

INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN CLIMÁTICA EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA FAMILIAR CAMPESINA DE LA REGIÓN DEL NORTE POTOSÍ

INFLUENCE OF CLIMATE VARIATION ON FAMILY FARMING PRODUCTION SYSTEMS IN THE NORTHERN REGION OF POTOSÍ

Ing. Humberto Alvarez Cabrera

halvarezc2002@gmail.com

Ingeniero Agrónomo

Universidad Nacional "Siglo XX"

Llallagua, Bolivia

Resumen- La producción agrícola familiar campesina es vital para la economía y la seguridad alimentaria en Bolivia, especialmente en el norte de Potosí, donde la agricultura es primordial; sin embargo, enfrenta desafíos debido a la variabilidad pluviométrica que causa sequías, granizos y heladas, afectando negativamente en el suministro de agua para los cultivos y el ganado, poniendo en riesgo la subsistencia de las comunidades rurales. La investigación busca determinar la influencia de la variación climática en los sistemas de producción agrícola familiar campesino, de la región norte Potosí de Bolivia. La caracterización de los patrones de precipitación y temperatura permite determinar la vulnerabilidad de la producción agrícola familiar campesina, lo cual requiere de estrategias y prácticas de adaptación al cambio climático; asimismo, los impactos negativos del cambio climático en la producción agrícola familiar en la región, requiere abordar el tema de manera integral.

Palabras clave- Adaptación al cambio climático, Cambio climático, Impacto del cambio climático, Variación climática

Abstract- Peasant family agricultural production is vital for the economy and food security in Bolivia, especially in northern Potosí, where agriculture is essential; However, it faces challenges due to rainfall variability that causes droughts, hail and frost, negatively affecting the water supply for crops and livestock, putting the subsistence of rural communities at risk. The research seeks to determine the influence of climatic variation on peasant family agricultural production systems in the northern Potosí region of Bolivia. The characterization of precipitation and temperature patterns allows determining the vulnerability of peasant family agricultural production, which requires strategies and practices for adaptation to climate change; Likewise, the negative impacts of climate change on family agricultural production in the region require addressing the issue in a comprehensive manner.

Keywords - Climate change adaptation, Climate change, Climate variation, Impact of climate change.

1. INTRODUCCIÓN

La actividad humana propicia una serie de cambios en el ecosistema natural a nivel global, lo cual produce efectos adversos en el clima, a este proceso la Convención Marco de las Naciones Unidas (CMNUCC, s.f.) citado por García (2014) sobre el Cambio Climático lo denominó como cambio climático; asimismo, a los procesos de variaciones climáticas que siguen un curso natural son denominados como variaciones climáticas. Por consiguiente existe una clara diferenciación en el uso de ambos términos conceptuales.

Las actividades humanas, fueron significativas en una serie de transformaciones en los ecosistemas naturales a escala mundial. Estas acciones, que incluyen la emisión masiva de gases de efecto invernadero, la deforestación descontrolada y la contaminación atmosférica y del agua, han provocado alteraciones sustanciales en los patrones climáticos globales. El calentamiento global, como resultado de estas actividades, es uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad en la actualidad. Este cambio climático se traduce en fenómenos extremos, como olas de calor más intensas, sequías prolongadas, tormentas más severas y aumento del nivel del mar, que amenazan la estabilidad y la sostenibilidad de los ecosistemas, así como la vida humana y la biodiversidad en general. Es fundamental reconocer la conexión intrínseca entre la actividad humana y los efectos adversos en el clima.

En la región del altiplano boliviano las alturas de precipitación son variables cuyos rangos anuales varían entre 100 a 650 mm aproximadamente; sin embargo, la precipitación efectiva es mucho menos, debido a que gran parte del volumen de lluvia precipitada se pierde fundamentalmente por evapotranspiración de las plantas, la evaporación de la superficie del suelo, por infiltración y escurrimiento superficial. Por lo mismo los volúmenes de agua son reducidos. (Nordgren, 2011)

La temperatura constituye una de las variables fundamentales para la producción agrícola; sin embargo, debido al cambio climático muchos países, sobre todos aquellos cuyo clima es cálido, sufren los efectos más contundentes. Es evidente también que la variación climática a nivel global es heterogénea dependiendo de muchos factores. Del mismo modo, la producción agrícola se ve amenazada por el aumento de temperatura en sentido de que acelera el proceso fenológico, por tanto los rendimientos serán menores, por otro lado la evapotranspiración también será mayor. (Cline, 2007).

La región de norte Potosí ha experimentado históricamente una alta variabilidad climática debido a su ubicación geográfica y su relieve montañoso. La dependencia de los sistemas agrícolas de la lluvia como principal fuente de recursos hídricos para los cultivos lo hace particularmente vulnerables a los

cambios en los patrones de precipitación. Las variaciones en la cantidad, la distribución temporal y la intensidad de las lluvias pueden tener un impacto significativo en la producción agrícola, afectando la disponibilidad de agua para los cultivos, el desarrollo de las plantas y, en última instancia, los rendimientos.

La variabilidad pluviométrica puede afectar la disponibilidad de agua para el ganado y otros usos domésticos, lo que repercute en la seguridad alimentaria y el bienestar de las comunidades rurales (Torres, P. et al., 2011). Los agricultores familiares en la región norte Potosí dependen en gran medida de la producción agrícola para su subsistencia y sustento, por lo que la variabilidad pluviométrica puede tener consecuencias graves en su calidad de vida.

La dependencia de la lluvia como fuente de agua y la vulnerabilidad de los agricultores familiares frente a los cambios en los patrones de precipitación hacen necesario implementar estrategias de adaptación y gestión del agua que fortalezcan la resiliencia de las comunidades rurales y aseguren la seguridad alimentaria a largo plazo.

De acuerdo al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADRC, 2012), el sistema de producción agrícola familiar campesino y comunitario es definido como el sistema de producción agrícola familiar campesino y comunitario de producción y organización gestionado y operado por mujeres, hombres, familias, comunidades campesinas e indígenas que conviven en los territorios rurales. En este sistema se desarrollan actividades de producción, transformación y comercialización de bienes y servicios agrícolas, pecuarios; que suelen complementarse con actividades no agropecuarias para el cumplimiento de las funciones de producción, reproducción social y seguridad alimentaria.

El sistema de producción agrícola familiar campesino y comunitario abarca un conjunto de actividades gestionadas por mujeres, hombres, familias, comunidades campesinas e indígenas en áreas rurales. Incluye la producción, transformación y comercialización de productos agrícolas y ganaderos, junto con otras actividades no agrícolas. Su objetivo principal es garantizar la seguridad alimentaria y cumplir funciones de producción y reproducción social en el entorno rural. Este sistema se caracteriza por su enfoque comunitario y su integración con el entorno natural, promoviendo prácticas sostenibles y una relación armoniosa con el medio ambiente.

Brandalise et al. (2017) manifiesta que en un sistema de producción agrícola familiar campesino se combinan múltiples dimensiones; económico, político, social, cultural, ambiental, cuyo papel es determinante para lograr la seguridad y soberanía alimentaria; genera oportunidades de empleo en el

entorno rural y transfiere conocimientos ancestrales a las siguientes generaciones, se constituye uno de los principales garantes de la conservación de la biodiversidad y formas de vida sostenible.

Por tanto, el sistema de producción agrícola familiar campesino es un entramado complejo que abarca aspectos económicos, políticos, sociales, culturales y ambientales, todos fundamentales para alcanzar la seguridad y soberanía alimentaria. Además de proporcionar alimentos, este sistema genera empleo en áreas rurales y preserva conocimientos ancestrales, asegurando su transmisión a las generaciones futuras. También desempeña un papel crucial en la conservación de la biodiversidad y promueve formas de vida sostenible, actuando como un pilar esencial para el equilibrio y la resiliencia de las comunidades rurales y del medio ambiente en su conjunto.

Ante los embates del cambio climático y su incidencia en las familias más empobrecidas que habitan principalmente en la zona del altiplano de Bolivia como la región de Norte Potosí, se tiene que desarrollar políticas de resiliencia ante estos efectos a partir del gobierno central, de manera que puedan estas familias sobrellevar su *modus vivendi* dentro del marco de la seguridad alimentaria. Los efectos del cambio climático son contundentes en escenarios donde el agua de lluvia escasea, y como producto de ello los incendios forestales constituyen fenómenos desastrosos de los ecosistemas naturales, también las enfermedades prevalentes bajo estas condiciones son muy emergentes (OXFAM, 2009).

La región norte de Potosí en Bolivia enfrenta desafíos significativos debido a la influencia de la variación climática en sus sistemas de producción agrícola familiar campesina. Las fluctuaciones irregulares en las precipitaciones impactan profundamente en la disponibilidad de agua para los cultivos y el ganado, lo que pone en peligro la subsistencia de las comunidades rurales. Los episodios de sequía pueden resultar en una reducción drástica del crecimiento de los cultivos e incluso en la pérdida total de las cosechas, mientras que las lluvias intensas pueden provocar inundaciones y daños en los campos. Esta variabilidad climática impredecible aumenta la vulnerabilidad de los agricultores familiares, que dependen en gran medida de la agricultura para su sustento. La adaptación a estos cambios se vuelve crucial para garantizar la seguridad alimentaria y el bienestar de las comunidades en esta región.

El problema de investigación es: ¿Cómo influye la variación climática en los sistemas de producción agrícola familiar campesina, de la región norte Potosí de Bolivia?

Las hipótesis planteadas para la investigación son:

Ho: Las variaciones de precipitación y temperatura debido al cambio climático no influyen

negativamente en los sistemas de producción familiar campesino de la región Norte Potosí.

H1: Las variaciones de precipitación y temperatura debido al cambio climático influyen negativamente en los sistemas de producción familiar campesino de la región Norte Potosí.

El objetivo general es: Determinar la Influencia de la variación climática en los sistemas de producción agrícola familiar campesino, de la región norte Potosí de Bolivia.

Los objetivos específicos son:

- a. Evaluar los cambios históricos y actuales en los patrones de precipitación y temperatura en la región norte Potosí.
- b. Caracterizar el efecto del cambio climático sobre la producción agrícola familiar campesina de la región.
- c. Determinar la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas familiares campesinos frente al cambio climático en la región.
- d. Desarrollar estrategias y prácticas de adaptación al cambio climático para la región norte de Potosí.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación geográfica

La región de Norte Potosí constituye una macro región que se encuentra conformada por cinco provincias: Rafael Bustillos, Chayanta, Bernardino Bilbao Rioja, Charcas y Alonso Ibáñez las cuales a su vez se dividen en quince municipios (MMNP, 2013). Está ubicada en el extremo norte del departamento de Potosí, limitando con los departamentos de Oruro y Cochabamba. En el extremo norte de la región, cerca de la frontera con el departamento de Oruro, se encuentra la Puna, una extensa zona que se caracteriza por su topografía montañosa con altitudes entre los 3.800 y 4.500 metros sobre el nivel del mar. El clima predominante en la región Norte Potosí es frígido y semiárido, con variaciones significativas en la precipitación y la temperatura a lo largo del año.

2.2. Evaluación de los cambios en los patrones de precipitación y temperatura

- a) **Análisis de series temporales:** Constituye un método utilizado para estudiar la variación de la precipitación y la temperatura a lo largo del tiempo. Implica la recopilación de datos, la limpieza de datos, el análisis descriptivo y la aplicación de modelos estadísticos para comprender los patrones, las tendencias y predecir la variación futura en los datos climáticos. Para tal efecto se utilizó el modelo de promedio móvil exponencial (PME) consistente en un modelo estadístico

predictivo que permite suavizar los datos de manera que la tendencia es más evidente para un período de tiempo largo.

2.3. Efecto del cambio climático sobre la producción agrícola familiar campesina.

Análisis de regresión y correlación: Se efectuó un análisis de correlación y regresión entre las variables climáticas y los rendimientos de los cultivos en el transcurso del tiempo, permitiendo comprender como fue afectada la producción agrícola familiar campesina en un escenario de cambio climático e indicios sobre los posibles impactos futuros. Para ello se entrevistó a 15 familias de agricultores de la comunidad de Ocurí (Provincia Chayamta), los mismos permitieron determinar rendimientos medios de cultivos de papa y cebada en los últimos 5 años.

2.4. Vulnerabilidad de los sistemas agrícolas familiares campesinos frente al cambio climático

Análisis de vulnerabilidad: El análisis de vulnerabilidad evalúa la capacidad de los sistemas agrícolas familiares para hacer frente a los impactos del cambio climático. Se identificó los factores de vulnerabilidad: exposición a eventos climáticos extremos, la capacidad de adaptación, resiliencia de los sistemas agrícolas e identificación de las áreas más sensibles.

2.5. Estrategias y prácticas de adaptación al cambio climático específicas para la región norte de potosí

Análisis de estrategias de adaptación: Es un proceso que tiene como objetivo evaluar y examinar las diferentes opciones y medidas disponibles para hacer frente a los impactos del cambio climático. Consiste en analizar y comparar las estrategias potenciales, considerando su viabilidad técnica, económica, social y ambiental, así como su efectividad para reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia frente a los cambios climáticos.

3. RESULTADOS

3.1. Evaluación de los cambios en los patrones de precipitación y temperatura

3.1.1. Análisis de la precipitación

Para el caso estudiado se efectuó una prueba estadística de autocorrelación sobre la serie de datos de precipitación total para la región norte Potosí en el programa SPSS de acuerdo al estadístico (DW) de Durbin-Watson, cuyo valor medido fue de 0.771. Dado que este valor está por debajo de 2, indica la presencia de autocorrelación positiva en la serie

temporal de precipitación. Esto significa que los valores de precipitación en un momento dado están correlacionados con los valores de precipitación en momentos pasados.

Luego se efectuó el análisis de tendencia y estacionalidad de una serie de datos el cual permitió entender el comportamiento de éstos valores en el transcurso del tiempo. La tendencia y estacionalidad constituyen parámetros estadísticos que ayudan a identificar puntos de inflexión en la serie, donde cambia el comportamiento a lo largo del tiempo; estos puntos identificados son cruciales para tomar decisiones oportunas, evaluar la efectividad de fenómenos intervinientes y comprender el efecto ocasionado. A continuación presentamos el comportamiento de la serie de precipitación temporal en términos de tendencia y estacionalidad:

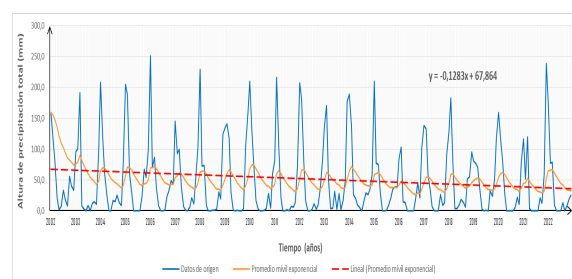


Figura 1. Tendencia y estacionalidad de la serie de datos de precipitación pluvial

Fuente: Estación Meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica (UNSXX)

Con los datos de origen se efectuó un modelamiento matemático de tipo producto cuya ecuación representativa es: $y = TECI$ en cuyo modelo intervienen los parámetros de variación de tendencia, estacionalidad, variaciones cíclicas y variaciones aleatorias o irregulares como se puede observar en la figura anterior.

Los datos de la serie temporal fueron representados gráficamente para un período de tiempo de 20 años; en el cual no es posible observar claramente la tendencia presentando aparentemente un comportamiento estacionario, es decir, con estadísticos poblacionales de media y varianza constantes a lo largo del período analizado.

Luego efectuando un modelo matemático de promedio móvil exponencial fue posible suavizar la serie temporal distribuida mensualmente, encontrando una tendencia negativa ligera cuya pendiente es de -0,1283 lo cual indica que la relación entre los datos de precipitación en el transcurso del tiempo es inverso. Asimismo, la pendiente refleja una variación decreciente en la altura de precipitación (y) aportada con respecto al tiempo (x) de $\frac{dy}{dx} = -0,1283 \left(\frac{mm}{mes} \right)$ lo cual significa que cada mes que transcurre en promedio se reduce una altura de precipitación de 0,1283 mm. Mediante el método de semipromedios, se obtuvo el índice estacional mensual descrito en la Tabla 2.

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Índice Estacional												
Ajustado	331	260	171	43	5	5	9	12	31	56	76	201

Tabla 1. Índice de estacionalidad de la serie temporal de precipitaciones

Fuente: Estación Meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica (UNSWX)

De acuerdo a los datos adjuntos las máximas alturas de precipitación se producen en los meses de enero, febrero, marzo y diciembre, moderadamente en los meses de abril, agosto, septiembre y precipitaciones escasas (casi nulas) en los meses de mayo, junio y julio. La siguiente figura permite apreciar más claramente el comportamiento de esta distribución:

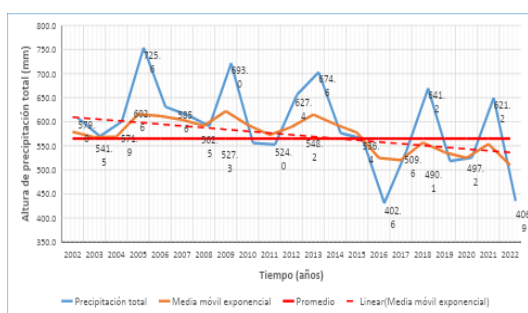


Figura 2. Comportamiento estacional de la serie temporal

Fuente: Estación Meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica (UNSWX)

La variabilidad de la precipitación en la región norte de Potosí debido al cambio climático en las últimas décadas produjo cambios significativos en la disponibilidad de recursos hídricos. Se ha registrado períodos de lluvias intensas y torrenciales de duración corta y menos frecuente, lo cual está ocasionando situaciones críticas de sequías y fenómenos adversos en la agricultura. Es

evidente que las épocas de lluvia y estiaje son muy variables y desplazables en el tiempo y espacio, haciendo que la incertidumbre en los regímenes de precipitación sean más asentadas cada vez.

Considerando la distribución de precipitaciones totales anuales es posible advertir las variaciones de estacionalidad en el periodo de tiempo estudiado. La figura siguiente refleja los cambios de aporte de lluvia en la región Norte Potosí siguiendo un patrón de tendencia decreciente con pendiente negativa como se puede observar:

De acuerdo a la figura anterior las precipitaciones totales en un periodo de tiempo de 21 años para la región Norte Potosí son relativamente variables, teniendo una media de 565 mm y un coeficiente de variación de 14% lo cual indica baja variabilidad de los datos para el periodo de tiempo considerado, no obstante considerando el modelo lineal se tiene una estimación matemática de variación de $\frac{dy}{dx} = -3,6825 \left(\frac{mm}{año}\right)$ lo cual indica un déficit de precipitación de 3,6824 mm por año.

Asimismo, es posible advertir con referencia a la variación estacional, valores inferiores al promedio

de precipitación en un número de 11 años lo cual en términos relativos constituye el 52% y tan solo el 48% de la precipitación total supera el promedio de precipitación total en el transcurso del tiempo estudiado lo cual manifiesta una disminución gradual anual de disponibilidad de lluvia para la región Norte Potosí.

En base a un análisis de modelamiento serial de tipo Estacional se efectuó el pronóstico sobre el comportamiento de la serie de datos de origen para un periodo de tiempo de 8 años a partir del año 2023 al 2030, considerando los intervalos de confianza superior (LCS) e inferior (LCI) permisibles por el modelo, observándose en la siguiente figura:

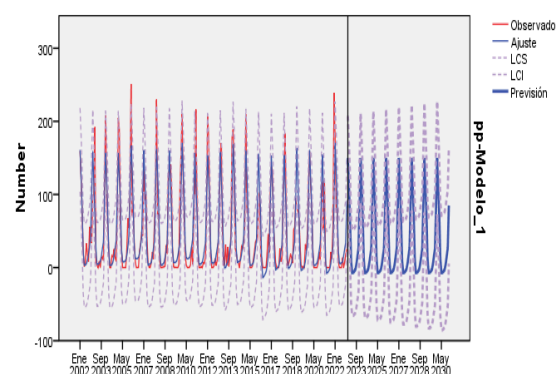


Figura 3. Pronóstico del comportamiento de la serie de datos de precipitación mensual periodo 2023 – 2030

Fuente: Estación Meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica (UNSWX)

El periodo de tiempo pronosticado (2023 – 2030) describe un comportamiento con tendencia decreciente cuya pendiente $\frac{dy}{dx} = -0,2603$ manifiesta una disminución de altura de precipitación de 0,2603 (mm/mes) como puede observarse en la siguiente figura:

De la misma manera se observa una estacionalidad muy acentuada en el periodo estudiado lo cual puede derivar en la probabilidad de disponibilidad satisfactoria de recursos hídricos recargables en los acuíferos superficiales y subterráneos, muy importantes para el proceso productivo agrícola.

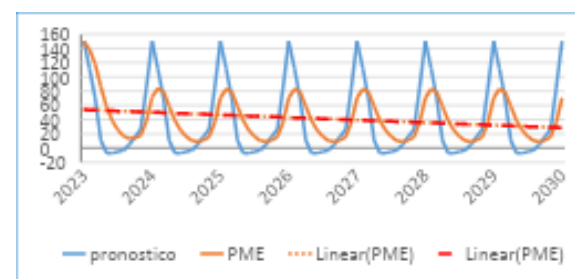


Figura 4. Periodo de tiempo pronosticado

Fuente: Estación Meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica (UNSWX)

Respecto al análisis de variación cíclica e irregular, los datos de precipitación presentan residuos irregulares o aleatorios debido a eventos fortuitos

naturales o emitidos por el observador los cuales pueden constituirse en variaciones incongruentes en el transcurso del tiempo. La siguiente figura muestra variaciones de esta naturaleza:

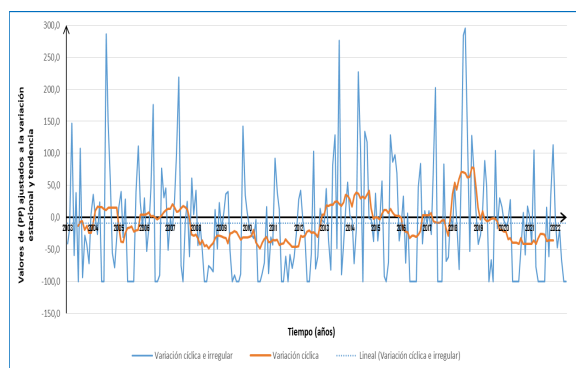


Figura 5: Variación cíclica e irregular en la serie temporal
Fuente: Estación Meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica (UNSXX)

La figura anterior expresa la variación de una serie temporal mediante un comportamiento recurrente no periódico llamado ciclo. La variación cíclica puede observarse en color naranja distribuido en torno al eje horizontal; asimismo algunos valores irregulares que sobresalen del conjunto de datos serial en color azul, por ejemplo en los años 2004, 2007, 2013, 2014 y 2018.

Las variaciones irregulares no siguen un patrón fijo y pueden estar relacionados con fenómenos climáticos como El Niño y La Niña, sequías o inundaciones inusuales, y otros eventos climáticos extremos. Cuando ocurren estas variaciones irregulares, la disponibilidad de agua puede verse afectada de manera significativa incidiendo significativamente en la producción agrícola familiar.

3.1.2. Temperatura ambiental

El estudio de la variación de las temperaturas mínimas y máximas es de gran importancia en la agricultura debido a su impacto directo en el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos, éstas variaciones térmicas afectan diversos aspectos del proceso productivo y pueden tener consecuencias tanto positivas como negativas como por ejemplo en el retraso o aceleración de germinación de las semillas, en el desarrollo de la planta y en la etapa de floración. En realidad las variaciones amplias de temperaturas pueden ocasionar estrés hídrico afectando notablemente en la calidad de los cultivos y por tanto en las economías de las familias agrícolas de la región norte Potosí.

A continuación en la figura 7, se observa los rangos de variación de la temperatura mínima y máxima promedio en la región norte Potosí:

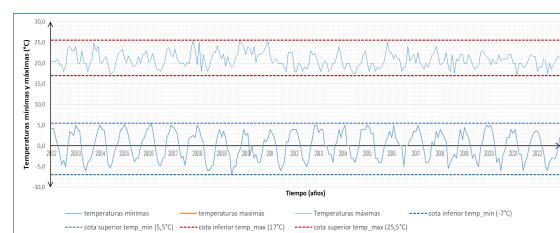


Figura 6. Variación de la temperatura mínima y máxima en el transcurso del tiempo
Fuente: Estación meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica (UNSXX)

La variación de temperatura mínima en el análisis de serie temporal fluctúa en un rango cuya cota mínima es de -7°C y cota máxima de $5,5^{\circ}\text{C}$, con una media de $0,2^{\circ}\text{C}$, y la temperatura máxima oscila en un rango de 17°C a $25,5^{\circ}\text{C}$ con un promedio de $20,7^{\circ}\text{C}$ como se advierte en el gráfico de temperaturas correspondiente a la serie de datos.

Según Beck, H. E. et al. (2018), el sistema de clasificación climática de Köppen se basa en que la vegetación natural y tiene una clara relación con el clima, por lo que los límites entre un clima y otro se establecieron teniendo en cuenta la distribución de la vegetación. Los parámetros para determinar el clima de una zona son las temperaturas y precipitaciones medias anuales y mensuales, y la estacionalidad de la precipitación.

Divide los climas del mundo en cinco grupos principales: tropical, seco, templado, continental y polar, identificados por la primera letra en mayúscula. Cada grupo se subdivide en subgrupos, y cada subgrupo en tipos de clima. Los tipos de clima se identifican con un símbolo de 2 o 3 letras.

Basándonos en este sistema de clasificación, la región norte de Potosí tendría un clima de tipo Cwb (templado con inviernos secos). Los inviernos se caracterizan por ser fríos o templados y veranos frescos y lluviosos. El clima Cwb identifica temperaturas promedio de 22°C durante los meses más cálidos, pero no excesivamente calurosas. Durante los meses más fríos, las temperaturas pueden variar, pero generalmente están por encima de 0°C , aunque pueden experimentar algunas heladas ocasionales. (Beck, H. E. et al., 2018).

La distribución de precipitaciones de este tipo de clima tiene la característica de ser relativamente uniforme durante todo el año, pero con una disminución significativa en los meses de invierno. Los veranos son más lluviosos, con precipitaciones abundantes debido a la influencia de los vientos monzónicos o las corrientes oceánicas. Los inviernos, en contraste, suelen ser más secos. Debido a la combinación de temperaturas cálidas y precipitaciones relativamente abundantes, el clima Cwb es propicio para el crecimiento de una variedad de vegetación. (Beck, H. E. et al., 2018).

La variación cíclica y tendencia de la temperatura mínima en la región norte potosí puede advertirse en la siguiente figura:

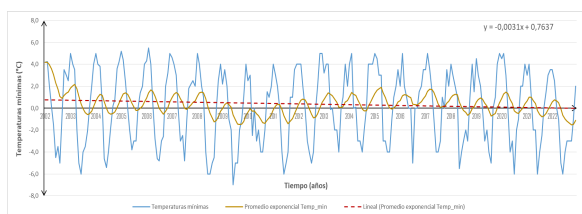


Figura 7: Variación cíclica y tendencia la temperatura mínima en la región Norte Potosí

Fuente: Datos meteorológicos carrera Ingeniería Agronómica (UNSXX)

La serie temporal de temperaturas mínimas nos muestra una variación cíclica de aproximadamente 10 años, de los cuales 5 años describen amplitudes de ondas positivas y 5 años amplitudes de ondas negativas, también es posible observar una ligera tendencia decreciente cuya pendiente es $\frac{dy}{dx} = -0,0031$ donde la variable (y) representa a los datos de temperatura y la variable (x) al tiempo, lo que quiere decir que en promedio disminuye una temperatura de 0,0031 °C/mes.

Según Köppen (1984) citado por Beck, H. E. et al. (2018), en climas Cwb, los inviernos tienden a ser secos en comparación con otras estaciones, y las temperaturas pueden ser más frescas o frías. Por tanto, es normal la variación de las temperaturas mínimas según el contexto y la región específica. El autor también manifiesta que los climas pueden variar por diversos factores como ser:

Variabilidad estacional: En los climas, es normal que las temperaturas varíen a lo largo del año. Los inviernos son naturalmente más fríos que las estaciones cálidas.

Cambios climáticos: A medida que cambian las condiciones climáticas globales, es posible que haya variaciones en las temperaturas a lo largo del tiempo. Estos cambios pueden llevar a inviernos más fríos o, en algunos casos, a inviernos más suaves.

Anomalías climáticas: Eventos climáticos extremos, como olas de frío, pueden causar una disminución significativa de la temperatura durante el invierno.

Localización geográfica: La ubicación geográfica y la altitud también pueden influir en la temperatura. Las áreas más altas o alejadas del mar pueden experimentar temperaturas más frías.

En la región Norte Potosí la variación de la temperatura mínima es regular mostrando una disminución decreciente ligera; no obstante, Köppen aduce estos cambios a varios factores como ser el cambio global, y las manifestaciones de clima específicos para la región debido a la localización

geográfica, variación estacional, anomalías y cambios climáticos. Además, la situación de la franja altitudinal entre 3700 a 4000 msnm característico de la región y del tipo de clima especificado según Köppen.

Complementariamente a las temperaturas mínimas que representan a la región Norte Potosí, también se tiene datos de temperaturas máximas, las cuales fueron procesadas mediante modelamiento de series de tiempo. De la misma forma se tomaron datos a partir del año 2002 hasta el año 2022 y mediante los métodos de modelamiento estacional simple y promedio móvil exponencial, se pudo obtener el gráfico que describe el comportamiento en el transcurso del tiempo como se puede apreciar a continuación:

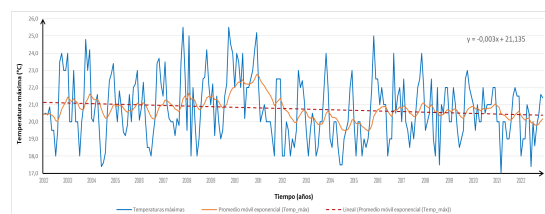


Figura 8: Variación cíclica y tendencia la temperatura máxima en la región Norte Potosí

Fuente: Datos meteorológicos carrera Ingeniería Agronómica (UNSXX)

La figura muestra las variaciones estacionales anuales que manifiestan un comportamiento relativamente regular ya que no se observan datos residuales irregulares en ningún período de la serie temporal. Del mismo modo se puede apreciar variaciones cíclicas dentro del intervalo de tiempo de 10 años aproximadamente que advierten valores de temperaturas máximas altas, medias y bajas. También es posible advertir que en el intervalo 2003 a 2009 (7 años) y 2016 a 2022 (7 años) las variaciones cíclicas son mínimas manteniéndose relativamente constantes.

En el análisis de serie temporal de temperaturas máximas se efectuó la estimación de la pendiente cuyo valor es $\frac{dy}{dx} = -0,003$ donde la variable (y) comprende a la temperatura máxima y la variable (x) al tiempo mensual. El valor de la pendiente es negativo lo que indica que en promedio la temperatura máxima en el período de tiempo considerado tiende a decrecer en una razón de 0,003 °C/mes.

En el análisis gráfico de la serie temporal de temperaturas máximas se evidencia una tendencia ligeramente decreciente; según Köppen (1984) ello puede deberse a múltiples factores como la ubicación geográfica, variación estacional, cambios climáticos y fenómenos climáticos cambiantes a nivel regional; sin embargo, según Correa, Ortiz et al. (2021) la temperatura es uno de los parámetros que hacen parte de la medición del clima. En este sentido, el cambio climático ejerce influencia en los cambios en la temperatura.

Los mismos autores señalan que en un análisis de escenarios realizado, muestra que las temperaturas medias de la atmósfera sufrirán calentamiento en toda la tropósfera, especialmente en la tropósfera alta y en las latitudes más septentrionales. Contrariamente, se espera una disminución de la temperatura en la estratósfera. Las investigaciones realizadas para Colombia, calculó un incremento de la temperatura media de un orden de 0,13 °C por década en el periodo 1971-2000, mientras los escenarios proyectan que la temperatura promedio del aire en el país aumentará, con respecto al periodo de referencia 1971-2000, en 1,4 °C para el 2011-2040; en 2,4 °C, para 2041-2070; en 3,2 °C.

Los estudios realizados en Colombia confirman la realidad del calentamiento global y la elevación de temperatura inminente, por lo mismo es lógico pensar que si bien observamos patrones de disminución ligera de temperatura máxima y mínima a nivel de región Norte Potosí, ello es debido a una variabilidad natural del clima y a factores climáticos incidentes a nivel regional como nubosidad, evaporación, humedad relativa etc.

Correa Ortiz, L. et al (2021) señalan también que [...] el cambio climático ejerce influencia en los cambios en la temperatura. Existe un complejo equilibrio de energía, debido a las radiaciones solares, a la composición de la atmósfera, a los cambios en los continentes, a las corrientes oceánicas y a la órbita de la tierra, la pérdida de este equilibrio origina cambios climáticos.

Por tanto el cambio climático es producto de un complejo desequilibrio energético producido a nivel global y que tiene influencia directa sobre la magnitud de los patrones de temperatura.

3.2. Efecto del cambio climático sobre la producción agrícola familiar campesina

Mediante entrevista a productores agrícolas de tipo familiar de la comunidad de Ocurí (Provincia Chayanta), la producción agrícola de papa y cebada en los últimos 5 años tuvo el siguiente comportamiento (véase tabla 4):

año	PP Total (mm)	Papa (qq/ha)	Cebada (qq/ha)
2018	641,2	88	8
2019	490,1	90	9
2020	497,2	75	5
2021	621,2	85	11
2022	406,9	84	10

Tabla 2: Rendimiento de papa y cebada (qq/ha)
Fuente: Estimaciones señaladas por productores agrícolas

Datos de precipitación: Estación Meteorológica “UNSXX”

La tabla 2 manifiesta una relación de la precipitación total ocurrida en los últimos cinco años en la región Norte Potosí con las producciones de papa y cebada en la comunidad de Ocurí expresada en qq/ha. Realizando la prueba de normalidad en base a la prueba de Shapiro Wilk y considerando la regla de decisión siguiente: p-valor calculado $< \alpha$ (donde α es el nivel de significación al 5%) se rechaza la hipótesis nula, siendo:

H_0 : Los datos siguen una distribución normal

H_1 : Los datos no siguen una distribución normal

Luego se concluye que los datos siguen una distribución normal. Asimismo, efectuando un análisis de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R^2) entre la variable de precipitación total como variable independiente, producción de papa y cebada respectivamente como variables dependientes, se concluye que existe escasa correlación y solamente el 6,8% de la variable dependiente es explicada por la variable independiente y el resto se debe a fluctuaciones aleatorias.

Del resumen de coeficientes del análisis de regresión se tiene que la constante toma un valor de 76,268 y la pendiente positiva de 0,015 por tanto existe una relación directa y muestra una variación de la variable dependiente (y = producción de papa) de $\frac{dy}{dx} = 0,015$ por unidad de variación de la variable independiente (x = precipitación total).

Se observa que la variación de la producción de cebada por unidad de variación de la precipitación total es escasa, ello puede deberse a múltiples factores tales como la incidencia de las temperaturas máximas y mínimas, humedad del suelo, humedad relativa del ambiente, variaciones por estrés hídrico etc., ciertamente el análisis estadístico muestra que las variables dependiente e independiente están escasamente correlacionadas.

Efectuando el análisis estadístico respectivo se observa un coeficiente R de Pearson de 0,091 cuyo valor se encuentra en el intervalo de correlación (0,00 – 0,20) del cuadro de comparación, refiriéndolo como una ínfima correlación. Del mismo modo el coeficiente de determinación R^2 cuadrado muestra que tan solo el 0,8 % de la variable dependiente es explicada por la variable independiente y el resto se debe a fluctuaciones aleatorias.

Efectuando el análisis estadístico de Fisher, se observa que existe una relación directa de tipo lineal y muestra una variación de la variable dependiente (y = cultivo de cebada) de $\frac{dy}{dx} = 0,02$ por unidad de variación de la variable independiente (x = precipitación total).

De similar forma que el cultivo de papa, se observa una ligera variación del cultivo de cebada con respecto a una unidad de variación de la precipitación total. Como se mencionó anteriormente, puede deberse a varios factores de orden climático, edáfico o ambiental.

Efectuando una comparación puntual respecto de los rendimientos medios de papa y cebada, se presenta los siguientes datos obtenidos mediante la técnica de regresión lineal.

año	PP Total (x) (mm)	Papa (y_p) (qq/ha)	Cebada (y_c) (qq/ha)
2012	627,0	86*	9*
2022	406,9	84	10

Tabla 3. Rendimiento de papa y cebada (qq/ha) en periodos puntuales

**Estimación estadística en base a regresión lineal*

Nota. $y_p = 0,015x + 76,268$;

$y_c = 0,002x + 7,469$

Considerando a la precipitación como variable determinante para la producción de papa y cebada, se observa que para el año 2012 se tuvo una altura de 627 mm y para el año 2022, una altura de 407 mm, habiendo una diferencia de 220 mm que en términos de volumen total de precipitación es 2200 m³.

Este volumen faltante no tuvo mucha incidencia en la producción de papa y cebada, ya que se advierte que no existen diferencias significativas en los rendimientos observados. Sin embargo, estas variaciones de régimen pluviométrico afectan en la incertidumbre de los periodos de siembra y en el calendario agrícola, asimismo, los efectos de variación de temperatura y acumulaciones de gases de efecto invernadero como productos del cambio climático, traen consigo efectos adversos de plagas y enfermedades, reduciendo la producción de los cultivos (Vásquez, L., 2011)

3.3. Vulnerabilidad de los sistemas agrícolas familiares campesinos frente al cambio climático en la región

Los sistemas agrícolas familiares campesinos en la región norte de Potosí son especialmente vulnerables frente al cambio climático debido a una serie de factores:

Dependencia de condiciones climáticas estables:

Los agricultores familiares campesinos en esta región han desarrollado prácticas agrícolas y calendarios de siembra y cosecha basados en las condiciones climáticas históricas. El cambio climático, con su variabilidad y extremos climáticos, desestabiliza estas condiciones predecibles y dificulta la planificación y el manejo de los cultivos.

Recursos limitados: Muchos agricultores familiares en la región norte de Potosí tienen acceso limitado a recursos como tierra, agua, semillas, fertilizantes y tecnologías agrícolas. Esto dificulta su capacidad para adaptarse al cambio climático y implementar prácticas agrícolas más resilientes. La falta de recursos también puede limitar su capacidad para recuperarse de eventos climáticos extremos, como sequías o inundaciones.

Dependencia de la agricultura de subsistencia:

La mayoría de los agricultores familiares campesinos en esta región dependen de la agricultura de subsistencia para su sustento y seguridad alimentaria. La falta de diversificación de los ingresos y la dependencia de unos pocos cultivos de subsistencia aumentan la vulnerabilidad de los agricultores frente a los impactos del cambio climático. Los eventos climáticos extremos pueden tener un impacto significativo en sus medios de vida y poner en riesgo su seguridad alimentaria.

Conocimientos y tecnologías limitados:

Muchos agricultores familiares en la región norte de Potosí tienen un acceso limitado a información, conocimientos y tecnologías agrícolas que podrían ayudarles a adaptarse al cambio climático. La falta de capacitación en técnicas agrícolas sostenibles y resistentes al clima limita su capacidad para implementar prácticas adecuadas y adoptar tecnologías apropiadas para hacer frente a los desafíos climáticos.

Vulnerabilidad socioeconómica:

La región norte de Potosí es una de las áreas más pobres de Bolivia, con altos niveles de pobreza y falta de infraestructura básica. La vulnerabilidad socioeconómica de los agricultores familiares campesinos los hace más susceptibles a los impactos del cambio climático. La falta de acceso a servicios básicos, como agua potable y atención médica, y la falta de infraestructura para la gestión del agua agravan los efectos negativos del cambio climático en su vida y trabajo.

Para abordar la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas familiares campesinos frente al cambio climático en la región norte de Potosí, se requiere un enfoque integral que incluya la mejora del acceso a recursos, el fortalecimiento de capacidades, la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y resistentes al clima, el acceso a información y tecnologías adecuadas, y el apoyo institucional y político para la adaptación y la mitigación del cambio climático.

3.4. Desarrollo de estrategias y prácticas de adaptación al cambio climático para la región norte de Potosí.

El desarrollo de estrategias y prácticas de adaptación al cambio climático para la región norte de Potosí, es crucial para ayudar a los agricultores familiares campesinos a hacer frente a los desafíos climáticos.

Algunas estrategias y prácticas que podrían considerarse:

Diversificación de cultivos: Fomentar la diversificación de los cultivos es fundamental para reducir la dependencia de unos pocos cultivos y aumentar la resiliencia de los sistemas agrícolas. Los agricultores pueden explorar la introducción de variedades de cultivos resistentes al clima y adaptados a las condiciones locales, así como cultivar una combinación de cultivos alimentarios y comerciales para diversificar los ingresos.

Agroforestería y sistemas agroecológicos: La implementación de sistemas agroforestales y agroecológicos puede ayudar a mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas frente al cambio climático. Estas prácticas implican la integración de árboles, arbustos y cultivos, lo que proporciona beneficios como la conservación del agua, la mejora de la fertilidad del suelo, la protección contra la erosión y la diversificación de los productos agrícolas.

Al respecto de los sistemas agroecológicos, según MAPBIOMAS Bolivia (2017), la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) es un proceso dinámico, participativo y flexible para la identificación de alternativas de uso sostenible de un territorio, considerando sus potencialidades y limitaciones con criterios físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales. Orienta a la toma de decisiones para el mejor uso de los recursos naturales y la ocupación ordenada del territorio.

Por tanto se podría señalar que la Zonificación Ecológica y Económica forma parte del concepto amplio de Agroecología como ciencia, en razón de que incluye elementos conceptuales importantes como: territorio, biodiversidad y comunidades campesinas dedicadas a la producción agropecuaria, pero va más allá, porque la Agroecología manifiesta un enfoque holístico e integral que consuma toda acción humana en reciprocidad con la naturaleza por lo mismo, conlleva aspectos intrínsecos de tipo social, cultural, comunitario y naturaleza.

Por su parte, el Programa de Desarrollo Integral Interdisciplinario (PRODII, 2023) que trabaja en el Norte de Potosí (Bolivia) propone las siguientes estrategias de desarrollo con enfoque agroecológico:

A. Promoción de sistemas alimentarios sostenibles

- a. **Manejo y uso sostenible de los recursos de la agro biodiversidad:** Desarrollo de acciones y fomento a la producción con enfoque agroecológico socialmente participativo, económicamente viable, ambientalmente sostenible y culturalmente adecuado. Se propone fortalecer el desarrollo de la agricultura ecológica bajo un modelo de desarrollo productivo con el enfoque de sistemas agroforestales, donde a partir de la combinación de especies frutales, forestales y

cultivos anuales se generará la conservación de la fertilidad del suelo y agua bajo principios de manejo de cobertura, prohibición de quema, conservación y uso racional de la biodiversidad de especies

- b. **Acciones de adaptación y mitigación a los efectos del cambio climático:** Garantizar la producción y productividad de los cultivos y protección de las bases productivas con resiliencia frente a la crisis ambiental. Analizando la realidad actual de la crisis climática, los procesos no solo deben estar orientados a la cosecha de agua al contrario [...] frente al crecimiento demográfico [...] el desafío está orientado a promover la siembra de agua.

El modelo de desarrollo productivo con enfoque agroecológico conlleva a desarrollar sistemas integrales de conservación y manejo sostenible de recursos genéticos, hídricos, edáficos en armonía con el medio natural priorizando el uso racional de la biodiversidad. De la misma forma los recursos hídricos son fundamentales para la producción agrícola en los sistemas familiares de producción, tales recursos deben ser adecuadamente utilizados. El desafío es captar agua en los embalses que se encuentran en la parte superior de las cuencas de manera óptima para que puedan ser utilizados en las diferentes actividades productivas y reproductivas. Hoy en día con el fenómeno del cambio climático, los sistemas agroecológicos tienden a degradarse debido a múltiples factores, siendo uno de ellos la escasa humedad superficial y del subsuelo, afectando de sobremanera la vegetación circundante incluyendo los cultivos del sistema productivo familiar.

B. Gestión para el desarrollo social e incidencia política

- a. **Promoción de la equidad de género generacional:** Promoviendo sociedades más justas con igualdad de derechos y oportunidades de cara a la reducción de la discriminación y violencia de género.
- b. **Fortalecimiento del liderazgo de organizaciones sociales y públicas:** Es cada vez más evidente la necesidad de informar, sensibilizar, reflexionar y motivar a la sociedad civil y a los decisores de políticas para que se consolide la transición hacia sistemas alimentarios sostenibles en las políticas públicas de desarrollo territorial a diferentes niveles.

La equidad de género en un sistema agroecológico productivo familiar es fundamental, ya que muchas actividades regulares diarias son compartidos en igualdad de condiciones y responsabilidades, más aun el éxito de los sistemas productivos familiares depende en gran medida del trabajo y de las decisiones oportunas que se tengan a nivel de

familia. Para llevar estas prácticas socioproductivas a estratos de apoyo superior, necesariamente tienen que superar niveles de información, sensibilización y reflexión de parte de las autoridades competentes para que manifiesten en las políticas públicas de desarrollo.

El enfoque agroecológico permite un cambio en la ética y forma de pensar de las personas elevando los valores interpersonales y comunitarios, promueve las prácticas sostenibles en la agricultura intensiva, reduce el consumo de energía, alienta a las prácticas comunitarias de reciprocidad para mejorar las relaciones sociales contribuyendo a la erradicación de la pobreza, promueve el mejoramiento de la economía familiar campesina, la naturaleza de los sistemas productivos disminuyen el hambre en las comunidades campesinas, mejora la salud de sus habitantes, propugna la igualdad de género y la protección sostenible de los ecosistemas como forma resiliente y de adaptación al cambio climático.

Conservación y uso sostenible del agua: La gestión eficiente del agua es fundamental en una región propensa a sequías y escasez hídrica. Los agricultores pueden implementar técnicas de conservación del agua, como la recolección y el almacenamiento de agua de lluvia, el riego por goteo y la utilización de técnicas de conservación de suelos para mejorar la retención de humedad. Además, es importante promover prácticas de riego adecuadas y el uso eficiente del agua en la agricultura.

Mejora de la infraestructura y acceso a servicios básicos: La inversión en infraestructura agrícola, como sistemas de riego, sistemas de drenaje y almacenamiento de agua, puede ayudar a mitigar los impactos del cambio climático en la región. Además, mejorar el acceso a servicios básicos como electricidad, agua potable y atención médica puede contribuir a la resiliencia de las comunidades agrícolas frente al cambio climático.

Fortalecimiento de capacidades y acceso a información: Es esencial brindar capacitación y acceso a información actualizada sobre prácticas agrícolas sostenibles y adaptadas al clima. Esto puede incluir la difusión de conocimientos sobre técnicas de conservación de suelos, manejo integrado de plagas, gestión del agua y buenas prácticas agrícolas. Además, promover la creación de redes de intercambio de conocimientos entre agricultores locales puede ser beneficioso para el aprendizaje y la adopción de prácticas exitosas.

Fortalecimiento de organizaciones locales: Apoyar y fortalecer las organizaciones agrícolas locales y las asociaciones de agricultores puede facilitar la implementación de estrategias de adaptación al cambio climático. Estas organizaciones pueden desempeñar un papel importante en la promoción de prácticas sostenibles, la representación de los intereses de los agricultores y la facilitación del acceso a recursos y financiamiento.

Es importante destacar que estas estrategias y prácticas deben adaptarse a las características específicas de la región norte de Potosí, considerando las condiciones climáticas, los recursos disponibles y las necesidades de los agricultores familiares campesinos. Además, la participación y el diálogo con las comunidades locales son fundamentales para el diseño e implementación efectiva de estas estrategias.

Discusión

La variabilidad de la precipitación en la región norte de Potosí ha experimentado cambios significativos debido al cambio climático y variación climática en las últimas décadas. Se han registrado períodos de lluvias intensas y torrenciales, aunque de corta duración y menos frecuentes. Estos eventos extremos están generando situaciones críticas de sequías y fenómenos adversos en la agricultura. La incertidumbre en los regímenes de precipitación se ha vuelto más pronunciada, ya que las épocas de lluvia y estiaje son altamente variables y cambiantes en el tiempo y el espacio.

Del mismo modo, los agricultores familiares campesinos en la región norte Potosí han desarrollado prácticas agrícolas y calendarios de siembra y cosecha basados en las condiciones climáticas históricas. El cambio climático, con su variabilidad y extremos climáticos, desestabiliza estas condiciones predecibles y dificulta la planificación y el manejo de los cultivos. Muchos agricultores tienen acceso limitado a recursos como tierra, agua, semillas, fertilizantes y tecnologías agrícolas, ello dificulta su capacidad para adaptarse al cambio climático e implementar prácticas agrícolas más resilientes.

Por otro lado, la agricultura familiar en la región norte de Potosí tiene acceso restringido a información, conocimientos y tecnologías agrícolas alternativas, que de alguna forma limita la capacidad de adaptación al cambio climático, la implementación de prácticas agrícolas adecuadas y hace más vulnerable la estructura de su sistema productivo, desembocando en una situación de dependencia y pobreza, que afecta de sobremanera a la seguridad alimentaria.

4. CONCLUSIONES

1. El análisis de las variaciones de precipitación y temperatura en la región norte de Potosí revela un claro patrón de régimen pluviométrico decreciente en los últimos años, lo que indica una disminución gradual de la cantidad de lluvia disponible para la producción agrícola.
2. El manejo adecuado de los recursos hídricos constituye una estrategia determinante para enfrentar los desafíos del cambio climático en la producción agrícola familiar campesino. La implementación de sistemas

de riego eficientes y la captación y almacenamiento de agua son medidas esenciales para garantizar el suministro hídrico necesario para los cultivos.

3. La biodiversidad desempeña un papel fundamental en la resiliencia de los sistemas de producción agrícola familiar campesino. La preservación de la diversidad de cultivos y variedades locales puede contribuir a la adaptación a las variaciones climáticas y reducir la vulnerabilidad al cambio climático.
4. Los impactos ambientales derivados de las variaciones de precipitación y temperatura son evidentes en la región norte de Potosí. La disminución de las lluvias afecta los niveles de humedad del suelo, lo que puede llevar a la erosión, la degradación del suelo y la pérdida de la calidad de los recursos naturales.
5. La vulnerabilidad al cambio climático es especialmente alta en los sistemas de producción agrícola familiar campesino debido a su dependencia directa de las condiciones climáticas. Las variaciones climáticas impredecibles ponen en riesgo la seguridad alimentaria y los ingresos de estas comunidades.
6. La adaptación al cambio climático se manifiesta a través de diversas estrategias. Los agricultores familiares están ajustando sus prácticas agrícolas, diversificando sus cultivos y adoptando tecnologías resistentes al clima para enfrentar las variaciones de precipitación y temperatura, y de esta forma lograr niveles de producción resilientes a los escenarios variables para alcanzar la sostenibilidad productiva y seguridad alimentaria.
7. Los impactos ambientales de las variaciones climáticas se manifiestan en la degradación del suelo, la disminución de la calidad del agua y la pérdida de hábitats naturales. Estos efectos adversos resaltan la importancia de enfoques de producción agrícola sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.
8. La adaptación al cambio climático involucra la incorporación de prácticas agrícolas más resilientes y diversificadas. La agroforestería, los sistemas de cultivo en terrazas y la rotación de cultivos son ejemplos de enfoques que pueden mejorar la capacidad de los agricultores para enfrentar variaciones climáticas.
9. La disminución de la precipitación afecta directamente la capacidad de los suelos para retener humedad; por consiguiente, es

menester considerar prácticas de conservación del suelo, como la cobertura vegetal y la implementación de técnicas de riego eficientes.

REFERENCIAS

- Beck, H. E., et al. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5, 180214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Brandalise, F., Grillo, R., Pinto, L., Serrano, E., & Sánchez, M. (2017). *Conceptualización, caracterización y registro de la agricultura familiar* (O. de la FAO, Ed.). FAO. <http://www.fao.org/3/a-i6959s.pdf>
- Correa Ortiz, L. C., Ocampo López, O. L., & Alba Castro, M. F. (2021). Análisis de tendencia de temperatura y precipitación para el departamento de Caldas (Colombia), mediante wavelets. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(1), 37–52. <https://doi.org/10.18359/rcin.4900>
- Cline, W. R. (2007). *Global warming and agriculture: Impact estimates by country*. Center for Global Development & Peterson Institute for International Economics. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/spa/2008/03/pdf/cline.pdf>
- García, M., Pozo, O., & Rojas, K. (2014). *Eventos extremos a partir de escenarios climáticos: Análisis en municipios rurales en Bolivia*. HELVETAS. https://cebem.org/wp-content/uploads/2019/07/4-2-2-7escenariosh1_Parte1.pdf
- Mancomunidad de Municipios del Norte de Potosí (MMNP). (2013). *Plan estratégico de desarrollo de Norte Potosí 2004–2013*. MMNP.
- MAPBIOMAS Bolivia. (2017). *Mapeo anual de cobertura y uso del suelo en Bolivia*. <https://plataforma.bolivia.mapbiomas.org/>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (2012). *Agricultura campesina familiar y comunitaria: Lineamientos estratégicos de política pública*. Gobierno de Colombia. <https://www.minagricultura.gov.co/Documents/lineamientos-acfc.pdf>
- Nordgren, M. (2011). *Cambios climáticos: Percepciones, efectos y respuestas en cuatro regiones de Bolivia*. CIPCA.
- Oxfam Internacional Bolivia. (2009). *Bolivia: Cambio climático, pobreza y adaptación*. <https://www.bivica.org/files/Bolivia-cambio-climatico.pdf>
- PRODII - Programa de Desarrollo Integral Interdisciplinario. (2023). *Directrices de la estrategia de desarrollo*. <https://prodii.org/sectores-de-trabajo/>

Torres Lima, P., Cruz Castillo, J. G., & Acosta Barradas, R. (2011). Vulnerabilidad agroambiental frente al cambio climático: Agendas de adaptación y sistemas institucionales. *Política y Cultura*, (36), 205–232.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-77422011000200009

Vásquez, L. (2011). *Cambio climático, incidencia de plagas y prácticas agroecológicas resilientes*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA).