es el del Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), que es producido de acuerdo a los conocimientos locales por pobladores de cercanías del Lago Titicaca, que afectados por las nuevas condiciones del clima ha permitido al Proyecto Tarwi de la IIPTyCA, de la Facultad de Agronomía, realizar la investigación técnica del comportamiento y las tendencias del clima de la región, sumada a las percepciones de los productores y, como este viene afectando a los sistemas humanos y naturales del Tarwi. La falta de precipitación en los periodos de siembra y en floración dentro de la ventana climática de producción, viene ocasionando perdidas en los cultivos, a ello se suma las esporádicas heladas en las fases fenológicas vulnerables del Tarwi, que son favorecidos por la presencia de veranillos. De la percepción de los productores de la zona, consideran que el factor climático más preocupante es las sequias no tanto las heladas. Dentro de los Sistemas acoplados, el sistema humano tiene mayor número de vulnerabilidades debido a que son personas mayores son las que quedan en campo; además, la perdida de conocimientos; en manejo de cultivo y pronósticos del clima los hacen mas vulnerables. El sistema natural, ofrece capacidad adaptativa porque el cultivo del Tarwi al ser mutabilis, presenta, aunque en pocas plantas, ecotipos de menor tiempo de desarrollo, y pueden adaptarse a diferentes condiciones de suelo y clima.

Palabras clave: tendencia climática, tarwi, sistemas acoplados, Altiplano Norte.

ABSTRACT

Climate change in the Bolivian altiplano is perceived by farming families as affecting agricultural production, one of the systems affected and almost forgotten is the Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), which is produced according to local knowledge by people living near the Titicaca Lake, Producers affected by the new climatic conditions have allowed that Tarwi Project executed by IIPTyCA of the Faculty of Agronomy, to carry out a technical research on the behavior and trends of the region's climatein addition, producers' perceptions were taken into accountand the climate effects on the human and natural systems of the Tarwi. The lack of precipitation during the sowing and flowering periods within the climatic window of production has been causing crop losses, additionally to the sporadic frosts in the vulnerable phenological phases of Tarwi, which are favored by the presence of summers. From the perception of producers' perception, they consider that the most worrying climatic factor is drought, not so much frost. Within the coupled systems, the human system has a greater number of vulnerabilities due most of the population that remain in field is older people, and loss of knowledge in crop management and climate forecasts make them more vulnerable. The natural system offers adaptive capacity because the Tarwi crop, being mutabilis, presents, although few plants, ecotypes of shorter development time, and can adapt to different soil and climate conditions.

Keywords: climate trend, tarwi, coupled systems, Northern Altiplano.

Artículo original

DOI: https://doi.org/10.53287/acsp6694sw33w

Recibido: 23/05/2023 Aceptado: 21/06/2023

[1] Docente, Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9001-0031. edwin.yucra@gmail.com

[2] Docente, Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. gctaboada@umsa.bo

[3] Docente, Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7560-7403. iturraldemilenka@gmail.com

[4] Docente, Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7987-2797. lfmachicao@umsa.bo

INTRODUCCIÓN

La región alto Andina de Bolivia se encuentra en la zona tropical montañosa de América del Sur y debido a la altitud a la que se encuentra, es un punto crítico del potencial impacto del cambio climático. En las últimas décadas, tendencias meteorológicas han producido también impactos significativos en los ecosistemas y los medios de vida e inducido a los agricultores a diversas decisiones de cultivo, en su camino primero hacia la seguridad alimentaria, pero también para mejorar sus formas de vida (Taboada et al., 2017; Valdivia et al., 2010). El proyecto revalorización del Tarwi, que viene siendo ejecutado por la IIPTyCA de la CIPyCA de la UMSA, junto a sus aliados, trabajó en cuatro municipios; Puerto Mayor Carabuco y Escoma que son parte de la provincia Camacho, el municipio de Copacabana que está en la provincia Manco Kápac, estas 3 son productoras de Tarwi, a pesar de tener un porcentaje bajo dentro de las áreas productivas (0,4% en Copacabana, 0,7% en Puerto Mayor Carabuco y 0,5% en Escoma) del total de superficie cultivada; y, por último el municipio de Viacha de la provincia Ingavi, esta última por sus características climáticas no produce Tarwi.

En el Altiplano Boliviano, en especial el Altiplano norte, que es influenciado por las aguas del Lago Titicaca que funciona como un termorregulador del clima, reduciendo la amplitud térmica; a pesar de ello, debido a la altitud en el que se encuentra (3.800 a 4.100 m s.n.m. donde se producen cultivos), se ha caracterizado por una ventana de producción climática anual para el manejo de cultivos entre los meses de agosto a abril, periodo en el que de acuerdo a las características de los cultivos originarios e introducidos aprovechan las pocas lluvias que se presentan, para producir. Entre estos cultivos se encuentra el Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet).

El Tarwi es una leguminosa andina domesticada desde tiempos pre incaicos en la región del Lago Titicaca y solo es producido como ecotipo del sector. La producción es destinada en un 98% a la comercialización y solo el 58% de las familias lo consumen, principalmente como mote (Chipana et al., 2014).

Los sistemas agro-productivos del altiplano, entre ellos el Tarwi, están bastante propensos a la erraticidad del clima, al tener producción de cultivos una vez al año gracias al corto periodo de lluvias característico del Altiplano Boliviano; en la última década, los cambios en la frecuencia e intensidad de sequías e inundaciones llegaron a afectar la estabilidad y el acceso de alimentos esenciales. En los trópicos semiáridos como el altiplano y los valles altos, el déficit de lluvia puede reducir drásticamente el rendimiento de los cultivos y de forrajes, además de propiciar el ataque de plagas y enfermedades. La reducción de los rendimientos en siembras de invierno por falta de agua y las pérdidas asociadas al incremento de la temperatura serán mayores debido al aumento en la demanda de agua de los cultivos. Por otra parte, los conocimientos locales en el pronóstico del clima han sido desarrollados para poder implementar estrategias y practicas que permitan reducir estos daños.

Es por ello la necesidad de realizar un análisis del cambio y tendencias del clima y su efecto en los sistemas humanos y naturales, para entender mejor las alternativas de respuesta en torno a la producción de Tarwi, ¿Los conocimientos locales de la producción de tarwi y la integración de herramientas tecnológicas, pueden potenciar la resiliencia de productores locales ante los nuevos contextos del Cambio Climático?

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

En la Tabla 1 se presenta el detalle de la cobertura geográfica y población beneficiaria. El área de estudio abarca cuatro municipios del departamento de La Paz, localizados en el Altiplano Norte y Central; los municipios de Puerto Mayor Carabuco y Escoma que son parte de la provincia Camacho, el municipio de Copacabana que se encuentra en la provincia Manco Kápac, y por último el municipio de Viacha perteneciente a la provincia Ingavi esta última es parte del cordón lechero y no produce Tarwi.

Tabla 4. Áreas de estudio y familias productoras.

N°	Municipio	N°	Comunidad	Familias	Latitud	Longitud	Altitud
1	Viacha	1	Irpuma	120	-16,658341	-68,282024	3.850
2	Puerto Mayor Carabuco	2	Cojatapampa	45			
		3	Quilima	45			
		4	Quiascapa	60	-15,758448	-69,06498	3.826
		5	Huajasía	30			
3	Copacabana	6	Sahuiña	120	-16,169486	-69,088513	3.815
4	Escoma	7	Challapata Grande	36			
		8	Challapata Belén	42			
		9	Sañuta	60	-15,666389	-69,167222	3.835
		10	Sacuco	45			
	N° total municipios: 4	N° total de comunidades: 10					

Metodología

Para el análisis de las características climáticas se realizo la descarga de información de datos de precipitación, mensual de la página del SENAMHI Bolivia, con un promedio de 30 a 40 años, para las principales estaciones dentro de los municipios de estudio, los controles de calidad tratamientos de complemento de datos en algunas épocas fue a través del Software R-Instat (Fundi et al., 2022).

Para el estudio de los análisis diarios, y tendencias a futuro, se utilizó primeramente el conjunto de datos del proyecto UMSA – MARCLoc ANDES, que incluye información proveniente de estaciones meteorológicas de tres comunidades cercanas en la cuenca Huanquisco, aunque con longitud de registro diario variable, desde 4 hasta 8 años. Con estos datos, de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, se procedió a definir los valores diarios de 40 años de temperatura a partir de datos de reanálisis desde el sitio de ERA5 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF, con resolución de 31 km) (ERA5, 2022); en el caso de 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 de 5 km aprox) (California, 2022).

Para el análisis de cambio en comportamiento de lluvia diaria, se utilizó los datos de Patacamaya, se consideró que los eventos de lluvia ocurren en grupos de aproximadamente 10 días, por lo tanto, las sumas móviles de 10 días se calcularon para cada año a lo largo de toda la serie de tiempo, creando y comparando dos períodos de lluvia de 1980-1997 y 1998-2014, para identificar cambios en el comportamiento de las lluvias.

Para la evaluación de las percepciones y contraste con los datos climáticos, se realizaron talleres sobre la vulnerabilidad bajo el contexto de cambio climático, conceptualizando la definición de vulnerabilidad como “el grado en que un sistema es susceptible a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los fenómenos extremos”.

Primeramente, se identificó la exposición[1] a amenazas a través del método tiro al blanco, y la evaluación de tendencias en una estación meteorológica con información diaria referente, para establecer solidez de información y tendencias a futuro. En la percepción sobre los eventos extremos y como es que perciben el daño a la producción en sus sistemas productivos (marcas en el centro entre 1 y dos) o relativamente dañino (marcas en el circulo 3) o estos eventos no afectan a sus sistemas productivos (marcas en el circulo 4 o 5), donde cada productor realiza la valoración según el grado de riesgo que le presenta para su sistema productivo.

[1] Que está en función del grado, duración e intensidad de las amenazas climáticas. Se determina a través del análisis climático promedio y las tendencias encontradas.

Luego, en un segundo momento se identificaron las Características de sus Sensibilidades[1], evaluando las condiciones en las que se encuentran sus ecosistemas como: fisiografía, cultivos y mano de obra familiar, ante la amenaza climática.

Por último, se determinó la capacidad Adaptativa[2] donde se identifican los conocimientos locales para la toma de decisiones como los Indicadores Naturales, cultivos a sembrar, épocas de siembra, etc. Con la valoración de percepción y a través del método de Sistemas complejos, se pudo esquematizar los sistemas humanos y naturales para la elaboración de estrategias que ayuden a fortalecer la resiliencia de las familias productoras de Tarwi en las comunidades tradicionales de producción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Altiplano Boliviano la combinación de gran altitud, transparencia del aire y topografía conducen a bajas temperaturas del aire y la fuerte dependencia de grandes sistemas de circulación atmosférica global a veces erráticos (Pacific High, PDO, ITCZ, etc.); (Garreaud y Patricio, 2007) lo que ha permitido en la región del Lago Titicaca, que la producción agrícola sea un gran desafío. El período de desarrollo del cultivo, mayormente a secano (octubre-abril), se ha constituido como la única ventana temporal justo cuando la lluvia, que va desde 750 mm en el norte, (Garcia et al., 2007) coincide con el período libre de heladas. El resto del año (mayo a septiembre) carece de lluvias, con un elevado riesgo de heladas.

Comportamiento de lluvias

En los municipios de Carabuco, Escoma y Viacha se percibe similar estacionalidad de la ventana de producción y con promedios de precipitación mensuales similares como se muestra en la Figura 1, pues se encuentran afectadas por el mismo sistema de circulación atmosférica. Sin embargo, la magnitud de la precipitación es mayor en el municipio de Copacabana, en los meses de precipitación y es mayor entre enero y marzo.

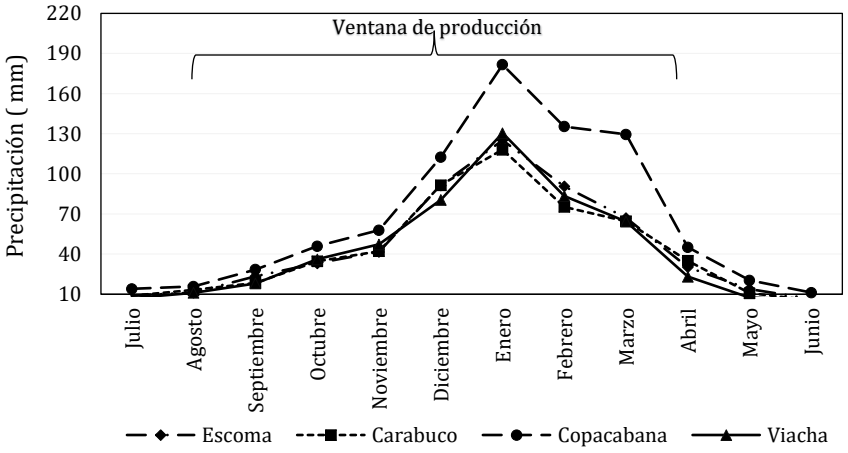

Figura 1 Precipitación en las comunidades de estudio. Fuente: SENAMHI (2022).

En esta ventana del clima, las precipitaciones total anuales llegan a los 500 mm, a diferencia la estación de Copacabana que llega a los 800 mm, debido al efecto de las corrientes de aire y nubes que a 700 hPa., pasan por el sector de la cordillera oriental hacia el lago, concentrándose en la península de Copacabana.

Percepción de lluvias de los productores

De los talleres en los que se realizó los calendarios del clima y de la producción como un ejemplo la Figura 2 las familias coincidieron que las lluvias esporádicas son en septiembre, pero el inicio de lluvias es desde noviembre

[1] Que se refiere a las condiciones que hacen susceptibles al sistema ante las amenazas climáticas.
[2] Que se define como la habilidad de un sistema para enfrentar, prepararse, ajustarse a disturbios y tomar ventaja de las oportunidades,

hasta abril, las lluvias más torrenciales se presentan en enero y febrero, finalizando las mismas en marzo en la mayoría de los años.

Los diferentes cultivos son producidos en este periodo de lluvias, principalmente la papa, como seguridad alimentaria de su sistema productivo, casi al final se tiene al Tarwi, destinado para la comercialización, todos adaptados y manejados de acuerdo a las condiciones climáticas acostumbradas.

Este era el percibir de los productores antiguamente, pero desde hace muchos años, sienten que los cambios del clima se han hecho más notorios (Jimenez, 2013), principalmente al relacionarse con los cultivos, cuando se tiene que sembrar y al momento de emergencia de las plantas. Las lluvias esporádicas de septiembre u octubre son ausentes, alargándose el periodo de sequía, a lo cual los productores tienen tres alternativas; esperar la presencia de lluvias, sembrar a pesar de que el suelo este seco o ya no sembrar, porque están consientes que el periodo de desarrollo del cultivo no alcanzara a culminar antes de las heladas de abril. De superar este periodo los cultivos se enfrentan a otra sequía en los meses de enero y febrero, cuando las plantas se encuentran en floración, principalmente las leguminosas que requieren mayor cantidad de agua para la formación del fruto, indicando que no llueve como antes (lluvia distribuida en todos los días del mes).

Figura 2. Calendario de producción de Cultivos en Sahuiña (Copacabana).

Con los datos diarios, rellenados a partir de los sensores remotos para la estación de Patacamaya que presenta mejor consistencia de datos y en colaboración con los especialistas de MARCLoc-ANDES de la Universidad de Missouri, se pudo establecer que los cambios percibidos se vinieron dando desde 1997 (año niño fuerte). Siguiendo las percepciones de los agricultores, este análisis se centra en los posibles cambios del pico de lluvia mencionado (septiembre a octubre), comparando dos períodos de lluvia de 1980-1997 y 1998-2014, períodos que también podrían relacionarse con el comportamiento de la fase DOP (Oscilación Decadal del Pacífico) aunque se necesita más investigación.

Los valores resultantes de media de sumas móviles de 10 días, para dos subconjuntos de la serie temporal: de 1980 a 1997 y de 1998 a 2014, como se muestra en la Figura 3. Durante los primeros 50 días del año (enero y febrero), para 1998-2014 (rojo) son mayores que para 1980-1997 (negro), lo que sugiere eventos de lluvia más intensos y frecuentes en enero y febrero de los últimos años (Garcia et al., 2023).

Por otro lado, el pequeño pico de lluvia esperado para septiembre u octubre parece reducirse en las últimas décadas, lo cual contrasta a la percepción de los agricultores en las comunidades estudiadas. Estos resultados representan un comienzo problemático de la temporada de siembra e inicios de desarrollo, ya que los picos iniciales solían guiar la siembra, pero el reciente desplazamiento de lluvias hacia diciembre, en la práctica de los

productores, retrasa las actividades de siembra. En consecuencia, a menos que se produzcan cultivos con períodos de desarrollo más cortos, el período de crecimiento podría extenderse más allá de la temporada libre de heladas (ventana de producción), exponiendo los cultivos a heladas tempranas en abril y mayo.

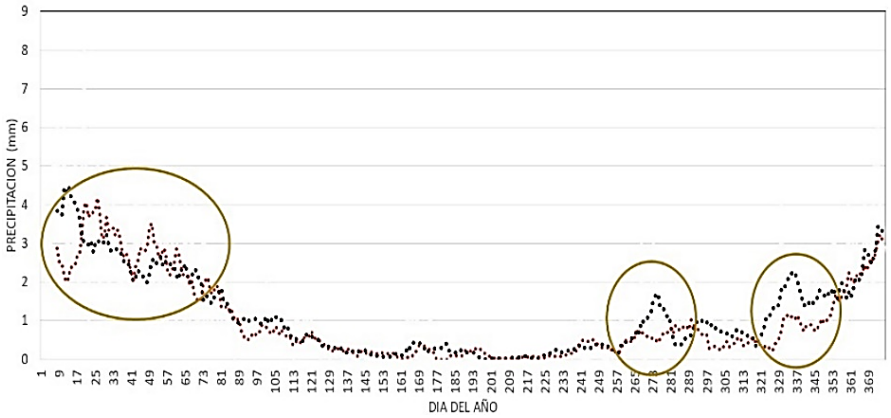

Figura 3. Cambios en el comportamiento de precipitación diaria.
Fuente: UNESCO (2023), media de sumas móviles de 10 días para los subconjuntos.

Las temperaturas desde la percepción

De acuerdo a la Figura 4, en la percepción sobre los eventos extremos y como es que perciben el daño a la producción en sus sistemas productivos, los productores cercanos al Lago, han mostrado que la sequía es el factor mas importante que daña a su sistema productivo (a), en cambio las bajas temperaturas que ocasionan las heladas lo consideran como no tan preocupantes (b) y por último no se presenta mucho o es bajo el daño que les ocasiona perdidas en los cultivos a causa de los granizos, este factor principalmente porque al estar cerca al Lago, la termorregulación del ambiente es más favorable por la humedad ambiental que proporciona las aguas del Lago Titicaca.

Consideran que la sequía está relacionada a las altas temperaturas que sienten, lo cual ocasiona la mayor evapotranspiración de las plantas y de los suelos lo que estresa a los cultivos, en algunos sectores, este efecto llega al punto de marchitez de las plantas ocasionando las pérdidas de la producción.

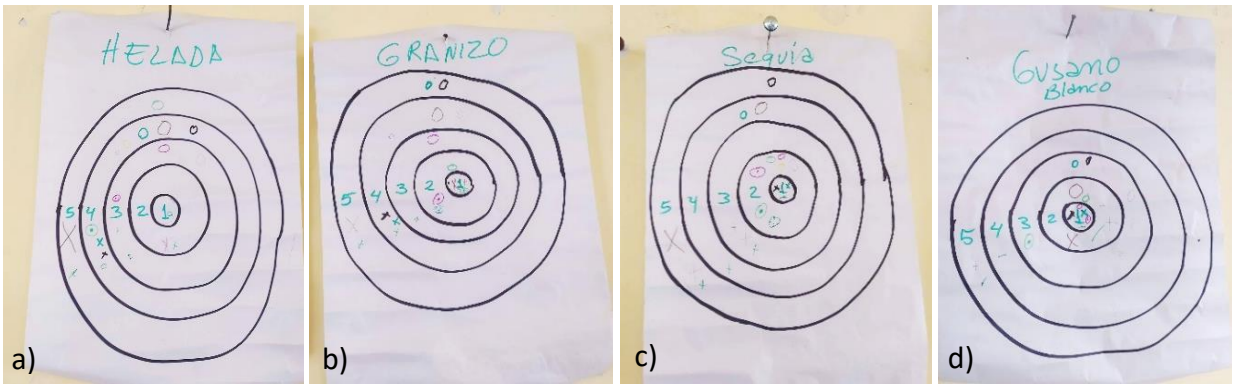

Figura 4. Percepción de los productores a los eventos extremos y plagas en la comunidad de Sacuco, municipio Escoma.

En condiciones promedio, las temperaturas máximas diarias ocurren en las primeras horas de la tarde. La Tmax depende de la latitud, las horas de recepción solar, de la humedad ambiente, del viento, y también de la acumulación energética y el tipo de suelo, pues suelos con mayor cobertura absorben y retienen más energía.

La Tmax influye en la demanda evaporativa de la atmósfera, por lo que su incremento podría significar mayor aridez en las zonas (en el día más caluroso y en la noche mas fría). En cambio, las temperaturas más extremas (máxima y mínima) muestran los eventos que en forma excepcional ocurren en la zona en forma mensual y que además del calentamiento crónico, podrían producir estreses destructivos temporales (en los cultivos) que no se registran en las temperaturas promedio.

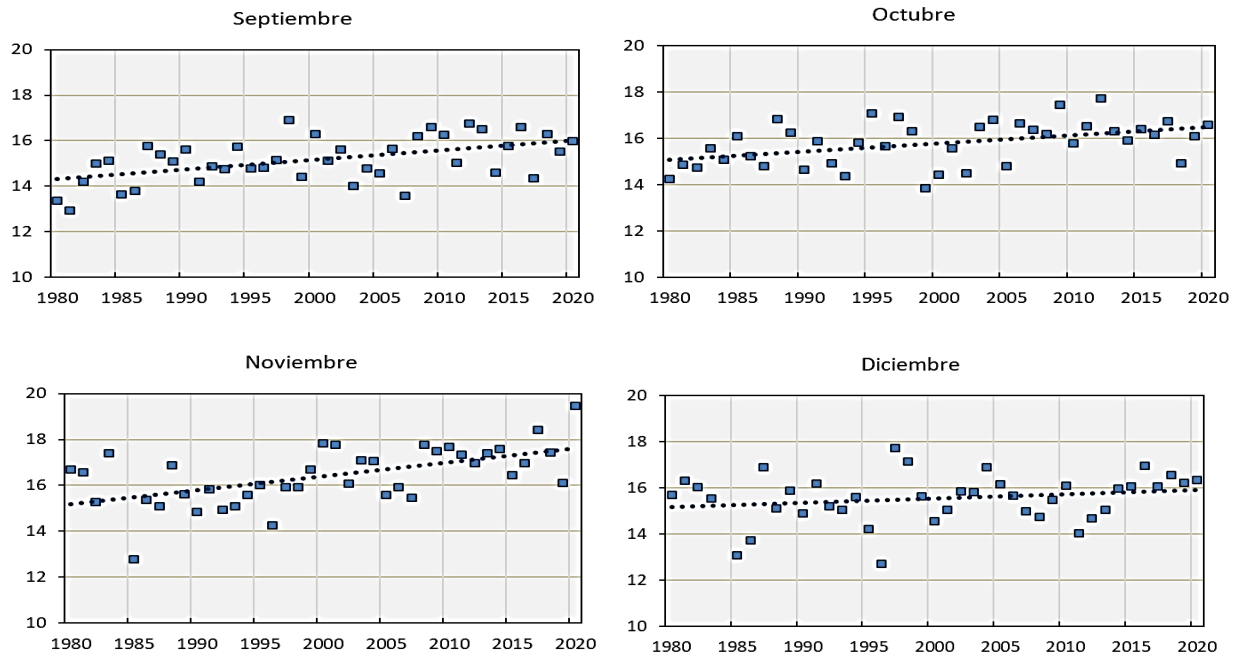

Figura 5. Variación histórica de la temperatura máxima promedio mensual en Ancoraimes (cerca municipio Puerto Mayor Carabuco).

Estos incrementos de temperatura en determinados meses especialmente entre primavera y verano como se observa en la Figura 5, han venido ocasionado estrés en los cultivos, en ocasiones llegando al Punto de marchitez, mermando el desarrollo y en algunas ocasiones daños irreparables, siendo más vulnerables la papa, haba, Tarwi y forrajes.

Al presentarse las temperaturas más altas, que es consecuencia de la radiación del sol y el reducido contenido en la atmosfera de gases y humedad, también al amanecer perciben la presencia de bajas temperaturas a los cuales se refieren como heladas, durante el desarrollo de los cultivos. A pesar del incremento de las temperaturas tanto máximas como mínimas en la región, la falta de lluvias en determinados momentos tiene relación con la falta de nubes, ocasionando el rápido enfriamiento de los suelos durante la noche, lo que favorece la presencia de heladas. Por otro lado, los productores perciben que, con la presencia de lluvias por unos dias y la percepción de aumento en las temperaturas, los ataques de las plagas a los cultivos en sus fases de maduración son mayores, obligando a cosechar sin terminar la maduración, para no perder la producción.

Efectos de los parámetros de clima cambiante sobre el Tarwi

La Figura 6, presenta el resumen del análisis de información climática, si bien se reportan rendimientos 0,9, 1,9 y 2,2 t/ha en Carabuco, Escoma y Copacabana respectivamente en años de buenas condiciones del clima son los siguientes: , en los últimos dos años la ocurrencia de sequías y heladas (así como el clima en las otras regiones), han ocasionado pérdidas e hasta en el 100% de las parcelas, se puede asumir que existen evidencias de los efectos del cambio climático sobre el ciclo productivo del Tarwi, principalmente en sus momentos más vulnerables.

Como se mencionó, dentro de la ventana de producción al momento de la siembra (mediados de septiembre a octubre), la falta de lluvias impide la emergencia de la semilla, hasta el inicio de las lluvias, que en los últimos años se presentaron en diciembre, al emerger gracias a las lluvias, el tarwi en sus primeros estadios de dos a cuatro hojas fueron susceptibles a las heladas de -4°C (Simioniuc et al., 2021), posterior a este periodo durante el mes de enero se hace evidente la falta de lluvias y nubes, a pesar de que las plantas se encuentren en desarrollo y son resistentes a las heladas por estar en fase de hojas y tallos, se ha visto que pueden soportar -6°C de la misma forma lo evidenciaron (Huanca et al., 2018; Simioniuc et al., 2021). Para la fase de floración y formación de vainas, cercano al mes de abril también llegan a ser más vulnerables, la tolerancia llega a -4°C por la cercanía al mes de abril donde se ve el incremento del número de días con heladas, la mayor probabilidad de afectar a los cultivos que aún no culminaron con su desarrollo, en especial a los que se sembraron en época tardía donde el valor de las Tmin tiende a ser más bajas, y es cuando termina la ventana de producción debido al clima.

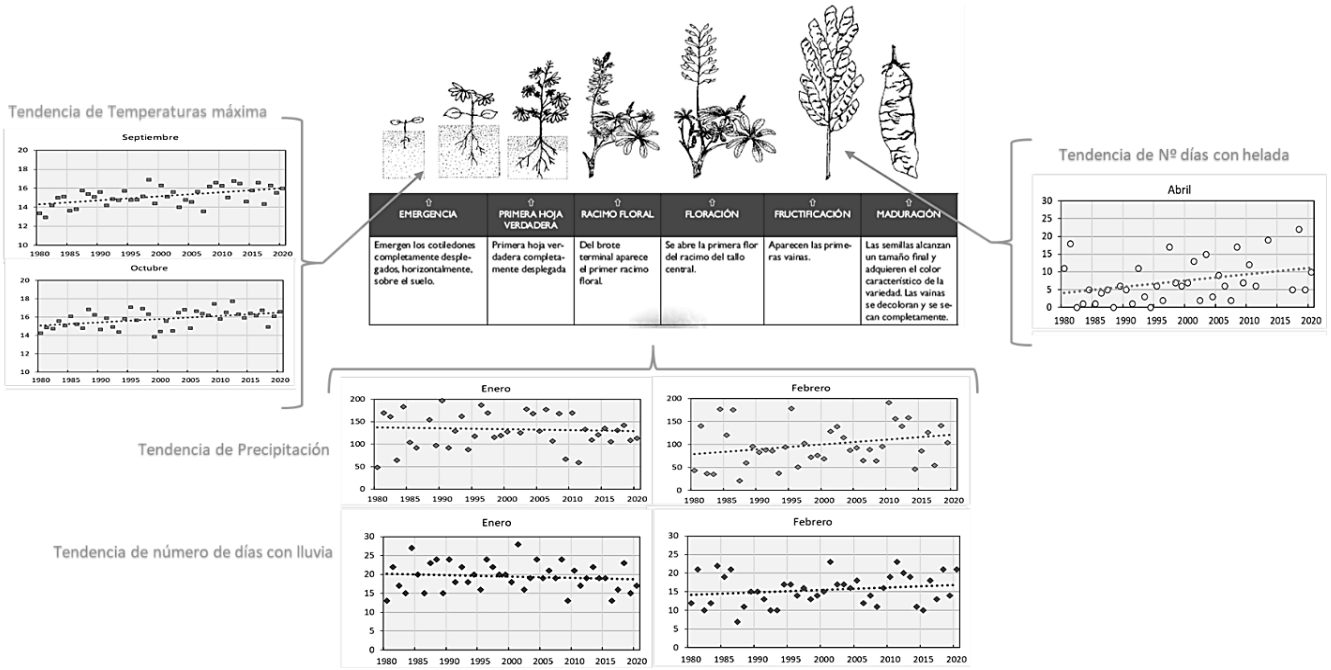

Figura 6. Efectos de los parámetros del clima cambiante sobre el cultivo de Tarwi.

Debido a las tendencias del clima en el desarrollo de las plantas de tarwi, y con similitud o mayor vulnerabilidad en los otros cultivos, se puede establecer que a futuro de continuar las tendencias podrían ocasionar mayor daño en los cultivos tradicionales, reduciendo la producción, falta de alimentos locales, que a posterior acentuaría la migración de las familias rurales. Por otro lado, también viene afectando la falta de semilla para la siguiente campaña, con ello la reducción de la biodiversidad en los cultivos.

Amenazas, vulnerabilidades y capacidades de adaptación al cambio climático

Es sabido que comprender el conocimiento indígena local incluye procesos transformativos e integrativos personales y profesionales, para ello en muchos casos se requiere reducir la influencia de paradigmas profesionales cuantitativos, lineales, controlados y bajo el parámetro input-output. Como investigadores no se puede caer en la tentación de mitificar el conocimiento local bajo el precepto de creencia, por su valor y validez aplicado de Conocimientos Ecológicos tradicionales.

Si bien a raíz del cambio en el clima que es más visible por la reducción de los nevados, falta de lluvias, etc. el IPCC en su último informe menciona que los países más pobres son los más vulnerables a las condiciones que se presentaran (IPCC, 2019). Por otra parte, el IPCC afirma haber hecho un gran esfuerzo por integrar las ciencias naturales, ecológicas, sociales y económicas, y entre sus principios destaca el reconocimiento de la

interdependencia entre el clima, los ecosistemas y la biodiversidad y las sociedades humanas (FAO, 2019). A partir de esto, el informe reconoce “el valor de diversas formas de conocimiento, como el científico, así como el conocimiento indígena y el local”, en la comprensión y evaluación de los procesos y acciones de la adaptación al clima para reducir los riesgos del cambio climático producido por el ser humano.

A pesar del contexto mundial en torno a las condiciones del planeta, en las regiones de estudio, los productores han evidenciado desde hace mucho la ruptura de la tradición del manejo de los cultivos, inundaciones en algunos sectores, sequía, ataque de plagas y otros. Lo que por naturaleza le ha permitido buscar estrategias autónomas y otras que ya estaban seidno olvidadas.

De los Talleres, entrevistas, encuestas y, gracias al análisis conjunto y bibliográfico, se pudo diseñar el Marco de Sistema Natural-Humano Acoplado (CNHS), en el cual se diferencia los dos sistemas: Humano y Natural, que interactúan dentro de las zonas de estudio, como se muestra en la Figura 7 y se sintetiza en la Figura 8.

Figura 7. Talleres de PICSA y de marco de Sistema Acoplado Natural-Humano dentro del Proyecto Tarwi.

Del análisis en Talleres, se identifica que el cambio del clima afectóa los dos Sistemas Natural-Humano Acoplado (CNHS) dentro de la producción de Tarwi. Ambos sistemas muestran resiliencias, y capacidades adaptativas, lastimosamente varios tipos de vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático.

El resultado del estudio de vulnerabilidades muestra tendencias de cambio del clima que afectan al desarrollo y manejo del cultivo del Tarwi, así como de otros cultivos como también repercute en otras regiones, sin embargo, en todos los casos se presentan de forma más recurrente en: el momento de la siembra por la falta de lluvias, el establecimiento del cultivo y la floración, por la sequía o la posible presencia de heladas, y antes de terminar el desarrollo, por la intensidad o número de días de las heladas.

A causa de ello dentro del Sistema Humano se diferencian;

La Resiliencia basada en sus conocimientos sobre el manejo del cultivo de Tarwi de pronosticar el clima basado en sus observaciones de indicadores naturales, el empleo de herramientas locales o integradas a las maquinarias, la Infraestructura social, principalmente, mano de obra familiar identificando las labores de cada uno de sus integrantes para la producción de los cultivos.

Por otra parte, su Capacidad Adaptativa tiene relación con el conocimiento de las características de sus suelos y donde están ubicados, lo que le permite tomar mejores decisiones al momento de planificar el ciclo productivo de manejo de suelo y de producción de cultivos. Otro elemento de su capacidad se encuentra en la comunidad quienes comparten los criterios de manejo con la información del comportamiento del clima y la decisión (en

algunos casos) conjunta de apoyo para mitigar daños como inundaciones, a través de limpieza de canales o trabajo de defensivos o como se vio en las últimas campañas el cambio de manejo de las Aynocas.

En la Vulnerabilidad, se tiene en mayor porcentaje en el área rural, la presencia de productores de la tercera edad, que en su mayoría son de bajos recursos, la mayoría de las familias, por tradición tiene pocos conocimientos de transformación del tarwi (solo consumo en mote) debido a que poco mas de la mitad realiza el desamargado, prefiriéndose al tarwi como producto en grano para el mercado, por otra parte se tiene la falta de transmisión de conocimientos locales en producción y principalmente de observación de Indicadores naturales para el pronóstico del clima local lo que les debilita en la toma adecuada de decisiones. Por último, se encontró en ellos que se tiene conocimientos de los elementos del clima como las precipitaciones, temperaturas mínimas o máximas, vientos, etc. Pero ha sido importante integrar valores de estos parámetros y el efecto en los cultivos, lo que junto a pronósticos de corto plazo que llegan de estaciones meteorológicas cercanas y los sistemas globales a los que acceden a través de celulares, les ha permitido valorar sus pronósticos de Indicadores naturales que son de largo plazo y unirlos con los pronósticos de corto plazo en sus celulares y de esa forma tomar mejores decisiones.

Por parte del sistema natural

En las comunidades del sector del lago asi como de Viacha, desde el punto de vista de la Resiliencia; los suelos presentan diferentes características productivas adecuadas para la producción de los cultivos entre ellos el Tarwi, por otra parte, se han seleccionado ecotipos adaptados y por la característica Mutabilis, se tiene pueden ser adaptables y seleccionadas para las nuevas condiciones climáticas que se están presentando.

Desde al Capacidad Adaptativa, las propiedades del cultivo de Tarwi, como planta y leguminosa llega ser importante para adquirir su propio nitrógeno, en el aporte de nitrógeno en los suelos de la prueba realizada se obtuvo cerca del 40 kg por hectárea, similar a lo reportado por (Mamani y Calisaya, 2018) que encontraron en 50 kg/ha. Además, en la mayor parte del desarrollo del Tarwi las pantas son tolerantes a las sequias, pero en condiciones de humedad su desarrollo es mucho mayor así como su producción.

En relación a la vulnerabilidad, la fase de emergencia y floración, son más vulnerables a las bajas temperaturas y la falta de agua en el suelo, por ello de tener identificado dentro del pronóstico de largo plazo, seria importante el manejo del periodo de siembra y el estar preparado con un sistema de riego con los pronósticos de corto plazo. Al momento las plantas siguen siendo vulnerables al ataque de plagas, principalmente entre las 2 y 4 hojas por el picudo negro (*Apion sp.*) y en la floración por Trips (*Frankliniella sp.*), entre las plagas que mas dañan a los cultivos por la sequía.

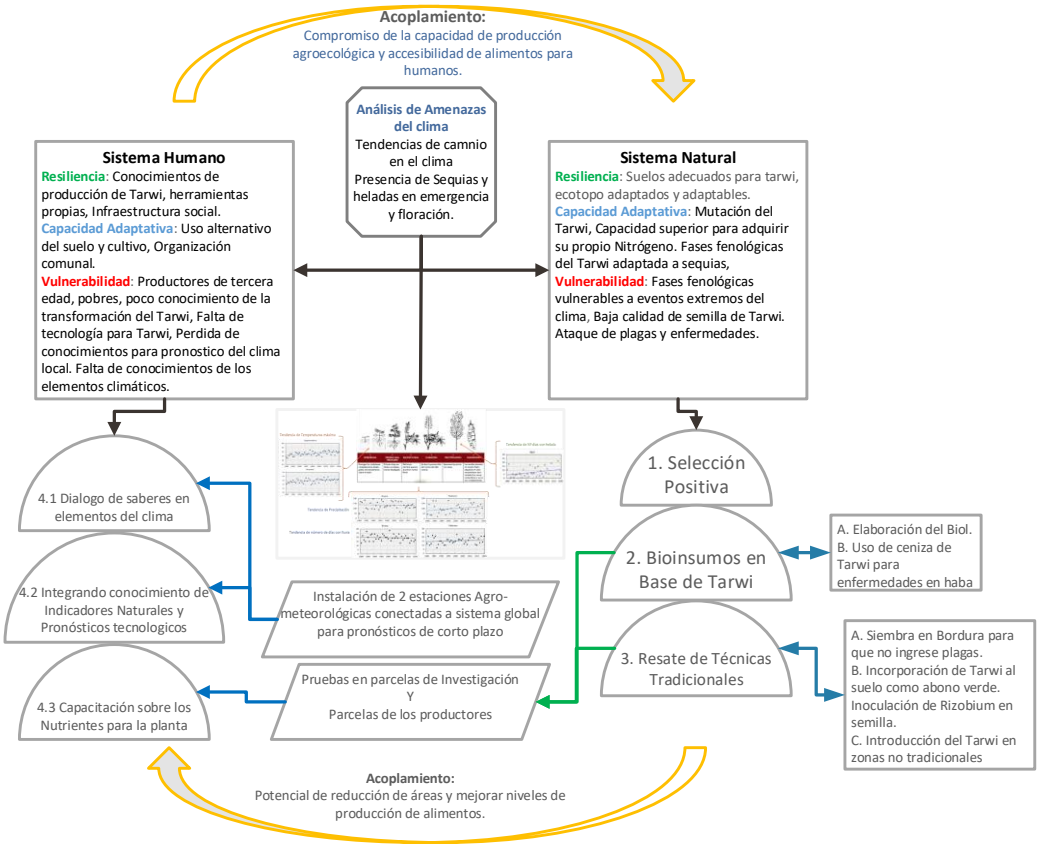

Figura 8. Identificación de elementos de Resiliencias, Capacidad Adaptativa y Vulnerabilidad, en los sistemas Agroalimentario acoplado del Tarwi.

El acoplamiento de los Sistemas Humanos hacia lo natural, ha mostrado que las familias tienen un compromiso de capacidad de producción orientado al manejo sin la utilización de muchos agroquímicos, respetando la rotación de cultivos, manejo de biodiversidad local y aprovechamiento de los suelos, con el fin de proporcionar al mercado alimentos sanos y de calidad.

El acoplamiento de los Sistemas Naturales a los Humanos, permite que el tarwi, sea un cultivo que con las condiciones apropiadas proporcionadas (manejo, riego, manejo integrado de plagas), este puede elevar sus niveles de producción, que al ir al mercado mejora los ingresos, por otra parte, para las mismas familias despues de realizar el desamargado de los granos es una fuente alta de nutrientes y alimentos de calidad.

Aunque, las decisiones de las tierras altas bolivianas se convierten en una prueba clara de la dirección real del cambio en los parámetros climáticos, otros factores como el mercado y el tamaño de la parcela también son importantes fuerzas impulsoras a considerar para comprender la dirección de la agricultura.

CONCLUSIONES

Las regiones del altiplano boliviano, depende principalmente de la temporada de lluvias, y sus perturbaciones a raíz del cambio del clima, lo que aumenta la vulnerabilidad de los agricultores locales y pone en riesgo la seguridad alimentaria, a esto se suma la presencia de heladas esporádicas, a pesar que reportes globales indican el aumento de las temperaturas tanto máximas como mínimas, los espacios de veranillos acrecientan la posibilidad de heladas.

Los resultados presentados confirman las percepciones generales de los agricultores sobre un retraso constante de la temporada de lluvias durante el periodo de siembra de los cultivos, principalmente de Tarwi, aunque las

plantas pueden estar conservadas en el suelo (semilla seca) hasta las primeras lluvias, el ciclo de desarrollo no culminaría hasta antes de la presencia de heladas de abril.

Esto también confirma la necesidad de acciones más específicas, como un sistema adecuado de servicios climáticos, previo entrenamiento sobre parámetros climáticos de valores y efectos en los cultivos.

Los sistemas acoplados muestran, la necesidad de aprovechamiento de los recursos desde los sistemas naturales y el rescate de los conocimientos y capacidades locales e indígenas, que juntos logran responder a los nuevos escenarios del clima que se está repitiendo.

Es un hecho que los agricultores reaccionaron más rápidamente que los servicios y políticas de extensión, mostrando capacidad de adaptación después del fuerte El Niño de 1983 y 1997, aprovechando las condiciones más cálidas, considerando los riesgos de heladas restantes en la cosecha e integrando la dinámica del mercado en la ecuación de decisión del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

California, U. (2022). CHIRPS. https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps#:~:text=CHIRPS Overview,quasi-global rainfall data set.

Chipana, G., Trigo, R., Bosque, H., Jacobsen, S., Mercado, G., Rodriguez, J., Callisaya, I., & Mamani, J. C. (2014). El Tarwi (Lupinus mutabilis) y su Importancia Social y Económica en las Familias del Altiplano Norte de Bolivia. Revista de Investigacion e Innovacion Agropecuaria y Recursos Naturales, 1(1), 49–57. http://riiarn.agro.umsa.bo/index.php/RIIARn/article/view/33/19

ERA5. (2022). Copernicus. https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview

FAO. (2019). Vinculando los resultados del Informe Especial del IPCC 1,5oC con la resiliencia climática rural en América Latina (T. Azevedo & J. Berdegué (eds.); Castillo,). https://www.fao.org/3/ca5586es/CA5586ES.pdf

Fundi, M., Lunalo, J., Sananka, A., Kibet, S., & Ndung'u, S. (2022). R-Instat. https://r-instat.org/index.html

Garcia Cardenas, M., Mishra, A., & Koen, V. (2023). Integration of local and indigenous knowledge into climate-resilient rural water management Lessons learned from the Bolivian Altiplano (R. Marteleira (ed.)). UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384719

Garcia, M., Raes, D., Jacobsen, S. E., & Michel, T. (2007). Agroclimatic constraints for rainfed agriculture in the Bolivian Altiplano. Journal of Arid Environments, 71(1), 109–121. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.02.005

Garreaud, R. D., & Patricio Aceituno. (2007). Atmospheric Circulation and Climatic Variability. In The Physical Geography of South America (Osfort Uni, pp. 45–59).

Huanca Ticona, M. E., Chipana Rivera, R., Figueredo Fernandez, F., & Chipana Mendoza, G. J. (2018). Comportamiento de dos ecotipos de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) bajo riego deficitario controlado y temperaturas bajas extremas en la Estación Experimental Choquenaira. Revista de Investigacion e Innovacion Agropecuaria y Recursos Naturales, 5(2518–6868), 16–28. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182018000200004&script=sci_arttext

IPCC. (2019). Climate Change and Land: an IPCC special report. In Climate Change and Land: an IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. https://www.ipcc.ch/srccl/

Jimenez, E. (2013). Cambio climático y adaptación en el Altiplano boliviano. In cides-umsa (Ed.), Cambio climático y adaptación, (Helen Álva). Plural editores. http://www.cides.edu.bo/webcides/images/pdf/Cambio_climatico_en_el_altiplano_boliviano.pdf#page=18

Mamani, P., & Calisaya, Juan J. (2018). El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y otras leguminosas como alternativas para recuperar los suelos y mejorar el sistema de rotacion de los cultivos de regiones andinas semiaridas de Cochabamba. Revista de Agricultura, N° 57 - Julio de 2018, 93–104.

Simioniuc, D. P., Simioniuc, V., Topa, D., Van Den Berg, M., Prins, U., Bebeli, P. J., & Gabur, I. (2021). Assessment of andean lupin (*Lupinus mutabilis*) genotypes for improved frost tolerance. Agriculture (Switzerland), 11(2), 1–10. https://doi.org/10.3390/agriculture11020155

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/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

.