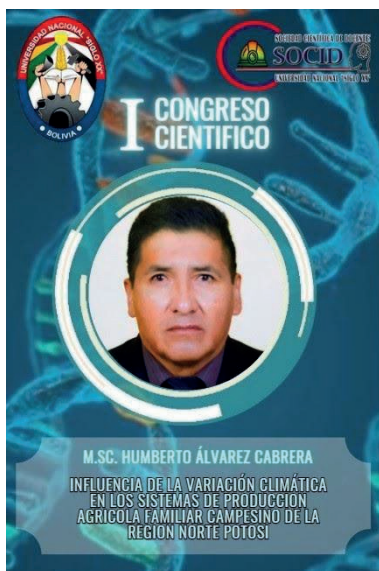




INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN CLIMÁTICA EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA FAMILIAR CAMPESSINO DE LA REGIÓN NORTE POTOSÍ

M.Sc. Humberto Álvarez Cabrera
halvarezc2002@gmail.com
Ingeniería Agronómica
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: *Variación climática, cambio climático, sistema de producción agrícola campesino, adaptación al cambio climático, impacto del cambio climático.*



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.

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 todo 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 los 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.

De acuerdo al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADRC, 2019), 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.

En un sistema de producción agrícola familiar campesino se combinan múltiples dimensiones; económico, político, social, cultural, ambiental (FAO, 2017), 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.

El problema de investigación es:

¿Cómo influye la variación climática en los sistemas de producción agrícola familiar campesino, 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:

Evaluar los cambios históricos y actuales en los patrones de precipitación y temperatura en la región norte Potosí.

Caracterizar el efecto del cambio climático sobre la producción agrícola familiar campesina de la región.



2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La región de Norte Potosí constituye una macrorregión 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

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 cómo 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 Chayanta), los mismos permitieron determinar rendimientos medios de cultivos de papa y cebada en los últimos 5 años.

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.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	,048 ^a	,002	-,002	58,49178	,771

a. Variables predictoras: (Constante), YEAR, not periodic

b. Variable dependiente: precipitación

Tabla 1: Resultados de la prueba de autocorrelación

Fuente: Estación Meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica (UNSXX)

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:

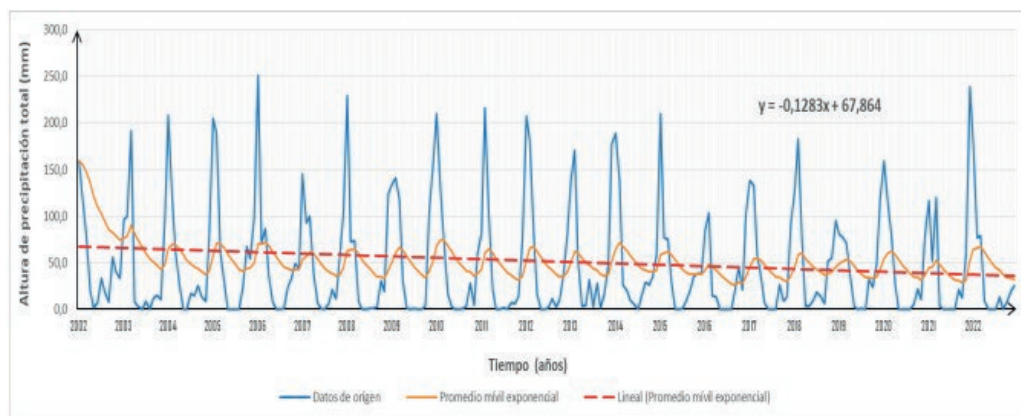


Figura 1: Tendencia y estacionalidad de la serie temporal de precipitación

Fuente: Estación meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica "UNSXX"

Con los datos de origen se efectuó un modelamiento matemático de tipo producto cuya ecuación representativa es: $y = \text{TECI}$ 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 $dy/dx = -0,1283$ (mm mes) 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 siguiente tabla:

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

Fuente.: Estación Meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica (UNSXX)

Tabla 2: Índice estacional mensual

Fuente: Estación Meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica (UNSXX)

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:

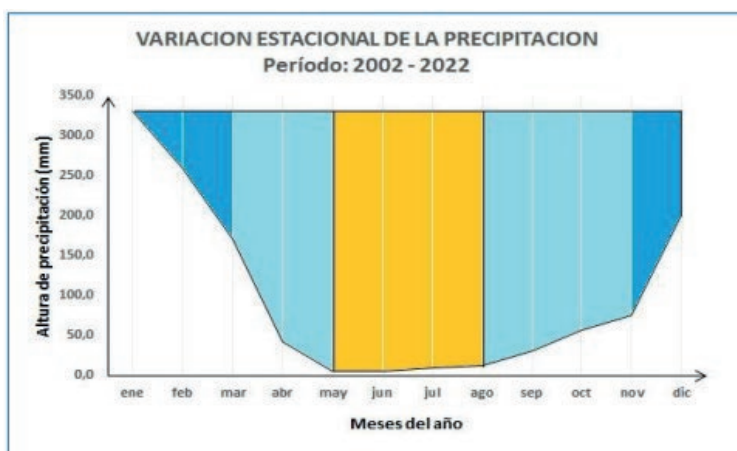


Figura 2: Variación estacional de la precipitación

Fuente: Estación meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica "UNSXX"

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 han 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:

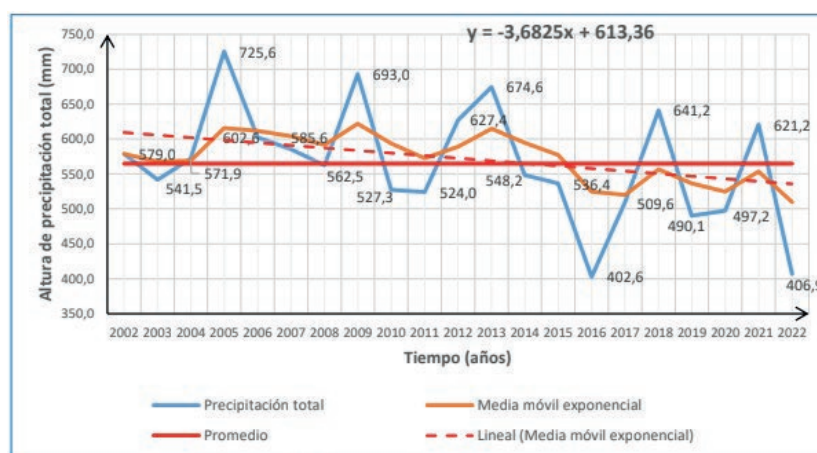


Figura 3: Variación de la precipitación total anual

Fuente: Estación meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica "UNSXX"

De acuerdo a la figura anterior las precipitaciones totales en un período 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 período de tiempo considerado, no obstante considerando el modelo lineal se tiene una estimación matemática de variación de $dy/dx = -3,6825$ (mm año) 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 período 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:

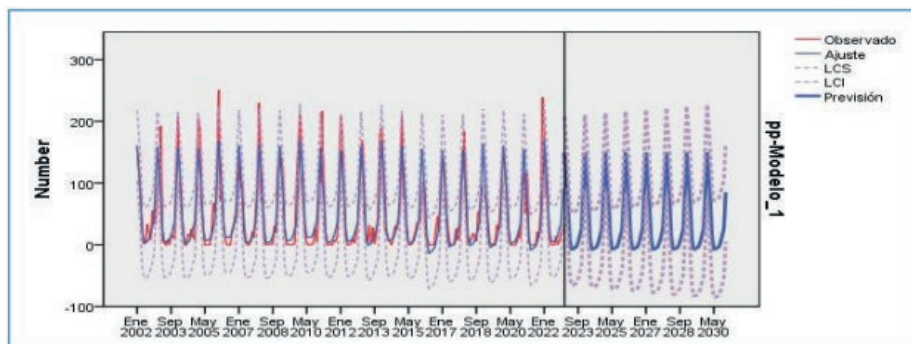


Figura 4: Pronóstico del comportamiento de la serie de datos de precipitación mensual
Fuente: Estación meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica "UNSXX"

El modelo dio como respuesta un pronóstico permisible cuyo ajuste es del 70% de acuerdo al coeficiente de determinación R cuadrado mostrado en la siguiente tabla:

Estadísticos del modelo						
Modelo	Número de predictores	Estadísticos de ajuste del modelo	Ljung-Box Q(18)			Número de valores atípicos
		R-cuadrado estacionaria	Estadísticos	GL	Sig.	
pp-Modelo_1	0	,700	16,791	16	,399	0

Tabla 3: Estadísticos del pronóstico para la serie de datos
Fuente: Estación Meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica (UNSXX)

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

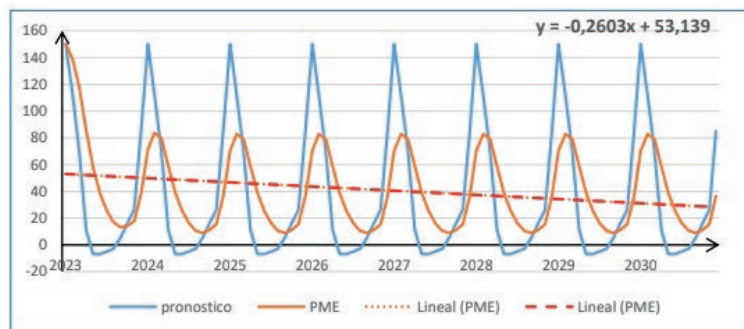


Figura 5: Tendencia y estacionalidad del período pronosticado
Fuente: Estación meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica "UNSXX"

De la misma manera se observa una estacionalidad muy acentuada en el período 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.

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:

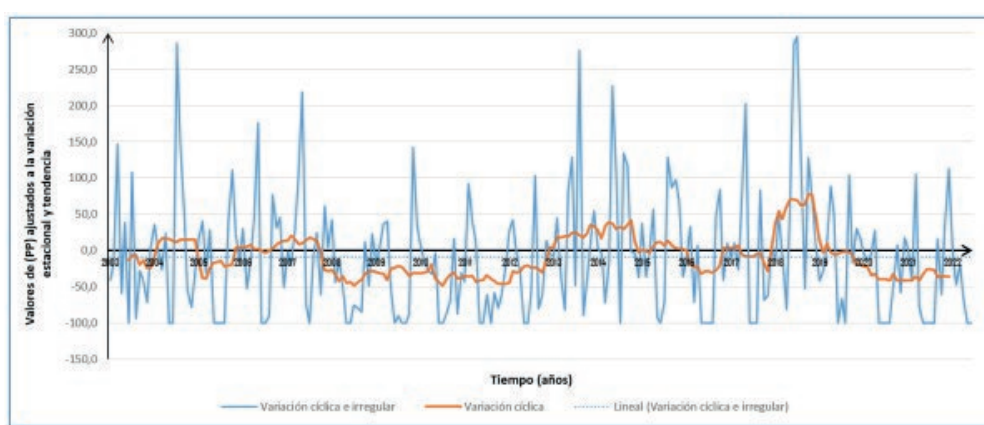


Figura 6: Variación cíclica e irregular de la serie temporal
Fuente: Estación meteorológica Carrera Ingeniería Agronómica "UNSXX"

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.

3.2. 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:



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 4: Rendimiento de papa y cebada (qq/ha)

Fuente: Estimaciones señaladas por productores agrícolas

La tabla anterior 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: $p\text{-valor calculado} < \alpha$ (donde α es el nivel de significación al 5%) se rechaza la hipótesis nula, siendo:

H0: Los datos siguen una distribución normal

H1: Los datos no siguen una distribución normal

Considerando dichos enunciados se tienen los siguientes datos calculados:

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
PP_Total	,236	5	,200 [*]	,912	5	,479
Prod_papa	,272	5	,200 [*]	,898	5	,397
Prod_cebada	,197	5	,200 [*]	,943	5	,685

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Tabla 5: Prueba de normalidad de datos producidos por productores agrícolas

Fuente: Estimaciones señaladas por productores agrícolas

Como se observa en la tabla anterior mediante la prueba señalada, el p valor calculado para las tres variables: PP_total, Prod_papa, Prod_cebada es superior al nivel de significación del 5%, por lo mismo se puede concluir que los datos siguen una distribución normal.

Luego, efectuando un análisis de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) entre la variable de precipitación total como variable independiente, producción de papa y cebada respectivamente como variables dependientes, se tienen los siguientes resultados:

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error tip. de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	,260 ^a	,068	-,243	6,4338	,068	,218	1	3	,673

a. Variables predictoras: (Constante), PP_Total

Tabla 6: Análisis de correlación entre las variables PP_total y Prod_papa**Fuente: Estimaciones señaladas por productores agrícolas**

De acuerdo a la tabla anterior, el coeficiente R de Pearson toma un valor mayor que el 5% (nivel de significancia) sin embargo de acuerdo al intervalo de correlación (0,20 – 0,40) del cuadro de comparación refiere una escasa correlación. Del mismo modo el coeficiente de determinación R cuadrado muestra que tan solo el 6,8 % de la variable dependiente es explicada por la variable independiente y el resto se debe a fluctuaciones aleatorias.

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	9,017	1	9,017	,218	,673 ^b
	Residual	124,183	3	41,394		
	Total	133,200	4			

a. Variable dependiente: Prod_papa

b. Variables predictoras: (Constante), PP_Total

Tabla 7. Resumen de ANOVA**Fuente: Estimaciones señaladas por productores agrícolas**

Del mismo modo en el análisis del coeficiente F de Fisher se tiene la siguiente hipótesis:

Ho: R = 0 (se acepta, si p-valor calculado < 0,05)

H1: R > 0 (se acepta, si p-valor calculado > 0,05)

En la tabla de ANOVA el p- valor encontrado en el modelo es de 0,673 > 0,05 por tanto rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis del investigador concluyendo que las variables dependiente e independiente están linealmente correlacionadas. A continuación se presenta el resumen de coeficientes de regresión:

Coeficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error tip.	Beta		
1	(Constante)	76,268	17,659	4,319	,023
	PP_Total	,015	,033	,260	,673

a. Variable dependiente: Prod_papa

Tabla 8: Resumen de coeficientes de regresión**Fuente: Estimaciones señaladas por productores agrícolas**



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 $dy/dx = 0,015$ 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.

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregido	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	,091 ^a	,008	-,322	2,6474	,008	,025	1	3	,885

a. Variables predictoras: (Constante), PP_total

Tabla 9: Análisis de correlación entre las variables PP_total y Prod_cebada

Fuente: Estimaciones señaladas por productores agrícolas

La tabla anterior muestra que el coeficiente R de Pearson toma un valor de 0,091 que es mayor que el 5% (nivel de significancia) sin embargo de acuerdo al intervalo de correlación (0,00 – 0,20) del cuadro de comparación refiere una ínfima correlación. Del mismo modo el coeficiente de determinación R 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.

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	,174	1	,174	,025	,885 ^b
Residual	21,026	3	7,009		
Total	21,200	4			

a. Variable dependiente: Prod_cebada

b. Variables predictoras: (Constante), PP_total

Tabla: 10. Resumen de ANOVA

Fuente: Estimaciones señaladas por productores agrícolas

Del mismo modo en el análisis del coeficiente F de Fisher se tiene la siguiente hipótesis:

H_0 : $R = 0$ (se acepta, si p-valor calculado $< 0,05$)

H_1 : $R > 0$ (se acepta, si p-valor calculado $> 0,05$)

En la tabla de ANOVA el p- valor encontrado en el modelo es de $0,885 > 0,05$ por tanto recha-

zamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa concluyendo que las variables dependiente e independiente están linealmente correlacionadas.

Coeficientes ^a					
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	7,469	7,266		1,028	,380
PP_total	,002	,013	,091	,158	,885

a. Variable dependiente: Prod_cebada

Tabla 11: Resumen de coeficientes de regresión

Fuente: Estimaciones señaladas por productores agrícolas

La tabla muestra el valor de la constante de 7,469 y la pendiente ligeramente positiva de 0,02 por tanto existe una relación directa y muestra una variación de la variable dependiente (y = cultivo de cebada) de $dy/dx = 0,02$ 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 presentan 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

*Estimación estadística en base a regresión lineal

$$y_p = 0,015x + 76,268$$

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

Tabla 12: Rendimiento de papa y cebada (qq/ha) en períodos puntuales

Fuente: Estimaciones señaladas por productores agrícolas

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, trae consigo efectos adversos de plagas y enfermedades, reduciendo la producción de los cultivos (Vásquez, L., 2011).

4. 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.

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.

5. CONCLUSIONES

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.

El manejo adecuado de los recursos hídricos se presenta como una estrategia crucial para enfrentar los desafíos del cambio climático en la producción agrícola. La imple-

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

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 dependencia de cultivos sensibles al clima. 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.

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.

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.

La disminución del régimen pluviométrico amenaza la disponibilidad de agua para riego, lo que resalta la necesidad de promover la gestión sostenible del agua en la producción agrícola. La captación y almacenamiento de agua de lluvia pueden contribuir a abordar la escasez hídrica estacional.

La reducción de la biodiversidad en los sistemas agrícolas familiares aumenta su vulnerabilidad al cambio climático. La pérdida de variedades locales y la dependencia de cultivos específicos aumentan el riesgo de fracaso de los cultivos ante variaciones climáticas extremas.

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.

La vulnerabilidad al cambio climático se intensifica en las comunidades agrícolas familiares que carecen de acceso a recursos y tecnologías adecuadas. Las poblaciones con recursos limitados enfrentan mayores dificultades para adaptarse a las variaciones



SOBRE EL AUTOR

Humberto Alvarez Cabrera, Ingeniero Agrónomo y Abogado, Especialista en Elaboración y Evaluación de Proyectos, Investigación Aplicada y Estadística aplicada a la Investigación. Docente titular y actual Director de la Carrera Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional "Siglo XX", Ex Director de PIDCOM (Plan Integral de Desarrollo Comunitario, Cochabamba), Ex consultor de FUNDEIB (Fundación para el Desarrollo Integral Boliviano, Cochabamba), Miembro y fundador del directorio de SOCID (Sociedad Científica de Docentes UNSXX).



Figura 7: Exposición del tema