

Artículo de Investigación

Índice de riesgo por escasez hídrica en sistemas pecuarios del municipio El Choro, Bolivia

Risk index for water scarcity in livestock systems of El Choro municipality, Bolivia

Autores:

Willy Casto Choque Marca¹, Juan Carlos Torrico Alvino²

¹Universidad Técnica de Oruro, Oruro, Bolivia, willy.choque@adm.uto.edu.bo,
<https://orcid.org/0000-0001-8215-1520>

²Instituto Agrario Bolivia, La Paz, Bolivia, torrico@web.de,
<https://orcid.org/0000-0001-5971-521X>

Autor de Correspondencia: Willy Casto Choque Marca, willy.choque@adm.uto.edu.bo

Reception: 07-February-2025 **Acceptance:** 10-March-2025 **Published:** 16-April-2025

Como citar este artículo:

Choque Marca, W. C., & Torrico Alvino, J. C. (2025). Índice de riesgo por escasez hídrica en sistemas pecuarios del municipio El Choro, Bolivia. *Sapiens International Multidisciplinary Journal*, 2(2), 1-20. <https://doi.org/10.71068/634pcj85>

Resumen

En el Municipio El Choro, situado en la parte baja del sistema hídrico transfronterizo TDPS, se ha observado una disminución notable del caudal del río Desaguadero, especialmente durante el período de estiaje crítico entre septiembre a mediados de diciembre, afectando la disponibilidad de agua para la producción pecuaria. Este estudio tiene como objetivo identificar los factores determinantes del riesgo de escasez hídrica en la producción pecuaria del Municipio que permitirán desarrollar medidas de adaptación efectivas. La metodología empleada se basó en el modelo de riesgo climático del IPCC y el método de cadena de impactos con indicadores compuestos. Se recopiló información para 20 indicadores agrupados en los componentes Peligro, Exposición y Vulnerabilidad, utilizando diversas técnicas como talleres, entrevistas estructuradas, revisión documental y encuestas a una muestra de productores seleccionada mediante la técnica de conglomerados. La normalización, ponderación y agregación de los datos se realizó mediante agregación aritmética. Los resultados indican que los sistemas productivos de la central de riego de Challacollo presenta un alto riesgo de escasez hídrica, mientras que El Choro y Unificada muestran un riesgo medio. Los factores críticos identificados incluyen la disponibilidad de agua y de forrajes. Este análisis subraya la necesidad de mejorar la gestión de recursos hídricos y forrajeros en el Municipio para mitigar los riesgos asociados al cambio climático.

Palabras clave: Río Desaguadero, sequía, capacidad adaptativa, cambio climático

Abstract

El Choro Municipality, located in the lower basin of the transboundary TDPS water system, has experienced a significant decline in the flow of the Desaguadero River, particularly during the critical dry season from September to mid-December. This reduction has impacted water availability for livestock production. This study aims to identify the key factors determining the risk of water scarcity in livestock production in the municipality, which will support the development of effective adaptation measures. The methodology was based on the IPCC climate risk model and the impact chain method using composite indicators. Data were collected for 20 indicators categorized into Hazard, Exposure, and Vulnerability components, employing various techniques such as workshops, structured interviews, document review, and surveys conducted with a sample of producers selected through a cluster sampling technique. Data normalization, weighting, and aggregation were performed using arithmetic aggregation. The results indicate that the production systems in the Challacollo irrigation central face a high risk of water scarcity, while those in El Choro and Unificada present a medium risk. The critical factors identified include water and forage availability. This analysis highlights the urgent need to improve water and forage resource management in the municipality to mitigate risks associated with climate change.

Keywords: Desaguadero river; drought; adaptive capacity; climate change

1. INTRODUCCIÓN

De manera natural, la producción agropecuaria en el Altiplano boliviano está limitada por la altitud en que se encuentra, en promedio entre 3.650 a 3.800 m.s.n.m., eventos climáticos adversos tales como sequías, heladas, granizadas, la baja fertilidad de suelos y escasas de agua (Liuhto et al., 2016; Bonifacio, 2019).

Estudios previos sobre el cambio climático en el Altiplano boliviano, identificaron incrementos de potenciales riesgos para la agricultura como la reducción del período de lluvias, eventos de sequías y heladas (García et al., 2021; Liuhto et al., 2016). Investigaciones sobre escenarios climáticos también indican variaciones en el régimen y cantidad de precipitaciones (Torrico Albino, 2018; Medina, 2021; Quezada Lambertin, 2021), exacerbando los riesgos sobre la agricultura y ganadería altiplánica.

El municipio El Choro es parte del sistema hídrico Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salar de Coipasa (TDPS) en la Cuenca Cerrada del Altiplano boliviano; precisamente el río Desaguadero es la principal fuente de agua para sus sistemas de vida. Desde mediados de la década de 1980, la ganadería en el municipio El Choro ha evolucionado hacia un sistema altamente dependiente del agua proporcionada por este Río – sector Pumanchalla, caracterizado por extensos cultivos de alfalfa (*Medicago sativa*) y la cría de razas mejoradas de ovinos tales como Corriedale, Hampshire Down, Suffolk y Asblack, y vacunos Holstein y Pardo Suizo (Vásquez, 2006).

Sin embargo, desde la década de 1990 el caudal del río Desaguadero ha disminuido principalmente debido a la reducción de aportes del Lago Titicaca (Molina et al., 2014), empero desde aproximadamente el 2015, se ha registrado una disminución significativa y hasta ausencia en el caudal en la parte baja del Desaguadero, especialmente entre septiembre y mediados de diciembre, poniendo en riesgo la disponibilidad de agua necesaria para estas actividades.

La productividad de la ganadería mejorada en el Altiplano depende entre otros factores, principalmente de la calidad de forrajes con la que son alimentados, siendo los cultivos de alfalfa insumo esencial para estos sistemas productivos (Torrez et al., 2018; Lemus Ramírez et al., 2020; Condori Cusi et al., 2023); sin embargo, los rendimientos de biomasa forrajera de la alfalfa es potencialmente susceptibles a afectación por la escasez de agua de riego o sequías en períodos productivos (Liu et al., 2018; Luna-Guerrero et al., 2023), situación que se presenta en el municipio El Choro.

El análisis del riesgo climático a nivel local, recomendado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ, 2018) y otros estudios (Argüelles et al., 2019), es crucial para identificar los factores relevantes y las medidas de adaptación adecuadas para la gestión integral de estos riesgos. El quinto informe del IPCC (2014a) define el riesgo climático como la interacción entre los peligros climáticos, la exposición y la vulnerabilidad de los sistemas afectados, destacando la importancia de metodologías específicas como la desarrollada por GIZ, (2017), que ha sido aplicada en varios países y adoptada por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia para análisis en cuencas (Gutiérrez & Saavedra, 2021). Además, se utilizan metodologías que incluyen el procesamiento de información climática y el uso de sensores remotos (Chapi Siñani, 2023; IHCantabria & PROMETA, 2021). A pesar de los riesgos mencionados, son escasos los estudios sobre el riesgo climático y las medidas de adaptación específicas para la parte baja del Río Desaguadero, una carencia que este estudio busca abordar.

El objetivo de la investigación fue evaluar el índice de riesgo de escasez hídrica en la producción pecuaria en tres centrales de riego del municipio El Choro, identificando los factores e indicadores que inciden en dicho riesgo, con el fin de proponer medidas de adaptación más efectivas.

3. METODOLOGÍA

Localización

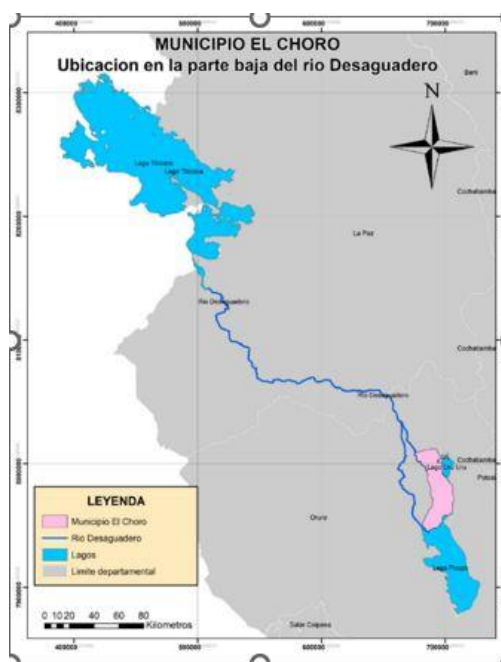
La investigación se realizó en el Municipio El Choro cuya ubicación geográfica está entre los paralelos 17°58'2,69" y 18°27'46,92" de Latitud Sur y 67°22'34,80" y 67°03'11,52" de Longitud Oeste; políticamente se encuentra en la provincia Cercado, departamento de Oruro del Estado Plurinacional de Bolivia (GAM El Choro, 2016).

Hidrográficamente este municipio se encuentra en la Región Hidrográfica 0 Altiplano, específicamente en el área de descarga de la Unidad Hidrográfica río Desaguadero como se muestra en la Figura 1, asimismo es parte del sistema hídrico transfronterizo TDPS (MMAyA, 2010).

La investigación se llevó a cabo en este municipio debido a que se encuentra una de las áreas de riego más importantes con aguas del río del Desaguadero, y por su potencial de incidir a otros municipios de la cuenca. Se trabajó con las centrales de riego Unificada, El Choro y Challacollo, que son las principales organizaciones de la gestión del agua y producción agropecuaria.

Figura 1.

Ubicación del Municipio El Choro en la parte baja del río Desaguadero y el sistema TDPS



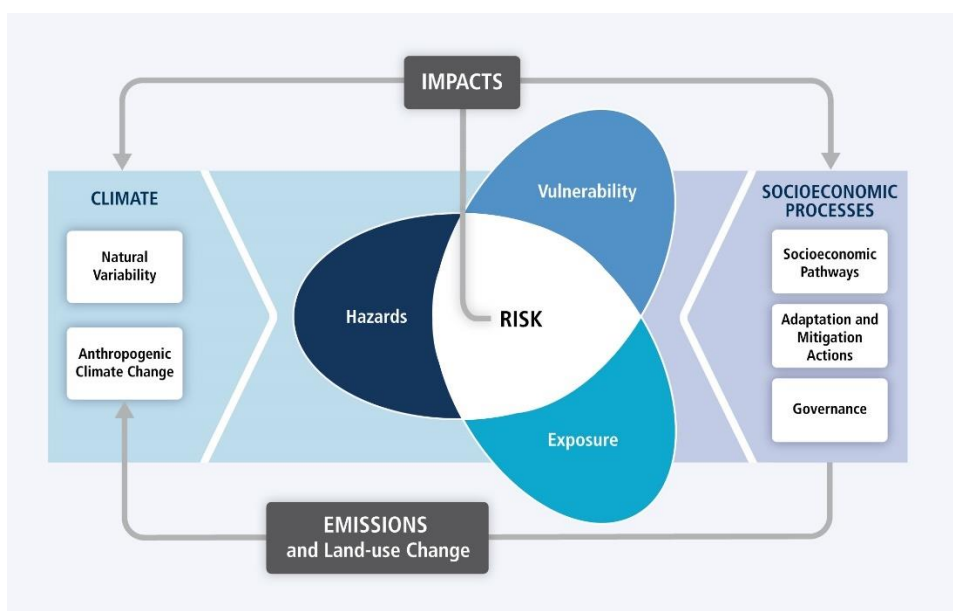
Nota. El río Desaguadero, de aproximadamente 300 km, nace en el lago Titicaca y se bifurca en dos brazos en su tramo final. El municipio de El Choro se encuentra en el brazo izquierdo.

Metodología

La investigación fue realizada entre agosto 2021 y septiembre 2022, utilizó el enfoque mixto cuantitativo - cualitativo (Ozorio-Gonzales & Castro-Ricalde, 2021) para evaluar el riesgo de escasez hídrica en sistemas pecuarios, basado en el concepto de riesgo climático del IPCC (Figura 2) como resultado de la “interacción de los peligros relacionados al clima, la vulnerabilidad y la exposición de los sistemas humanos y naturales (IPCC, 2014).

Figura 2.

Ilustración del modelo de riesgo climático del Quinto Informe del IPCC



Nota. Figura tomada de Ilustración de los conceptos básicos de la contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación (p. 3), (IPCC, 2014b)

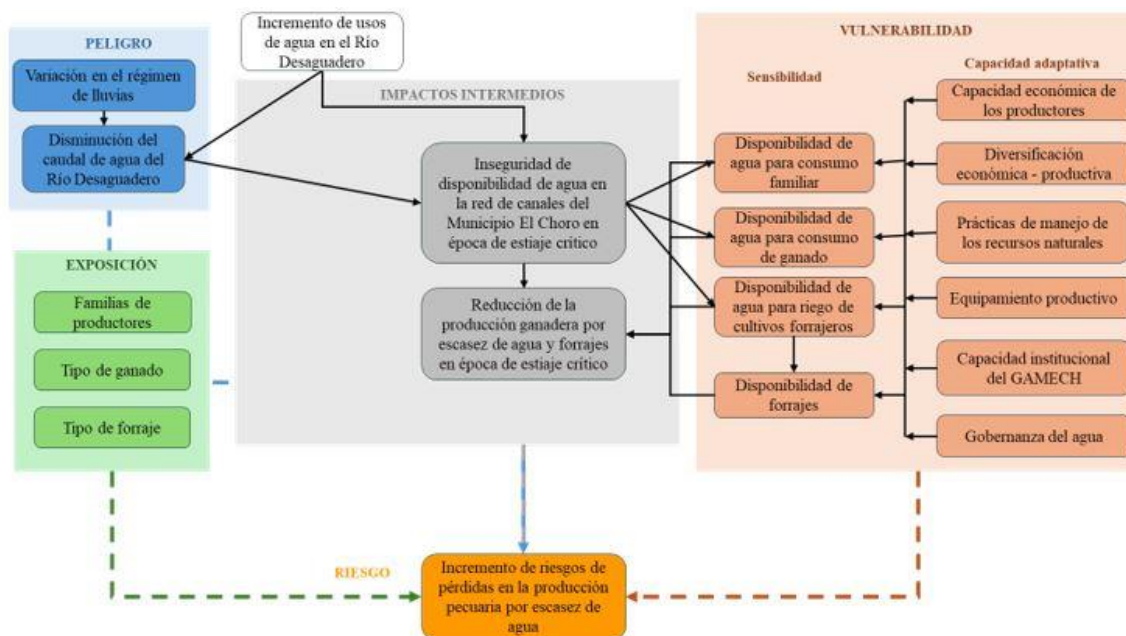
Se utilizó el método de cadenas de impacto e indicadores compuestos, desarrollado por GIZ (2017), reconocido internacionalmente por su eficacia en la evaluación y gestión de riesgos climáticos. El procedimiento incluyó ocho etapas correlativas con una activa participación de los actores locales: i) organización y preparación de la evaluación, ii) elaboración de la cadena de impactos, iii) identificación y selección de indicadores de evaluación, iv) recolección de datos de los indicadores, v) normalización de datos, vi) ponderación y agregación de los indicadores de los componentes peligro, exposición y vulnerabilidad, vii) agregación de los componentes para contar con el índice de riesgo, e viii) interpretación de resultados.

Cadena de impactos

A través de talleres participativos, revisión de información secundaria y consulta con expertos, se construyó el encadenamiento de impactos de la escasez hídrica, identificado como el principal peligro climático, sobre la exposición y vulnerabilidad de los sistemas productivos (Figura 3).

Figura 3.

Cadena de impactos del riesgo de escasez hídrica en sistemas pecuarios del municipio El Choro



Indicadores y técnicas de recolección de datos

La Tabla 1 muestra los factores e indicadores seleccionados junto con los pesos asignados a cada componente e indicador, asimismo, se especifican las técnicas empleadas para la recolección de datos correspondientes a cada indicador.

Tabla 1.

Indicadores, pesos asignados y técnicas de levantamiento de información para la evaluación del riesgo de escasez hídrica

Componente	Peso asignado a los componentes	Variables o factores	Indicadores	Peso asignado a los indicadores	Técnicas de recolección de datos
Peligro	30%	Régimen de lluvias	– Precipitación acumulada (mm)	50	Revisión fuentes documentales
		Acceso al agua del Río Desaguadero	– N° de meses con acceso al agua del Río Desaguadero	50	Observación Medición de caudal
Exposición	20%	Ganado	– N° Unidades Animal promedio / productor	33	Encuesta en talleres comunales
		Tipo de forrajes	– % UPAs con forrajes con alta susceptibilidad a sequías	33	Encuesta en talleres comunales
		Productores	– N° de productores	33	Entrevista estructurada
Vulnerabilidad	50%	Disponibilidad de agua para uso agropecuario	– N° de días con disponibilidad de agua para riego	15	Observación
			– No de días con disponibilidad de agua para consumo de ganado y familiar	5	Medición de caudal Encuesta en talleres comunales
		Disponibilidad de forrajes	– N° de meses con escases de forrajes	15	Observación Encuesta en talleres comunales
		Capacidad económica de los productores	– Promedio de ingresos brutos por ganadería (Bs/año/UPA)	10	Encuesta en talleres comunales
		Diversificación económica – productiva	– % de productores con actividad económica secundaria	4	Encuesta en talleres comunales
			– % de UPAs con producción diversificada	4	Encuesta en talleres comunales
		Equipamiento productivo	– % de productores con equipamiento mínimo para manejo del agua	5	Encuesta en talleres comunales
			– % de productores con equipamiento mínimo para manejo de forrajes	5	Encuesta en talleres comunales
		Prácticas de manejo de recursos naturales	– % de UPAs con prácticas de almacenamiento de agua	4	Encuesta en talleres comunales
			– % de UPAs con prácticas de abonamiento de suelos	4	Encuesta en talleres comunales
			– % de UPAs con prácticas de conservación y/o procesamiento de forrajes	4	Encuesta en talleres comunales
		Capacidad institucional del GAMECH	– Presupuesto en medidas relacionadas a adaptación (2021)	10	Revisión fuentes documentales
			– Maquinaria disponible para manejo de agua	5	Revisión fuentes documentales Entrevista estructurada
			– Maquinaria disponible para manejo de forrajes	5	Revisión fuentes documentales Entrevista estructurada
		Gobernanza del agua	– Nivel de gobernanza	5	Entrevista estructurada

Nota: Los pesos asignados a los tres componentes (segunda columna) suman 100%. Los pesos asignados a los indicadores al interior de cada componente (quinta columna) suman 100%.

Población y muestra

El estudio abarcó una población aproximada de 1,200 productores agropecuarios, distribuidos en 29 comunidades o zonas, organizados en tres Centrales de Riego: Challacollo, El Choro y Unificada. Aplicando la técnica de conglomerados (Otzen & Manterola, 2017), se seleccionó una muestra representativa de 267 productores pertenecientes a 11 comunidades distribuida de la siguiente manera: 3 en Challacollo, 4 en El Choro y 4 en Unificada. Las encuestas, con preguntas de opción cerrada, se aplicó durante talleres organizados en cada una de las comunidades.

Normalización de datos

El proceso convirtió los datos de los indicadores, medidos en diferentes unidades, a una escala común de 0 (óptimo) a 1 (óptimo). Previamente, se establecieron la dirección y los rangos mínimos y máximos de los indicadores; posteriormente normalizaron los valores de cada indicador con la siguiente fórmula (GIZ, 2018):

$$X_{norm} = \frac{X_i - X_{mín}}{X_{máx} - X_{mín}}$$

Donde: X_{norm} = valor normalizado
 X_i = valor del indicador
 $X_{mín}$ = valor para límite inferior del indicador
 $X_{máx}$ = valor para el límite máximo del indicador.

Ponderación y agregación de indicadores

Consistió en la agregación de los valores normalizados de los indicadores en un solo indicador compuesto a través de la técnica de agregación aritmética simple (GIZ, 2018), mediante la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{(I_1 * w_1 + I_2 + \dots I_n * w_n)}{\sum_1^n w}$$

Donde: IC = Indicador compuesto de componente
 I_1, I_2, I_n = valores normalizados de los indicadores
 w_1, w_2, w_n = pesos asignados a los indicadores
 $\sum_1^n w$ = suma de los pesos asignados

Los pesos asignados a cada indicador se detallan en la Tabla 1.

Ponderación y agregación de componentes

La agregación de los indicadores de cada componente en un solo índice compuesto de riesgo, se realizó a través de la agregación aritmética simple mediante la siguiente fórmula:

$$IR = \frac{(IC_1 * w_1 + IC_2 + IC_3 * w_3)}{\sum_1^n w}$$

Donde: IR = Índice de riesgo a escasez hídrica
 IC1, IC2, IC3 = indicadores compuestos de los componentes peligro, exposición y riesgo respectivamente
 w1, w2, w3 = pesos asignados a los componentes
 $\sum_1^n w$ = suma de los pesos asignados

Los pesos asignados a cada componente se detallan en la Tabla 1.

Interpretación de los índices de riesgo

Los índices calculados para cada componente-peligro, exposición y vulnerabilidad- así como el índice compuesto del riesgo, se clasificó en las siguientes categorías:

Tabla 2.

Categoría de los índices de peligro, exposición, vulnerabilidad y riesgo

Índice	Categoría
0 - 0,2	Muy bajo
> 0,2 - 0,4	Bajo
> 0,4 - 0,6	Medio
> 0,6 - 0,8	Alto
> 0,8 - 1	Muy alto

Nota: Extraído de GIZ (2018)

4. RESULTADOS

Valores de los indicadores que determinan el índice de riesgo

En la Tabla 3 se presentan los valores obtenidos para los indicadores de los componentes peligro, exposición y vulnerabilidad.

En el componente Peligro, el indicador de precipitación acumulada alcanzó el 97% del promedio histórico del periodo de lluvias para esta parte del Altiplano (agosto 2021 a abril 2022); este comportamiento es considerado similar en las tres centrales de riego. En cuanto al indicador de accesibilidad al agua del río Desaguadero, las centrales El Choro y Unificada disponen de acceso en los meses de mediados de diciembre a mediados de septiembre. Por su parte, la Central Challacollo solo tiene acceso durante los meses de mayor precipitación: enero a abril; el resto del año, sus canales de derivación de agua quedan por encima del nivel del río, lo que impide el acceso al recurso hídrico.

Tabla 3.

Valores obtenidos de indicadores para los componentes del riesgo de escasez de agua en la producción pecuaria del municipio El Choro

Componente	Variable o factores	Indicadores	Challacollo	El Choro	Unificada
Peligro	Régimen de lluvias	Precipitación acumulada (mm)	405	405	405
	Acceso al agua del Río Desaguadero	Nº de meses con acceso al agua del río Desaguadero	4	9	9
Exposición	Ganado	Nº Unidades Animal promedio / productor	24	32	33
	Forrajes	% UPAS con forrajes con alta susceptibilidad a sequías	67%	100%	97%
	Productores	Nº de productores regantes	413	345	285
Vulnerabilidad	Disponibilidad de agua para uso agropecuario	Nº de días con disponibilidad de agua para riego	74	169	151
		Nº de días con disponibilidad de agua para consumo de ganado y familiar	223	270	245
	Disponibilidad de forrajes	Nº de meses con escases de forrajes	5	3	3
	Capacidad económica de los productores	Promedio de ingresos brutos por ganadería (Bs/año/UPA)	38,373	80,451	64,207
	Diversificación económica - productiva	% de productores con actividad económica secundaria	59%	36%	29%
		% de UPAs con producción diversificada	24%	27%	18%
	Equipamiento productivo	% de productores con equipamiento mínimo para manejo del agua	36%	60%	57%
		% de productores con equipamiento mínimo para manejo de forrajes	3%	9%	8%
	Prácticas de manejo de recursos naturales	% de UPAs con prácticas de almacenamiento de agua	92%	100%	95%
		% de UPAs con prácticas de abonamiento de suelos	18%	16%	4%
		% de UPAs con prácticas de conservación y/o procesamiento de forrajes	13%	29%	25%
	Capacidad institucional del GAMECH	Presupuesto en medidas relacionadas a adaptación (2021)	925.086	925.086	925.086
		Maquinaria disponible para manejo de agua	58%	58%	58%
		Maquinaria disponible para manejo de forrajes	7%	7%	7%
	Gobernanza del agua	Nivel de gobernanza	Comunal y Central	Comunal, Central e intercentral	Comunal, Central e intercentral

En el componente de Exposición, los factores expuestos a los peligros climáticos mencionados anteriormente incluyen la población de ganado ovino y vacuno lechero de razas mejoradas, el tipo de forraje irrigado con aguas del río Desaguadero, como la alfalfa (*Medicago sativa*) y la totora (*Schenoplectus tatora*), así como los productores regantes. Las Centrales El Choro y Unificada presentan una mayor proporción de animales y forrajes expuestos en comparación con la Central Challacollo, mientras que esta última cuenta con una mayor cantidad de productores vulnerables a los peligros climáticos evaluados.

El componente de Vulnerabilidad se divide en dos subcomponentes: sensibilidad y capacidad adaptativa. La sensibilidad se refiere a la susceptibilidad de los sistemas productivos a ser impactados en la disponibilidad de agua y forrajes, mientras que la capacidad adaptativa de los productores se basa en su habilidad para responder, ajustarse y mitigar estos impactos; esto depende de factores como la disponibilidad y

diversificación económica, el equipamiento productivo disponible, las prácticas de manejo de los recursos naturales, la capacidad de respuesta del gobierno municipal y la gobernanza en la gestión del agua.

En el subcomponente de sensibilidad, la Central Challacollo tiene 95 y 77 días menos de disponibilidad de agua para riego en comparación con las Centrales El Choro y Unificada, respectivamente; esta misma situación se refleja en la disponibilidad de agua para el consumo del ganado y las familias, con 47 y 22 días menos de acceso, respectivamente. En cuanto al número de meses de escasez de forrajes, la Central Challacollo enfrenta 2 meses adicionales de escasez en comparación con las otras dos centrales.

En el subcomponente de capacidad adaptativa, los productores de Challacollo presentan una menor capacidad económica en comparación con los productores de El Choro y Unificada, ya que sus ingresos brutos promedio por ganadería (venta de animales en pie, queso y otros) son un 53% y 40% menores respectivamente.

En cuanto a la diversificación económica, en la Central Challacollo, más del 50% de los productores combinan la producción agropecuaria con alguna actividad económica secundaria, como el comercio, la construcción o el transporte; en tanto que en las Centrales El Choro y Unificada, aproximadamente un tercio de los productores diversifican sus ingresos de esta manera.

Respecto a la diversificación productiva, la crianza de ovinos y vacunos lecheros, predominante en la mayoría de las unidades productivas, se combina con especies que son resistentes a la sequía, como la crianza de llamas o el cultivo de quinua, sin embargo, esta diversificación no supera el 27% en las tres centrales.

Con relación al equipamiento para el manejo del agua en las unidades productivas, las centrales El Choro y Unificada están mejor preparadas, con un 60% y 57% de las unidades equipadas con motobombas, tanques plásticos, vigiñas para almacenamiento de agua, bebederos para ganado y pozos, en comparación con Challacollo, que solo alcanza el 36%. No obstante, el equipamiento destinado al manejo de forrajes, como motosegadoras, enfardadoras, molinos o picadoras de forraje, infraestructura para heniles y establos o apriscos, es escaso en las tres centrales, ya que menos del 10% de las unidades productivas cuentan con dichos recursos.

Con relación a las prácticas de manejo de los recursos naturales, en las tres centrales tienen por encima del 92% de productores que practican el almacenamiento de agua para consumo familiar y del ganado en tanques de plásticos y vigiñas respectivamente, incluso siendo la totalidad en El Choro, sin embargo, es importante destacar que las cantidades almacenadas son insuficientes para cubrir los requerimientos de las unidades productivas.

Las prácticas de abonamiento de suelos con estiércol de ganado son generalmente bajas en las tres centrales, con menos del 20%, y casi inexistentes en Unificada. De manera

similar, las prácticas de conservación y procesamiento de forrajes, como la cosecha en verde, la elaboración de heno y el molido de forrajes, no superan el 30%, siendo aún menos frecuentes en Challacollo. Además, es importante señalar que tanto las prácticas de abonamiento como las de procesamiento de forrajes se aplican de manera parcial en las parcelas de trabajo en cada unidad productiva.

En cuanto a la capacidad institucional del gobierno municipal, la ejecución presupuestaria destinada a la gestión de riesgos y medidas de adaptación representa el 18% del total del presupuesto. Además, la disponibilidad de maquinaria pesada para apoyar en el manejo del agua, que incluye 2 excavadoras y 3 retroexcavadoras para la limpieza de canales, así como 2 camiones cisterna para el transporte de agua durante los periodos de estiaje crítico, cubre solo el 58% del mínimo requerido. En lo que respecta al equipamiento para el manejo de forrajes, la capacidad es muy limitada, ya que solo se dispone de tractores agrícolas, faltando equipos e implementos clave como cosechadoras, enfardadoras, molinos de tractor, entre otros.

En lo que respecta a la gobernanza del agua, las comunidades de la Central Challacollo operan con dos niveles de coordinación: uno a nivel comunal y otro a nivel central. Por otro lado, El Choro y Unificada cuentan además con un nivel adicional de coordinación intercentral, mediante reuniones mensuales donde se abordan acciones relacionadas con el manejo del agua. No obstante, la gobernanza a nivel del río Desaguadero es inexistente, a pesar de ser crucial para una gestión adecuada de los recursos hídricos.

Valores normalizados de los indicadores

La Tabla 4 muestra los valores normalizados de los indicadores con el propósito de homogenizar en una sola escala las diferentes unidades de medida de estos.

En la Central Challacollo, los indicadores con valores normalizados en la categoría muy alta o crítica (0,8 a 1,0) son los siguientes: el reducido acceso al agua del río Desaguadero (componente de peligro), el elevado número de productores expuestos al déficit hídrico en la región (componente de exposición), las limitadas capacidades en cuanto a la disponibilidad de agua para uso productivo, disponibilidad de forrajes, capacidad económica de los productores, equipamiento productivo en las UPAs, así como las escasas prácticas de conservación y/o procesamiento de forrajes (componente de vulnerabilidad).

Por el contrario, en las centrales El Choro y Unificada, indicadores que tienen valores normalizados en la categoría media son: el mayor número de meses con acceso al agua del río Desaguadero (componente peligro), la mayor disponibilidad de agua para uso predial, disponibilidad de forrajes, capacidad económica de los productores, mayor equipamiento productivo a nivel de UPAS, proporcionalmente mayores prácticas de manejo de conservación y/o procesamiento de forrajes y mejor nivel de gobernanza del agua (componente vulnerabilidad).

Tabla 4.

Valores normalizados de los indicadores de los componentes del riesgo de escasez de agua en la producción pecuaria del Municipio El Choro

Componente	Factor	Indicadores	Challacollo	El Choro	Unificada
Peligro	Régimen de lluvias	Precipitación acumulada (mm/año)	0,37	0,37	0,37
	Acceso al agua del Río Desaguadero	Nº de meses con acceso al agua del Río Desaguadero	0,89	0,33	0,33
Exposición	Ganado	Nº Unidades Animal promedio / productor	0,15	0,77	0,85
	Forrajes	% UPAs con forrajes con alta susceptibilidad a sequías	0,67	1,00	0,97
	Productores	Nº de productores	0,82	0,48	0,18
Vulnerabilidad	Disponibilidad de agua para uso predial	Nº de días con disponibilidad de agua para riego	0,98	0,51	0,60
		Nº de días con disponibilidad de agua para consumo de ganado y familiar	0,86	0,58	0,73
	Disponibilidad de forrajes	Nº de meses con escasas de forrajes	0,83	0,50	0,50
	Capacidad económica de los productores	Promedio de ingresos brutos por ganadería (Bs/año/UPA)	0,88	0,28	0,51
	Diversificación económica – productiva	% de productores con actividad económica secundaria	0,51	0,80	0,89
		% de UPAs con producción diversificada	0,82	0,76	0,94
	Equipamiento productivo	% de productores con equipamiento mínimo para manejo del agua	0,71	0,44	0,48
		% de productores con equipamiento mínimo para manejo de forrajes	0,95	0,86	0,88
	Prácticas de manejo de recursos naturales	% de UPAs con prácticas de almacenamiento de agua	0,08	0,00	0,05
		% de UPAs con prácticas de abonamiento de suelos	0,73	0,76	0,94
		% de UPAs con prácticas de conservación y/o procesamiento de forrajes	0,80	0,56	0,62
	Capacidad institucional del GAMECH	Presupuesto en medidas relacionadas a adaptación (2021)	0,94	0,94	0,94
		Maquinaria disponible para manejo de agua	0,42	0,42	0,42
		Maquinaria disponible para manejo de forrajes	0,89	0,89	0,89
	Gobernanza del agua	Nivel de gobernanza	0,70	0,50	0,50

Nota: Elaboración propia (2024) en base valores de datos normalizados, donde 1 = crítico y 0 = óptimo.

Los valores de los factores régimen de lluvias (componente peligro) y capacidad institucional del GAMECH (componente vulnerabilidad) son similares para las tres Centrales, sin embargo, se destaca la importante capacidad instalada que tiene el gobierno municipal en cuanto a maquinaria para el manejo del agua, y por el contrario son limitados los recursos financieros que disponen para medidas de adaptación, así como también en cuanto a la maquinaria para el manejo de forrajes.

Índice de Riesgo a la escasez hídrica

Según el Índice de Riesgo calculado (Figura 4) y el nivel de categorización presentado en la Tabla 2, los sistemas pecuarios de la Central Challacollo se clasifican en la categoría de Riesgo Alto de pérdidas por escasez hídrica, mientras que los sistemas de las centrales El Choro y Unificada se encuentran en la categoría de Riesgo Medio.

El Índice de Peligro se clasifica como alto en la Central Challacollo, mientras que para El Choro y Unificada se encuentra en la categoría baja. Por su parte, el Índice de Exposición es alto en El Choro y Unificada, y medio en Challacollo. En cuanto al Índice de Vulnerabilidad, es alto en Challacollo y medio en las otras dos centrales.

Figura 4.

Índices de Peligro, Exposición, Vulnerabilidad y Riesgo a la escasez hídrica de los sistemas pecuarios en tres Centrales del Municipio El Choro

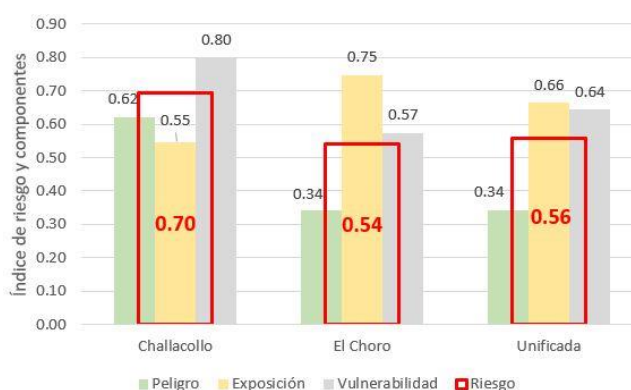
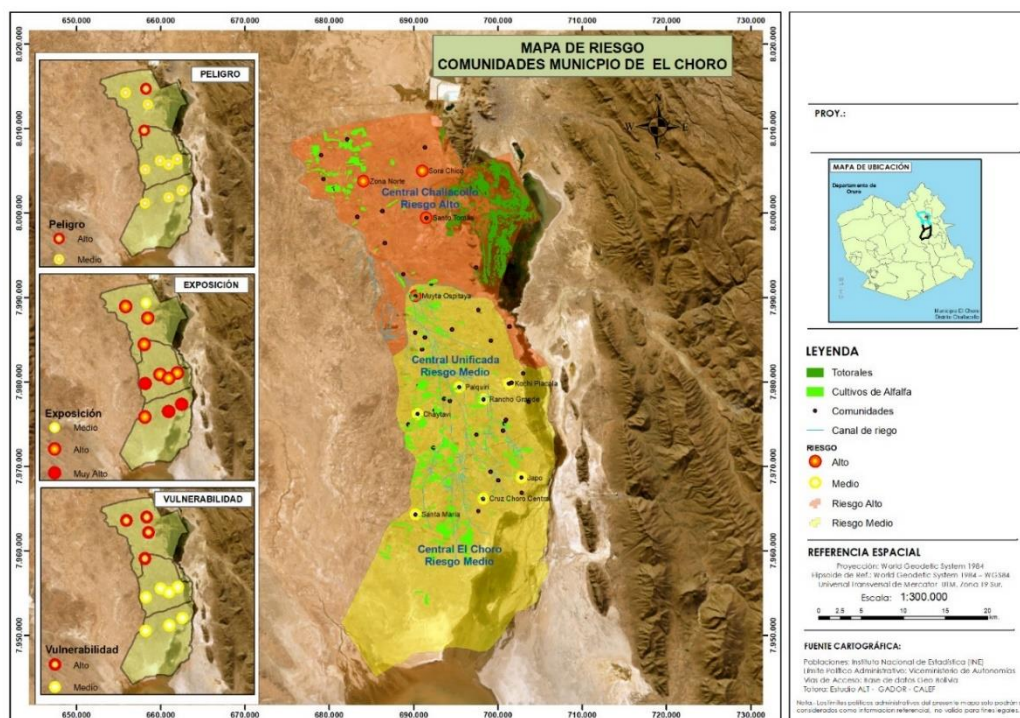


Figura 5.

Mapa con clasificación índice de riesgo a déficit hídrico en tres centrales del municipio El Choro



Nota: En la parte izquierda del mapa se presentan los índices de los componentes Peligro, Exposición y Vulnerabilidad.

El mapa de la Figura 5 muestra la distribución territorial de las tres centrales de riego. Los sistemas productivos de las comunidades pertenecientes a la Central Challacollo, clasificadas con un alto índice de riesgo frente a la escasez hídrica, se ubican predominantemente en la zona norte del municipio, que además corresponde a la región más elevada. Las comunidades de la Central Unificada se sitúan en la región media del territorio, mientras que las de la Central El Choro se localizan en el sur. Es relevante señalar que el relieve del municipio presenta una pendiente descendente de norte a sur.

5. DISCUSIÓN

El índice de riesgo de los sistemas de producción del municipio El Choro se clasifican entre medio a alto debido principalmente a la disminución del caudal del río Desaguadero, situación que se agrava durante el estiaje crítico del Altiplano (septiembre a diciembre), cuando el caudal se reduce drásticamente o desaparece. Esto afecta a los productores de ovinos y bovinos de razas mejoradas de leche, limitando el riego de alfalfa y totorales, disponibilidad de agua para el ganado y consumo de las familias, lo que aumenta la vulnerabilidad de los sistemas productivos. Además, la limitada capacidad de respuesta de las unidades productivas contribuye a incrementar dicho riesgo.

Respecto al agua en la parte baja del río Desaguadero, hasta finales del siglo XX, el sector de Puman Challa, donde se ubican la mayoría de las tomas de agua del municipio, contaba con caudales suficientes para abastecer los sistemas de riego durante todo el año. Sin embargo, estos caudales han disminuido gradualmente debido a su

dependencia del comportamiento hidrológico aguas arriba, especialmente de la cuenca del lago Titicaca, ya que forma parte del sistema hídrico del TDPS. Según Lima-Quispe et al. (2021) las fluctuaciones en el nivel del lago Titicaca y su aporte al río Desaguadero se deben principalmente a la variabilidad climática en las precipitaciones, al aumento de la temperatura media y la mayor evaporación. Canedo et al. (2016) reportan una disminución progresiva del caudal del río en varios puntos de sus 300 km, especialmente en su tramo inferior, desde la década de 1990. Por su parte, Torres-Batló & Martí-Cardona (2020), determinan retrasos en el inicio y cese temprano del período de lluvias entre 1981 y 2018 en las partes media y baja del TDPS, una tendencia que corroborada por Copana (2018), García et al. (2021) y Zubieta et al. (2021).

Con relación a la falta de riego en los meses críticos de estiaje, este coincide con el rebrote de la alfalfa tras su dormancia invernal, etapa en la que el cultivo requiere más agua; esto afecta negativamente los rendimientos y la producción forrajera, disminuyendo la producción de forraje en estos sistemas productivos que dependen del río Desaguadero (Vásquez, 2006). Izquierdo (2024) confirma que en el municipio El Choro existe un déficit entre la disponibilidad y el requerimiento de agua para la alfalfa durante septiembre, octubre y noviembre. Estudios previos de Callisaya (2018) y Salazar (2022) en el Altiplano boliviano muestran que la reducción parcial o total de riego disminuye significativamente los rendimientos de biomasa forrajera, coincidiendo con los hallazgos de Puppo Collazo et al. (2024) en Uruguay y Luna-Guerrero et al. (2023) en México; estos últimos además concluyen que la aplicación de riego de recuperación no restaura la capacidad productiva del cultivo.

En consecuencia, en condiciones de clima semiárido del municipio El Choro, la disminución en la disponibilidad de agua y forrajes son los factores más determinantes para la producción pecuaria, conclusión que coincide con los hallazgos de Cortez et al. (2014), Sánchez et al. (2022) y Vázquez et al. (2023) en ecosistemas semiáridos del Altiplano boliviano, México y Argentina respectivamente. Los sistemas productivos de las comunidades de la Central Challacollo son los más afectados en comparación con las otras dos centrales, debido a su ubicación geográfica en la parte más alta del río; esto provoca que la infraestructura de sus tomas de agua quede por encima del nivel del río entre mayo y diciembre.

En cuanto a la limitada capacidad de respuesta de las unidades productivas del municipio El Choro, los factores que inciden son sus reducidos ingresos familiares, una economía ganadera poco diversificada, escasas prácticas de manejo de los recursos naturales, baja capacidad de equipamiento productivo, restringida capacidad de respuesta del gobierno local y una insuficiente gobernanza en la gestión del agua.

Cortez et al. (2014), confirman que la alta especialización y dependencia de la producción lechera incrementan la vulnerabilidad al cambio climático en sistemas productivos del Altiplano boliviano. Además, Cáceres & Meza (2023) y González et al. (2022), señalan que la capacidad adaptativa de los medios de vida rurales frente al cambio climático depende de varias dimensiones: capital humano, capital social, capital

financiero, capital natural, aspectos físicos y tecnológicos, y capital institucional; entre estos, los aspectos financieros – especialmente la diversificación económica - son los más importantes.

Finalmente, es importante señalar que el levantamiento de información primaria ha sido difícil, y en algunos casos se utilizaron indicadores indirectos. Para futuros estudios, se podría mejorar la precisión del índice de riesgo enfocándose en la disponibilidad financiera de los productores para implementar medidas de adaptación, la medición de caudales de agua, la cuantificación de forrajes, la estructura económica y el aporte de la ganadería en las unidades productivas.

6. CONCLUSIÓN

Los sistemas productivos de la Central Challacollo enfrentan un alto riesgo de pérdidas por escasez hídrica, en comparación con las centrales El Choro y Unificada, que presentan un riesgo medio. La ausencia de caudal en el río Desaguadero durante el período de estiaje crítico ha reducido el acceso y la disponibilidad de agua para usos productivos en las tres centrales, afectando en mayor medida a los productores de Challacollo, por su ubicación en la parte alta del río.

La falta de riego entre septiembre y mediados de diciembre reduce la disponibilidad de forrajes, lo que, sumado a la limitada capacidad adaptativa, incrementa la vulnerabilidad y el índice de riesgo de los sistemas productivos.

Las variables relacionadas con la capacidad adaptativa que deben trabajarse para reducir la vulnerabilidad y el índice de riesgo en los sistemas productivos son: la capacidad económica de los productores, la diversificación económica y productiva, el equipamiento de las unidades para el manejo de agua y forrajes, la capacidad de respuesta del gobierno municipal mediante maquinaria para fortalecer el manejo de estos recursos, y una mejor gobernanza del agua.

La metodología y varios de los indicadores identificados, que determinan la vulnerabilidad y el índice de riesgo de los sistemas productivos ante la escasez hídrica, así como su capacidad adaptativa, pueden ser aplicados a sistemas productivos de otros municipios en la parte media y baja del río Desaguadero, donde esta fuente de agua también es crucial. Sin embargo, es necesario evaluar previamente el índice de riesgo en cada contexto para entender las particularidades de sus sistemas productivos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro AGRUCO de la Universidad Mayor de San Simón, así como también a la Dirección de Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad Técnica de Oruro, por el apoyo brindado al presente estudio en el marco del proyecto de investigación titulado “TUKUYPAJ: Transformando la gestión territorial a través de la co-creación de conocimientos y la gobernanza para la adaptación al cambio climático” el cual fue financiado por el PIA.ACCII-UMSS/COSUDE.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argüelles, C. L. R., Lacaba, R. M. G., Ortega, R. A. S., & Cruz, R. R. de la. (2019). Importancia de la gestión de riesgos para el desarrollo local. Caso de estudio Consejo Popular Caribe, Cuba. *Revista Científica Ecociencia*, 6(5), Article 5. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.65.224>
- 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.
- Cáceres, L. J. B., & Meza, J. E. R. (2023). Cambio climático y vulnerabilidad de los medios de vida de familias rurales en tres municipios de Madriz, Nicaragua, 2010-2022. *La Calera*, 23(40), Article 40. <https://doi.org/10.5377/calera.v23i40.16194>
- Callisaya, J. (2018). *Aplicación de tres láminas de riego por aspersión en el cultivo de la alfalfa en la Estación Experimental Choquenaira—La Paz* [Tesis de Maestría]. Universidad Mayor de San Andrés.
- Canedo, C., Pillco Zolá, R., & Berndtsson, R. (2016). Role of Hydrological Studies for the Development of the TDPS System. *Water*, 8(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/w8040144>
- Chapi Siñani, N. (2023). Riesgo de heladas históricas y ante escenarios de cambio climático SSP 245 y 585 dentro la cuenca del río Yesera, departamento de Tarija. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10(2), 71-87. <https://doi.org/10.53287/gqtv3059vt66f>
- Condori Cusi, R., Fuentes Navarro, E., Condori Cusi, R., & Fuentes Navarro, E. (2023). Huella de carbono en la cadena de valor del queso tipo paria de la zona lago de la cuenca Titicaca. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 25(4), 213-223. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.565>
- Copana, C. (2018). *Efectos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua y los recursos hídricos en Bolivia: Pronóstico para el 2030*. Instituto de Investigaciones Socio-Económicas. Universidad Católica Boliviana.
- Cortez, H., Paredes, D., Cabrera, C., & Alarcón, E. (2014). *Producción lechera y efectos del cambio climático en dos comunidades del Altiplano Norte*.
- GAM El Choro. (2016). *Plan Territorial de Desarrollo Integral 2016—2020* (p. 152). Gobierno Autónomo Municipal El Choro.
- García, M., Yucra, E., Gilles, J., Alavi, G., & mamani, M. (2021). Respuestas innovadoras de agricultores del altiplano boliviano bajo entornos de riesgo climático cambiante. *LEISA revista de agroecología*, 37(1), 20-24.
- GIZ. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. (2017). *El libro de la vulnerabilidad: Concepto y lineamientos para la evaluación estandarizada de la vulnerabilidad*.
- GIZ. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. (2018). *Evaluación de Riesgo Climático para la Adaptación basada en Ecosistemas Guía para planificadores y practicantes* (1-1). chrome-

- González, A. N., Flores, S. M., & González, F. M. C. (2022). Capacidad adaptativa en ejidos costeros del Pacífico mexicano: Una aproximación desde los medios de vida sustentables (MVS). *Sociedad y Ambiente*, 25, Article 25.
<https://doi.org/10.31840/sya.vi25.2591>
- Gutiérrez, J., & Saavedra, C. (2021). *Guia de evaluación del riesgo climático en cuencas en el marco de los planes directores de cuencas*. MMAyA.
- IHCantabria, Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria., & PROMETA, Protección del Medio Ambiente Tarija . (2021). *Índice de vulnerabilidad al cambio climático en la ciudad de Tarija, Bolivia. Resumen Ejecutivo*. (Iniciativa UE LAIF CAF – AFD sobre ciudades y cambio climático*). Corporación Andina de Fomento.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014a). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014b). *Summary for Policymakers* (Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)], p. 32). Cambridge University Press.
<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/summary-for-policymakers/>
- Izquierdo, R. (2024). *Evaluación de la disponibilidad y requerimiento de agua para riego de forraje (alfalfa) en el municipio El Choro* [Tesis de grado]. Universidad Técnica de Oruro.
- Lemus Ramírez, V., Guevara Escobar, A., García Rodríguez, J. A., Gaspar Sánchez, D., García Muñiz, J. G., Pacheco Ríos, D., Lemus Ramírez, V., Guevara Escobar, A., García Rodríguez, J. A., Gaspar Sánchez, D., García Muñiz, J. G., & Pacheco Ríos, D. (2020). Producción de leche de vacas en pastoreo de alfalfa (Medicago sativa) en el altiplano mexicano. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(1), 1-18.
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4814>
- Lima-Quispe, N., Escobar, M., Wickel, A. J., von Kaenel, M., & Purkey, D. (2021). Untangling the effects of climate variability and irrigation management on water levels in Lakes Titicaca and Poopó. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 37, 100927.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100927>
- Liu, Y., Wu, Q., Ge, G., Han, G., & Jia, Y. (2018). Influence of drought stress on alfalfa yields and nutritional composition. *BMC Plant Biology*, 18(1), 13.
<https://doi.org/10.1186/s12870-017-1226-9>
- 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.

- Luna-Guerrero, M. J., López-Castañeda, C., Luna-Guerrero, M. J., & López-Castañeda, C. (2023). Variabilidad genética en biomasa aérea y sus componentes en alfalfa bajo riego y sequía. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 14(1), 39-60.
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i1.6129>
- Medina, C. (2021). MODELACIÓN HIDROLÓGICA BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA UN EMBALSE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA PAZ, BOLIVIA. *Investigación & Desarrollo*, 21(1), 63-78.
- MMAyA, Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2010). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas de Bolivia. Metodología PFAFSTETTER*.
- Molina, J., Satgé, F., & Pillco, R. (2014). *Los recursos hídricos del Sistema TDPS* (Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos e hidrobiológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca, pp. 17-39). UICN-IRD.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Ozorio-Gonzales, R., & Castro-Ricalde, D. (2021). Aproximaciones a una metodología mixta. *NOVA RUA Revista Universitaria de Administración*, 13(22), 65-85.
<https://doi.org/DOI: http://dx.doi.org/10.20983/novarua.2021.22.4>
- Puppo Collazo, L., Hayashi, R., Beretta, A., & Morales, P. (2024). *Effect of irrigation and grazing on the production of an alfalfa pasture (Medicago sativa L.)*.
<https://doi.org/10.31285/AGRO.28.1422>
- Quezada Lambertin, C. E. (2021). *Adaptación a los impactos del cambio climático de sistemas agrícolas basados en papa del altiplano boliviano* (Working Paper 202106). Documento de Trabajo. <https://www.econstor.eu/handle/10419/259526>
- Salazar, W. (2022). *Efecto de dos láminas de riego por aspersión sobre la producción de alfalfa (Medicago sativa L.), en diferentes cortes en la Estación Experimental Patacamaya* [Tesis de grado]. Universidad Mayor de San Andrés.
- Sánchez, B. I. S., Bravo, M. B., & Izquierdo, A. V. (2022). Desarrollo de capacidades en productores de ganado bovino en temas básicos sobre manejo eficiente de recursos forrajeros. *Agro-Divulgación*, 2(1). <https://agrodivulgacion-colpos.org/index.php/1agrodivulgacion1/article/view/39>
- Torres-Batló, 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, V., Ruíz, M. C., Chura, Z., & Dávila, A. (2018). Evaluación de la agrobiodiversidad de familias campesinas en el altiplano norte de La Paz, Bolivia. En *Seguridad alimentaria en el ayllu Corpa—Altiplano norte de Bolivia: Situación, análisis y lineamientos para su gestión territorial* (pp. 73-94). Plural Editores.
- 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

Vásquez, A. (2006). *Evaluación económica del impacto del riego tradicional en los sistemas de producción de la Central Unificada de El Choro (Provincia Cercado, Oruro)* [Tesis de grado]. Universidad Mayor de San Andrés.

Vázquez, P. M., Rojas, M. del C., Alejandro Fernández, E., Gonzalez, A. C., Vázquez, P. M., Rojas, M. del C., Alejandro Fernández, E., & Gonzalez, A. C. (2023). Factores limitantes de la tasa de destete en sistemas de producción de carne bovina en la región criadora de la provincia de La Pampa, Argentina. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(2). https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num2_art:2712

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>

Conflicto de Intereses: Los autores afirman que no existen conflictos de intereses en este estudio y que se han seguido éticamente los procesos establecidos por esta revista. Además, aseguran que este trabajo no ha sido publicado parcial ni totalmente en ninguna otra revista.