

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES
EN LA PROVINCIA DE GENERAL SÁNCHEZ CERRO, MOQUEGUA DURANTE**

EL PERÍODO 2015 - 2025

PRESENTADA POR:

SONIA YESSICA COLQUE AJAHUANA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO - PERÚ

2026



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](http://www.upsc.edu.pe) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



5.1%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 24 MAR 2026, 11:28 PM

Originality & Authorship Report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
0.73%

● CHANGED TEXT
4.37%

Report #32125057

SONIA YESSICA COLQUE AJAHUANA // ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES EN LA PROVINCIA DE GENERAL SÁNCHEZ CERRO, MOQUEGUA DURANTE EL PERÍODO 2015 - 2025 RESUMEN El cambio climático en la provincia de General Sánchez Cerro se evidencia en las variaciones de temperatura y precipitaciones registradas entre 2015 y 2025. El objetivo de la investigación fue analizar estas dinámicas mediante imágenes satelitales y técnicas de teledetección, aplicando un enfoque cuantitativo, no experimental y de alcance descriptivo-correlacional, con el uso de los softwares RStudio y QGIS, así como datos de Power NASA y del satélite CHIRPS. Los resultados muestran que la temperatura máxima se mantiene cercana a los 20 °C, mientras que la mínima oscila alrededor de 0 °C , con una tendencia ascendente más marcada en esta última (0.0984 °C por año, $R^2 = 0.377$). En contraste, las precipitaciones presentan una alta variabilidad interanual, fluctuando entre 438.66 mm y 629.23 mm, con una leve tendencia decreciente (-2.98 mm por año, $R^2 = -0.0214$). En conclusión, la temperatura mínima en la provincia de General Sánchez Cerro ha mostrado un incremento sostenido a lo largo del tiempo, mientras que las precipitaciones presentan un comportamiento irregular y sin un patrón definido. Estos hallazgos evidencian un escenario de cambio climático caracterizado principalmente por el aumento continuo de la temperatura. Palabras claves: Cambio climático, CHIRPS, precipitación,

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

**ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES
EN LA PROVINCIA DE GENERAL SÁNCHEZ CERRO, MOQUEGUA DURANTE
EL PERÍODO 2015 - 2025**

PRESENTADA POR:

SONIA YESSICA COLQUE AJAHUANA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:


Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

PRIMER MIEMBRO

:


Dra. CELIA VERENISSE ORTIZ DE ORUE ROJAS

SEGUNDO MIEMBRO

:


M.Sc. KORINA ASQUI GOMEZ

ASESOR DE TESIS

:


Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería ambiental

Sub área: Ingeniería ambiental

Línea de investigación: Sensores remotos

Puno, 01 de abril del 2026.

DEDICATORIA

A Dios, por proveerme de la sabiduría, la paciencia y la fortaleza que se requieren para realizar este proyecto. Te agradezco que me hayas acompañado en cada fase y que me hayas dejado conseguir este triunfo con fe y persistencia.

A mis padres Emilio y Martha, por su amor sin condiciones, su apoyo constante y su motivación continua a lo largo de toda mi formación. A mi pareja, por su paciencia, comprensión y por ser el refugio donde encontré las fuerzas necesarias para concluir este proyecto. A mi familia, por enseñarme el valor del esfuerzo y estar a mi lado en cada paso de mi carrera.

Por último a mis amigos, por su compañía y apoyo durante la realización de este estudio. Su apoyo hizo que este proceso fuera más llevadero al compartir conmigo no solo los retos, sino también los momentos de satisfacción.

Sonia Yessica Colque Ajahuana

AGRADECIMIENTOS

- *Agradezco a Dios, por darme la sabiduría, el liderazgo y la fortaleza para llevar a cabo esta investigación, además de la constancia que se requería para vencer cada reto a lo largo del proceso.*
- *A mis padres, por su amor sin condiciones, apoyo incesante y confianza en mí, que me motivaron a seguir avanzando y lograr cada meta académica.*
- *A la Universidad Privada San Carlos, por brindarme el entorno, los recursos y la educación necesarios para llevar a cabo este estudio, lo que apoyó mi crecimiento personal y profesional*
- *A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por ofrecer las herramientas, el asesoramiento y los conocimientos necesarios para afrontar los desafíos de esta investigación, fomentando así el fortalecimiento de habilidades en el campo científico.*
- *A mi asesor, por su guía y paciencia, así como por sus útiles observaciones mientras desarrollaba el trabajo, me orientó para conseguir un estudio riguroso y de calidad.*
- *A los jurados, por su tiempo, su disposición y sus observaciones críticas, que contribuyeron a mejorar esta investigación con sus sugerencias profesionales y constructivas.*
- *De igual manera me gustaría explicitar más sincero agradecimiento a mi ASESOR: MG. JULIO WILFREDO CANO OJEDA quien con su dirección, conocimientos, enseñanza y colaboración, permitió el perfeccionamiento de este trabajo de tesis.*

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.2. ANTECEDENTES	14
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	14
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	16
1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES	18
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	20
2.1.1. CAMBIO CLIMÁTICO	20
2.1.2. CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ANDES	21
2.1.3. TELEDETECCIÓN	22
2.1.4. SENSORES REMOTOS	23
2.1.5. IMÁGENES SATELITALES	24
2.1.6. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	24
2.2. MARCO NORMATIVO	25
2.3. MARCO CONCEPTUAL	26
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	26
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	26
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	26

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO	27
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	28
3.2.1. POBLACIÓN	28
3.2.2. MUESTRA	28
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	28
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	29
3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	29

CAPÍTULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LAS TEMPERATURAS	
MÁXIMAS Y MÍNIMAS DURANTE EL PERÍODO 2015 - 2025.	31
4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LAS	
PRECIPITACIONES DURANTE EL PERÍODO 2015 - 2025.	35
4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	37
4.4. DISCUSIÓN	41
4.5. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	42
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS	49

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Identificación de la variable.	29
Tabla 02: Prueba de normalidad mediante Shapiro-Wilk $95\%=0.05$.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Cambio climático.	20
Figura 02: Cambio climático en los Andes.	21
Figura 03: Teledetección.	23
Figura 04: Mapa de ubicación.	27
Figura 05: Temperatura máxima y mínima de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025)	32
Figura 06: Temperatura máxima anual de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025).	33
Figura 07: Temperatura mínima anual de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025).	34
Figura 08: Precipitación de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025).	36
Figura 09: Precipitación anual de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025).	37
Figura 10: Regresión lineal de la temperatura máxima, mínima y precipitaciones de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025).	38
Figura 11: Regresión lineal de las temperatura máxima, mínima y precipitaciones de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025).	39
Figura 12: Correlación de temperatura máxima, mínima de precipitaciones de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025).	41

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia: Análisis del cambio climático mediante imágenes satelitales en la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua durante el período 2015 - 2025	50
Anexo 02: Datos obtenidos de Power Nasa y CHIRPS de precipitaciones.	51
Anexo 03: Imágenes satelitales de Power Nasa y CHIRPS de precipitaciones.	52
Anexo 04: Evaluación en RStudio	54
Anexo 05: Análisis estadístico.	56

RESUMEN

El cambio climático en la provincia de General Sánchez Cerro se evidencia en las variaciones de temperatura y precipitaciones registradas entre 2015 y 2025. El objetivo de la investigación fue analizar estas dinámicas mediante imágenes satelitales y técnicas de teledetección, aplicando un enfoque cuantitativo, no experimental y de alcance descriptivo-correlacional, con el uso de los softwares RStudio y QGIS, así como datos de Power NASA y del satélite CHIRPS. Los resultados muestran que la temperatura máxima se mantiene cercana a los 20 °C, mientras que la mínima oscila alrededor de 0 °C, con una tendencia ascendente más marcada en esta última (0.0984 °C por año, $R^2 = 0.377$). En contraste, las precipitaciones presentan una alta variabilidad interanual, fluctuando entre 438.66 mm y 629.23 mm, con una leve tendencia decreciente (-2.98 mm por año, $R^2 = -0.0214$). En conclusión, la temperatura mínima en la provincia de General Sánchez Cerro ha mostrado un incremento sostenido a lo largo del tiempo, mientras que las precipitaciones presentan un comportamiento irregular y sin un patrón definido. Estos hallazgos evidencian un escenario de cambio climático caracterizado principalmente por el aumento continuo de la temperatura.

Palabras claves: Cambio climático, CHIRPS, Precipitación, Teledetección, Temperaturas.

ABSTRACT

Climate change in the province of General Sánchez Cerro is evidenced by variations in temperature and precipitation recorded between 2015 and 2025. The objective of this research was to analyze these dynamics using satellite imagery and remote sensing techniques, applying a quantitative, non-experimental, and descriptive-correlational approach with the support of RStudio and QGIS software, as well as data from Power NASA and CHIRPS satellite precipitation records. The results indicate that maximum temperature remains close to 20 °C, while minimum temperature fluctuates around 0 °C, showing a more pronounced upward trend (0.0984 °C per year, $R^2 = 0.377$). In contrast, precipitation exhibits high interannual variability, ranging from 438.66 mm to 629.23 mm, with a slight decreasing trend (-2.98 mm per year, $R^2 = -0.0214$). The minimum temperature in the province of General Sánchez Cerro has shown a sustained increase over time, while precipitation exhibits irregular behavior without a defined pattern. These findings highlight a climate change scenario primarily characterized by the continuous rise in temperature.

Keywords: Climate change, CHIRPS, Precipitation, Remote sensing, Temperatures.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático en la región de Moquegua, específicamente en la provincia de General Sánchez Cerro, se manifiesta a través de fluctuaciones en la temperatura y precipitaciones, lo cual tiene un impacto negativo tanto en los ecosistemas altoandinos como en las labores agrícolas locales. Los cambios climáticos, tanto globales como regionales, generan que los glaciares y los bofedales se reduzcan, que la cobertura vegetal sea menor y que la distribución del agua cambie.

En Puno, Perú, con la intención de analizar el efecto del cambio climático en la producción de los cultivos agrícolas más importantes entre 1996 y 2018, utilizando un modelo econométrico cuadrático, se realizó una investigación no experimental de diseño longitudinal y descriptivo, empleando datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Los resultados señalan que las lluvias tienen un impacto del 26 % en la producción de quinua, el 92 % en la de papa y el 76 % en la de cebada; la temperatura máxima tiene un efecto del 84 % en la producción de quinua, del 96 % en la de papa y del 65 % en la de cebada, mientras que la temperatura mínima influye con un 88 %, un 92 % y un 73 %, respectivamente. También se determinaron los límites climáticos ideales para cada tipo de cultivo, incluyendo 657.97 mm de precipitación, 15.95 °C como temperatura máxima y 1.41 °C como temperatura mínima para la quinua y 774.77 mm de precipitación, con una temperatura máxima de 19.29 °C y una mínima de 4.40 °C para la papa (Quispe et al., 2023).

La investigación presenta como hipótesis; el cambio climático mediante imágenes satelitales en la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua durante el período 2015 - 2025, es significativo. Y con una variable que es el cambio climático.

Por otro lado la investigación está dividida en cuatro capítulos; el capítulo I cuenta con el planteamiento del problema, antecedentes y objetivos de la investigación, el capítulo II

cuenta con el marco teórico e hipótesis de la investigación, el capítulo III cuenta con la metodología de la investigación y finalmente el el capítulo IV cuenta con la exposicion y analisis de los resultados, seguida por las conclusiones y las recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La sostenibilidad del planeta enfrenta una de las amenazas más grandes a nivel mundial: el cambio climático. El aumento de la temperatura media, el deshielo de los glaciares, la elevación del nivel del mar y la intensificación de sucesos extremos como las sequías o las inundaciones son efectos directos del incremento de gases con efecto invernadero en la atmósfera. La vida de millones de personas, la disponibilidad de agua, los ecosistemas y la producción agrícola se ven afectadas por estos cambios, lo que provoca consecuencias sociales, económicas y medioambientales que van más allá de las fronteras de cada país.

La diversidad de climas y zonas geográficas en Perú hace que el cambio climático tiene impactos relevantes. El deshielo de los glaciares andinos sigue ocurriendo a un ritmo acelerado, lo que afecta las fuentes de agua para el riego, el consumo humano y la producción de energía hidroeléctrica. La regularidad de eventos extremos, como sequías prolongadas en la costa y fuertes lluvias en la sierra, pone en riesgo la seguridad alimentaria y trastoca los ciclos agrícolas. El calentamiento global y la acumulación de gases de efecto invernadero son las causas principales, mientras que los efectos se reflejan en una reducción de recursos hídricos, una disminución del rendimiento agrícola y un incremento en la vulnerabilidad de las comunidades.

El cambio climático en la región de Moquegua, específicamente en la provincia de General Sánchez Cerro, se manifiesta a través de fluctuaciones en la temperatura y el agua disponible, lo cual tiene un impacto negativo tanto en los ecosistemas altoandinos como en las labores agrícolas locales. Los cambios climáticos, tanto globales como regionales, generan que los glaciares y los bofedales se reduzcan, que la cobertura vegetal sea menor y que la distribución del agua cambie. Esto amenaza la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los medios de vida de las comunidades locales, lo que hace imprescindible examinar y monitorear continuamente estas transformaciones para planear medidas adaptativas.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo es el cambio climático mediante imágenes satelitales en la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua durante el período 2015-2025?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

P1. ¿Cuanto es la variación de las temperaturas máximas y mínimas durante el período 2015 - 2025?.

P2. ¿Cuanto es la variación de las precipitaciones durante el período 2015 - 2025?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Aguirre et al. (2022), en Chile, con el objetivo del artículo es examinar la manera en que se analiza el cambio climático, tomando en cuenta la interacción entre las circunstancias investigativas particulares del país y la visión global del fenómeno. Para tal fin, se hicieron observaciones y entrevistas con integrantes del Centro de Ciencias del Clima y la Resiliencia. Los resultados revelan que las ciencias del clima en Chile tienen un carácter híbrido, pues lo global y lo local se combinan. Esto es evidente en cómo están organizadas las comunidades científicas y en el uso de instrumentos para visualizar. Además, se nota que las especificidades locales afectan la producción de conocimiento,

lo cual genera una "cultura de lo inacabado" que afecta la comprensión del cambio climático a escala nacional.

Peña & Sandoval (2024), en el sector centro-sur de Chile, con el objetivo de analizar las representaciones sociales del cambio climático entre áreas rurales y urbanas. Un diseño mixto fue utilizado, a través de una encuesta online aplicada a 238 participantes. El análisis se llevó a cabo desde enfoques categoriales y prototípicos, con base en la teoría de las representaciones sociales y su perspectiva estructural. Los resultados muestran que, a pesar de que las dos poblaciones comparten la percepción de la seriedad del cambio climático y de la relevancia de sus causas antropogénicas, se diferencian en cómo interpretan sus efectos y consecuencias. Esto afecta el orden prioritario de los problemas y las soluciones medioambientales según el contexto. Estos hallazgos muestran la variabilidad territorial en la percepción del fenómeno y resaltan lo relevante que es el modelo de representaciones sociales para su análisis desde una perspectiva psicosocial.

Villamizar (2024), en la Antártica, con el objetivo de analizar el marco legal actual y valorar la forma en que las reglas del Derecho Internacional fuera de la Antártica pueden definir las responsabilidades de los Estados en temas ambientales. Para ello, se realizó un análisis legal del Tratado Antártico y de otras regulaciones internacionales vinculadas a la protección del medio ambiente. Los resultados demuestran que una interpretación apropiada del Tratado es capaz de actuar como un "puente" entre diversos sistemas jurídicos, proporcionando las bases para salvaguardar al continente y dirigiendo medidas para disminuir los efectos adversos del calentamiento global.

Medina et al. (2023), en los municipios mexicanos, el propósito del estudio fue analizar la pobreza energética desde el punto de vista social, en términos de acceso a la energía y su relación con elementos medioambientales como la temperatura, los relieves y las precipitaciones. Para ello, se realizó un análisis cartográfico usando Sistemas de

Información Geográfica (SIG) y se creó un indicador de pobreza energética basado en los datos del censo de 2020. Los descubrimientos revelan que alrededor del 43,75 % de las municipalidades tienen altos o muy altos niveles de pobreza energética, con marcadas diferencias regionales y tres áreas principales localizadas al norte, occidente y sur del país. Asimismo, se demostró que la pobreza energética está vinculada con condiciones sociales y puede estar afectada por el cambio climático, lo que resalta cuán importante es tener en cuenta el espacio geográfico al analizarla.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Maquera et al. (2024), en la zona de Tacna, ubicada al sur de Perú, con el objetivo de analizar cómo ha cambiado el uso del suelo a lo largo del tiempo y en el espacio para mejorar la administración del riego de un acuífero que se encuentra sobreexplotado. Se utilizaron técnicas de aprendizaje automático y fotografías satelitales de acceso libre tomadas entre 1985 y 2021 con el propósito de categorizar el suelo y determinar índices de biomasa. Los resultados indican que la superficie de cultivo se incrementó en un 373,2 %, sobre todo entre los años 2015 y 2021. Las fluctuaciones en la presencia de sequía se mostraron a través de los índices de condición vegetal (VHI, TCI y VCI): El VCI, que pasó de 0,1 a 0,98, señala la ausencia general de sequía; el TCI reportó sequías en los años 2000, 2005 y 2010 y condiciones normales en otros; y el VHI detectó sequías leves a moderadas en los años 1990, 2000, 2005 y 2010 y condiciones normales en los años 1985, 1995, 2015 y 2021. Estas fluctuaciones demuestran cómo inciden la variabilidad y el cambio climático en la zona.

Quilca et al. (2022), en el área de Puno, Perú, con el objetivo de examinar la manera en que el cambio climático impacta la producción y la productividad de la cebada grano. Para esto, se utilizó una regresión lineal múltiple por medio de mínimos cuadrados ordinarios, empleando información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), abarcando desde 1965 hasta 2020. La

producción y el rendimiento del cultivo fueron consideradas como variables dependientes, mientras que la temperatura máxima (T_{max}), la temperatura mínima (T_{min}) y la precipitación pluvial (P_{pvl}) se tomaron como variables independientes. Los cambios climáticos son responsables del 30% de la productividad de la cebada, y la producción está determinada en un 46.97% por las precipitaciones y la temperatura máxima, incluyendo su efecto cuadrático.

Quispe et al. (2023), en Puno, Perú, con la intención de analizar el efecto del cambio climático en la producción de los cultivos agrícolas más importantes entre 1996 y 2018, utilizando un modelo econométrico cuadrático, se realizó una investigación no experimental de diseño longitudinal y descriptivo, empleando datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Los resultados señalan que las lluvias tienen un impacto del 26 % en la producción de quinua, el 92 % en la de papa y el 76 % en la de cebada; la temperatura máxima tiene un efecto del 84 % en la producción de quinua, del 96 % en la de papa y del 65 % en la de cebada, mientras que la temperatura mínima influye con un 88 %, un 92 % y un 73 %, respectivamente. También se determinaron los límites climáticos ideales para cada tipo de cultivo, incluyendo 657.97 mm de precipitación, 15.95 °C como temperatura máxima y 1.41 °C como temperatura mínima para la quinua y 774.77 mm de precipitación, con una temperatura máxima de 19.29 °C y una mínima de 4.40 °C para la papa.

Quispe et al. (2022), en la zona productora de Lampa, Puno, Perú, con el fin de valorar las consecuencias del cambio climático sobre la producción de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*). Para verificar las hipótesis, se utilizó un modelo polinómico de segundo grado de función de producción y se adoptó un método cuantitativo; los datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú y los del Ministerio de Agricultura y Riego fueron empleados. Los resultados revelan que el 53,68 % del rendimiento de la cosecha

se debe a las variables climáticas. La temperatura mínima y la humedad relativa son las que más impacto tienen; un incremento del 1 °C en la temperatura mínima y de 1 % en la humedad relativa origina un aumento de 7,62 kg/ha y 15,91 kg/ha, respectivamente.

Chanove & Cárdenas (2025) en los bosques andinos de Queñua (*Polylepis*) ubicados en Perú, el objetivo fue examinar la fragmentación, disminución de conectividad y susceptibilidad al cambio climático. Se realizó una revisión bibliográfica de artículos científicos, documentos y regulaciones de Perú. Si bien el cambio climático ha tenido un efecto en estos bosques a través del tiempo, algunos estudios indican que los ecosistemas de *Polylepis* tienen una cierta resiliencia, lo cual pone de relieve la importancia de realizar más investigaciones para impulsar su restauración y conservación como tácticas para adaptarse al clima.

1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES

Obregón (2024), en Perú con el propósito de examinar los efectos que fenómenos climáticos importantes, como El Niño, La Niña y ciclones, tuvieron en la economía y la agricultura entre 2022 y 2024. Se realizó un examen de las series históricas y documentales de sucesos climáticos, tomando en cuenta la conexión entre las anomalías térmicas del Pacífico, la Zona de Convergencia Intertropical y los fenómenos extremos a nivel local. Los resultados apuntan a que El Niño, especialmente el evento costero de 2023, causó desbordamientos e inundaciones en la costa y sequías en la sierra; por otro lado, La Niña produjo precipitaciones fuertes en ciertas regiones y sequías en otras. Asimismo, fenómenos particulares como el ciclón "Yaku" tuvieron un impacto directo en las condiciones locales, lo que afectó la producción de cultivos tanto para exportación como para consumo interno y provocó efectos económicos importantes, incluyendo la eliminación de puestos de trabajo en el sector agrícola.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el cambio climático mediante imágenes satelitales en la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua durante el período 2015 - 2025.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O1. Determinar la variación de las temperaturas máximas y mínimas durante el período 2015 - 2025.

O2. Determinar la variación de las precipitaciones durante el período 2015 - 2025.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático se refiere a modificaciones importantes y duraderas en los patrones del clima terrestre, como lo son los cambios en la temperatura, las lluvias, los vientos y las situaciones extremas. Si bien estos cambios pueden ocurrir de forma natural, las acciones humanas actuales, como la quema de combustibles fósiles, la tala de bosques y la emisión de gases que causan el efecto invernadero, han hecho que el proceso se acelere y que el calentamiento global sea cada vez más notorio (Royo, 2023).

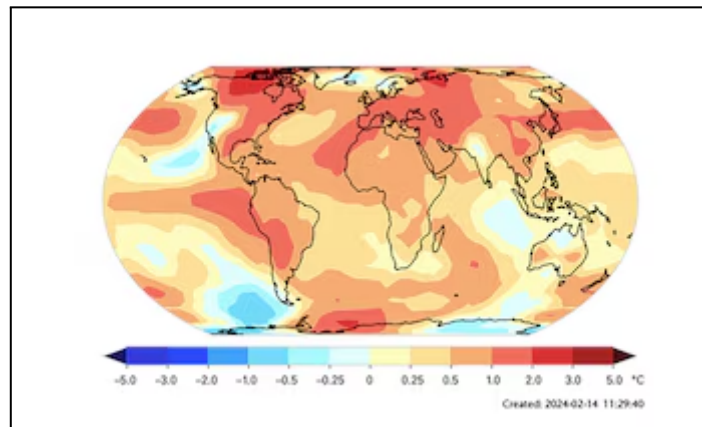


Figura 01: Cambio climático.

Fuente: (Estenssoro, 2010).

Este fenómeno tiene un efecto directo e indirecto sobre los ecosistemas, la agricultura, los recursos de agua y la vida de las personas. El deshielo de los glaciares, el cambio en

la biodiversidad, las sequías e inundaciones severas y la elevación del nivel del mar son algunos de sus impactos. Para diseñar acciones de adaptación y mitigación que protejan al medioambiente y a las sociedades de estos efectos, es esencial entender el cambio climático (Royo, 2023).

2.1.2. CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ANDES

En la zona andina, el cambio climático se manifiesta con alteraciones notables y persistentes en el clima, entre las que se encuentran cambios en la temperatura y los patrones de lluvia, así como el deshielo de glaciares y la presencia de fenómenos extremos como sequías e inundaciones. Aunque algunas de estas variaciones son espontáneas, las actividades humanas, como la minería, la emisión de gases con efecto invernadero y la deforestación, han acelerado estos cambios y han modificado los ecosistemas montañosos (Alba, 2022).

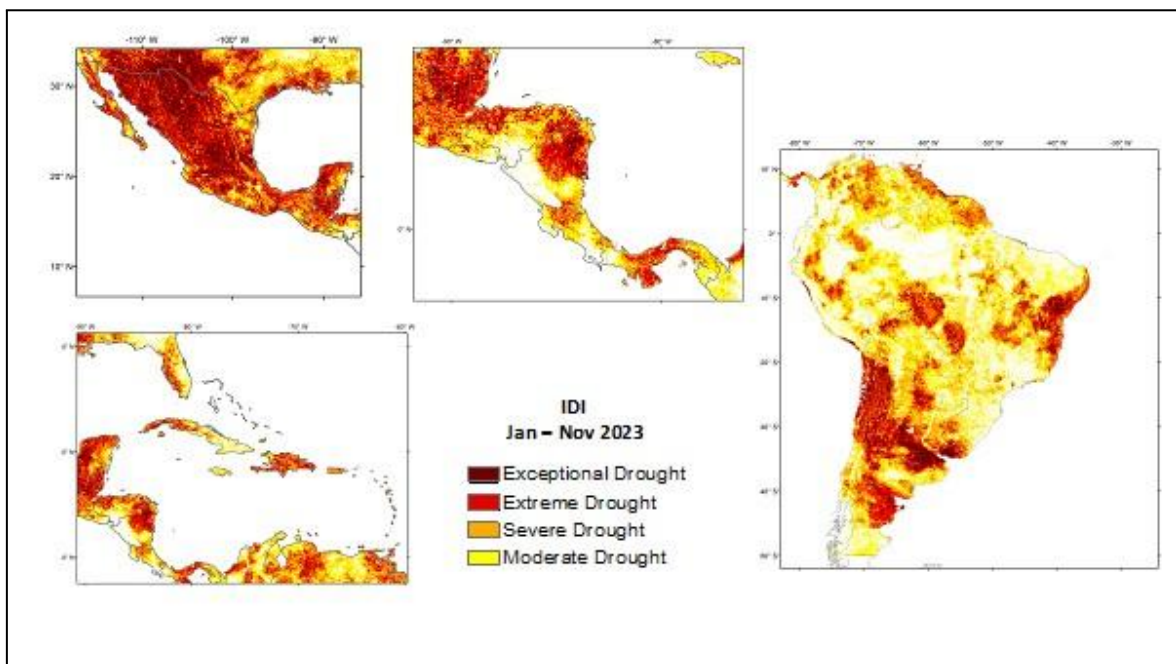


Figura 02: Cambio climático en los Andes.

Fuente: (Alba, 2022).

Estos cambios afectan de manera directa la agricultura, el abastecimiento de agua y la vida de las comunidades que se sustentan con los recursos andinos. Asimismo, generan

alteraciones en la biodiversidad y en la estabilidad del terreno, lo que incrementa la susceptibilidad ante catástrofes naturales. Es esencial entender el cambio climático en los Andes para elaborar métodos de adaptación que salvaguarden a las poblaciones locales y a los ecosistemas (Ascorra et al., 2025).

2.1.2.1 Temperaturas

La temperatura es un componente del clima que refleja la cantidad de frío o calor en el aire en un lugar y momento determinados. Desempeña un papel crucial en los procesos naturales, pues afecta el crecimiento de la flora, la evaporación del agua y la vida de los organismos; también impacta las actividades humanas y la manera en que funcionan los ecosistemas (Pacheco et al., 2023).

2.1.2.2 Precipitaciones

Se conoce como precipitación al agua que cae de la atmósfera hacia la superficie terrestre en forma de llovizna, granizo, nieve o lluvia. Es un elemento fundamental de la producción agrícola y del ciclo hidrológico, ya que su volumen y distribución regulan el equilibrio ecológico, la humedad del terreno y el flujo fluvial (Pacheco et al., 2023).

2.1.3. TELEDETECCIÓN

La teledetección es un método que hace posible la recolección de datos acerca de la superficie del planeta sin necesidad de contacto físico, empleando sensores situados en satélites o plataformas aéreas. Estos aparatos detectan la energía que emiten o reflejan los objetos, lo cual permite identificar y analizar rasgos del territorio, tales como el tipo de vegetación, la cobertura del suelo y los cuerpos de agua (Maddio et al., 2023).

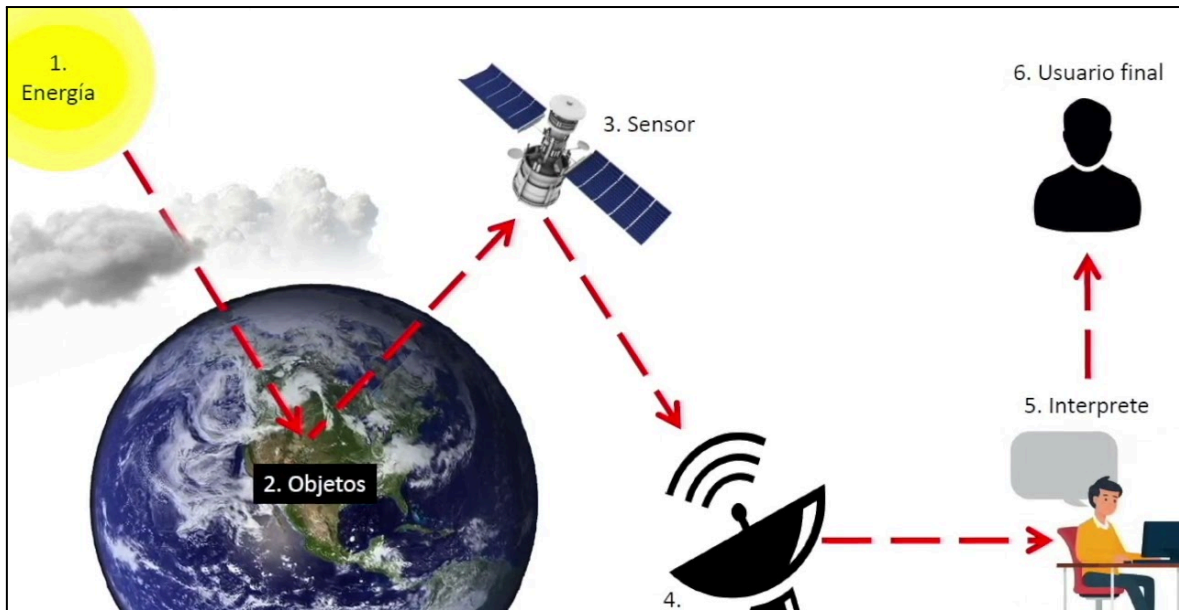


Figura 03: Teledetección.

Fuente: (Rodríguez & Siccha, 2022).

Esta metodología es utilizada extensamente en investigaciones medioambientales porque posibilita examinar y analizar la transformación del clima, las variaciones en el uso del suelo y la dinámica de los ecosistemas con el paso del tiempo. También permite un análisis constante y exacto de extensas zonas, lo que ayuda a tomar decisiones en áreas como la planificación territorial, la agricultura y la gestión del medio ambiente (Rodríguez & Siccha, 2022).

2.1.4. SENSORES REMOTOS

Los sensores remotos son dispositivos que posibilitan la recopilación de datos de la superficie terrestre sin necesidad de contacto físico directo. Están ubicados en drones, aeronaves o satélites y recogen la energía que los objetos emiten o reflejan. Esto permite recopilar información acerca de los cuerpos acuáticos, la vegetación, el suelo y la atmósfera (Campos & Figueroa, 2024).

Estos equipos son fundamentales para el análisis de la atmósfera y del medio ambiente, pues permiten que se haga un seguimiento de las variaciones temporales y espaciales en extensas regiones. Los sensores remotos permiten el monitoreo de procesos como los

fenómenos naturales extremos, la variabilidad climática y la deforestación. De esta forma, se colabora con la planificación territorial y con el manejo sostenible de los recursos (Campos & Figueroa, 2024).

2.1.5. IMÁGENES SATELITALES

Las imágenes satelitales son visualizaciones de la superficie terrestre, adquiridas mediante sensores que se encuentran en satélites que orbitan el planeta. Estos registros recogen la energía que emiten o reflejan los diferentes componentes de la Tierra (como el agua, las zonas urbanas, la vegetación y el suelo), lo cual posibilita estudiar sus rasgos y su comportamiento (Quezada et al., 2022).

Para investigar el medioambiente y la dinámica del territorio a través del tiempo, su uso es esencial. Se pueden ver los ecosistemas, la utilización y la cobertura del suelo, las alteraciones climáticas y el suceso de desastres naturales a través de imágenes satelitales. Esto brinda información valiosa para la planificación territorial, la gestión ambiental y la investigación científica (Quezada et al., 2022).

2.1.6. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético incluye las diversas longitudes de onda de la radiación que los sensores detectan a partir de la energía que se refleja o emite desde la superficie terrestre, en el marco de las imágenes satelitales. El agua, la vegetación y el suelo reaccionan de manera distinta a esta energía, lo que posibilita identificar y diferenciar sus rasgos en las imágenes adquiridas (Hurtado & Lizarazo, 2022).

Se puede obtener información exacta acerca de las condiciones físicas y ambientales del área al aprovechar diversas regiones espectrales, incluyendo la luz visible y el infrarrojo en sus diferentes variantes. Así, se pueden examinar elementos como la temperatura de la superficie, la humedad y la cobertura vegetal, que son esenciales para el estudio del medio ambiente y el clima (Hurtado & Lizarazo, 2022).

2.2. MARCO NORMATIVO

REGLAMENTO DE LA LEY MARCO SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO

Artículo 1°. - Propósito

El propósito de esta norma es regular las directrices generales establecidas en la Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático (LMCC), enfocándose en la planificación, coordinación, implementación, seguimiento, evaluación, reporte y divulgación de las políticas públicas para la gestión integral en relación al cambio climático. Estas políticas están orientadas a brindar resultados en beneficio del ciudadano, con el objetivo de disminuir la vulnerabilidad del país frente a los efectos del cambio climático, aprovechar las oportunidades de desarrollo con baja emisión de carbono y cumplir con los compromisos internacionales que el Estado ha asumido ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

Artículo 2°. - Área de aplicación

Este Reglamento debe ser cumplido de manera general y es obligatorio en todo el país, aplicándose a todas las entidades estatales y a los tres niveles de gobierno, así como a actores no estatales que están relacionados con la gestión integral del cambio climático.

Artículo 3°. - Fundamentos y enfoques para la gestión integral del cambio climático

Este Reglamento se basa en los principios establecidos en la Ley N° 28611, Ley General del Medio Ambiente; la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental; la Política Nacional del Ambiente, que fue aprobada mediante el Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM; la CMNUCC, autorizada por la Resolución Legislativa N° 26185, y la LMCC, entre los cuales se destacan principios como la integración, la transversalidad, la subsidiariedad, la rendición de cuentas, la transparencia, la participación, la prevención y la gobernanza climática.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Altitud. Es la distancia del mar con respecto a la tierra, también un elemento geográfico que influye en los cambios de clima.

Cambio climático. Se refiere a modificaciones importantes y duraderas en los patrones del clima terrestre, como lo son los cambios en la temperatura, las lluvias, los vientos y las situaciones extremas.

Multitemporal. Es una metodología de teledetección, que evalúa la serie de las fechas.

Rstudio. Es un software de lenguajes de programación, enfocados en estadísticas y los sistemas de información geográfica

Temperatura. Es un componente del clima que refleja la cantidad de frío o calor en el aire en un lugar y momento determinados.

Qgis. Es un software de sistemas de información geográfica, donde se analizan datos geoespaciales.

Precipitación. Es el agua que cae de la atmósfera hacia la superficie terrestre en forma de llovizna, granizo, nieve o lluvia.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

El cambio climático mediante imágenes satelitales en la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua durante el período 2015-2025, es significativo.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

H1. La variación de las temperaturas máximas y mínimas durante el período 2015 - 2025, es ascendente.

H2. La variación de las precipitaciones durante el período 2015 - 2025, es descendente.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La provincia de General Sánchez Cerro, ubicada en la región Moquegua, en el sur de Perú, es el área de investigación. En términos geográficos, se extiende entre los 15°30' y 17°30' de latitud sur y entre los 70°30' y 72°00' de longitud oeste. Se distingue por un relieve marcadamente andino, con montañas que tienen altitudes que oscilan entre los 2,000 y más de 4,800 metros sobre el nivel del mar.

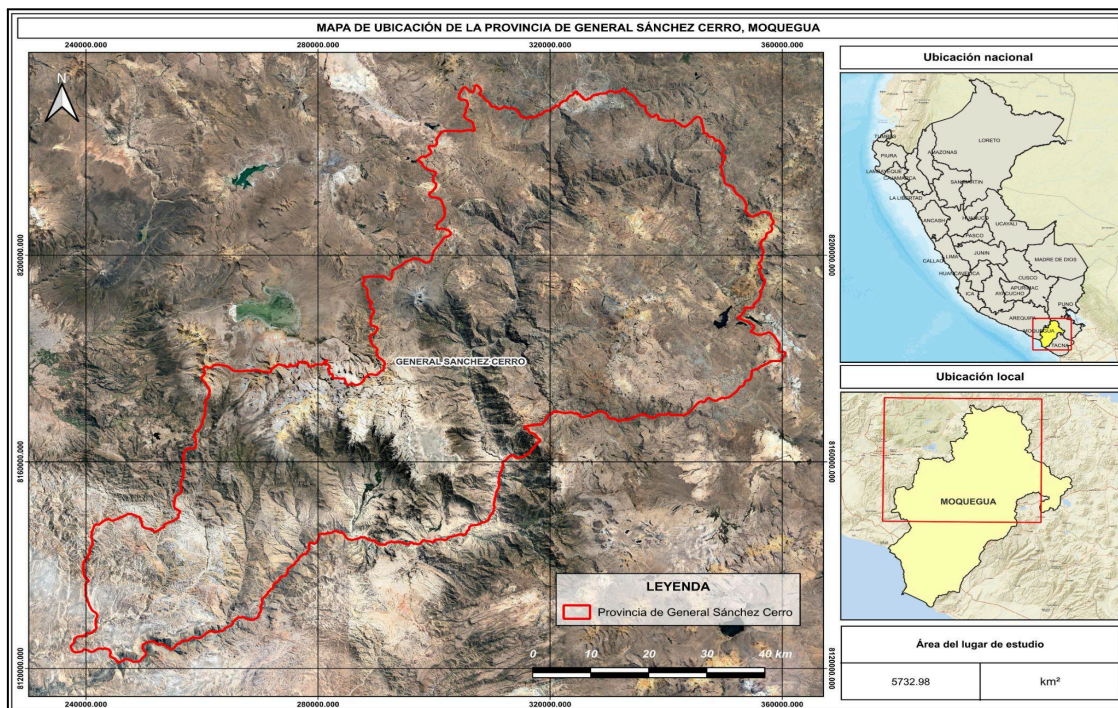


Figura 04: Mapa de ubicación.

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población de este estudio incluye la totalidad de las escenas de las imágenes satelitales sobre la provincia General Sánchez Cerro, con un área de 5732.98 km², tomando como marco el periodo 2015 - 2025.

3.2.2. MUESTRA

La muestra está formada por los píxeles de las imágenes satelitales durante los periodos de estudio, detectando temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

La investigación se ubica dentro de un enfoque cuantitativo con diseño no experimental, dado que no se modifican las variables, sino que se opera con datos obtenidos anteriormente a través de imágenes satelitales del periodo 2015 - 2025 en la provincia de General Sánchez Cerro, ubicada en la región de Moquegua, al sur del Perú. El proceso metodológico incluye la adquisición, depuración y comparación de imágenes en diferentes momentos temporales con el fin de identificar variaciones en parámetros como la temperatura superficial, los recursos hídricos y la cobertura vegetal. Utilizando instrumentos de análisis geoespacial y teledetección, se cuantifican y organizan las variaciones detectadas, lo que posibilita el reconocimiento de tendencias y patrones vinculados al cambio climático sin la necesidad de interferir directamente en el medio estudiado.

La metodología usada para el **Objetivo específico 1**, fue examinar la fluctuación de las temperaturas mínimas (Tmin) y máximas (Tmax) entre 2015 y 2025 en la provincia General Sánchez Cerro, a partir de datos satelitales suministrados por POWER NASA. Se recolectaron series temporales de temperatura, que se depuraron y procesaron para garantizar su calidad y consistencia. Luego, se utilizaron análisis correlacionales y

estadísticos para analizar las tendencias a través del tiempo, identificando la relación entre los años y los valores de Tmax y Tmin.

Para examinar la variación de las lluvias durante el mismo periodo, en lo que respecta al **Objetivo específico 2**, se emplearon imágenes satelitales de CHIRPS. Se ordenaron los datos en series temporales y se llevó a cabo un análisis anual comparativo para identificar modificaciones en los volúmenes de lluvia, utilizando correlaciones de Pearson y métodos SIG para vincular la variabilidad de la precipitación con el tiempo. Esta estrategia permitió detectar patrones climáticos y definir las tendencias de precipitación y temperatura en la provincia de General Sánchez Cerro.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 01: Identificación de la variable.

Variable	Dimensiones	Indicador	Unidad de medida
Cambio climático	Temperatura máxima	Valor máximo de temperatura anual	°C
	Temperatura mínima	Valor mínimo de temperatura anual	°C
	Precipitación	Total de lluvias acumuladas	mm

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño estadístico del estudio se realizó con un enfoque cuantitativo no experimental y utilizó el análisis de series temporales para analizar las fluctuaciones climáticas en la provincia de General Sánchez Cerro a lo largo de los años 2015-2025. A lo largo del tiempo, para determinar las tendencias en la temperatura máxima y mínima, además de

los niveles de precipitación, se llevaron a cabo regresiones lineales. Se realizó el test de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad de los datos antes de realizar los análisis, asegurando así que se cumplan las premisas estadísticas. Por último, se empleó la correlación de Pearson para analizar la conexión entre los años y las variables climáticas. Esto permitió que se pudiera calcular con exactitud el sentido y la magnitud de las tendencias en términos de temperatura y precipitación dentro del área estudiada.

CAPÍTULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS DURANTE EL PERÍODO 2015 - 2025.

La Figura 05 muestra que, entre 2015 y 2025, la temperatura máxima media anual (T_{max}) en la provincia de General Sánchez Cerro se mantiene alrededor de los 20 °C, con variaciones que oscilan entre los 19.9 °C en 2018 y el máximo de 21.5 °C en 2024. Esto indica una tendencia al aumento en los años más recientes; este incremento se hace más marcado a partir del año 2022, cuando la T_{max} llega a ser de 21.4 °C en el año siguiente (2023), seguido por una reducción a 20.0 °C en el año final (2025). Respecto a la temperatura mínima media anual (T_{min}), los registros oscilan cerca de los 0 °C, con un mínimo de -0.5 °C en 2018 y un máximo de 0.9 °C en 2024. Esto muestra que las condiciones nocturnas son frías, pero han ido aumentando gradualmente en años recientes. En general, estos hallazgos indican una progresiva tendencia al incremento de la temperatura, que se aprecia sobre todo en las temperaturas mínimas y máximas recientes. Esto puede ser visto como una señal local de cambio climático en el ambiente altoandino.

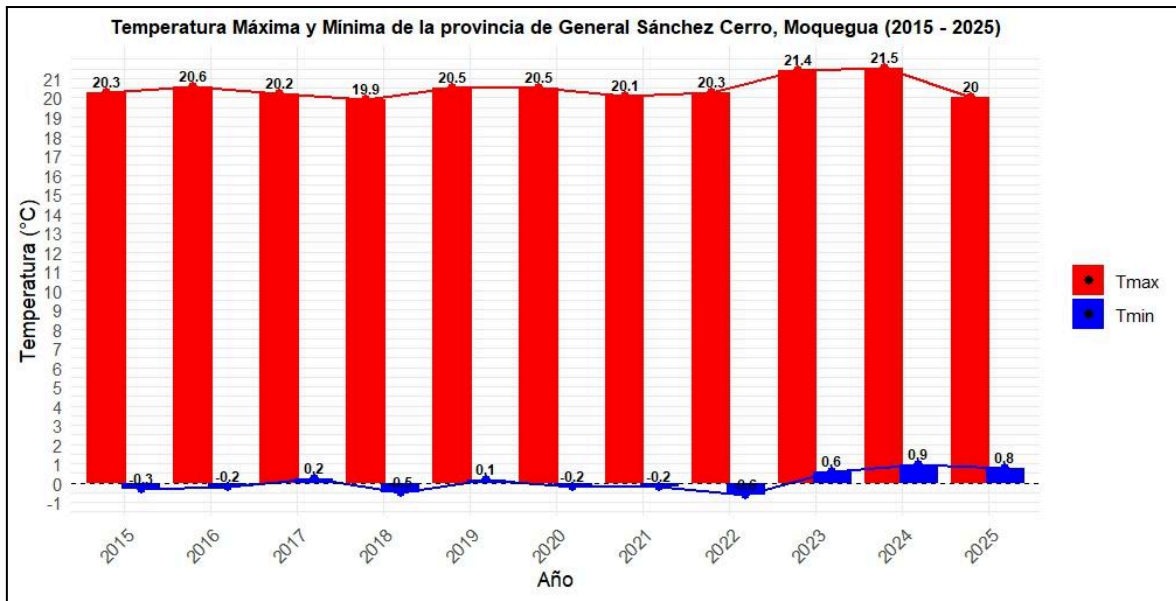


Figura 05: Temperatura máxima y mínima de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025)

En la Figura 05 se muestra el cambio espacial de la temperatura máxima anual (Tmax) durante el periodo 2015 - 2025. Según la escala cromática, los valores oscilan entre aproximadamente 17.5 °C y más de 25 °C. Las temperaturas más bajas, que rondan entre los 17.5 y los 19 °C, están representadas por tonalidades amarillas y se vinculan principalmente con las zonas de altitud elevada. Los colores anaranjados denotan rangos intermedios de cerca de 20 - 22.5 °C y son predominantes en gran parte del área estudiada. Por el contrario, los tonos rojos simbolizan las temperaturas más altas, sobrepasando los 25 °C, que se presentan de forma invariable en la zona suroeste de la provincia. En términos generales, el patrón espacial se ha mantenido constante a través de los años; sin embargo, se puede observar que la extensión y la intensidad de los colores rojos y anaranjados han ido en aumento en los años más recientes, sobre todo entre 2022 y 2024. Esto sugiere una tendencia progresiva hacia un incremento de las temperaturas máximas y muestra que en esta área se está produciendo un proceso sostenido de calentamiento.

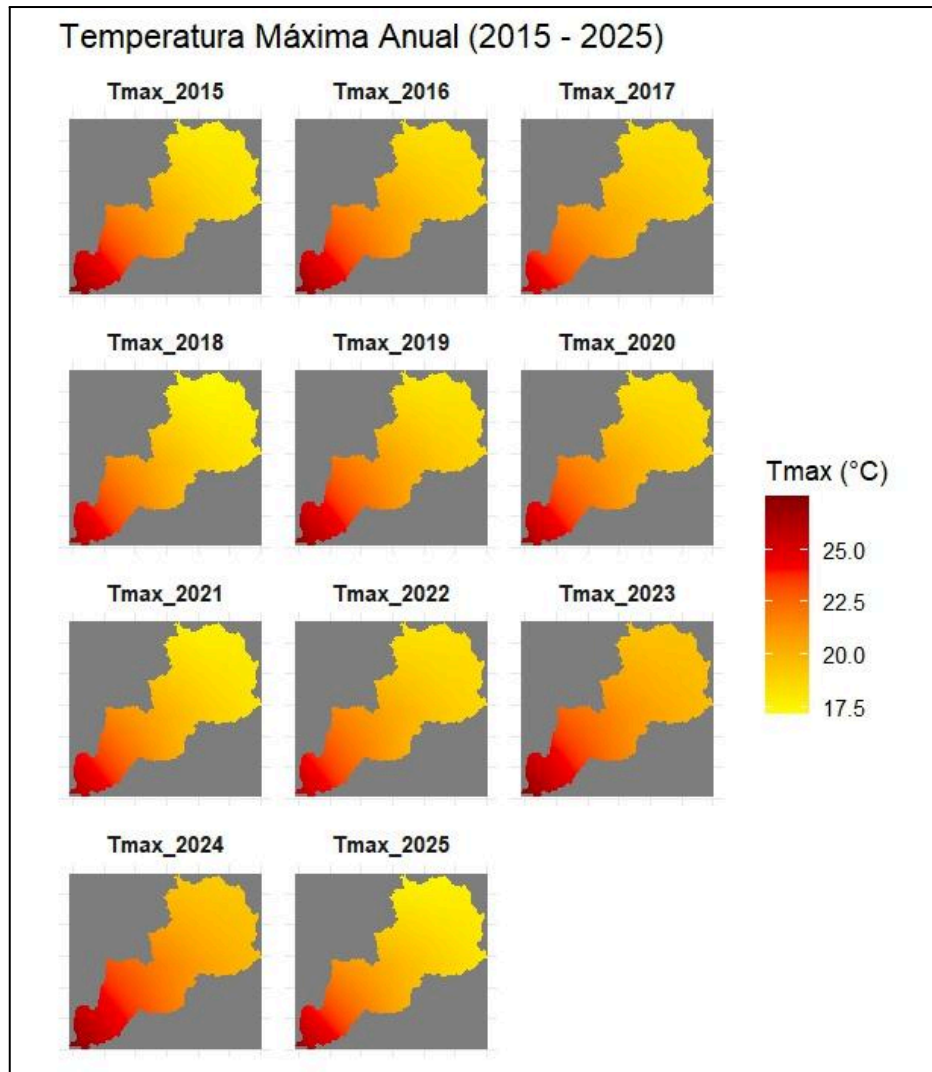


Figura 06: Temperatura máxima anual de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025).

En la Figura 06 se presenta el modelo espacial de la temperatura mínima anual (T_{min}) entre 2015 y 2025, con mediciones que, según la escala cromática, varían aproximadamente entre $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las tonalidades azules representan los valores más bajos, cercanos a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ o $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, que son predominantes en regiones de alta altitud y están vinculados a noches muy frías; las tonalidades celestes y verdosas indican rangos intermedios, de entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, que se encuentran en zonas de transición topográfica; mientras que los tonos amarillos, naranjas y rojos corresponden a las temperaturas mínimas más altas (entre $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $15\text{ }^{\circ}\text{C}$), situadas sobre todo en el área suroccidental.

Este gradiente espacial se sostiene durante el periodo estudiado, pero en los años más recientes, sobre todo entre 2022 y 2024, se observa una expansión mayor de los colores cálidos. Esto indica que las temperaturas mínimas han aumentado a lo largo del tiempo y que las condiciones más frías han disminuido en términos relativos, lo cual es coherente con un proceso de calentamiento nocturno en la región.

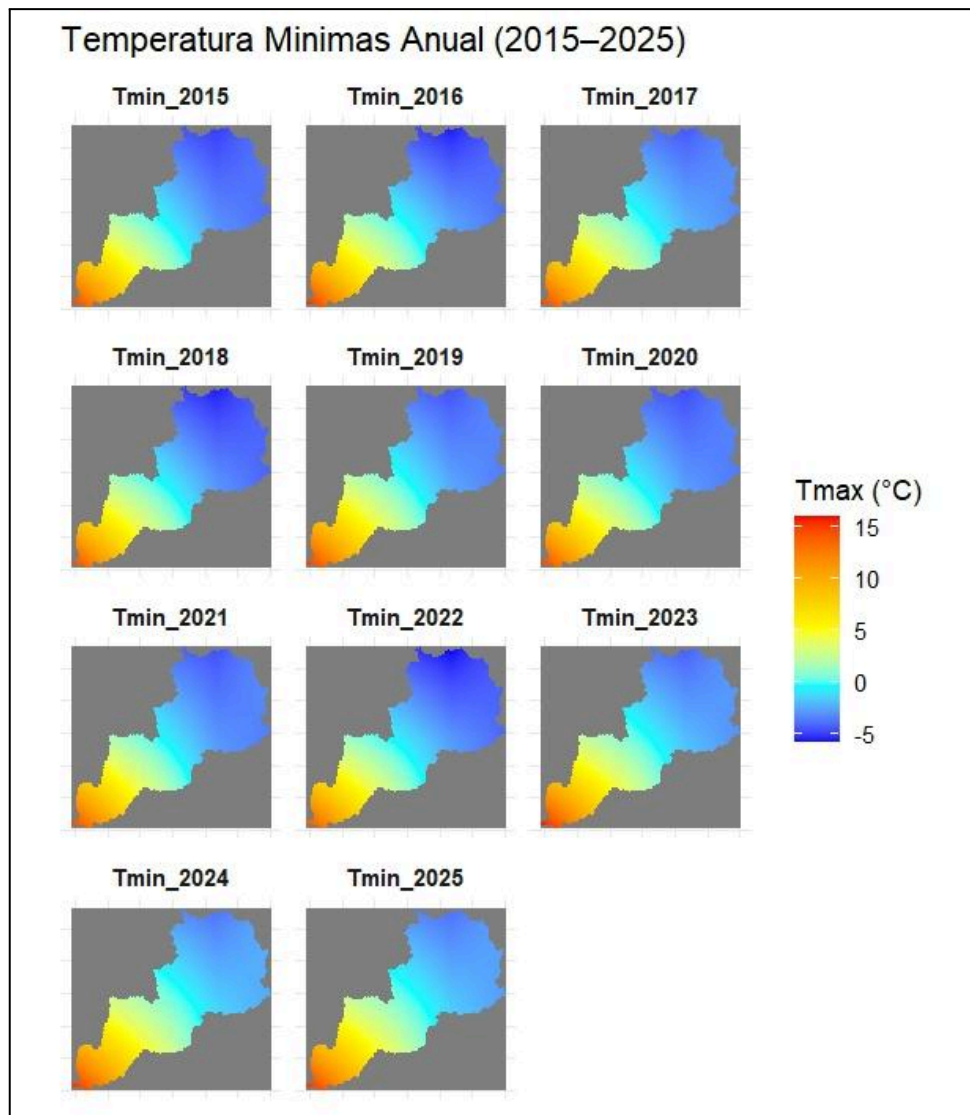


Figura 07: Temperatura mínima anual de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025).

4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES DURANTE EL PERÍODO 2015 - 2025.

Según la Figura 07, la precipitación de la provincia de General Sánchez Cerro durante el periodo 2015 - 2025 experimenta una notable fluctuación interanual, con cantidades que oscilan entre unos 438.66 mm y unos 629.23 mm. Los años 2016 (439.23 mm), 2022 (438.66 mm) y 2023 (446.95 mm) se diferencian por tener los niveles más bajos de precipitaciones. Estos tres años son considerados relativamente secos. En cambio, los volúmenes de lluvia más altos son del año 2017 (609.91 mm) y especialmente del año 2018 (629.23 mm), el cual tiene el máximo de este periodo, lo que muestra condiciones más húmedas. A partir de 2019 se nota una disminución gradual hasta 2020 (521.3 mm), después una leve mejora en 2021 (549.94 mm), otro descenso en 2022 y 2023, y al final un crecimiento significativo en los últimos años, con cifras de 527.68 mm para el año 2024 y de 596.26 mm para el año siguiente. La precipitación en general presenta una gran irregularidad interanual, alternando entre ciclos secos y húmedos. Esto evidencia una variabilidad climática alta que puede tener un impacto en la disponibilidad de agua y las actividades productivas de la zona.



Figura 08: Precipitación de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025).

En la Figura 08 se ilustra el comportamiento de la precipitación anual en términos espaciales durante los años 2015 a 2025. Según la escala cromática, se observan registros que oscilan entre aproximadamente 500 mm y más de 1250 mm. Las tonalidades más luminosas se relacionan con los menores acumulados, que van de 500 a 750 mm. Estos abarcan la mayor parte del área y muestran condiciones relativamente secas. Las tonalidades intermedias, que van de azul claro a azul medio, indican niveles de precipitación moderados, próximos a 750 - 1000 mm y distribuidos irregularmente durante los años. Los tonos azul intenso, por su parte, señalan los volúmenes más altos de lluvias, que van más allá de 1000 mm y se acercan a 1250 mm; estos se ubican en zonas específicas y son más notables en años como 2017, 2018 y con mayor fuerza en 2025.

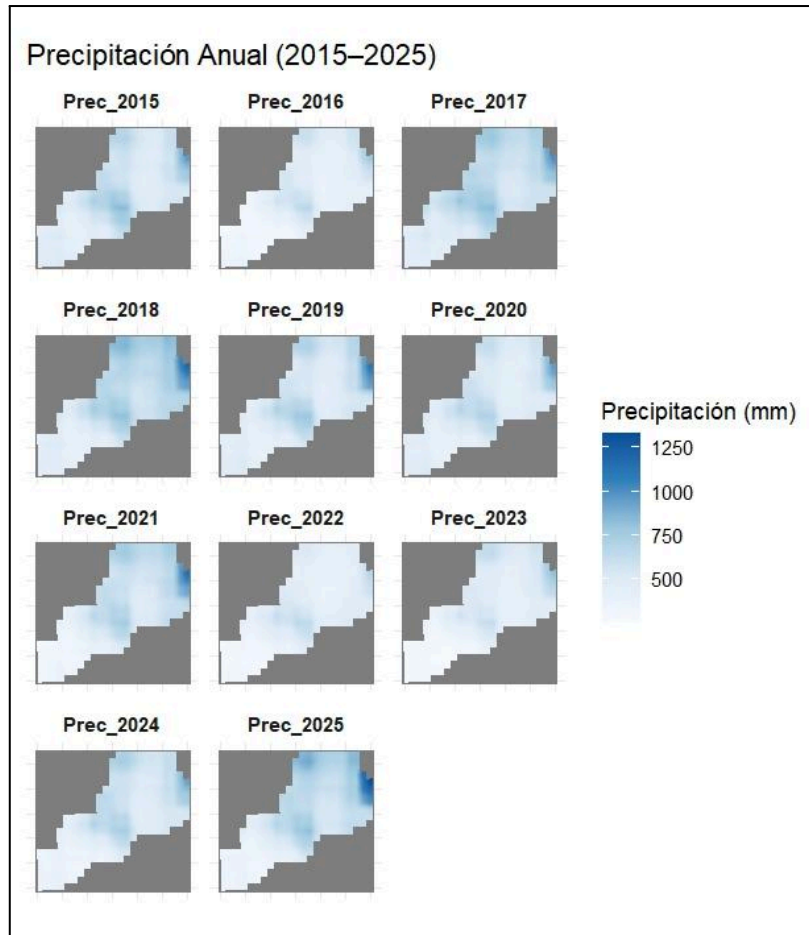


Figura 09: Precipitación anual de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025).

4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La Figura 09, muestra las regresiones lineales de la temperatura mínima (T_{min}), la temperatura máxima (T_{max}) y la precipitación en el periodo 2015 - 2025 en la provincia de General Sánchez Cerro. La precipitación tiene una leve tendencia a disminuir (-2,98 mm por año), su coeficiente de determinación es muy bajo ($R^2 = 0.0214$), lo que significa que solo el 2.14% de la variación total se puede atribuir al paso del tiempo. Esto muestra que no existe una tendencia clara. Para la temperatura máxima, con una inclinación positiva de $0.0576\text{ }^{\circ}\text{C}$ anuales y un R^2 de 0.126, lo cual significa que el 12.6% de su variabilidad se vincula con el paso del tiempo, se evidencia una leve tendencia al alza. La temperatura mínima, en cambio, presenta la pendiente más pronunciada ($0.0984\text{ }^{\circ}\text{C}$ por

año) y un R^2 de 0.377. Esto señala que el 37.7 % de su variación se debe a la dimensión temporal, lo cual muestra un aumento más notable y persistente.

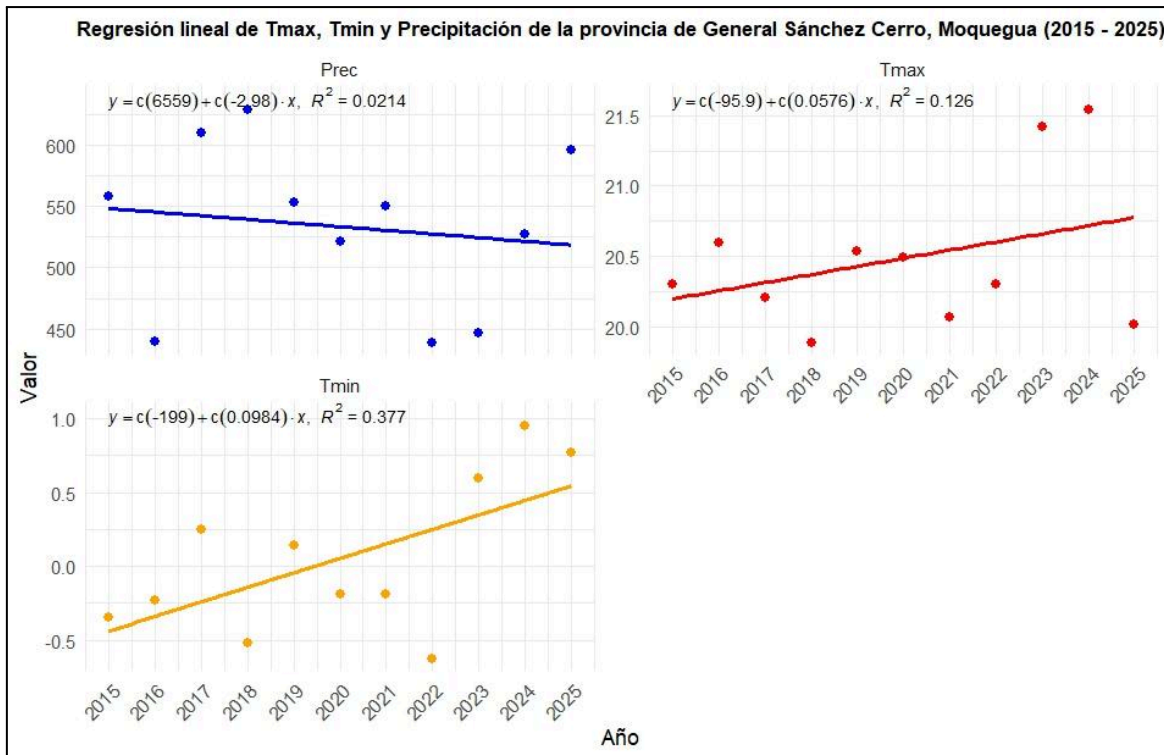


Figura 10: Regresión lineal de la temperatura máxima, mínima y precipitaciones de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025).

En la Figura 10 se muestra que los valores de R^2 son distintos, ya que cada variable climática tiene un comportamiento único en relación con el tiempo y con las otras variables, lo cual se traduce en relaciones de intensidad diferente. En términos cuantitativos, la relación entre Tmax y los años tiene un R^2 de 0.36. Esto significa que el 36% de su variación se debe a la dimensión temporal, lo que muestra una tendencia a aumentar con una magnitud moderada. En la temperatura mínima (Tmin), el R^2 es de 0.61, por lo que el 61% de su variabilidad está relacionada con el tiempo. Esto indica una conexión más fuerte y un aumento más constante. En cambio, la precipitación tiene una relación muy débil con el tiempo; su valor de R^2 es cercano a -0.15 en términos de correlación, lo que indica que el factor temporal solo explica una pequeña parte de su variabilidad. Por otra parte, la relación entre Tmin y la precipitación es muy baja ($R^2 =$

0.10), lo que significa que solo el 10% de las variaciones de las lluvias está relacionada con la temperatura mínima. La relación entre Tmax y Tmin presenta un R^2 de 0.59 (59%), lo que demuestra una correlación significativa entre las dos variables térmicas. En cambio, la relación entre Tmax y la precipitación es inversa y moderada ($R^2 = -0.54$).

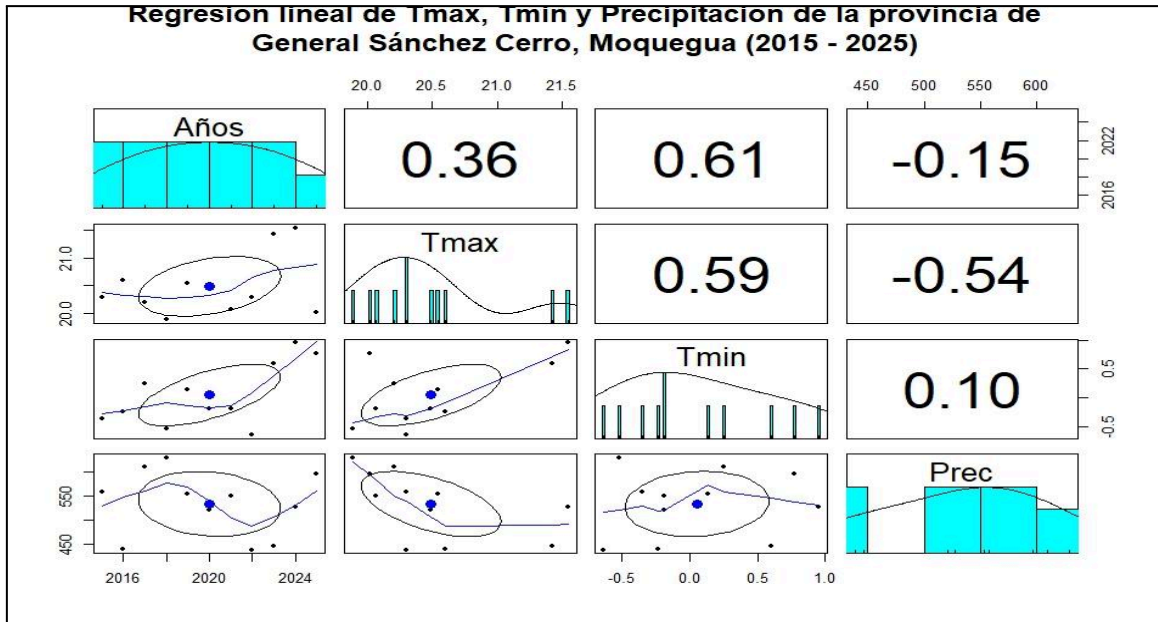


Figura 11: Regresión lineal de las temperatura máxima, mínima y precipitaciones de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025).

En la Tabla 02 se muestra la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar si las variables eran normales, con un nivel de confianza del 95 % ($\alpha = 0.05$). Los resultados muestran que la variable Tmax tuvo un valor de *p-valor* de 0.044, que es menor que el límite establecido; esto significa que se rechaza la hipótesis de normalidad para esta variable. En cambio, los valores de Tmin (*p-valor* = 0.407), Precipitación (*p-valor* = 0.246) y Años (*p-valor* = 0.870) fueron mayores a 0.05, lo que señala que sus distribuciones no presentan diferencias significativas respecto a la distribución normal. Se estima apropiado utilizar el coeficiente de correlación de Pearson para examinar la asociación lineal entre los indicadores climáticos y el tiempo, ya que la mayor parte de las variables satisfacen este supuesto. Los resultados relacionados con Tmax se toman en cuenta cuidadosamente debido a su comportamiento no normal.

Tabla 02: Prueba de normalidad mediante Shapiro-Wilk 95%=0.05.

Variab les	Statistic	p-valor
Tmax	0.851	0.044
Tmin	0.930	0.407
Precipitación	0.910	0.246
Años	0.968	0.870

Nivel de significancia al 95%

En la Figura 12 se muestran las correlaciones de Pearson entre la temperatura mínima (Tmin), la máxima (Tmax), el tiempo y la precipitación (Prec), mostrando diferencias en la magnitud y en el sentido de las relaciones. La relación entre la Tmax y los años es positiva y de fuerza moderada ($r \approx 0.36$), lo cual indica que aproximadamente el 36 % de la variación en la temperatura máxima está relacionada con el paso del tiempo. La relación entre los años y la Tmin se hace más evidente, alcanzando un valor superior ($r \approx 0.61$), lo que señala que cerca del 61 % del cambio de temperatura mínima está vinculado con el paso del tiempo. En cambio, la relación entre los años y la precipitación es débil y negativa ($r \approx -0.15$), lo que muestra que el factor temporal tiene una escasa influencia en cómo se comportan las lluvias. Tmax y Tmin presentan una correlación positiva relativamente alta ($r \approx 0.59$) cuando se examinan las variables climáticas entre sí, lo que señala que ambas tienden a elevarse al mismo tiempo. Por otro lado, la relación entre Tmax y la precipitación es leve y negativa ($r \approx -0.54$), lo que indica que los periodos más cálidos tienden a corresponder con niveles de precipitación más bajos. En última instancia, la correlación entre Tmin y la precipitación es un poco positiva ($r \approx 0.10$) y muy baja, lo que demuestra una dependencia mínima entre estas variables.

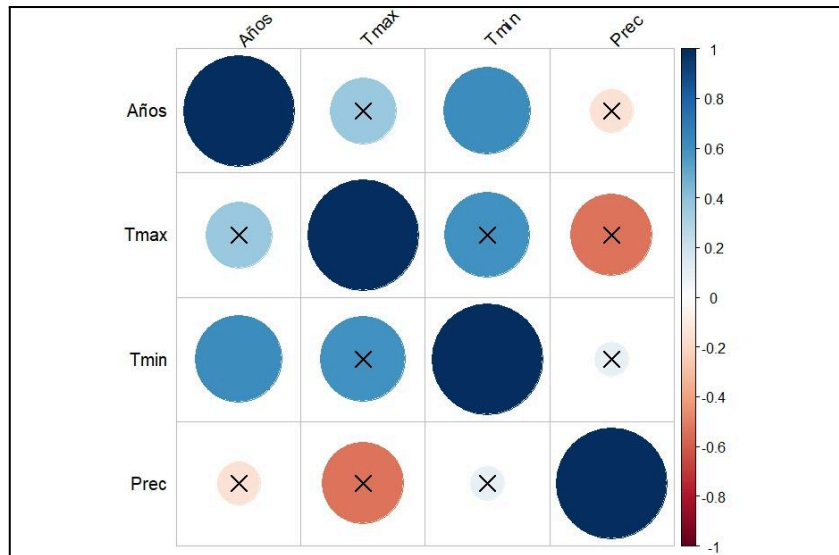


Figura 12: Correlación de temperatura máxima, mínima de precipitaciones de la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua (2015 - 2025).

4.4. DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos concuerdan con **Quispe et al. (2023)**, en Puno, Perú, donde obtuvieron los resultados de las lluvias que tienen un impacto del 26 % en la producción de quinua, el 92 % en la de papa y el 76 % en la de cebada; la temperatura máxima tiene un efecto del 84 % en la producción de quinua, del 96 % en la de papa y del 65 % en la de cebada, mientras que la temperatura mínima influye con un 88 %, un 92 % y un 73 %, respectivamente. También se determinaron los límites climáticos ideales para cada tipo de cultivo, incluyendo 657.97 mm de precipitación, 15.95 °C como temperatura máxima y 1.41 °C como temperatura mínima para la quinua y 774.77 mm de precipitación, con una temperatura máxima de 19.29 °C y una mínima de 4.40 °C para la papa. También concuerda con **Quilca et al. (2022)**, en el área de Puno, Perú, donde obtuvieron la producción y el rendimiento del cultivo fueron consideradas como variables dependientes, mientras que la temperatura máxima (Tmax), la temperatura mínima (Tmin) y la precipitación pluvial (Ppvl) se tomaron como variables independientes. Los cambios climáticos son responsables del 30% de la productividad de la cebada, y la producción está determinada en un 46.97% por las precipitaciones y la temperatura

máxima, incluyendo su efecto cuadrático. Finalmente concuerda con **Maquera et al. (2024)**, en la zona de Tacna, ubicada al sur de Perú, en sus resultados indican que la superficie de cultivo se incrementó en un 373.2 %, sobre todo entre los años 2015 y 2021. Las fluctuaciones en la presencia de sequía se mostraron a través de los índices de condición vegetal (VHI, TCI y VCI): El VCI, que pasó de 0.1 a 0.98, señala la ausencia general de sequía; el TCI reportó sequías en los años 2000, 2005 y 2010 y condiciones normales en otros; y el VHI detectó sequías leves a moderadas en los años 1990, 2000, 2005 y 2010 y condiciones normales en los años 1985, 1995, 2015 y 2021. Estas fluctuaciones demuestran cómo inciden la variabilidad y el cambio climático en la zona

4.5. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Prueba de hipótesis para el objetivo específico 1:

Trabajando con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, 95% de confianza.

Hipótesis nula (H0):

La variación de las temperaturas máximas y mínimas durante el período 2015–2025 no presenta una tendencia ascendente.

Hipótesis alterna (H1):

La variación de las temperaturas máximas y mínimas durante el período 2015–2025 presenta una tendencia.

Decisión (con base en los resultados):

La correlación entre la Tmax y los años es positiva y moderada ($r \approx 0.36$), mientras que la correlación entre la Tmin y los años es más fuerte pero también positiva ($r \approx 0.61$). Esto demuestra que hay una relación directa entre el tiempo transcurrido y el aumento de las temperaturas, sobre todo en lo que respecta a la temperatura mínima. Los datos permiten concluir que hay una tendencia significativa al alza de las temperaturas en el período analizado, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, lo cual permite aceptar la hipótesis alterna y descartar la hipótesis nula.

Prueba de hipótesis para el objetivo específico 2:

Trabajando con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, 95% de confianza.

Hipótesis nula (H0):

La variación de las precipitaciones durante el período 2015–2025 no presenta una tendencia descendente.

Hipótesis alterna (H1):

La variación de las precipitaciones durante el período 2015–2025 presenta una tendencia descendente.

Decisión (con base en los resultados):

La relación entre los años y la precipitación es débil y negativa ($r \approx -0.15$), lo cual señala que el tiempo no explica una gran parte de la variabilidad en las lluvias. Esta relación no es suficiente para concluir que existe una tendencia de descenso significativa con $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, se concluye que hay evidencia estadísticamente significativa de una reducción constante en las precipitaciones durante el periodo 2015-2025, por lo cual se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

CONCLUSIONES

PRIMERA: La temperatura mínima en la provincia de General Sánchez Cerro ha mostrado un incremento sostenido a lo largo del tiempo, mientras que las precipitaciones presentan un comportamiento irregular y sin un patrón definido. Estos hallazgos evidencian un escenario de cambio climático caracterizado principalmente por el aumento continuo de la temperatura.

SEGUNDA: Durante el periodo 2015–2025, tanto la temperatura mínima (T_{min}) como la máxima (T_{max}) exhiben una tendencia ascendente. Sin embargo, el incremento de la T_{min} resulta más marcado y constante ($r \approx 0.61$) en comparación con la T_{max} ($r \approx 0.36$). Este comportamiento confirma un proceso de calentamiento gradual en la provincia, siendo más significativo en las temperaturas mínimas.

TERCERA: Las precipitaciones muestran una correlación negativa débil con el paso de los años ($r \approx -0.15$), lo que indica que no se ha registrado una disminución sustancial en los volúmenes de lluvia durante el periodo analizado. Esto refleja una alta variabilidad en su comportamiento, sin una relación temporal clara, a diferencia de las temperaturas que sí presentan una tendencia definida al alza.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: El Ministerio del Ambiente (MINAM) debería fortalecer los programas de monitoreo climático mediante el uso de imágenes satelitales y herramientas geoespaciales. Esto permitiría identificar de manera temprana los cambios en la temperatura y la disponibilidad de agua en regiones altoandinas como la provincia de General Sánchez Cerro, favoreciendo el diseño de políticas nacionales más eficaces para la mitigación y adaptación frente al cambio climático.

SEGUNDA: Se recomienda que el Gobierno Regional de Moquegua implemente estrategias integrales de gestión del agua y ordenamiento territorial basadas en los patrones climáticos identificados. La planificación de los recursos hídricos y la adopción de medidas preventivas ante posibles incrementos térmicos y variaciones en las precipitaciones deben considerarse prioridades, ya que contribuirán a reducir los impactos sobre la agricultura y los ecosistemas locales.

TERCERA: Es aconsejable promover prácticas sostenibles y fortalecer la educación ambiental en las comunidades de la provincia de General Sánchez Cerro, complementadas con sistemas de alerta temprana frente a sequías y eventos climáticos extremos. El análisis satelital puede aportar información valiosa para la toma de decisiones a nivel local y aumentar la resiliencia comunitaria frente a los efectos del cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, G., Undurraga, T., Cotoras, D., & Orellana, T. (2022, 04 25). El estudio científico del cambio climático en Chile: espacio local y fenómeno global. *Antropologías del sur*, 9(17). <http://dx.doi.org/10.25074/rantros.v9i17.2147>
- Alba, J. (2022, 3 31). Ecología, cambio climático y sexta extinción. *Revista chilena de entomología*, 48(1). <http://dx.doi.org/10.35249/rche.48.1.22.17>
- Ascorra, P., Orrego, C., & Mansilla, P. (2025, 12 22). Vínculos afectivos de la niñez en territorios en crisis socioecológica: juego, intercambio intergeneracional y cambio climático. *Psicoperspectivas*, 24(3). <http://dx.doi.org/10.5027/psicoperspectivas-vol24-issue3-fulltext-3490>
- Campos, V., & Figueroa, A. (2024, 04 12). Una revisión sistemática de los datos de sensores remotos para evaluar atributos de los bosques secos. *Bosque (Valdivia)*, 45(1). <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002024000100017>
- Chanove, A., & Cárdenas, B. (2025, 04 08). Fragmentación del paisaje y pérdida de conectividad en los bosques de queñua (*Polylepis*) en Perú y su vulnerabilidad ante el cambio climático. *Madera y bosques*, 30(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2024.3032593>
- Estenssoro, F. (2010, 2 11). Crisis ambiental y cambio climático en la política global: un tema crecientemente complejo para América Latina. *Universum (Talca)*, 25(2). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-23762010000200005>
- Hurtado, J., & Lizarazo, I. (2022, 02 28). Nuevo índice espectro-temporal para la detección de pérdida forestal en áreas de bosque tropical. Caso de estudio Amazonia colombiana. *Revista cartográfica*, (104). <https://doi.org/10.35424/rcarto.i104.1096>
- Maddio, R., Dufilho, A., & Gandini, M. (2023, 07 31). Estimación de la recarga potencial de agua subterránea de un acuífero mediante teledetección y sistemas de

- información geográfica. *Revista de geología aplicada a la ingeniería y al ambiente*, (50). <https://doi.org/10.59069/24225703e006>
- Maquera, E., Pino, E., & Choque, G. (2024, 10 5). Machine Learning para clasificar el uso indiscriminado del suelo con fines agrícolas y su relación con el cambio climático, cabecera Desierto Atacama. *Idesia (Arica)*, 41(4). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292023000400101>
- Medina, P., Quiroz, J., & Tapia, H. (2023, 10 20). Pobreza energética y cambio climático. Aproximación desde el análisis territorial en los municipios de México. *Revista INVI*, 38(109). <http://dx.doi.org/10.5354/0718-8358.2023.70731>
- Obregón, J. (2024, 11 07). Efectos de la variación del clima en los años 2022-2024 en la agricultura. *Universidad Nacional del Santa*. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/4694>
- Pacheco, D., Lema, L., & Yáñez, P. (2023, 3 1). Cogestión del agua entre actores públicos y comunitarios como herramienta de adaptación al cambio climático global: el caso de la Comuna Santa Clara de San Millán, DM Quito. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 37(1). <https://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.04>
- Peña, M., & Sandoval, J. (2024, 05 22). Representaciones sociales del cambio climático entre población urbana y rural de Chile. *Revista de psicología (Santiago)*, 33(1). <http://dx.doi.org/10.5354/0719-0581.2024.71552>
- Quezada, A., Sevilla, J., & Avilés, E. (2022, 06 28). Estimación de la tasa de deforestación en Pastaza y Orellana- Ecuador mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales durante el período 2000-2020. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 6(17). <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i17.168>

- Quilca, F., Cruz, M., & Inquilla, J. (2022, 1 2). El cambio climático afecta a la producción de la cebada grano en la región Puno-Perú. *Idesia (Arica)*, 40(4). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292022000400053>
- Quispe, J., Guevara, M., & Aguilar, S. (2022, 03 30). Implicancias del cambio climático en el rendimiento de la producción de CHENOPODIUM PALLIDICAULE (cañihua) en Lampa, Región Puno-Perú. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 6(16). <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i16.153>
- Quispe, J., Rosado, C., & Poma, Y. (2023, 05 20). Efecto del cambio climático en la producción agrícola de la región Puno-Perú, período 1996-2018. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 7(20). <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.223>
- Rodríguez, M., & Siccha, O. (2022, 11 30). Teledetección hiperespectral y exploración geológica para la configuración de modelos geometalúrgicos en sistemas hidrotermales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3669
- Royo, M. (2023, 07 31). El derecho a defender la naturaleza de los pueblos indígenas en el marco del cambio climático. *Estudios constitucionales*, 21(1). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-52002023000100034>
- Villamizar, F. (2024, 4 8). Cambio climático y calentamiento global: el aporte de los sistemas normativos extraantárticos para proteger a la Antártica. *Autoctonía (Santiago)*, 8(2). <http://dx.doi.org/10.23854/autoc.v8i2.407>



ANEXOS

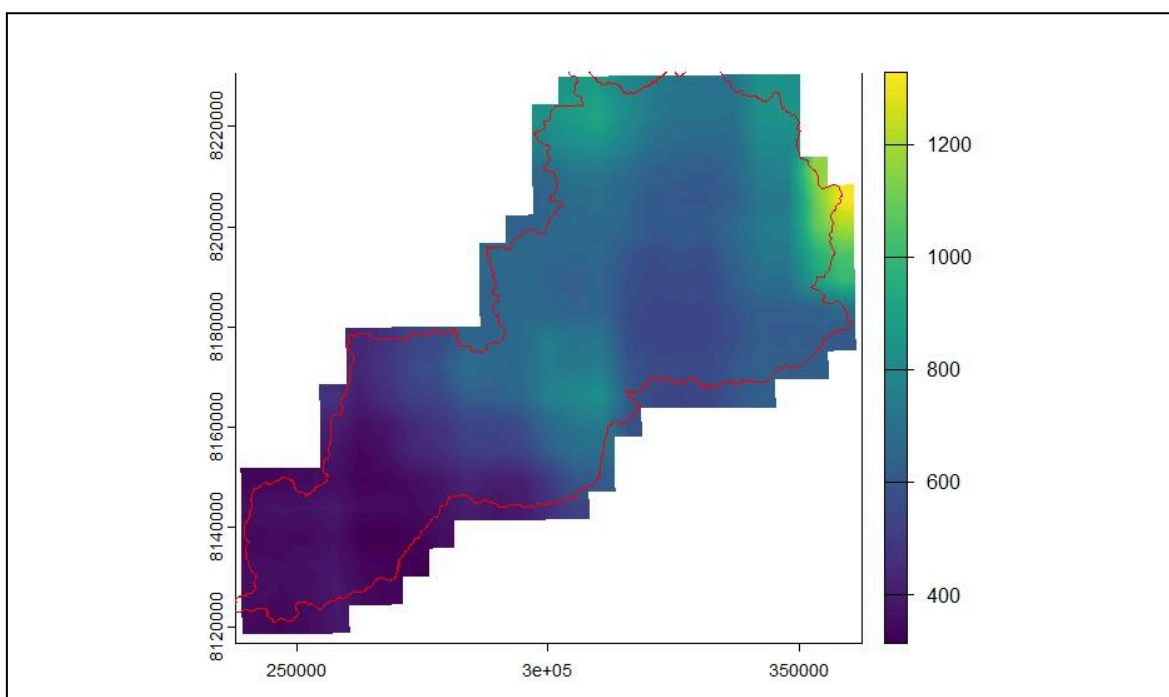
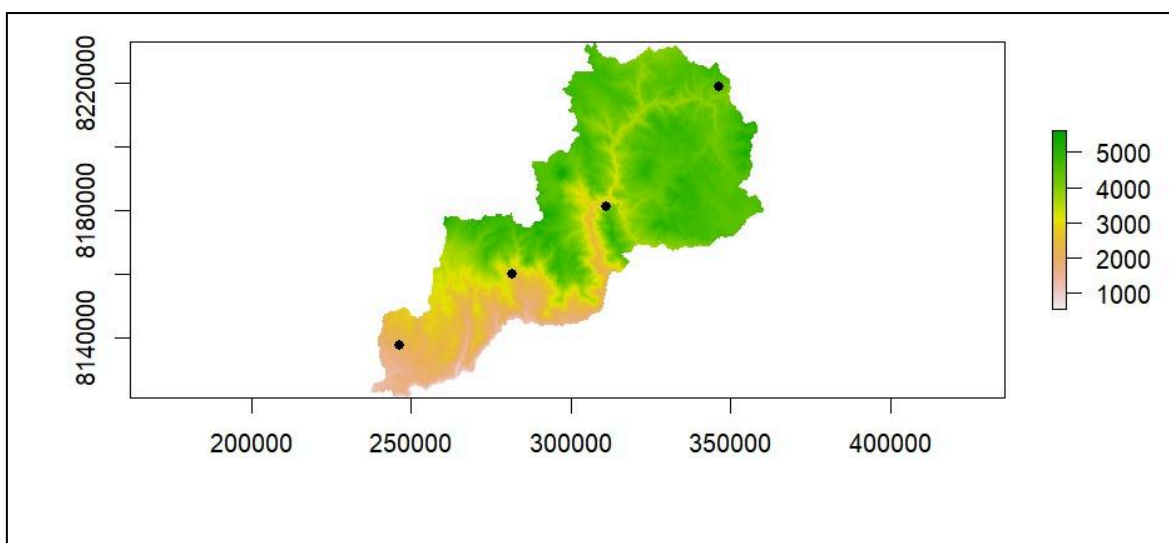
Anexo 01: Matriz de consistencia: Análisis del cambio climático mediante imágenes satelitales en la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua durante el período 2015 - 2025

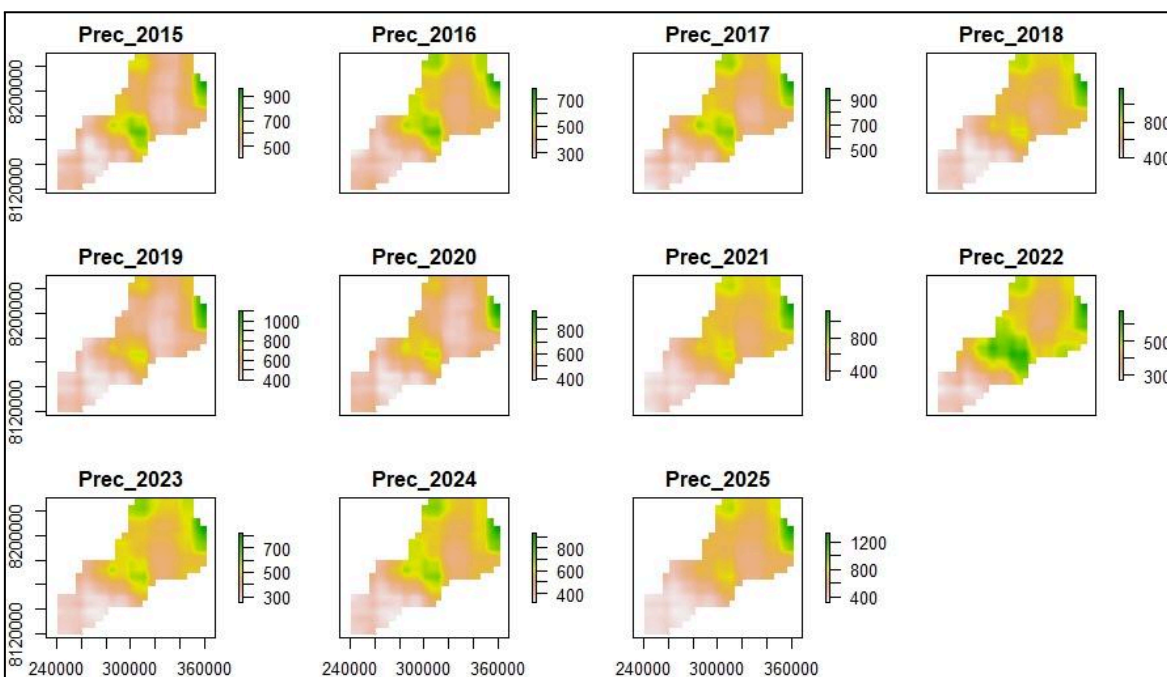
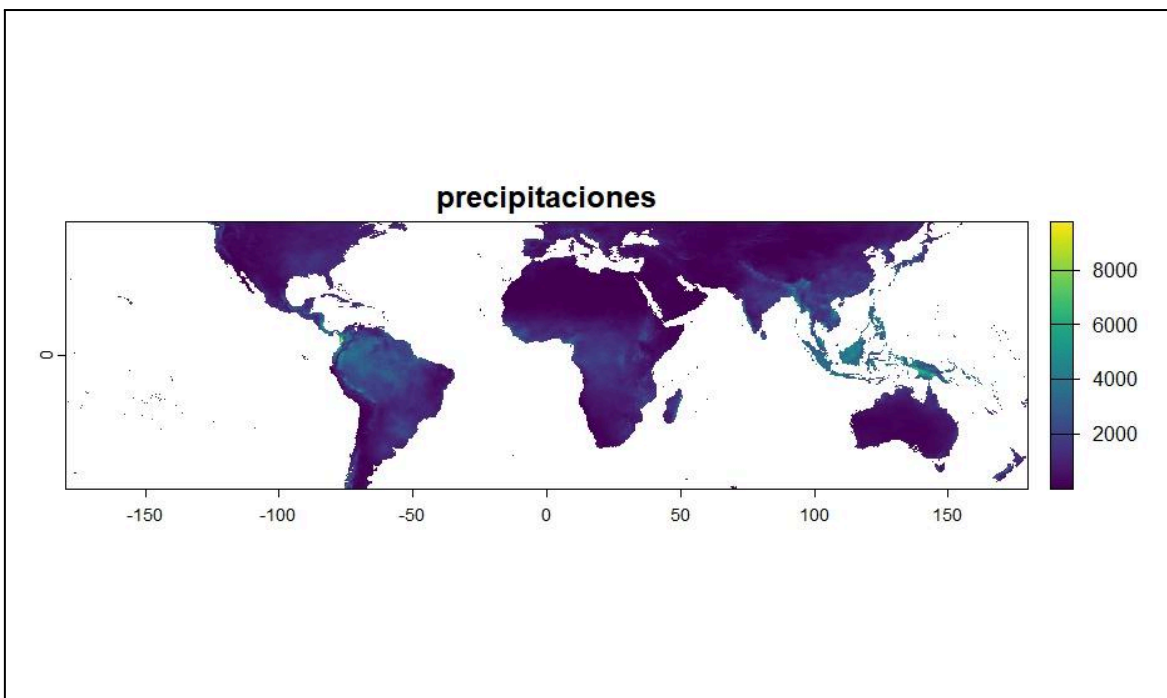
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Metodología
¿Cómo es el cambio climático mediante imágenes satelitales en la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua durante el período 2015-2025?	Analizar el cambio climático mediante imágenes satelitales en la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua durante el período 2015-2025	El cambio climático mediante imágenes satelitales en la provincia de General Sánchez Cerro, Moquegua durante el período 2015-2025, es significativa	Cambio climático	Temperaturas máximas (°C) Temperaturas mínimas (°C)	Diseño de Inv.: No experimental, Enfoque: Cuantitativo
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas		Precipitaciones (mm)	Método: Descriptivo correlacional
P1. ¿Cuanto es la variación de las temperaturas máximas y mínimas durante el período 2015 - 2025? P2. ¿Cuanto es la variación de las precipitaciones durante el período 2015 - 2025?	O1. Determinar la variación de las temperaturas máximas y mínimas durante el período 2015 - 2025. O2. Determinar la variación de las precipitaciones durante el período 2015 - 2025	H1. La variación de las temperaturas máximas y mínimas durante el período 2015 - 2025, es ascendente H2. La variación de las precipitaciones durante el período 2015 - 2025, es descendente			

Anexo 02: Datos obtenidos de Power Nasa y CHIRPS de precipitaciones.

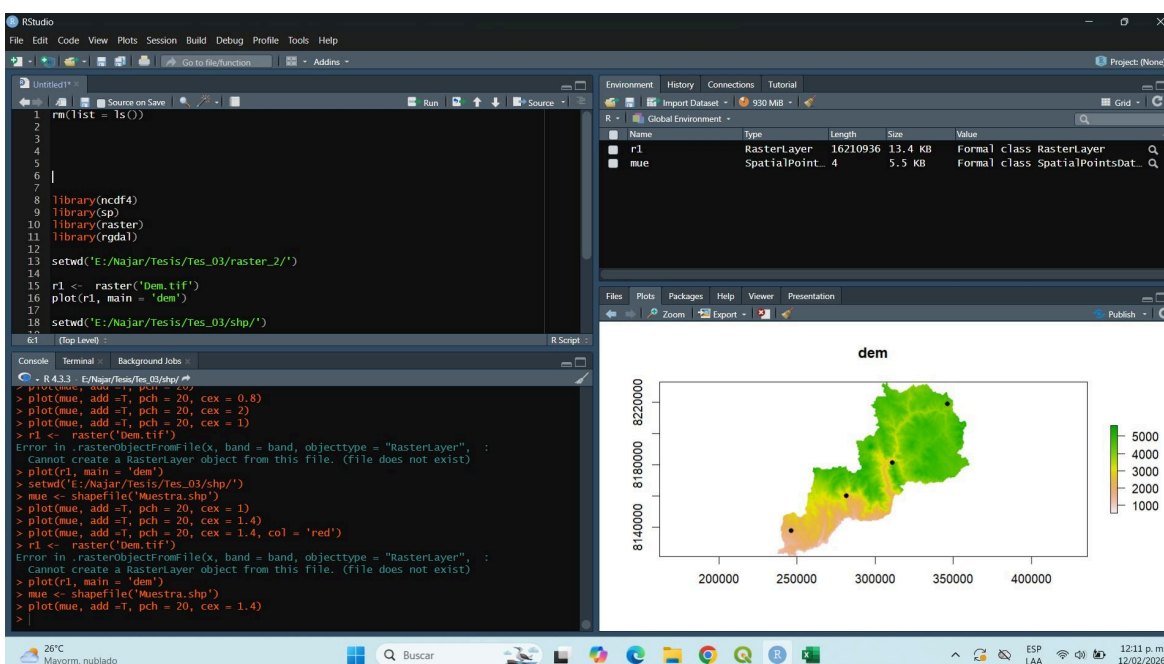
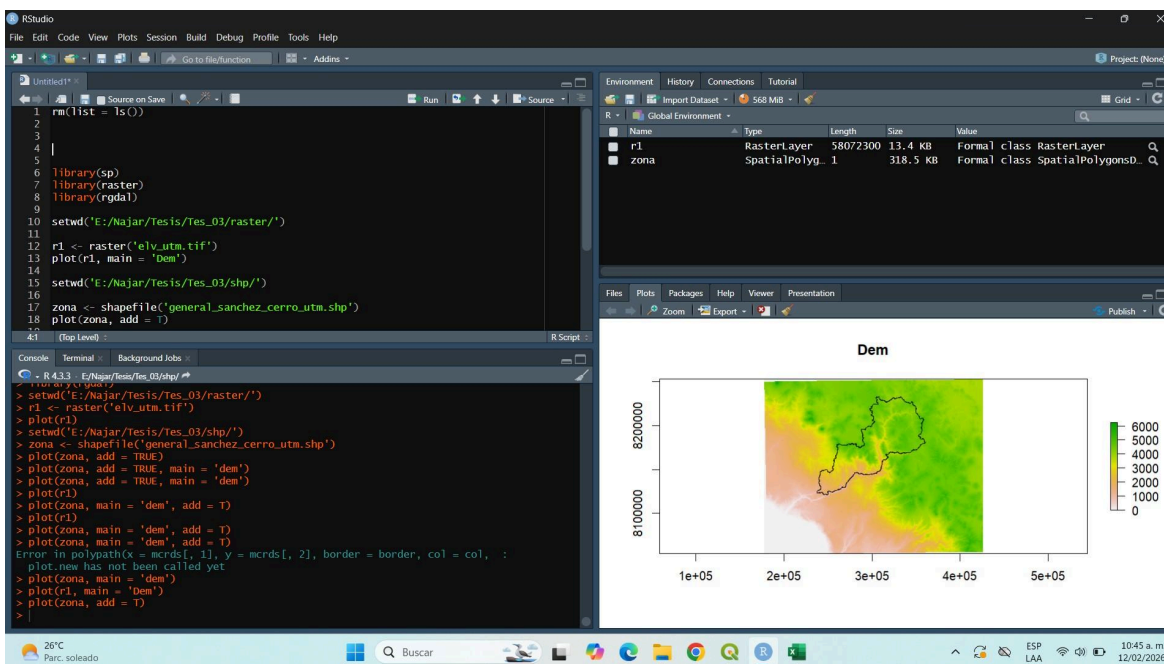
Años	Tmax	Tmin	Prec
2015	20.3	-0.35	557.875
2016	20.6	-0.23	439.33
2017	20.21	0.25	609.91
2018	19.89	-0.52	629.23
2019	20.54	0.14	553.352
2020	20.491	-0.19	521.3
2021	20.07	-0.19	549.94
2022	20.3	-0.63	438.66
2023	21.42	0.6	446.95
2024	21.54	0.95	527.68
2025	20.02	0.77	596.26
Total	20.48	0.05	5870.48

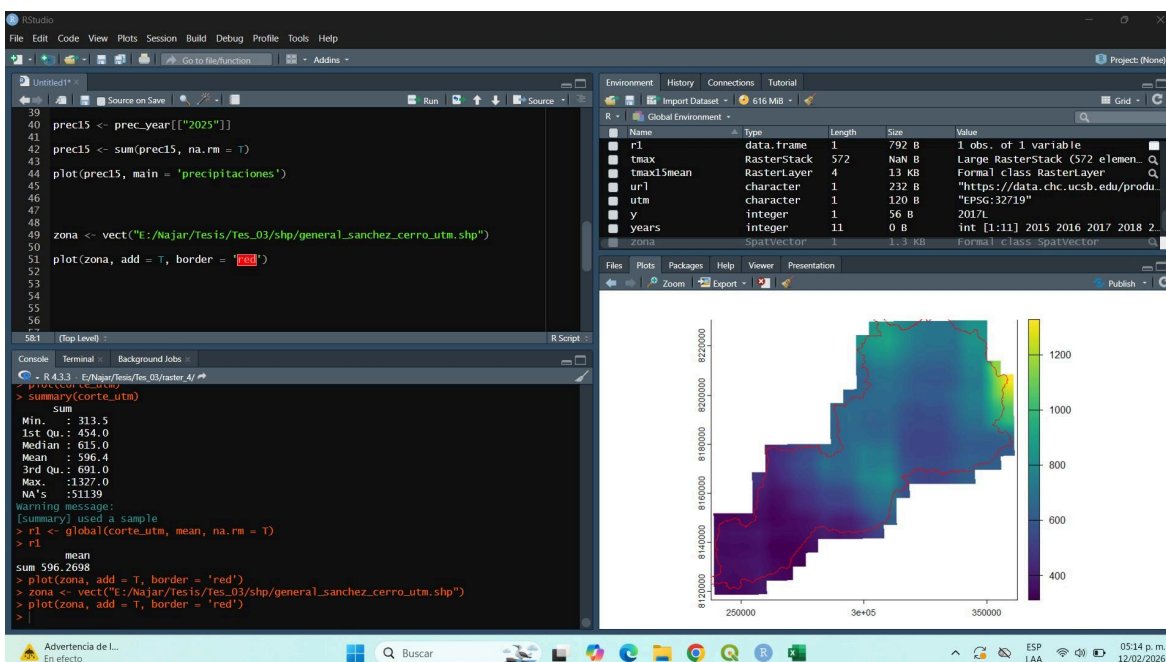
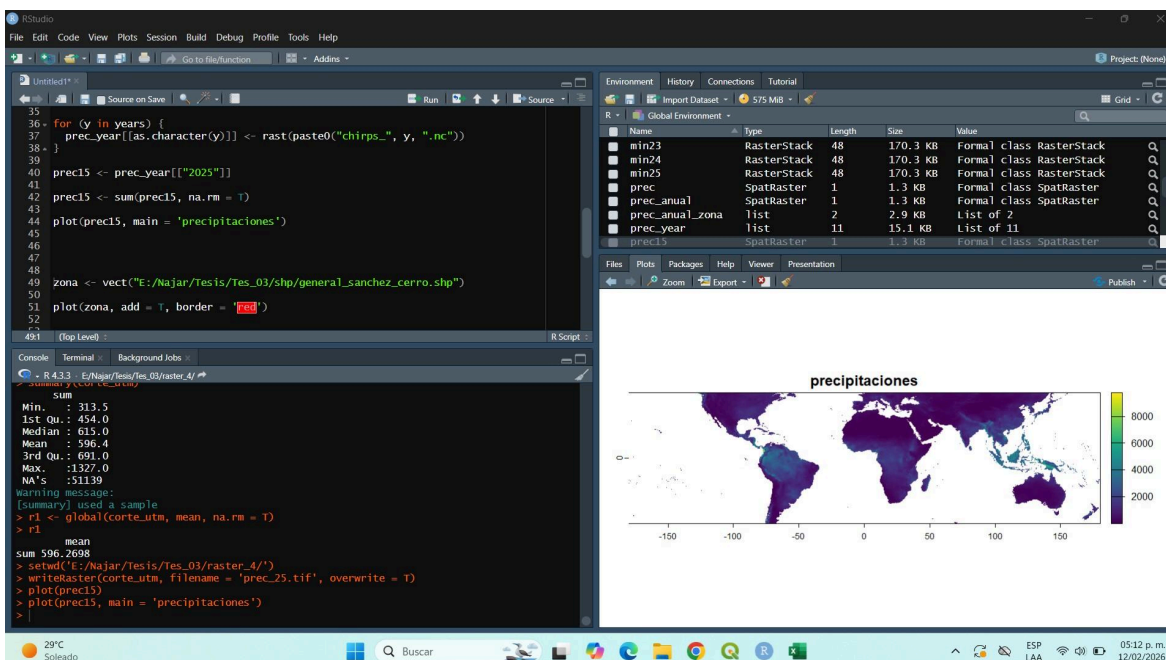
Anexo 03: Imágenes satelitales de Power Nasa y CHIRPS de precipitaciones.





Anexo 04: Evaluación en RStudio





Anexo 05: Análisis estadístico.

```
+ shapiro_test(Tmax)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic      p
  <chr>      <dbl> <dbl>
1 Tmax      0.851 0.0444
> datos %>%
+ shapiro_test(Tmin)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic      p
  <chr>      <dbl> <dbl>
1 Tmin      0.930 0.407
> datos %>%
+ shapiro_test(Prec)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic      p
  <chr>      <dbl> <dbl>
1 Prec      0.910 0.246
> datos %>%
+ shapiro_test(Años)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic      p
  <chr>      <dbl> <dbl>
1 Años      0.968 0.870
>
>
```

```
> datos %>%
+ cor_test(Años, Tmax)
# A tibble: 1 × 8
  var1 var2 cor statistic      p conf.low conf.high method
  <chr> <chr> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <chr>
1 Años Tmax 0.36 1.14 0.283 -0.311 0.787 Pearson
> mat <- cor_mat(datos, method = 'pearson')
> mat
# A tibble: 4 × 5
  rowname Años Tmax Tmin Prec
  <chr> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>
1 Años 1 0.36 0.61 -0.15
2 Tmax 0.36 1 0.59 -0.54
3 Tmin 0.61 0.59 1 0.097
4 Prec -0.15 -0.54 0.097 1
> cor_mark_significant(mat)
  rowname Años Tmax Tmin Prec
1 Años
2 Tmax 0.36
3 Tmin 0.61* 0.59
4 Prec -0.15 -0.54 0.097
>
>
```

