

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y SU RELACIÓN CON LAS
VARIABLES CLIMÁTICAS EN EL DISTRITO DE HUAYRAPATA - PUNO
DURANTE EL PERIODO 2015 AL 2025.**

PRESENTADA POR:

NILO MAMANI MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2026



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



4.29%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 29 AUG 2026, 5:19 PM

Originality & Authorship Report

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

● IDENTICAL 1% ● CHANGED TEXT 3.28%

Formatted document report

The following pages preserve the original document layout with plagiarism highlights and source markers.

REPORT ID	#34763383
AUTHOR	Repositorio Institucional
MATCHED CHARACTERS	3567
TOTAL CHARACTERS	83118
APPLIED FILTERS	Quotes excluded; References excluded

Highlight & source marker legend

● IDENTICAL MATCH ● CHANGED MATCH

[2] The fragment is associated with source 2

[2, ...] The fragment is associated with multiple sources; source 2 has the highest relevant match percentage

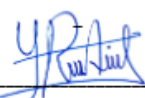
Yudy Roxana ALANIA LAQUI
Oficina de Repositorio Institucional

NILO MAMANI MAMANI //

CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y SU RELACIÓN CON LAS
VARIABLES CLIMÁTICAS EN EL DISTRITO DE HUAYRAPATA - PUNO
DURANTE EL PERIODO 2015 AL 2040

RESUMEN

Actualmente en el distrito de Huayrapata se presenta el cambio de la cobertura vegetal, producto del cambio climático, así como las ausencias de las precipitaciones; sin embargo se desconoce la tasa exacta de su pérdida, ante ello se plantea el objetivo general de analizar el cambio de la cobertura vegetal y su relación con las variables climáticas en el distrito de Huayrapata - Puno durante el periodo 2015 al 2040. Con procedimiento metodológico mediante la descarga de imágenes satelitales Landsat entre los periodos 2015 al 2025, donde se aplicó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y se determinó la extensión de la cobertura vegetal, posteriormente se determinó la relación de las variables climáticas en el cambio de la cobertura vegetal para finalmente estimar la tendencia de la cobertura vegetal para el año 2040. En los resultados se encontró que la extensión de los suelos desnudos/urbanos crecieron +2.78% (54.96 km² a 73.00 km²), mientras que la vegetación muy escasa -0.38% (321.86 km² a 307.84 km²), y la vegetación escasa -1.12% (24.30 km² a 21.48 km²) y finalmente la vegetación moderada -12.93% (1.56 km² a 0.343 km²), confirmando la tasa decreciente de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata, además se determinó una relación entre las variables climáticas (precipitación 48-68 mm, temperatura 14.8-17.6°C) con respecto a la cobertura vegetal, presentando una correlación Rho de Spearman 0.775 (Sig. 0.000); con una precipitación decreciente (-0.24 mm/año) y una temperatura creciente (+0.15°C) asociándose con la cobertura vegetal, finalmente se estimó una una tendencia al 2040 con la fórmula de regresión lineal, donde se encontró que la cobertura vegetal será de 294.58 km² (-1.9338x + 4239, decreciente). Concluyendo que existe un cambio significativo en la cobertura vegetal de Huayrapata, con


Yudy Roxana ALANIA LAQUI
Oficina de Repositorio Institucional

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

**CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y SU RELACIÓN CON LAS
PRECIPITACIONES EN EL DISTRITO DE HUAYRAPATA - PUNO DURANTE EL
PERIODO 2015 AL 2025.**

PRESENTADA POR:

NILO MAMANI MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

PRIMER MIEMBRO

: 
M.Sc. KORINA ASQUI GOMEZ

SEGUNDO MIEMBRO

: 
Dra. CELIA VERENISSEE ORTIZ DE ORUE ROJAS

ASESOR DE TESIS

: 
Mg. LUIS ALBERTH ROSSEL BERNEDO

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 04 de septiembre del 2026

DEDICATORIA

A Dios por la salud y la compañía para culminar con éxito y felicidad mi etapa de formación y desarrollo profesional, a mis padres Faustino y Lucia, por ser los pilares de mis sueños, a mi madre Lucia por el apoyo incondicional, la comprensión y el amor conmigo, a mis hermanos: Edilio, Esther Ayde, Grover, Liz Lucia, Gabriel por el apoyo constante, por los principios y valores otorgados a mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento a la Universidad Privada San Carlos de Puno, a la facultad de Ingeniería de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental, por la oportunidad y todo los conocimientos adquiridos en mi corta estancia.

el agradecimiento y estima para con mi asesor Mg. Luis Alberth Rossel Bernedo, por su apoyo profesional por compartir sus conocimientos y por el asesoramiento constante durante el desarrollo y término de la presente, quien me apoyo en el desarrollo del proyecto con sus conocimientos y asesoría.

A mis familiares, quienes con su apoyo emocional y moral han hecho posible la realización de esta Tesis, que por ende se constituye un triunfo y orgullo para ellos y el nuestro propio.

Gracias a todos por su ayuda, tiempo y dedicación.

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. A nivel internacional	14
1.2.2. A nivel nacional	16
1.2.3. A nivel regional	17
1.3. OBJETIVOS	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	20
---------------------------------------	-----------

2.1.1. Cobertura vegetal	20
2.1.2. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	21
2.1.3. Cambio climático	21
2.1.4. Teledetección	21
2.1.5. El espectro electromagnético	22
2.1.6. Firma espectral	23
2.1.7. Imágenes satelitales Landsat 8	23
2.1.8. Sistemas de información Geográfica	24
2.2. MARCO CONCEPTUAL	24
2.3. MARCO NORMATIVO	25
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. POBLACIÓN Y MUESTRA	28
3.2.1. Población	28
3.2.2. Muestra	28
3.3. METODOS Y TECNICAS	28
3.3.1. Nivel de investigación	28
3.3.2. Tipo de investigación	28
3.3.3. Diseño de investigación	28
3.3.4. Método	28
3.3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	29
3.3.6. Diseño metodológico por objetivos	29

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	32
3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	33

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. EVALUAR EL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN EL DISTRITO DE HUAYRAPATA DURANTE EL PERIODO 2015 AL 2025	35
4.1.1. Cobertura vegetal (periodo 2015 - 2025)	35
4.1.2. Tasa de cambio de la cobertura vegetal (periodo 2015 - 2025)	41
4.1.3. Indicadores de validación	42
4.2. DETERMINAR LA RELACIÓN DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS CON RESPECTO AL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN EL DISTRITO DE HUAYRAPATA DURANTE EL PERIODO 2015 AL 2025.	43
4.2.1. Precipitación y temperatura del distrito de Huayrapata	43
4.2.2. Variables climáticas vs. cobertura vegetal	48
4.3. ESTIMAR LA TENDENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL Y LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA EL AÑO 2040 EN EL DISTRITO DE HUAYRAPATA.	49
4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	51
4.4.1. Comprobación de la primera hipótesis específica	51
4.4.2. Comprobación de la segunda hipótesis específica	52
4.4.3. Comprobación de la tercera hipótesis específica	52
4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	59

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Resolución Espectral Landsat 8.	24
Tabla 02: Clases de los valores del NDVI.	30
Tabla 03: Interpretación del coeficiente Kappa.	31
Tabla 04: Operacionalización de variables	32
Tabla 05: Grado de correlación.	34
Tabla 06: Extensión de la cobertura vegetal del distrito de Huayrapata entre los períodos de 2015 a 2025 en el distrito de Huayrapata.	42
Tabla 07: Índice Kappa de la cobertura vegetal del distrito de Huayrapata del año 2025	43
Tabla 08: Precipitación y temperatura del distrito de Huayrapata - periodo 2015 - 2025	46
Tabla 09: Factores climáticos vs. superficie de la cobertura vegetal (Rho de Spearman)	52

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Cobertura vegetal (Rosero, 2018).	20
Figura 02: Sistema de teledetección (Hernandez & Hornero, 2021).	22
Figura 03: Espectro de radiofrecuencias (Herrero et al., 2022).	22
Figura 04: Huella espectral (Córdova, 2018).	23
Figura 05: Mapa de ubicación del área de estudio, distritos de Huayrapata	27
Figura 06: Cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2015	36
Figura 07: Cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2017	36
Figura 08: Cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2019	37
Figura 09: Cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2021	38
Figura 10: Cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2023	39
Figura 11: Cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2024	40
Figura 12: Cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2025	41
Figura 13: Precipitación del distrito de Huayrapata entre el año 2015 - 2021.	44
Figura 14: Precipitación del distrito de Huayrapata entre el año 2023 - 2025.	44
Figura 15: Temperatura del distrito de Huayrapata entre el año 2015 - 2021.	45
Figura 16: Temperatura del distrito de Huayrapata entre el año 2023 - 2025.	46
Figura 17: Tendencia de la precipitación del distrito de Huayrapata entre el año 2015 - 2025.	47
Figura 18: Tendencia de la temperatura del distrito de Huayrapata entre el año 2015 - 2025.	48
Figura 19: Variables climáticas vs. cobertura vegetal del distrito de Huayrapata entre el año 2015 - 2025.	49
Figura 20: Pronóstico de la cobertura vegetal del distrito de Huayrapata al año 2040	50
Figura 21: Pronóstico de la precipitación del distrito de Huayrapata al año 2040	50
Figura 22: Pronóstico de la temperatura del distrito de Huayrapata al año 2040	51

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia:	66
Anexo 02: Descarga de imágenes satelitales Landsat con la metodología NDVI	68
Anexo 03: Procesamiento de imágenes satelitales Landsat con la metodología NDVI	69
Anexo 04: Índice Kappa de la cobertura vegetal del distrito de Huayrapata	70
Anexo 05: Panel fotográfico	71

RESUMEN

Actualmente en el distrito de Huayrapata se presenta el cambio de la cobertura vegetal, producto del cambio climático, así como las ausencias de las precipitaciones; sin embargo se desconoce la tasa exacta de su pérdida, ante ello se plantea el objetivo general de analizar el cambio de la cobertura vegetal y su relación con las variables climáticas en el distrito de Huayrapata - Puno durante el periodo 2015 al 2025. Con procedimiento metodológico mediante la descarga de imágenes satelitales Landsat entre los periodos 2015 al 2025, donde se aplicó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y se determinó la extensión de la cobertura vegetal, posteriormente se determinó la relación de las variables climáticas en el cambio de la cobertura vegetal para finalmente estimar la tendencia de la cobertura vegetal para el año 2040. En los resultados se encontró que la extensión de los suelos desnudos/urbanos crecieron +2.78% (54.96 km² a 73.00 km²), mientras que la vegetación muy escasa -0.38% (321.86 km² a 307.84 km²), y la vegetación escasa -1.12% (24.30 km² a 21.48 km²) y finalmente la vegetación moderada -12.93% (1.56 km² a 0.343 km²), confirmando la tasa decreciente de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata, además se determinó una relación entre las variables climáticas (precipitación 48-68 mm, temperatura 14.8-17.6°C) con respecto a la cobertura vegetal, presentando una correlación Rho de Spearman 0.775 (Sig. 0.000); con una precipitación decreciente (-0.24 mm/año) y una temperatura creciente (+0.15°C) asociándose con la cobertura vegetal, finalmente se estimó una una tendencia al 2040 con la fórmula de regresión lineal, donde se encontró que la cobertura vegetal será de 294.58 km² (-1.9338x + 4239, decreciente). Concluyendo que existe un cambio significativo en la cobertura vegetal de Huayrapata, con tasas decrecientes en la cobertura vegetal y correlación fuerte con las variables climáticas "Precipitación y temperatura".

Palabras clave: Cobertura vegetal, Imágenes satelitales, NDVI, Variables climáticas.

ABSTRACT

Currently, the district of Huayrapata is experiencing changes in vegetation cover as a result of climate change and lack of rainfall. However, the exact rate of loss is unknown. Therefore, the overall objective is to analyze the change in vegetation cover and its relationship with climatic variables in the district of Huayrapata - Puno during the period 2015 to 2040. Using a methodological procedure involving the download of Landsat satellite images between 2015 and 2025, the normalised difference vegetation index (NDVI) was applied and the extent of vegetation cover was determined. the relationship between climatic variables and changes in vegetation cover was then determined in order to finally estimate the trend in vegetation cover for the year 2040. The results showed that the extent of bare/urban soils grew by +2.78% (54.96 km² to 73.00 km²), while very sparse vegetation decreased by -0.38% (321.86 km² to 307.84 km²), and sparse vegetation decreased by 1.12% (from 24.30 km² to 21.48 km²), and finally moderate vegetation decreased by 12.93% (from 1.56 km² to 0.343 km²), confirming the declining rate of vegetation cover in the district of Huayrapata. In addition, a relationship was determined between climatic variables (precipitation 48-68 mm, temperature 14.8-17.6°C) and vegetation cover, with a Spearman's Rho correlation of 0.775 (Sig. 0.000); with decreasing precipitation (-0.24 mm/year) and increasing temperature (+0.15°C) associated with vegetation cover, a trend to 2040 was finally estimated using the linear regression formula, where it was found that vegetation cover will be 294.58 km² (-1.9338x + 4239, decreasing). Concluding that there is a significant change in the vegetation cover of Huayrapata, with decreasing rates in vegetation cover and a strong correlation with the climatic variables "Precipitation and temperature."

Key words: Vegetation cover, climatic variables, satellite images, NDVI.

INTRODUCCIÓN

La cobertura vegetal constituye un componente fundamental de los ecosistemas, ya que desempeña un rol clave en la regulación del clima, el ciclo hidrológico, la conservación del suelo y el mantenimiento de la biodiversidad (Poveda et al., 2022), en regiones altoandinas como el departamento de Puno, la vegetación cumple además una función esencial en la protección de los recursos naturales frente a procesos de degradación ambiental, tales como la erosión, la desertificación y la pérdida de productividad de los suelos (Flórez et al., 2023), sin embargo, en las últimas décadas, estos ecosistemas han venido experimentando cambios significativos como consecuencia de la variabilidad climática y de la presión antrópica (Garnacho et al., 2020).

Uno de los factores climáticos que mayor influencia ejerce sobre la dinámica de la cobertura vegetal es la precipitación, especialmente en zonas donde la disponibilidad hídrica condiciona el desarrollo de la vegetación natural y las actividades agropecuarias (Santos et al., 2022). Las variaciones en los patrones de lluvia, tanto en cantidad como en distribución temporal, afectan directamente el crecimiento, la densidad y la extensión de la cobertura vegetal (Sansare & Mhaske, 2020). En este contexto, el cambio climático ha intensificado la irregularidad de las precipitaciones, generando períodos prolongados de sequía o lluvias intensas que alteran el equilibrio de los ecosistemas altoandinos.

El distrito de Huayrapata, ubicado en la región Puno, presenta características climáticas y geográficas propias del altiplano peruano, donde la cobertura vegetal es altamente sensible a las fluctuaciones climáticas, en particular a las precipitaciones. Durante los últimos años, se ha evidenciado una transformación progresiva del paisaje vegetal, reflejada en la reducción de áreas con cobertura natural, cambios en el uso del suelo y modificaciones en los patrones de vegetación. Estas transformaciones pueden tener implicancias directas en la disponibilidad de recursos hídricos, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental del distrito.

En este contexto, la presente investigación tiene como finalidad analizar el cambio de la cobertura vegetal y su relación con las variables climáticas en el distrito de Huayrapata -

Puno durante el periodo 2015 al 2025. El estudio busca contribuir a una mejor comprensión de la dinámica ambiental del territorio, generando información técnica que sirva de base para la planificación territorial, la gestión sostenible de los recursos naturales y la toma de decisiones orientadas a la adaptación frente a los efectos del cambio climático en la región.

Del mismo modo, el presente estudio se divide en 4 capítulos, que se enumeran:

El capítulo I, establece el problema de estudio, antecedentes referidos a la investigación, y los objetivos logrados que contempla el estudio,

El capítulo II, manifiesta argumentos relacionados al tema de estudio, marco teórico, marco conceptual referidos a la tesis, y las hipótesis de investigación,

El capítulo III, en donde se contempla la metodología del estudio el cual especifica la población y muestra, el tipo y diseño de estudio, técnicas e instrumentos y el procedimiento metodológico,

El capítulo IV, el cual contempla los resultados logrados con su respectiva contrastación de hipótesis por objetivo, y su discusión. Finalmente, las conclusiones y recomendaciones más importantes.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Especialmente en las regiones del mundo, la etapa inicial del deterioro del suelo es la pérdida de las coberturas vegetales; si este proceso no se detiene a tiempo, el entorno acabará desertificando. La principal causa de la pérdida de la cobertura vegetal, es el cambio climático en la atmósfera terrestre que actúa de forma parecida al cristal de un invernadero, que retiene el calor del sol e impide que escape al espacio. Este es un proceso normal, sin embargo, el problema es el incremento de las temperaturas y el aumento o ausencias de las precipitaciones en algunos países del planeta, esto se incrementan debido a las actividades antropogénicas como la tala y quema de bosques, conjuntamente con problemas de agricultura y minería intensiva en el planeta (Pineda & Jaramillo, 2022).

En el Perú como en la mayoría de los países, el cambio de las coberturas vegetales es provocado por el incremento del cambio climático en el Perú, que se constituye en un fenómeno natural por el cual, el calor de los rayos del sol es retenido en el planeta. Esto ha mantenido la temperatura en el planeta y ha permitido la existencia de la vida. Sin embargo, el incremento de las temperaturas y el aumento o ausencia de las precipitaciones en algunas regiones del Perú, ha ocasionado un cambio de las coberturas vegetales (Zhiminaicela et al., 2020).

En el distrito de Huayrapata perteneciente a la provincia de Moho y a la región Puno, los principales causantes de cambios de la cobertura vegetal, es el cambio climático en la atmósfera terrestre, así como las ausencias de las precipitaciones. El índice de vegetación

de diferencia normalizada a pesar de su importancia, se considera que han perdido parte de su capacidad para proveer bienes y servicios ambientales como consecuencia de drenajes superficiales y subterráneas.

1.1.1. Problema general

¿Cuál es la relación de la cobertura vegetal con las variables climáticas en el distrito de Huayrapata - Puno durante el periodo 2015 al 2025?

1.1.2. Problemas específicos

- ❖ ¿Cuál es la tasa de cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025?
- ❖ ¿Cuál es la relación de las variables climáticas con respecto al cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025?
- ❖ ¿Cuál es la tendencia de la cobertura vegetal para el año 2040 en el distrito de Huayrapata?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. A nivel internacional

Galvis (2021), su investigación tiene el fin de augurar las futuras atenuaciones de la temperatura, precipitación, humedad relativa y radiación solar en la región, su investigación sobre "Escenarios climáticos presagiados para Paraguay" se propuso llevar a cabo esta tarea. Además de los escenarios socioeconómicos SRES A2 y B2, se desarrollaron modelos climáticos a escalas globales (HADCM3, ECHAM5, CSIRO-mk3 y GFDL 2.0) para los años 2020, 2050 y 2080. El cálculo de las precipitaciones se ha alterado mucho, ubicado en las zonas orientales y la cuenca del río Paraguay son las que percibieron los mayores incrementos (+5%) y descensos (-6%) sucesivamente. Según las proyecciones, la temperatura aumentará 1°C en 2020, 2,5°C en 2050 y 4,5°C en 2080. El sudeste es la zona con menos incremento, mientras que la cuenca del río Paraguay es la que ha tenido los mayores incrementos. Para 2050 y 2080, la humedad específica crecerá en toda la región +0,2 g/kg y +0,3 g/kg, sucesivamente. Los incrementos son más notables en la cuenca del río Paraná, en el suroeste se observa un ligero aumento de la temperatura y en el altiplano

boliviano un aumento de la temperatura solar. Se utilizó el sistema PRECIS V1.6 para crear escenarios climáticos de alta resolución para los años 2081 al 2090, que mostraron aumentos de temperatura de $+2^{\circ}\text{C}$ y un aumento de las precipitaciones de $+4$ mm/año sobre Paraguay.

Ruíz et al. (2022), el propósito de esta investigación, titulada "Indicadores de resiliencia y sostenibilidad de la vivienda urbana panameña frente al cambio climático", es sugerir indicadores de resiliencia y sostenibilidad de la vivienda urbana panameña frente a los efectos del cambio climático a través de un examen exhaustivo de la vulnerabilidad de la nación. Fue factible tipificar las viviendas resilientes y sostenibles a base de ejercicios cualitativos, y 15 indicadores de resiliencia y 14 de sostenibilidad resultaron validados por expertos nacionales e internacionales para la formulación de una propuesta de 29 indicadores que responden a los impactos actuales y previstos a los cambios del clima ambiental. De este modo, se pudo crear un instrumento práctico y sencillo para evaluar la sostenibilidad y la resiliencia de las viviendas urbanas.

Hernández et al. (2022), investigaron en el centro de Veracruz, México, sobre la alteración del uso de la tierra y la fragmentación del paisaje se produjeron entre 1989 y 2015. Los investigadores examinaron cómo cambió el uso del suelo y cómo se fragmentó el paisaje en 1989, 2003 y 2015. Mediante clasificación supervisada, se extrajeron clasificaciones de cobertura a partir de imágenes Landsat. Se cuantifican los cambios y la pérdida de vegetación y se evaluó la fragmentación mediante medidas del paisaje. Entre 1989 y 2015, se produjo una reducción del 57% en la cantidad de vegetación, con una tasa anual de cambio en la cobertura del $-2,15\%$. Entre 1989 y 2015, se produjo un descenso en el tamaño medio de los fragmentos, el área interior total, el índice de contraste y la cercanía media. La longitud total del borde, la densidad de fragmentos y el número de fragmentos disminuyeron entre 1989 y 2003 antes de volver a aumentar en 2015.

Loredo et al. (2020), realizaron sus estudios en la cuenca baja del río Nazas, al norte de México. El estudio se propuso evaluar los cambios en la cubierta vegetal natural y el uso del suelo de la cuenca baja del río Nazas entre 1990 y 2016. Se crearon bases de datos de

cobertura vegetal y usos del suelo mediante la interpretación visual de fotografías de satélite Landsat TM y ETM. El bosque de galería y el matorral xerófilo conformaron la cobertura natural en 2016. El 32,1% de la cubierta natural se había desbrozado en veintiséis años. En esta región seca, son cruciales las medidas gubernamentales que apoyen la conservación de los ecosistemas y el uso sostenible del agua.

1.2.2. A nivel nacional

Mamani et al. (2023), estudiaron en la selva amazónica del Perú, utilizando datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática, del Ministerio del Ambiente y Geo Forestería y de investigaciones existentes, el objetivo fue conocer el impacto de la cobertura boscosa y el cambio climático en la pérdida de bosques en la selva amazónica peruana entre 2003 y 2019. Se utilizó un enfoque cuantitativo, no experimental, descriptivo y longitudinal, y se empleó el modelo econométrico de efectos fijos y aleatorios. Se descubrió que, mientras que la cubierta forestal influye negativamente en la pérdida de bosques, el cambio climático lo hace favorablemente. Además, la pérdida de bosques aumenta en 4,3 hectáreas por cada 1 mm de incremento en las precipitaciones y en 483,9 hectáreas por cada 1°C de incremento en la temperatura máxima; por el contrario, si la cobertura boscosa aumenta en 1 hectárea, la pérdida de bosques disminuye en 0,13 hectáreas. Esto se justifica por el hecho de que Perú carece de una política ambiental que asegure la preservación, recuperación y conservación de las especies forestales en las regiones amazónicas, principalmente en la Amazonía.

Huacac (2022), en su investigación evaluó la deforestación por minería aurífera utilizando imágenes satelitales de apertura sintética en la microcuenca del río Pariamanu - Madre de Dios, periodos 2010-2020. En el presente estudio se utilizan sensores de radar de apertura sintética (SAR) para evaluar el impacto de la minería aurífera en la deforestación en la microcuenca del río Pariamanu - Madre de Dios entre 2010 y 2020. En los resultados mostró que en enero del 2010, había 354.609,93 hectáreas de bosque cuantificadas; en diciembre de 2010, 2015 y 2020, había 354.477,20 hectáreas, 354.125,48 hectáreas y 353.838,13 hectáreas. La deforestación causada por la minería del oro fue de 1,19

hectáreas en 2010, 36,94 hectáreas en 2015 y 99,73 hectáreas en 2020. La minería de oro representó el 7,05% de las 1.414,07 hectáreas de bosque perdidas entre 2010 y 2020, con una tasa de pérdida anual del 0,003% (9,85 ha/año). En cuanto a la cubierta terrestre y el cambio de uso de la tierra, 1.392,23 hectáreas de bosque se convirtieron a una categoría diferente en un período de diez años, con 97,18 hectáreas (6,98%) asociadas a la minería de oro. En la microcuenca del río Pariamanu, el 93,02% corresponde al desarrollo de infraestructuras y a la agricultura.

Torre & Rivas (2022), realizaron la investigación en el distrito de Satipo - Junín, con el objetivo de analizar temporalmente con teledetección, la disminución de la cobertura vegetal del 2015 a 2018. Reportaron sus resultados según los datos obtenidos de la teledetección, el distrito de Satipo experimentó diversos niveles de pérdida de cubierta vegetal entre 2015 y 2017. Durante este tiempo, el porcentaje del distrito sin cubierta vegetal disminuyó del 13 % al 6 % como resultado del aumento de la actividad agrícola. Sin embargo, en 2018, el distrito experimentó un notable aumento de las zonas sin cubierta vegetal, que representan el 10 % de su superficie total, como consecuencia de fenómenos naturales locales. Con una precisión global del mapa de 88,33% y una puntuación del índice Kappa del 0,83%, la coherencia del mapa demuestra unos resultados eficaces.

Guevara (2021), investigaron en la comarca de Espinar - Cusco, sobre la evolución temporal del NDVI de la cubierta vegetal y su correlación con la expansión minera durante el 2013 y 2020. Los resultados revelaron un descenso medio anual de la cubierta de 345,2 ha/año y un aumento anual de la minería de 50,6 ha. Del mismo modo, los cambios en la cobertura vegetal se vieron afectados por el crecimiento de la minería en un 60,50%. Según los datos presentados, existe una relación entre el crecimiento de la minería y la cobertura vegetal en el distrito cusqueño de Espinar. Se corroboró la importancia de la minería en Antapaccay, que provoca una pérdida de vegetación.

1.2.3. A nivel regional

Aguila & Espinoza (2024), investigaron en la localidad altoandina de Carabaya - Puno. Con el objetivo de analizar las relaciones entre las plantas y los cambios en el uso del suelo a lo

largo del tiempo en Puno, Perú, una localidad altoandina. Para ello se realizó un análisis multitemporal de las asociaciones de vegetación y cambios de uso del suelo en una localidad altoandina, Puno. Estos lugares se localizaron, junto con las categorías y características de uso del suelo, a partir de estudios monitoreados de imágenes Landsat con una resolución espectral de 30 m, adquiridas en los meses de marzo y abril de los años 2000, 2005, 2010 y 2016, el tipo de vegetación se determinó en función de las especies dominantes en la cubierta. Las áreas de seis tipos distintos de zonas de vegetación natural se redujeron en 2.000 hectáreas (16,27%) con referencia a las 12.500 hectáreas iniciales. En 2000, la asociación *Muhlenberg Tum fastigiata* tenía la mayor cobertura (43,96%), pero en 2016, *Calamagrostis vicunarum - Festucetum dolichophylla* (47,31%) tomó la delantera. El porcentaje de la tierra del distrito que se utiliza para la agricultura aumentó de 5133 ha (27 %) a 7115 ha (37 %), mientras que los suelos degradados, las zonas de vegetación escasa y las zonas de humedales disminuyeron de 179 a 29,7 ha. La cobertura urbana aumenta a un ritmo anual del 40,7%. Sin un plan de ordenación territorial, el uso del suelo amenazaba la sostenibilidad de los recursos naturales y perjudicaba a la vegetación.

Mamani & Elé (2020), en su investigación lo desarrolló en la cuenca Zapatilla sobre cambios de cobertura vegetal durante 1987 al 2015. Los resultados indican que en los últimos 28 años se han perdido 497,10 hectáreas de pastos naturales y 24,10 hectáreas de humedales. Mientras tanto, ha habido un aumento de 1500,10 hectáreas en pastizales con arbustos y 16,59 hectáreas en suelo desnudo. En la cuenca del río Zapatilla llave - Juli de la región Puno, la cobertura rocosa reveló notables alteraciones. En comparación con su superficie original, hubo un aumento de 1,38 hectáreas entre 1987 y 2015. Según los parámetros meteorológicos (temperatura, evaporación, precipitaciones, humedad relativa y velocidad del viento), la temperatura media aumentó 0,80 °C entre los periodos 1 y 4. La evaporación media aumentó 0,30 mm/año durante el mismo periodo. La evaporación media aumentó 0,30 mm/año durante el mismo periodo. Por el contrario, la precipitación media disminuyó en -55,50 mm/año. El parámetro de humedad relativa se situó en torno al 62,4% y la velocidad media del viento aumentó 0,20 m/seg.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Analizar el cambio de la cobertura vegetal y su relación con las variables climáticas en el distrito de Huayrapata - Puno durante el periodo 2015 al 2025.

1.3.2. Objetivos específicos

- ❖ Evaluar el cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025.
- ❖ Determinar la relación de las variables climáticas con respecto al cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025.
- ❖ Estimar la tendencia de la cobertura vegetal para el año 2040 en el distrito de Huayrapata.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1.1. Cobertura vegetal

Es una capa de vegetación natural que cubre la superficie del suelo se conoce como cubierta vegetal. Está formada por una variedad de biomásas con distintas propiedades fisionómicas y medioambientales, que van desde praderas hasta regiones cubiertas de bosques naturales (Tiria et al., 2018).

El uso del suelo se caracteriza por las asignaciones resultantes de la actividad humana en un territorio, mientras que "cubierta terrestre" se refiere a la descripción de la sustancia física en la superficie de la Tierra (Rosero, 2018).



Figura 01: Cobertura vegetal (Rosero, 2018).

2.1.2. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Este índice cuantitativo puede utilizarse para cuantificar las distintas unidades de vegetación de un territorio y evaluar el nivel global de vigor de la cubierta vegetal de esa región (Piscoya, 2019).

El NDVI es útil para identificar la salud general de la vegetación y distinguirla de otros tipos de cobertura del suelo (artificial). Además, permite identificar y visualizar regiones con vegetación en mapas y detectar variaciones inusuales en el proceso de crecimiento (Olivares et al., 2019).

2.1.3. Cambio climático

La versión mundial del clima de la Tierra es el cambio climático. Esta transición, provocada tanto por factores naturales como humanos, se produce en escalas de tiempo extremadamente inusuales y afecta a todos los factores climáticos, como la temperatura, las precipitaciones, la nubosidad y muchos más (González et al., 2020).

El cambio climático no es simplemente un fenómeno medioambiental, sino que tiene profundas consecuencias monetarias y sociales, los países más pobres, que podrían estar menos organizados para hacer frente al rápido cambio, serán los que sufran los peores resultados (Segado et al., 2020).

2.1.4. Teledetección

Es la ciencia que permite identificar o analizar sin contacto las propiedades de los objetos de interés (Perea et al., 2021).

La teledetección es una técnica que permite obtener datos de objetos lejanos sin necesidad de tocarlos físicamente. La presencia o creación de campos de fuerza entre el dispositivo sensor y el objeto identificado lo hace posible (Hernandez & Hornero, 2021).

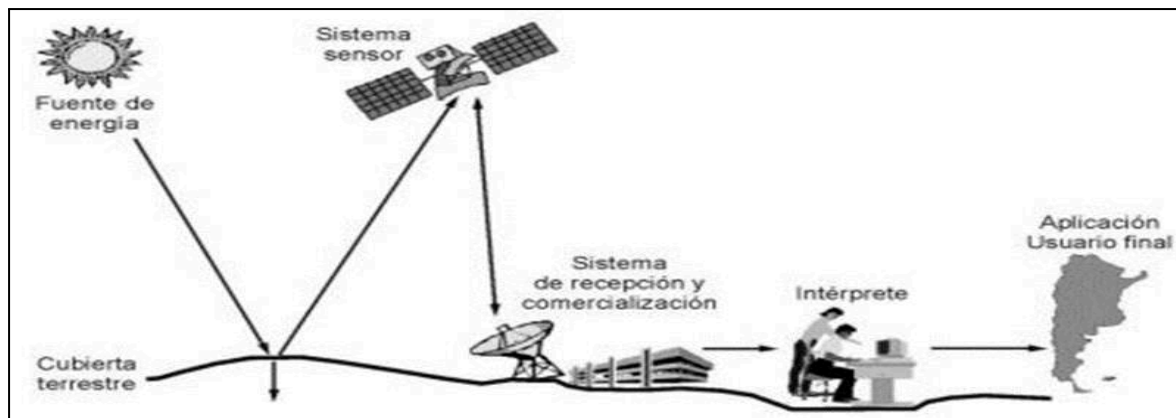


Figura 02: Sistema de teledetección (Hernandez & Hornero, 2021).

2.1.5. El espectro electromagnético

Varios sensores a bordo de satélites de teledetección pueden detectar la luz visible, como la que captan las fotos de las cámaras, pero también pueden captar radiaciones invisibles para el ojo humano, como la luz infrarroja y las ondas de radar (Hernández, 2022).

La medición de la radiación electromagnética o energía emitida por un objeto o material sirve de base para todas las imágenes a distancia (Herrero et al., 2022).

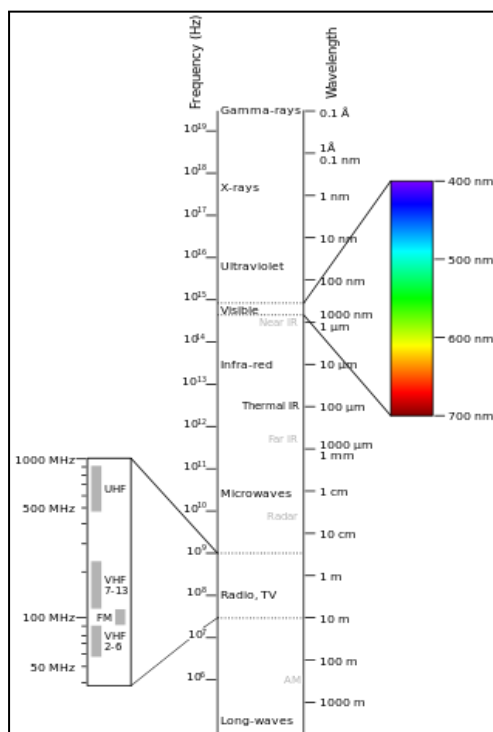


Figura 03: Espectro de radiofrecuencias (Herrero et al., 2022).

2.1.6. Firma espectral

Todas las sustancias y objetos irradian energía en una gama de longitudes de onda conocida como espectro o firma espectral. Por ello, incluso a enormes distancias, es posible distinguir entre los numerosos materiales presentes en la superficie terrestre (Zúñiga, 2018). Los sensores a bordo de satélites ofrecen una ventaja significativa sobre otros sistemas de observación remota de la Tierra porque pueden medir la energía en una amplia gama de longitudes de onda (Córdova, 2018).

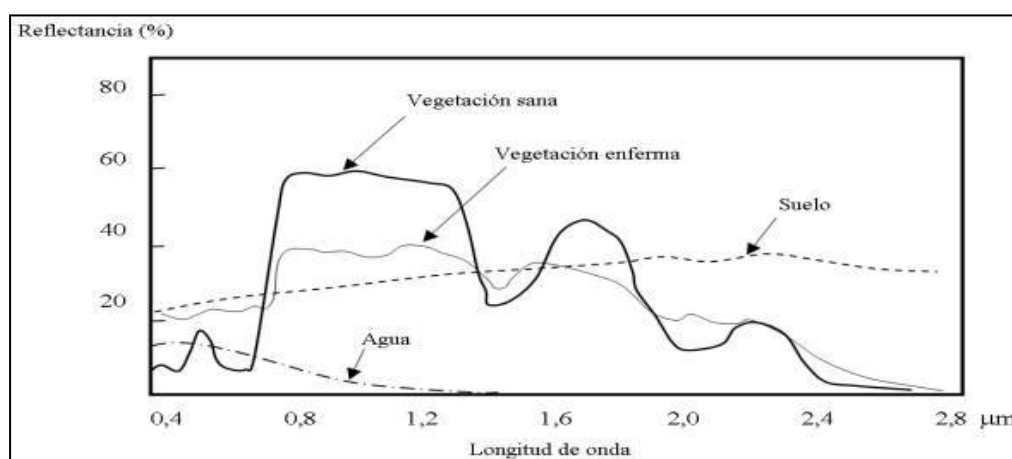


Figura 04: Huella espectral (Córdova, 2018).

2.1.7. Imágenes satelitales Landsat 8

Las imágenes Landsat proporcionan datos que responden a los amplios y numerosos deseos de las empresas, la tecnología, la enseñanza, el gobierno y la protección nacional. El reto del Programa Landsat es ofrecer la adquisición repetible de estadísticas multiespectrales de mediana resolución del suelo terrestre a escala internacional (Briceño et al., 2021).

Las imágenes satelitales constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas 1 a 7 y 8 a 11. La banda azul ultra 1 es beneficiosa para la investigación científicas costeras y de aerosoles. La banda 9 es beneficiosa para la determinación de cirros. La resolución espacial para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros de resolución. Las bandas térmicas 10 y 11 son útiles para presentar temperaturas de suelo más correctas y adquirir hasta cien metros (Jara et al., 2019).

Tabla 01: Resolución Espectral Landsat 8.

Banda	Nombre	Longitud de Onda (µm)	Resolución
1	Aerosol Costa	0.43 - 0.45	30
2	Azul	0.45 - 0.51	30
3	Verde	0.53 – 0.59	30
4	Rojo	0.64 – 0.67	30
5	NIR	0.85 – 0.88	30
6	SWIR 1	1.57 – 1.65	30
7	SWIR 2	2.11 – 2.29	30
8	Pancromática	0.50 – 0.68	15
9	Cirrus	1.36 – 1.38	30
10	TIRS 1(infrarrojo térmico de onda larga)	10.60 – 11.19	100
11	TIRS 2 (infrarrojo térmico de onda larga)	11.50 – 12.21	100

Fuente: (USGS, 2015).

2.1.8. Sistemas de información Geográfica

La expresión "SIG" o "Sistema de Información Geográfica" se utiliza para referirse a una serie de ideas relacionadas pero no relacionadas. Uno de los usos, que se utilizará a lo largo de estas notas, es para referirse al programa informático o aplicación utilizada para manejar mapas (Buzai, 2020).

SIG son las siglas de Sistema de Información Geográfica, un marco para la recopilación, gestión y análisis de datos. El SIG, que hunde sus raíces en la tecnología espacial, incorpora numerosos tipos de estadísticas. Organiza capas de datos para su visualización mediante mapas y escenarios tridimensionales y analiza el espacio (Barrera et al., 2020).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Cobertura: Todo lo que puede verse en la superficie y debajo de la tierra, como los seres vivos (biota), las masas de agua superficiales y subterráneas y los edificios construidos por el hombre. actividades humanas, etc. (Poveda et al., 2022).

Cobertura vegetal: Se denomina vegetación a la cubierta creada por plantas silvestres o domesticadas de origen natural que se extienden por una superficie terrestre o sumergida en el agua en una zona geográfica. También se habla de cubierta vegetal. Su distribución en la Tierra está influida por variables edafológicas y climáticas (Poveda et al., 2022).

Precipitación: En realidad es, el agua líquida o sólida que se ha formado en la atmósfera es la que cae a la superficie terrestre en forma de lluvia, aguanieve o nieve (Flórez et al., 2023).

Calentamiento global: Se trata de un aumento de las temperaturas medias de los océanos y la atmósfera a lo largo del tiempo.

Radiación solar: Debido a la emisión de energía solar en forma de radiación electromagnética, se trata de un fenómeno físico (Garnacho et al., 2020).

R-Studio: Este entorno de desarrollo integrado en el lenguaje de programación R se centra en el análisis estadístico y las instantáneas. Proporciona herramientas para gestionar espacios de trabajo, una consola, visuales y un editor de sintaxis para la ejecución amigable o sencilla de lenguajes de códigos (Santos et al., 2022).

QGIS: Es un programa de software de suministro abierto para sistemas GNU/Linux, Unix, Mac OS y Microsoft Windows. Permite manejar formatos ráster y vectoriales como shp, además de bases de datos especiales (Sansare & Mhaske, 2020).

2.3. MARCO NORMATIVO

Los recursos naturales y otros componentes ambientales cumplen funciones que permiten preservar las condiciones de los ecosistemas y el medio ambiente, de acuerdo a la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, produciendo beneficios que son aprovechados sin retribución ni compensación. En consecuencia, a fin de asegurar la conservación de los ecosistemas, la diversidad biológica y el medio ambiente, el Estado establece mecanismos para evaluar, compensar y mantener la prestación de dichos servicios ambientales.

La Ley de Conservación y Uso Sostenible de la Diversidad Biológica (Ley N° 26839). De conformidad con los artículos 66 y 68 de la Constitución Política del Perú, esta ley regula la conservación de la variedad biológica y el uso sostenible de las partes que la componen.

La conservación y el uso racional de la diversidad biológica se enmarcan en el desarrollo sostenible e implican:

- a) para sostener los procesos ecológicos cruciales que son necesarios para la supervivencia de las especies, así como para proteger la diversidad de ecosistemas, especies y genes.
- b) Fomentar la distribución justa y equitativa de las ventajas derivadas de la utilización de la variedad biológica.

Los MRSE son acuerdos voluntarios que establecen reglas para la protección, restauración y uso sostenible de los ecosistemas. La Ley N° 30215, Ley de Mecanismos de Remuneración de los Servicios Ecosistémicos, tiene como objetivo fomentar, regular y supervisar el desarrollo e implementación de los MRSE.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. Hipótesis general

La cobertura vegetal presenta una relación significativa con las variables climáticas en el distrito de Huayrapata - Puno durante el periodo 2015 al 2025

2.4.2. Hipótesis específicas

- ❖ La cobertura vegetal presenta una tasa de cambio decreciente en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025.
- ❖ Las variables climáticas presentan una relación significativa con el cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025
- ❖ La cobertura vegetal y las variables climáticas presentan una tendencia decreciente para el año 2040 en el distrito de Huayrapata

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La investigación se llevará a cabo en el distrito de Huayrapata, provincia de Moho, región de Puno, también se ubica próximo a las orillas del lago navegable más alto del mundo, conocido como (Lago Titicaca). El distrito cuenta con una superficie territorial de 402.70 km², a una elevación máxima de 4810 m.s.n.m. y mínima de 3921 m.s.n.m. Con una temperatura máxima de 18 °C y una mínima de - 6 °C (SENAMHI, 2023), el distrito de Huayrapata cuenta con una población de 3.870, según el último censo peruano (INEI, 2017).

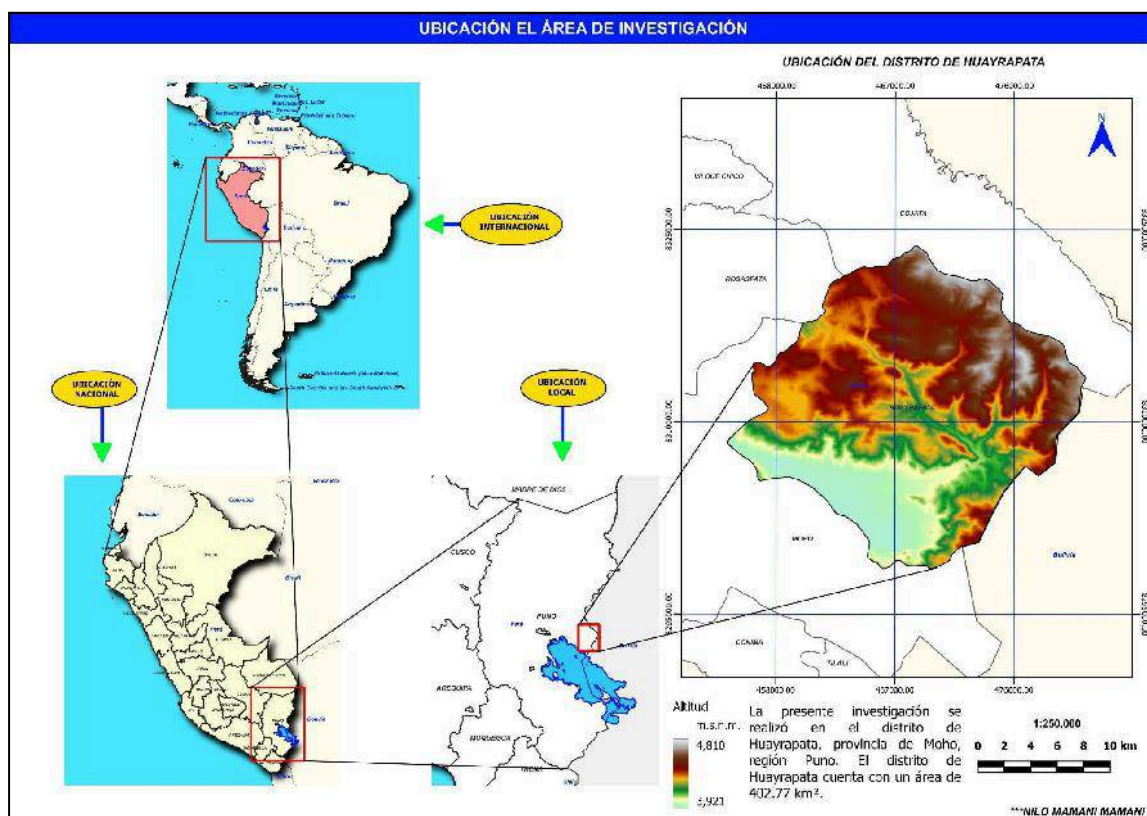


Figura 05: Mapa de ubicación del área de estudio, distritos de Huayrapata

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

Es un grupo de elementos que cumplen especificaciones similares se denomina población según Hernández Mendoza (2022); ante ello la población en estudio corresponde al área de estudio superficie o territorial delimitada del distrito de Huayrapata que es de 402.70 km².

3.2.2. Muestra

La muestra es una porción de la población que sirve como su representación (Hernández & Mendoza, 2022); será de 402.70 km². cuyos valores de los índices de vegetación NDVI, generados mediante las fotografías satelitales Landsat-L8 seleccionadas que resaltan el cambio de la cobertura vegetal. También los puntos de entrenamiento serán las muestras necesarias para construir el modelo de clasificación Random Forest en R-Studios.

Estos puntos no se eligieron al azar, sino basándose en la identificación geográfica de las zonas cubiertas por los ecosistemas de alta montaña modelados en las fotos aéreas.

3.3. METODOS Y TECNICAS

3.3.1. Nivel de investigación

El nivel de investigación, es DESCRIPTIVO debido a que los estudios descriptivos pretenden describir los atributos y componentes de ideas, acontecimientos, variables o sucesos dentro de un contexto en específico (Hernández & Mendoza, 2022).

3.3.2. Tipo de investigación

Así mismo es **APLICADA**, porque es un tipo de investigación orientada a resolver problemas específicos o prácticos, enfocados en la implementación de los conocimientos teóricos para resolver problemas concretos en diversos campos, como la industria, la medicina, la educación, la tecnología, entre otros (Hernández & Mendoza, 2022).

3.3.3. Diseño de investigación

El diseño es NO EXPERIMENTAL porque las variables no se modificaron a propósito en la investigación para determinar cómo afectan a otros factores (Hernández & Mendoza, 2022).

3.3.4. Método

Se empleó el método **DEDUCTIVO ANALITICO**

Según Hernández & Mendoza (2022), es un enfoque de razonamiento lógico en el que se parte de principios o premisas generales para llegar a conclusiones específicas. Es un método tradicionalmente asociado con la lógica formal y las matemáticas, aunque también se aplica en diversas áreas del conocimiento científico.

3.3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos de esta investigación son aquellos procedimientos que son empleados para regular y controlar todo el proceso de la investigación (Hernández & Mendoza, 2022), En este estudio, se empleo las siguientes técnicas:

- Imágenes satelitales Landsat.

Instrumentos

Es fundamental tener en cuenta que cada enfoque de investigación tiene su propio instrumento. Por ejemplo, el formulario de recogida de datos es un instrumento utilizado en la técnica de observación, mientras que el cuestionario es un instrumento utilizado en la técnica de encuesta (Hernández & Mendoza, 2022); En este estudio se empleo el siguiente instrumento para recopilar información:

- Procesamiento de imágenes satelitales Landsat con la metodología NDVI (anexo 2)

3.3.6. Diseño metodológico por objetivos

Metodología para el objetivo específico N° 01:

Evaluar el cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025.

a. Adquisición de imágenes satelitales Landsat-8

Para la obtención de los registros del cambio de la cobertura vegetal, se obtendrán 7 escenas de imágenes satelitales Landsat 8 con una resolución de 30 m desde el año 2015 la 2025, de la plataforma geomática Google Earth Engine, donde las imágenes aéreas están corregidas de valores digitales a reflectancia (TOA), luego se importará las imágenes satelitales al software ArcGIS para realizar algunos análisis y el geoprocésamiento de las imágenes aéreas.

b. Cálculo del índice normalizado de diferencia de vegetación (NDVI)

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), es una medición digital de la cubierta vegetal que se calcula mediante las bandas del espectro rojo e infrarrojo próximo.

El NDVI y el contenido de vegetación están estrechamente relacionados.

$$NDVI = \frac{(NIR(B5) - Red(B4))}{(NIR(B5) + Red(B4))}$$

$$NDVI (Landsat 8) = (B5 - B4) / (B5 + B4)$$

c. Método de clasificación no supervisada del NDVI

Con este método, el nivel digital del NDVI (-1 a 1) se clasifica en rangos más sintéticos.

Basándose en esta clasificación, sugieren la clasificación posterior.

Tabla 02: Clases de los valores del NDVI.

Clasificación	NDVI	Tipo
Cuerpos de agua	-1 – 0	Sin cobertura vegetal
Suelo desnudo/área urbana	0 – 0.1	Con cobertura vegetal
Vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas)	0.1 – 0.2	
Vegetación escasa (Pastos naturales secos, cobertura discontinua)	0.2 – 0.3	
Vegetación moderada (Praderas altoandinas, cultivos en desarrollo)	0.3 – 0.45	

d. Método de clasificación supervisada en base al NDVI.

Se creó puntos de control con la herramienta Train Maximum Likelihood Classifier (clasificación de máxima verosimilitud) en el software ArcGIS, para seguidamente ir a campo y visualizar que efectivamente se trata de la cobertura vegetal que se halló mediante el procedimiento en el Software

e. Índice Kappa

Se realizó la validación del espejo de agua entre el mapa observado y la coincidencia de la realidad en base al índice Kappa del año actual; para conocer la precisión de los resultados obtenidos en el software con la realidad.

Tabla 03: Interpretación del coeficiente Kappa.

Coeficiente Kappa	Magnitud de afinidad
<0.00	Pobre
0.00 a 0.20	Leve
0.21 a 0.40	Justa
0.41 a 0.60	Moderada
0.61 a 0.80	Considerable
0.81 a 1.00	Casi perfecto

Fuente: Adaptado de Rwanga & Ndambuki (2017).

Metodología para el objetivo específico O2: Determinar la relación de las variables climáticas con respecto al cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025.

Para tener los datos de precipitaciones y temperaturas presentes se obtendrán de la base de datos del SENAMHI que representan situaciones históricas y presentes. Las variables meteorológicas utilizadas serán precipitaciones y temperaturas anuales del 2015 al 2025, Los datos suelen descargarse en un formato (csv), y luego procesarlos en open office excel para posteriormente importarlos al software ArcGIS, para interponerlos con la expresión (kriging/idw), luego analizar el geoprocesamiento del raster los valores mínimos y máximos. Las variables meteorológicas utilizadas serán las precipitaciones y temperaturas anuales, los datos suelen venir ya en un formato numérico, para posteriormente importarlos al software ArcGIS, luego analizar el geoprocesamiento del raster y extracción de los valores máximos y mínimos.

Metodología para el objetivo específico N° 03:

Estimar la tendencia de la cobertura vegetal para el año 2040 en el distrito de Huayrapata.

Para proyectar a un futuro escenario para la cobertura vegetal del distrito de Huayrapata para el año 2040, se empleará el método de regresión lineal. La regresión se utiliza para calcular el valor de una variable basándose en otra, tal como se muestra en la ecuación

siguiente: Flores, 2017).

$$Y = bx + c + Et$$

Donde:

Y: Variable dependiente que se pretende estimar

b: Parámetro de regresión correspondiente al valor estimado

x: Variable independiente

c: Parámetro de regresión correspondiente al crecimiento o disminución

Et: Componente error típico

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 04: Operacionalización de variables

VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
Independiente	Variables climáticas	Temperatura	Imágenes Satelitales (LandSat – 8 y 9)
Variables climáticas		Precipitación	Nivel de Investigación - Descriptivo
	Tasa de cambio de la cobertura vegetal - Índice normalizado de diferencia de vegetación (NDVI)	Cuerpos de agua – (-1 – 0)	Tipo de Investigación - Aplicada
Dependiente			Diseño de Investigación - No Experimental
		Suelo desnudo/área urbana (0 – 0.1)	Método - Deductivo
Cambio de la cobertura vegetal.		Vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas) (0.1 – 0.2)	Zona de estudio - Distrito de Huayrapata
		Vegetación escasa (Pastos naturales secos, cobertura discontinua) (0.2 – 0.3)	
		Vegetación moderada (Praderas altoandinas, cultivos en desarrollo) (0.3 – 0.45)	

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

Prueba de Shapiro - Wilks

Comprender la distribución estadística de los datos de una variable es el primer paso de este proceso. Sólo se aplica en los casos en que el volumen de datos es de 50 unidades o menos. La siguiente prueba es aplicable a este método:

- ❖ H_a : La distribución de datos es normal.
- ❖ H_0 : La distribución de datos no es normal

Decisión:

$\text{Sig}(p \text{ valor}) > \alpha$: Acepto H_a (distribución de datos cumple con el supuesto de normalidad).

$\text{Sig}(p \text{ valor}) < \alpha$: Aceptar H_0 (distribución de datos no cumple con el supuesto de normalidad).

Así, con un nivel de confianza del 95%, α representa la significación del 5% (0,05). Las estadísticas y las estimaciones pueden ser informativas y fiables cuando siguen una distribución normal.

Coeficiente de correlación (r)

Según Hernandez (2019), se refiere a la fuerza de la asociación lineal que establece la fuerza de la relación entre dos variables. Cuando se realizan pruebas paramétricas, el coeficiente de correlación se calcula mediante el método de Pearson; en caso contrario (Artusi et al., 2002), se utiliza el método de Spearman.

Para calcular el coeficiente de correlación se emplea la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\Sigma(x - m_x)(y - m_y)}{\sqrt{\Sigma(x - m_x)^2 \Sigma(y - m_y)^2}}$$

Para interpretar la fuerza de la relación, los rangos del coeficiente de correlación se fijan entre -1 y +1, se utiliza la tabla 05.

Tabla 05: Grado de correlación.

r	Interpretación
0.90 - 1.00	Correlación muy alta
0.70 - 0.89	Correlación alta
0.50 - 0.69	Correlación moderada
0.30 - 0.49	Correlación baja
0.00 - 0.29	Poca correlación

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. EVALUAR EL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN EL DISTRITO DE HUAYRAPATA DURANTE EL PERIODO 2015 AL 2025

4.1.1. Cobertura vegetal (periodo 2015 - 2025)

En la figura 6, se exhibe la cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2015, indicando que la extensión de los suelos desnudos/área urbana es de 54.969 km², mientras que la extensión de la vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas) es de 321.860 km², además la extensión de la vegetación escasa (Pastos naturales secos, cobertura discontinua) es de 24.308 km², y finalmente la extensión de la vegetación moderada (Praderas altoandinas, cultivos en desarrollo) es de 1.561 km², abarcando una totalidad de extensión de 402.70 km².

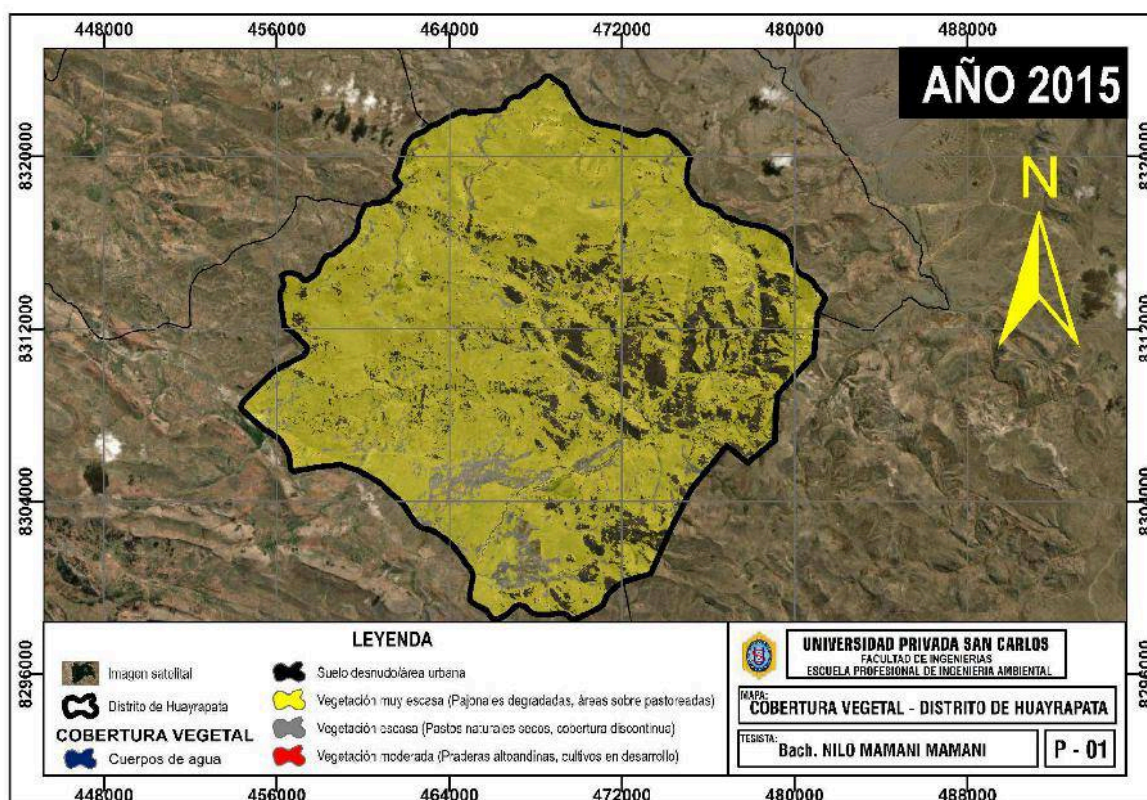


Figura 06: Cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2015

En la figura 7, se exhibe la cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2017, indicando que la extensión de los suelos desnudos/área urbana es de 63.954 km², mientras que la extensión de la vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas) es de 314.356 km², además la extensión de la vegetación escasa (Pastos naturales secos, cobertura discontinua) es de 24.308 km², y finalmente la extensión de la vegetación moderada (Praderas altoandinas, cultivos en desarrollo) es de 0.926 km², abarcando una totalidad de extensión de 402.70 km².

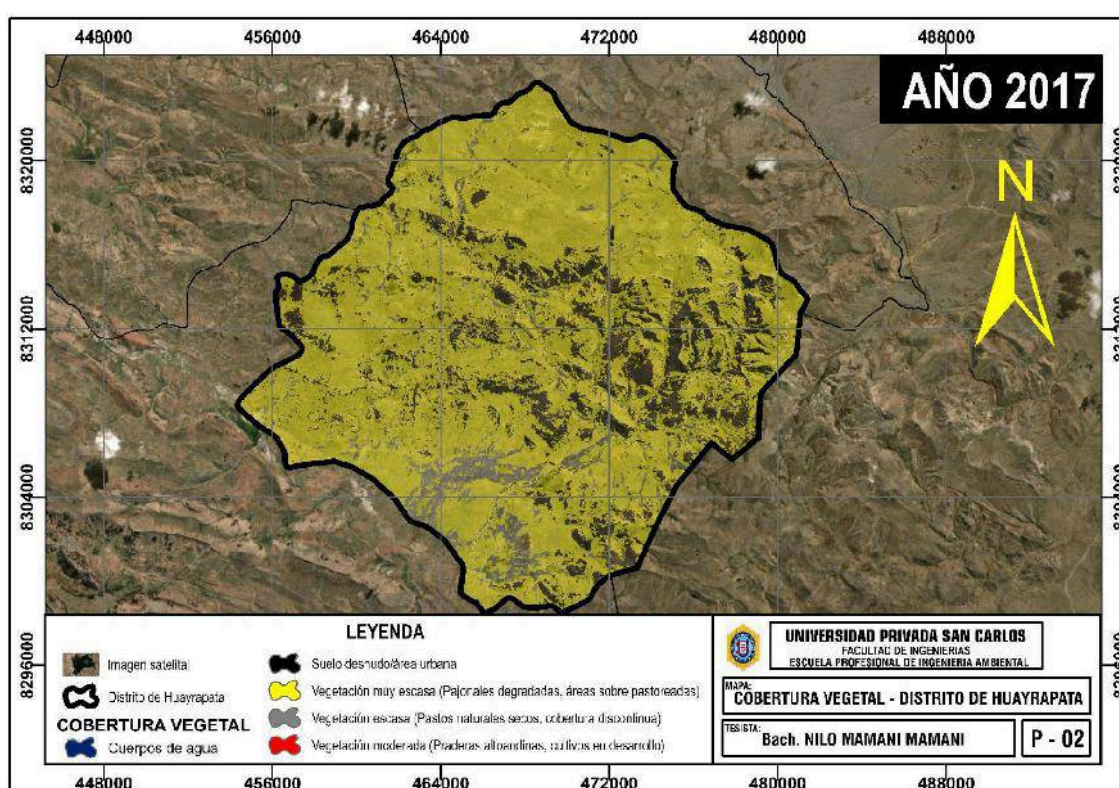


Figura 07: Cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2017

En la figura 8, se exhibe la cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2019, indicando que la extensión de los suelos desnudos/área urbana es de 73.429 km², mientras que la extensión de la vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas) es de 309.844 km², además la extensión de la vegetación escasa (Pastos naturales secos, cobertura discontinua) es de 18.721 km², y finalmente la extensión de la vegetación moderada (Praderas altoandinas, cultivos en desarrollo) es de 0.683 km², abarcando una totalidad de extensión de 402.70 km².

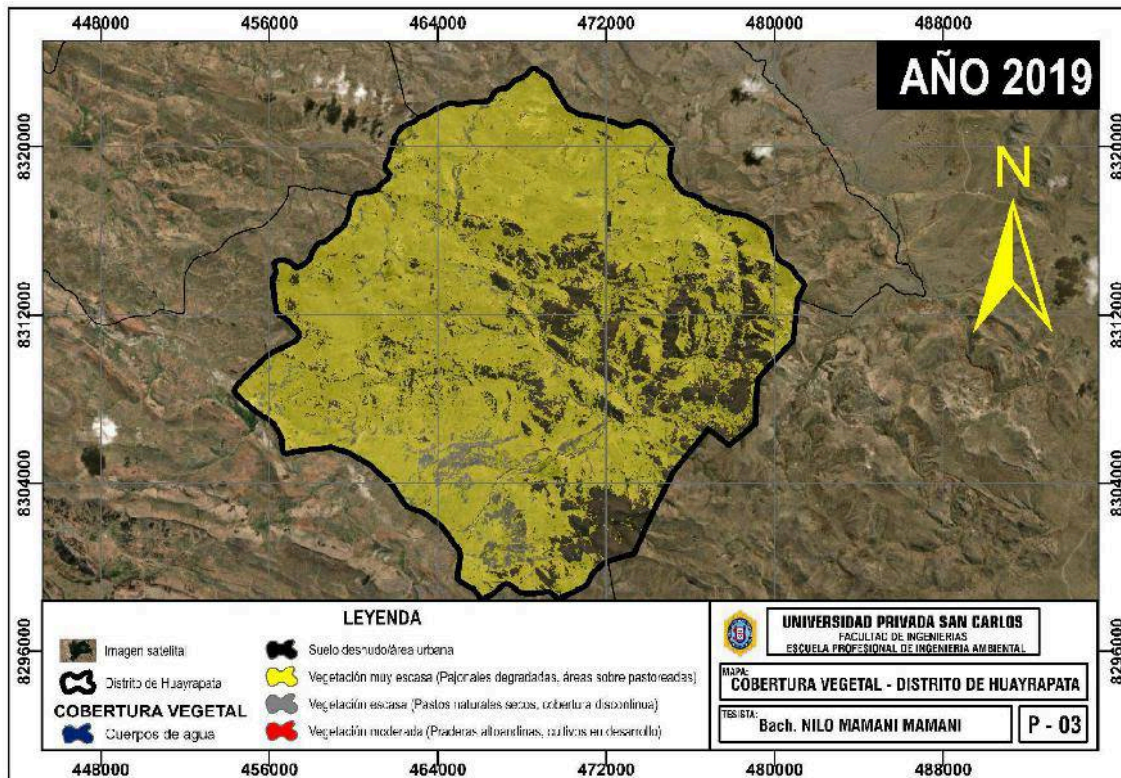


Figura 08: Cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2019

En la figura 9, se exhibe la cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2021, indicando que la extensión de los suelos desnudos/área urbana es de 71.287 km², mientras que la extensión de la vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas) es de 310.722 km², además la extensión de la vegetación escasa (Pastos naturales secos, cobertura discontinua) es de 19.631 km², y finalmente la extensión de la vegetación moderada (Praderas altoandinas, cultivos en desarrollo) es de 1.079 km², abarcando una totalidad de extensión de 402.70 km².

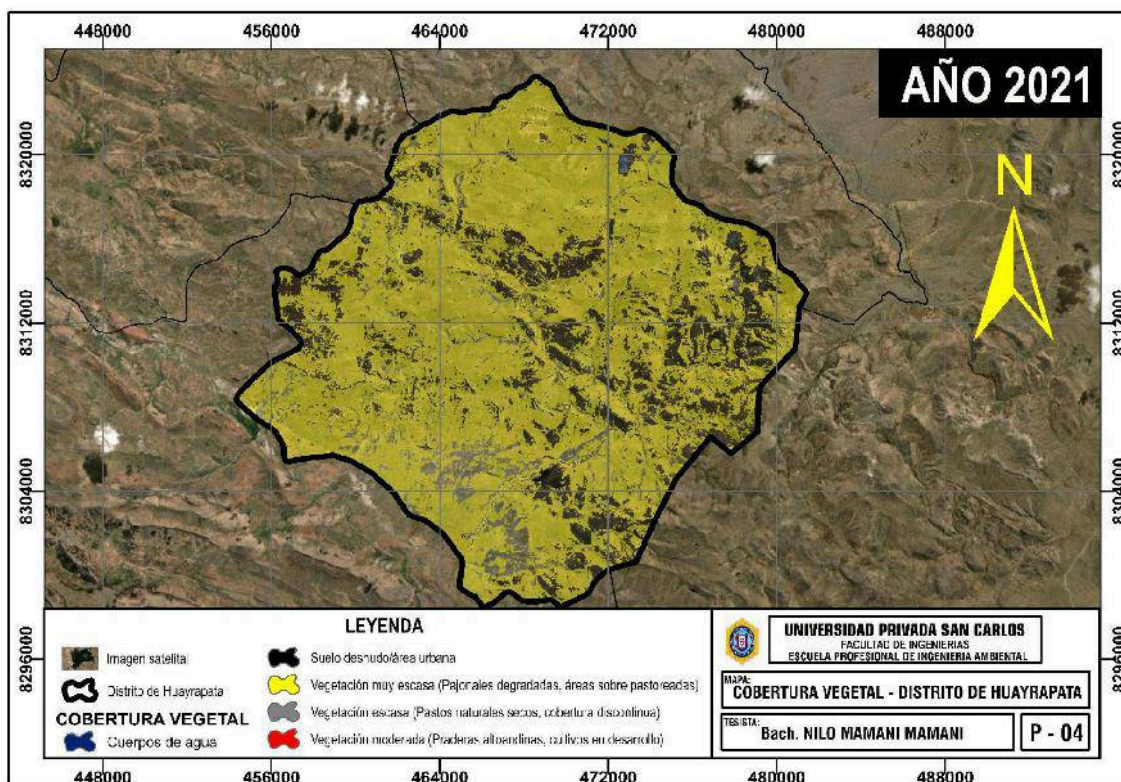


Figura 09: Cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2021

En la figura 10, se exhibe la cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2023, indicando que la extensión de los suelos desnudos/área urbana es de 80.710 km², mientras que la extensión de la vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas) es de 302.504 km², además la extensión de la vegetación escasa (Pastos naturales secos, cobertura discontinua) es de 18.950 km², y finalmente la extensión de la vegetación moderada (Praderas altoandinas, cultivos en desarrollo) es de 0.502 km², abarcando una totalidad de extensión de 402.70 km².

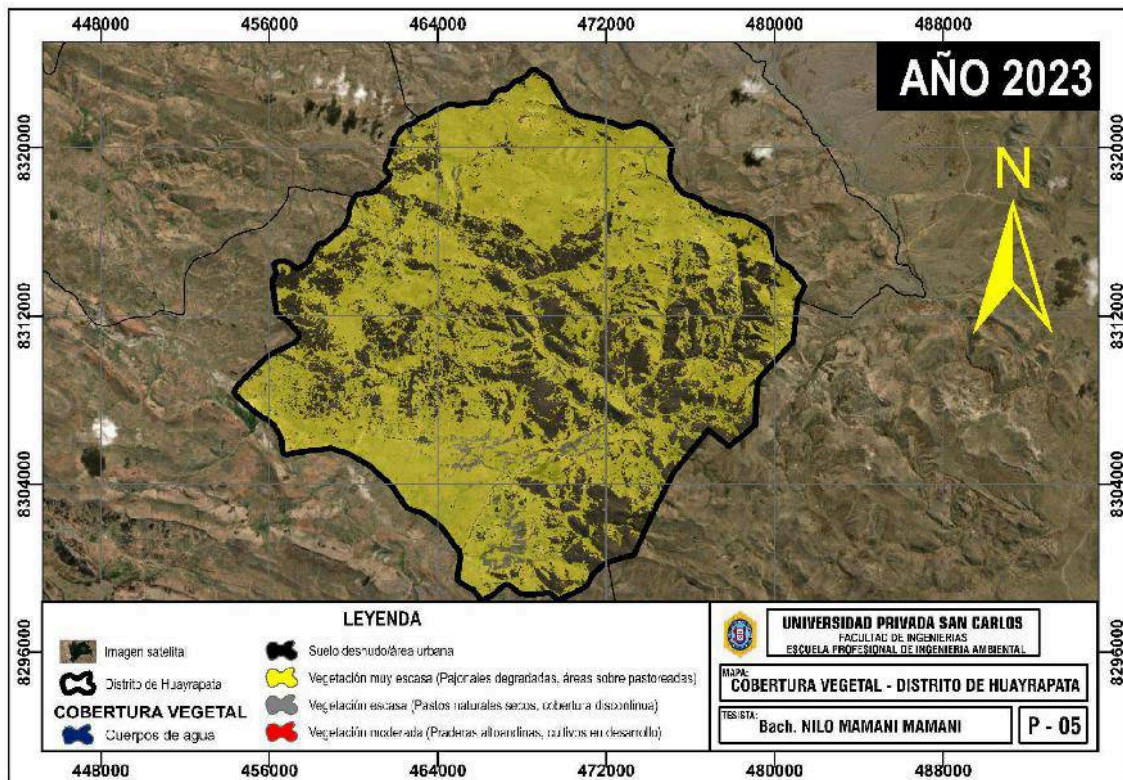


Figura 10: Cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2023

En la figura 11, se exhibe la cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2024, indicando que la extensión de los suelos desnudos/área urbana es de 80.314 km², mientras que la extensión de la vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas) es de 300.803 km², además la extensión de la vegetación escasa (Pastos naturales secos, cobertura discontinua) es de 20.757 km², y finalmente la extensión de la vegetación moderada (Praderas altoandinas, cultivos en desarrollo) es de 0.797 km², abarcando una totalidad de extensión de 402.70 km².

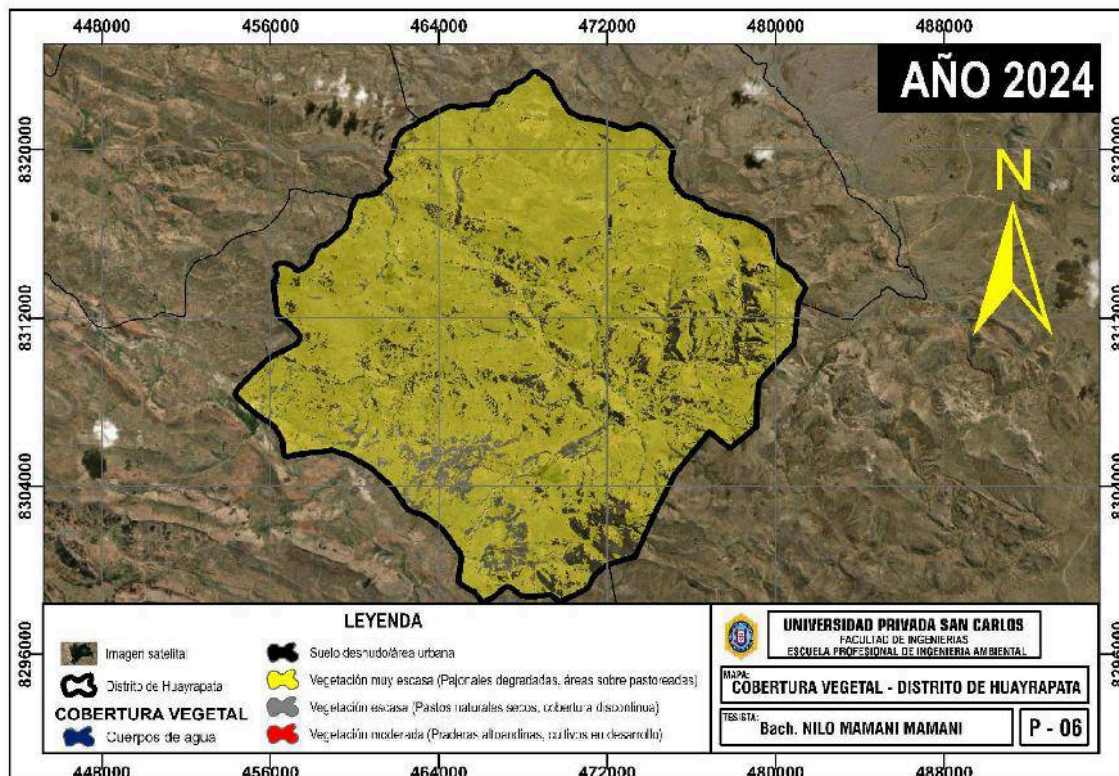


Figura 11: Cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2024

En la figura 12, se exhibe la cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2025, indicando que la extensión de los suelos desnudos/área urbana es de 73.002 km², mientras que la extensión de la vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas) es de 307.847 km², además la extensión de la vegetación escasa (Pastos naturales secos, cobertura discontinua) es de 21.484 km², y finalmente la extensión de la vegetación moderada (Praderas altoandinas, cultivos en desarrollo) es de 0.343 km², abarcando una totalidad de extensión de 402.70 km².

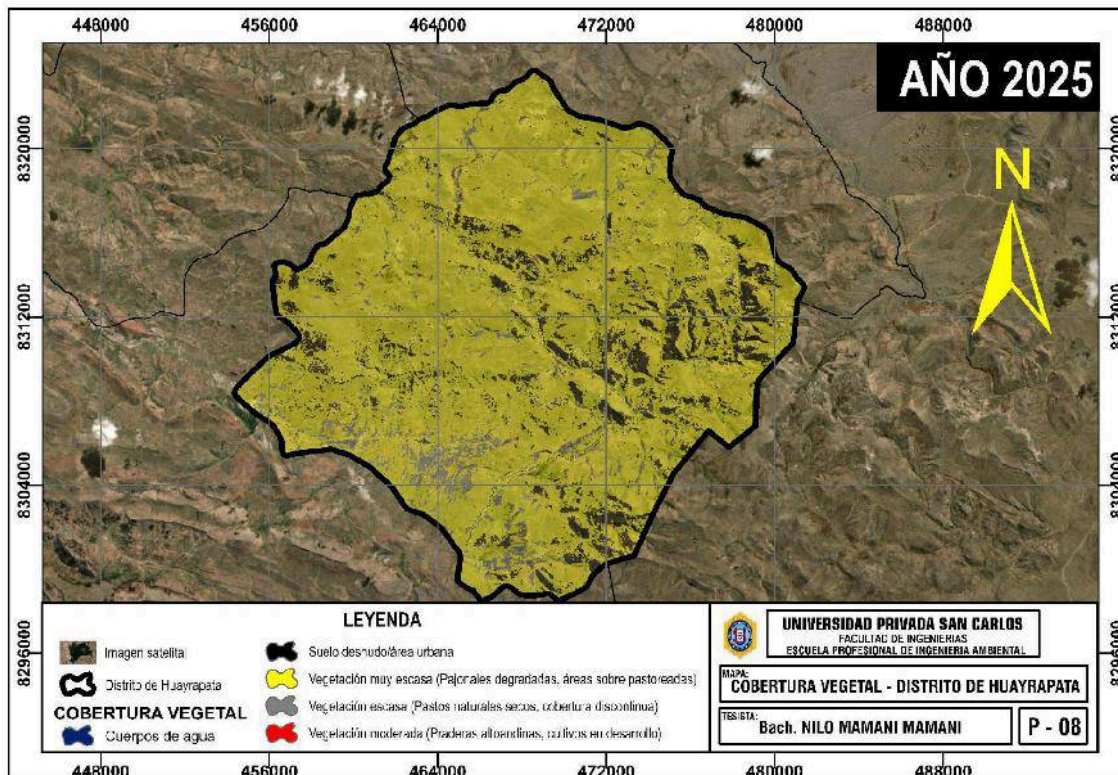


Figura 12: Cobertura vegetal del distrito de de Huayrapata al año 2025

4.1.2. Tasa de cambio de la cobertura vegetal (periodo 2015 - 2025)

En la tabla 6, se aprecia la extensión de la cobertura vegetal del distrito de Huayrapata entre los períodos de 2015 a 2025 en el distrito de Huayrapata, indicando que la tasa de cambio del suelo desnudo/área urbana es de 2.78 (incremento), mientras que la tasa de cambio de la vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas) es de -0.38 (decrecimiento), además la tasa de cambio de la vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas) es de -1.12 (decrecimiento), de igual forma la tasa de cambio de la vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas) es de -12.93 (decrecimiento).

Tabla 06: Extensión de la cobertura vegetal del distrito de Huayrapata entre los períodos de 2015 a 2025 en el distrito de Huayrapata.

Coberturas vegetales	NDVI	2015	2017	2019	2021	2023	2024	2025	T.C.
Cuerpos de agua	-1 - 0	0.024	0.023	0.023	0.026	0.02	0.023	0.017	-3.08 6
Suelo desnudo/ár ea urbana	0 - 0.1	54.96	63.95	73.42	71.28	80.71	80.31	73.00	2.78
Vegetación muy escasa (Pajonales degradadas , áreas sobre pastoreada s)	0.1 - 0.2	321.8 6	314.3 5	309.8 4	310.7 2	302.5 0	300.8 0	307.84	-0.38
Vegetación escasa (Pastos naturales secos, cobertura discontinua)	0.2 - 0.3	24.30	23.45	18.72	19.63	18.95	20.75	21.48	-1.12
Vegetación moderada (Praderas altoandinas , cultivos en desarrollo)	0.3 - 0.45	1.56	0.92	0.68	1.07	0.502	0.797	0.343	-12.9 3

4.1.3. Indicadores de validación

La matriz de confusión y el índice Kappa (Anexo 4) se obtuvieron con el fin de proporcionar una categorización fiable. Estas métricas ofrecen evaluaciones cuantitativas de la precisión y validez del año actual (2025). Los resultados se muestran en la Tabla 07:

La validación del mapa actual mediante el índice Kappa se muestra en la Tabla 07, que indica que la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata al año 2025, tiene una precisión del 96,22 % al 99,06 %; además, el área generada utilizando imágenes satelitales Landsat tiene valores del índice Kappa que presenta en promedio 0,988. Esto significa que el área

generada utilizando imágenes satelitales Landsat está validada, lo que demuestra que la clasificación se encuentra dentro de los parámetros del Índice Kappa.

Tabla 07: Índice Kappa de la cobertura vegetal del distrito de Huayrapata del año 2025

Año	Precisión	Índice Kappa
2025	99.61	0.988

4.2. DETERMINAR LA RELACIÓN DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS CON RESPECTO AL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN EL DISTRITO DE HUAYRAPATA DURANTE EL PERIODO 2015 AL 2025.

4.2.1. Precipitación y temperatura del distrito de Huayrapata

En la figura 13, se exhibe la precipitación del distrito de Huayrapata entre el año 2015 - 2021, indicando que la precipitación promedio para el año 2015 fluctúa entre 67.01 mm a 70.43 mm, mientras que para el año 2017 fluctúa entre 46.94 mm a 49.10 mm, además para el año 2019 fluctúa entre 57.47 mm a 63.68 mm, y para el año 2021 fluctúa entre 53.62 mm a 55.62mm, representando una tendencia de disminución.

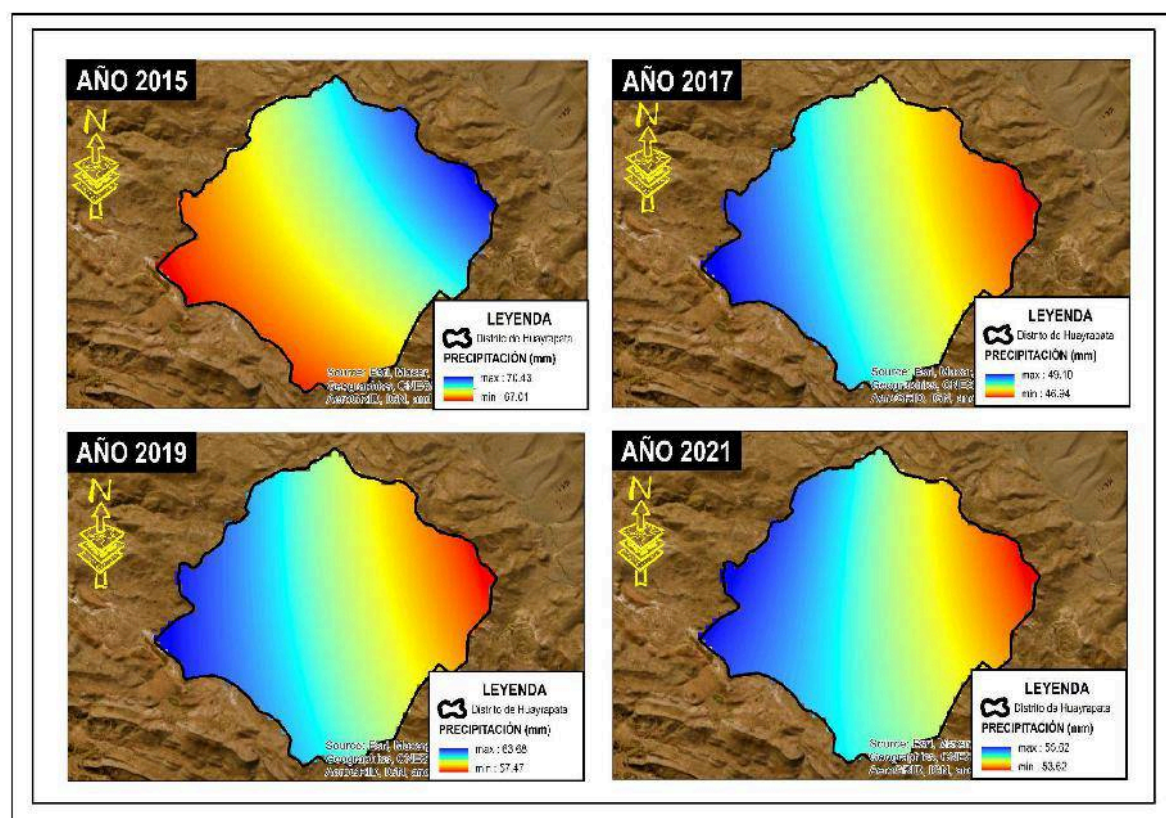


Figura 13: Precipitación del distrito de Huayrapata entre el año 2015 - 2021.

En la figura 14, se exhibe la precipitación del distrito de Huayrapata entre el año 2023 - 2025, indicando que la precipitación promedio para el año 2023 fluctúa entre 47.30 mm a 52.75 mm, mientras que para el año 2024 fluctúa entre 59.99 mm a 64.43 mm, además para el año 2025 fluctúa entre 54.34 mm a 60.09 mm, y para el año 2021 fluctúa entre 53.62 mm a 55.62mm, representando una tendencia de incremento.

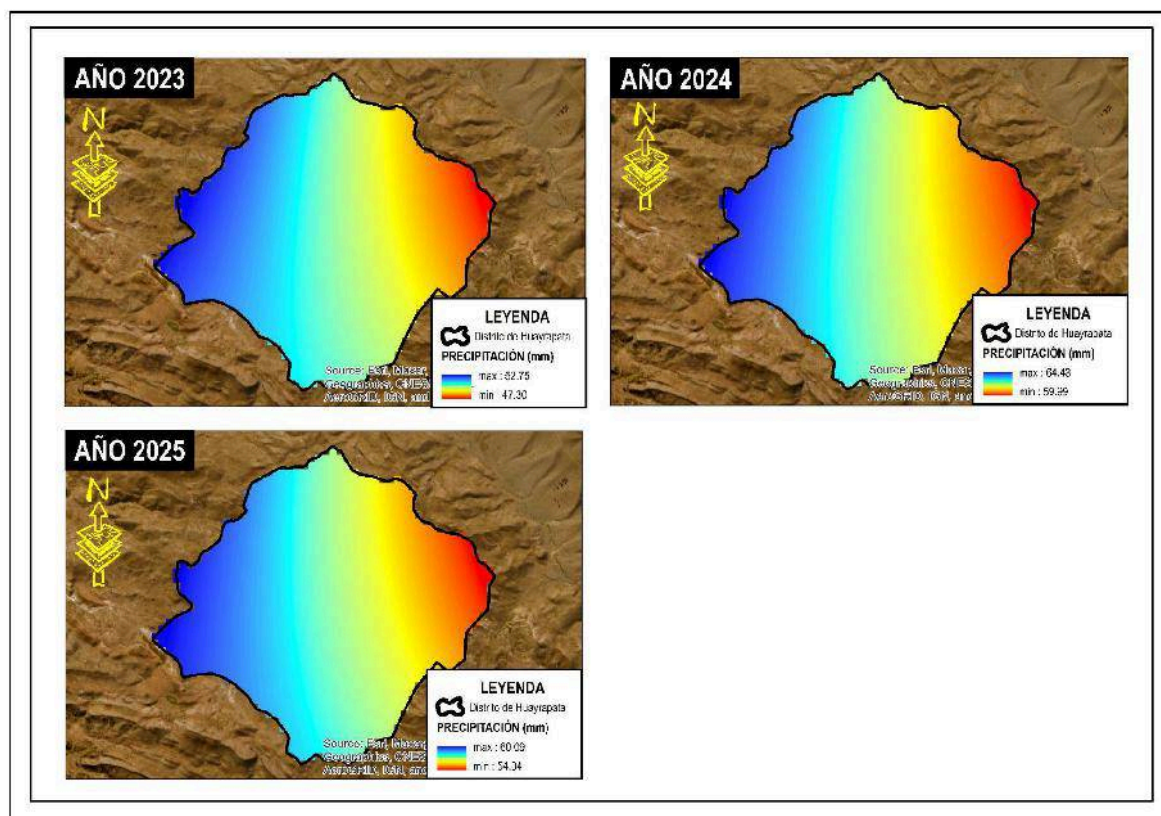


Figura 14: Precipitación del distrito de Huayrapata entre el año 2023 - 2025.

En la figura 15, se exhibe la temperatura del distrito de Huayrapata entre el año 2015 - 2021, indicando que la temperatura promedio para el año 2015 fluctúa entre 14.38 °C a 15.20 °C, mientras que para el año 2017 fluctúa entre 16.30 °C a 16.97 °C, además para el año 2019 fluctúa entre 15.73 °C a 16.76 °C, y para el año 2021 fluctúa entre 15.94 °C a 16.52 °C, representando una tendencia de incremento.

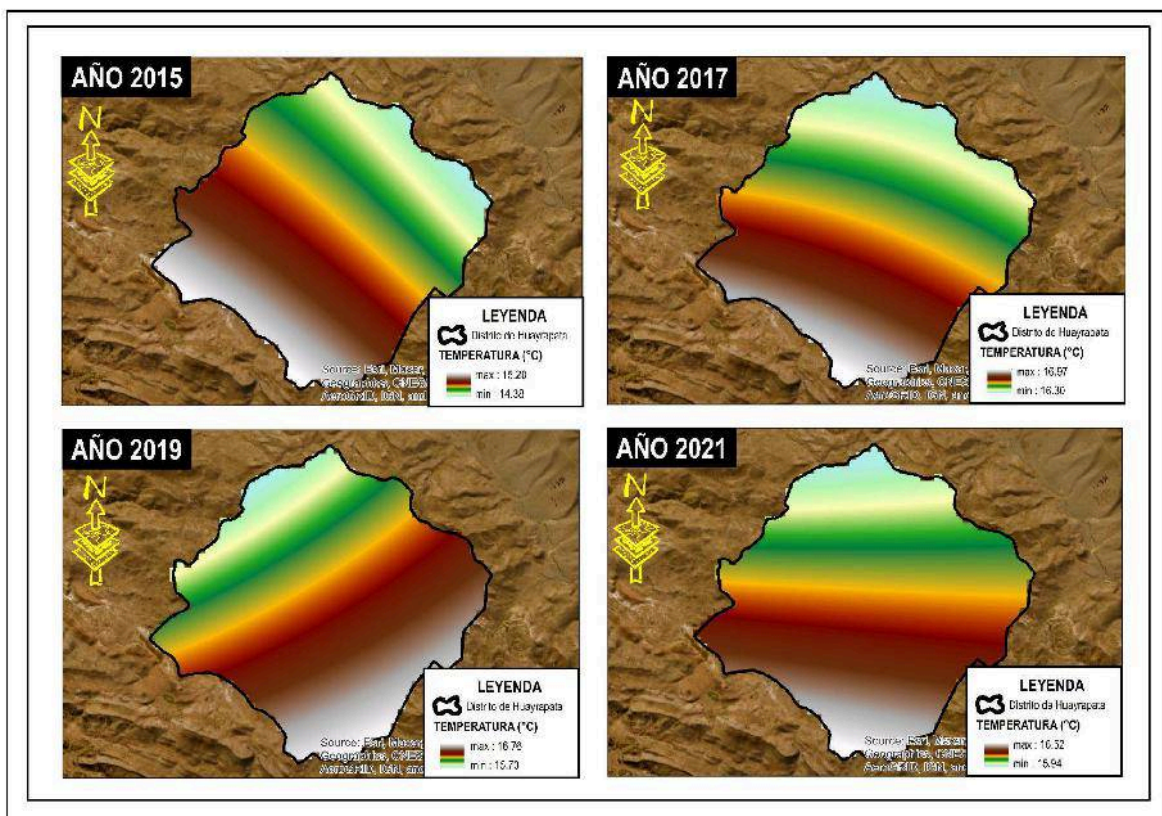


Figura 15: Temperatura del distrito de Huayrapata entre el año 2015 - 2021.

En la figura 16, se exhibe la temperatura del distrito de Huayrapata entre el año 2023 - 2025, indicando que la temperatura promedio para el año 2023 fluctúa entre 17.39 °C a 17.82 °C, mientras que para el año 2024 fluctúa entre 16.14 °C a 16.83 °C, además para el año 2025 fluctúa entre 16.54 °C a 17.06 °C, representando una tendencia de incremento.

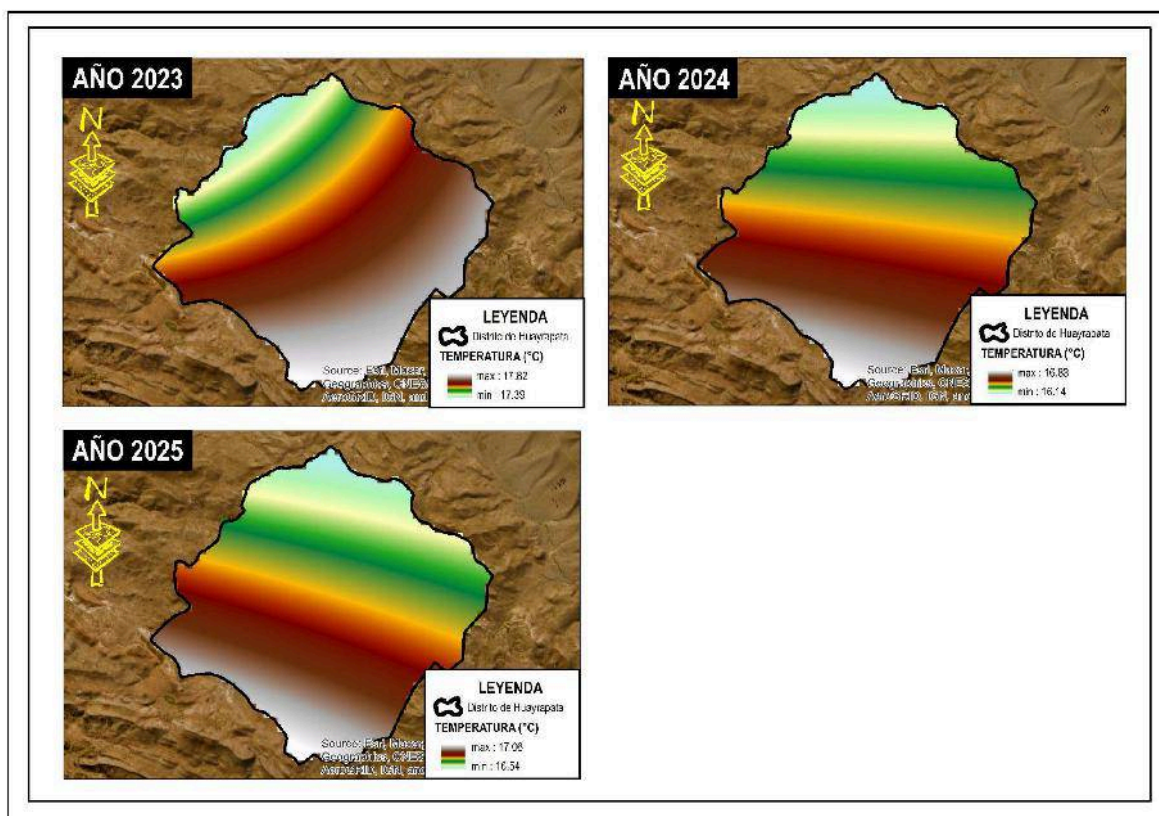


Figura 16: Temperatura del distrito de Huayrapata entre el año 2023 - 2025.

En la tabla 08, se exhibe el resumen de la precipitación y temperatura del distrito de Huayrapata - periodo 2015 - 2025; indicando que cuentan con una precipitación promedio de 48.02 mm a 68.72 mm; también una temperatura promedio entre 14.79 °C a 17.61 °C.

Tabla 08: Precipitación y temperatura del distrito de Huayrapata - periodo 2015 - 2025

Año	Precipitación (mm)			Temperatura (°C)		
	Min.	Max.	Media	Min.	Max.	Media
2015	67.01	70.43	68.72	14.38	15.20	14.79
2017	46.94	49.10	48.02	16.30	16.97	16.64
2019	57.47	63.68	60.58	15.73	16.76	16.25
2021	53.62	55.62	54.62	15.94	16.52	16.23
2023	52.75	47.30	50.03	17.39	17.82	17.61
2024	69.99	64.43	67.21	16.14	16.83	16.49
2025	54.34	60.09	57.22	16.54	17.06	16.80

En la figura 17, se muestra la tendencia de la precipitación del distrito de Huayrapata entre el año 2015 - 2025, manifestando que presenta una tendencia de decrecimiento del -0.24% de la precipitación en el distrito de Huayrapata para los periodos analizados respectivamente.

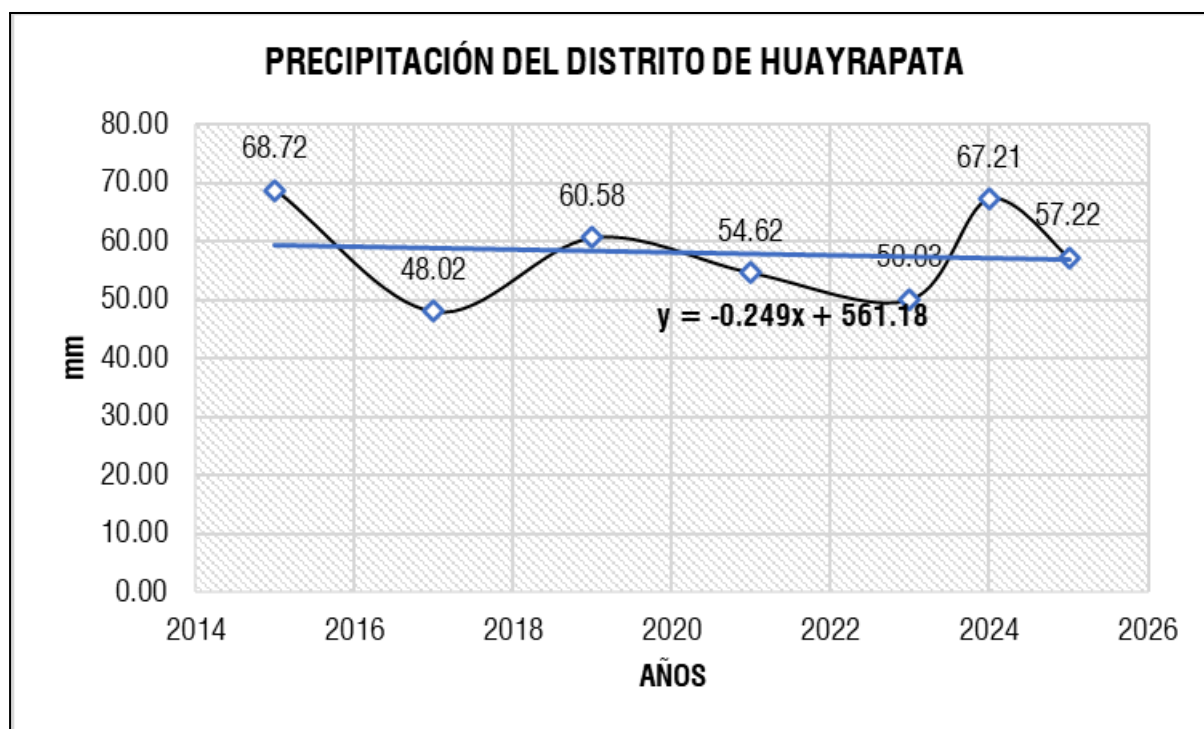


Figura 17: Tendencia de la precipitación del distrito de Huayrapata entre el año 2015 - 2025.

En la figura 18, se muestra la tendencia de la temperatura del distrito de Huayrapata entre el año 2015 - 2025, manifestando que presenta una tendencia de incremento del 0.15 % de la temperatura en el distrito de Huayrapata para los periodos analizados respectivamente.

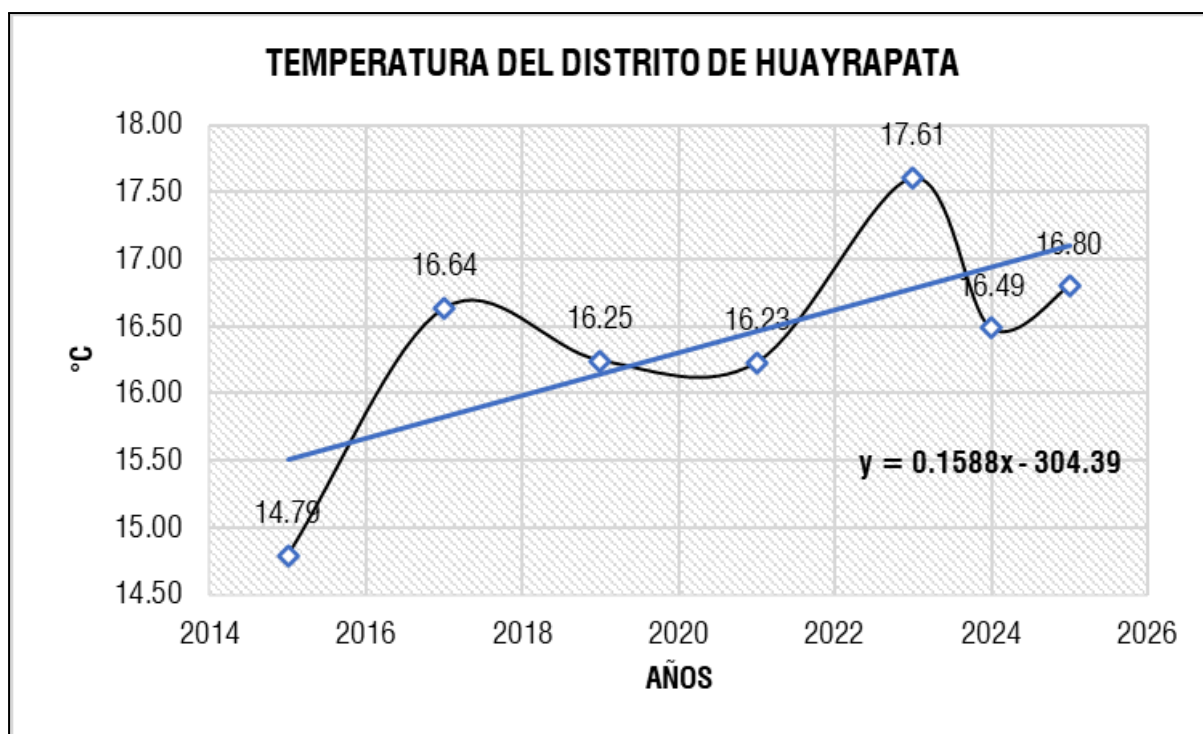


Figura 18: Tendencia de la temperatura del distrito de Huayrapata entre el año 2015 - 2025.

4.2.2. Variables climáticas vs. cobertura vegetal

En la figura 19, se muestra relación de la precipitación y temperatura con la superficie de la cobertura vegetal, indicando que mientras la precipitación disminuye la superficie de la cobertura vegetal también disminuye; constatando una asociación proporcional; también mientras que la temperatura aumenta la superficie de la cobertura vegetal disminuye, constatando una asociación inversamente proporcional, indicando que en los últimos 10 años en el distrito de Huayrapata hay disminución de la precipitación y incremento en la temperatura que es el principal causante de la disminución de la cobertura vegetal (Vegetación muy escasa "Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas", Vegetación escasa "Pastos naturales secos, cobertura discontinua", Vegetación moderada "Praderas altoandinas, cultivos en desarrollo".

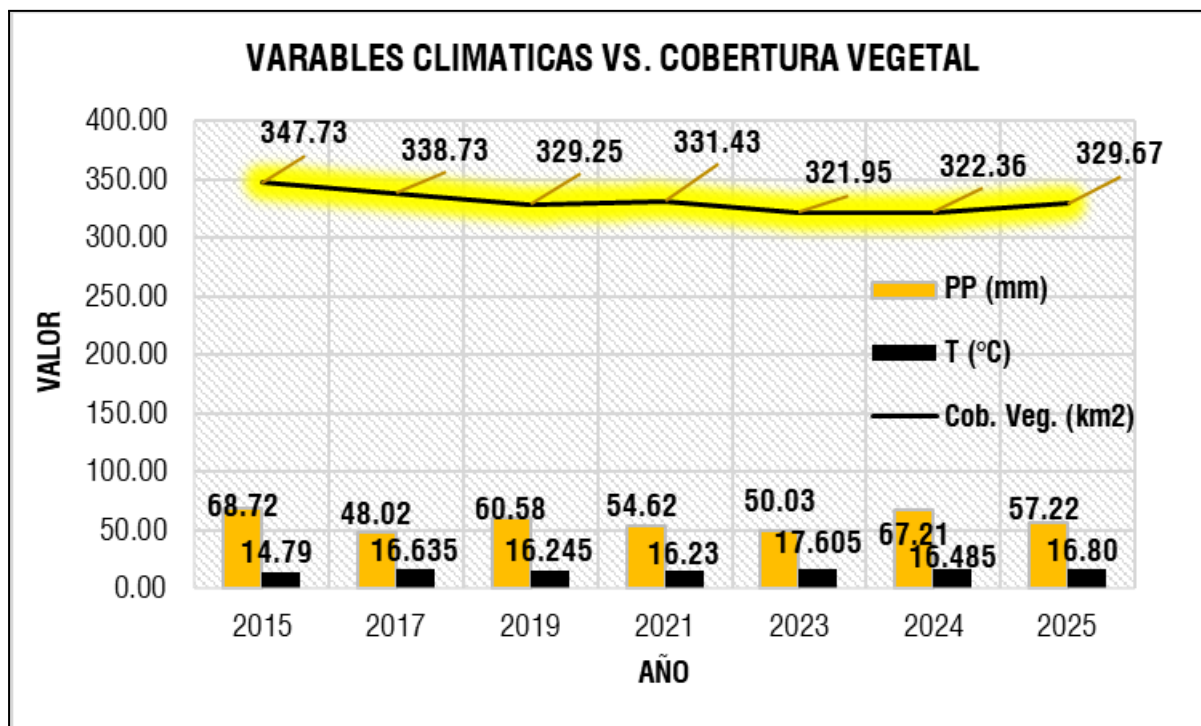


Figura 19: Variables climáticas vs. cobertura vegetal del distrito de Huayrapata entre el año 2015 - 2025.

4.3. ESTIMAR LA TENDENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL Y LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA EL AÑO 2040 EN EL DISTRITO DE HUAYRAPATA.

En la figura 20, se muestra el pronóstico de la cobertura vegetal del distrito de Huayrapata al año 2040, indicando que al año 2040 la cobertura vegetal promedio será de 294.58 km²; representando una tasa de decrecimiento con respecto al año actual; todo ello según la fórmula de regresión lineal ($y = -1.9338x + 4239$), que presenta un signo negativo.

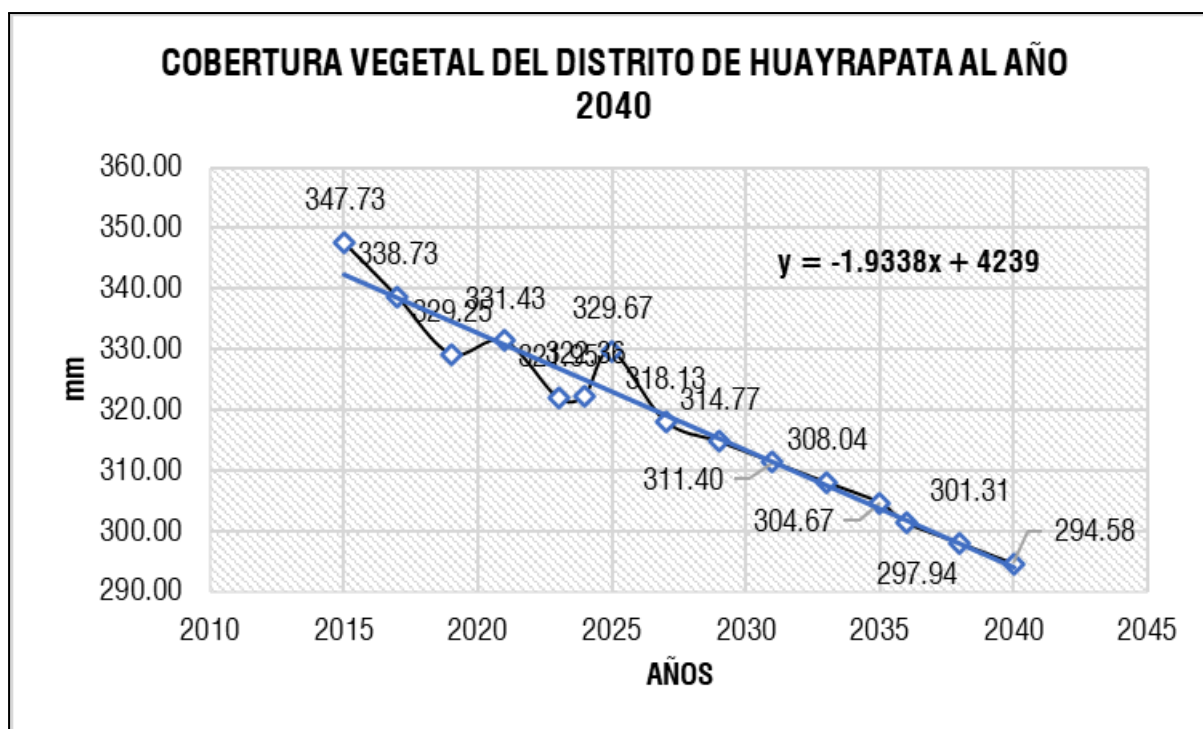


Figura 20: Pronóstico de la cobertura vegetal del distrito de Huayrapata al año 2040

En la figura 21, se muestra el pronóstico de la precipitación del distrito de Huayrapata al año 2040, indicando que al año 2040 la precipitación promedio será de 55.43 mm; representando una tasa de decrecimiento con respecto al año actual; todo ello según la fórmula de regresión lineal ($y = -0.147x + 355.13$), que presenta un signo negativo.

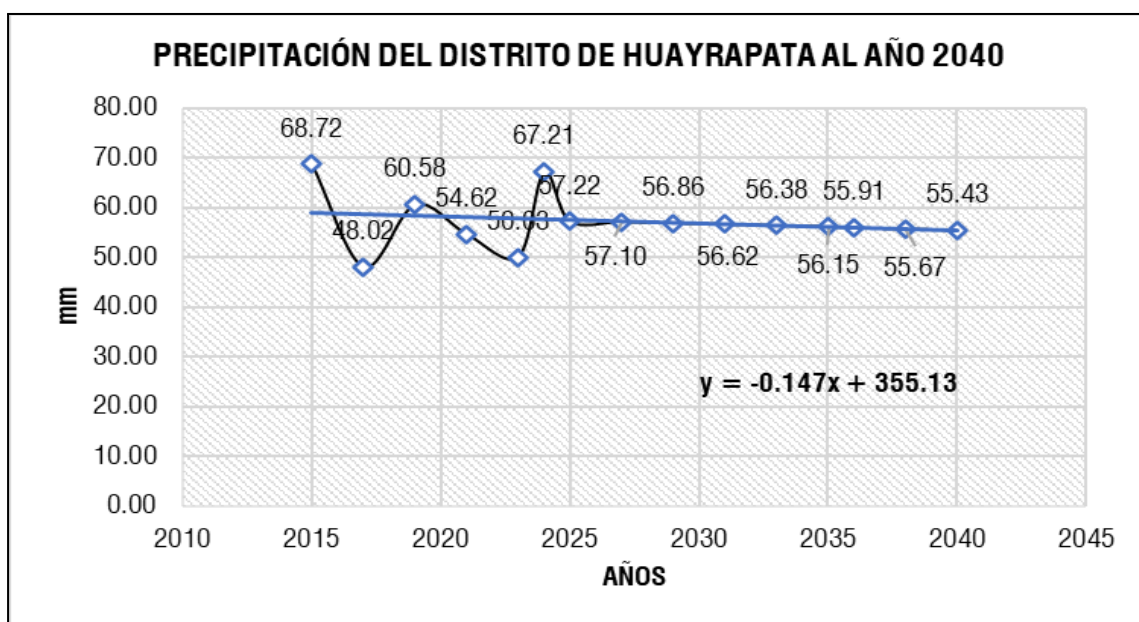


Figura 21: Pronóstico de la precipitación del distrito de Huayrapata al año 2040

En la figura 22, se muestra el pronóstico de la temperatura del distrito de Huayrapata al año 2040, indicando que al año 2040 la temperatura promedio será de 19.18 °C; representando una tasa de incremento con respecto al año actual; todo ello según la fórmula de regresión lineal ($y = 0.1456x + 277.88$), que presenta un signo negativo.

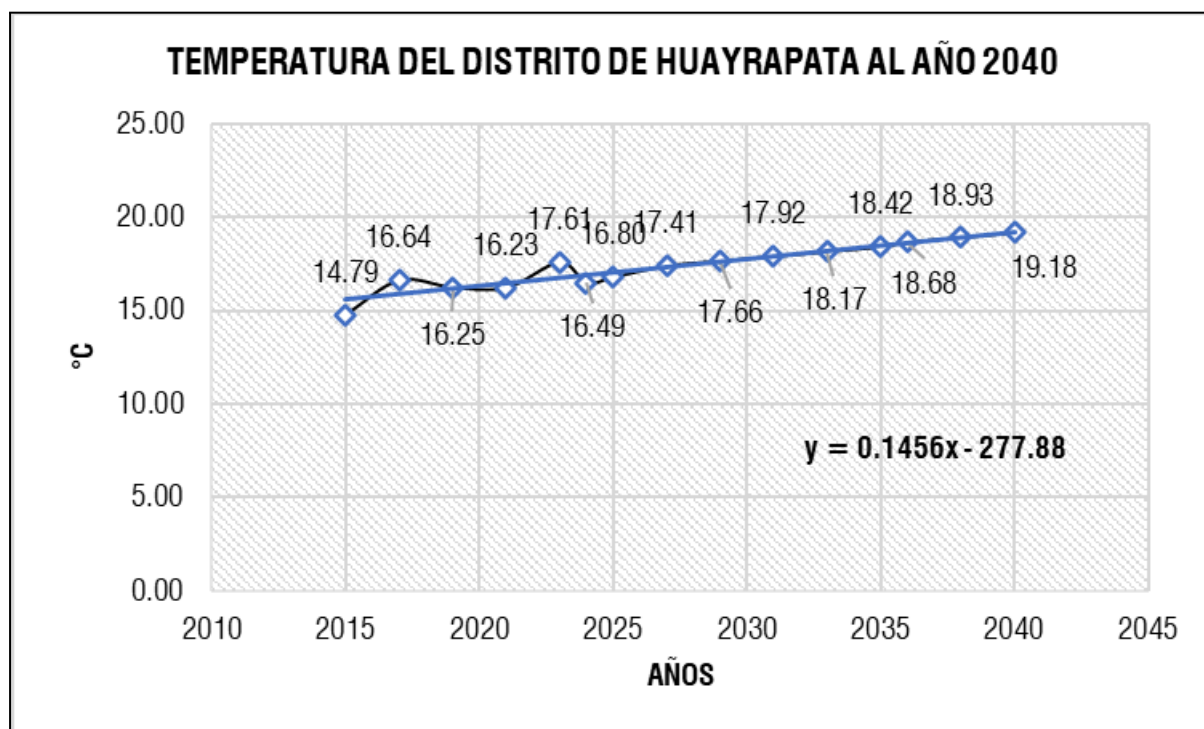


Figura 22: Pronóstico de la temperatura del distrito de Huayrapata al año 2040

4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

4.4.1. Comprobación de la primera hipótesis específica

H_a: La cobertura vegetal **presenta una tasa de cambio decreciente** en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025.

H₀: La cobertura vegetal **no presenta una tasa de cambio decreciente** en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025.

De acuerdo a lo expuesto en el apartado 4.1. la tasa de cambio de la vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas) es de -0.38 (decrecimiento), además la tasa de cambio de la vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas) es de -1.12 (decrecimiento), de igual forma la tasa de cambio de la

vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas) es de -12.93 (decrecimiento); ante ello se acepta la hipótesis alterna H_a y se rechaza la hipótesis nula H_0 .

4.4.2. Comprobación de la segunda hipótesis específica

H_a : Las variables climáticas **presentan una relación significativa** con el cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025

H_0 : Las variables climáticas **no presentan una relación significativa** con el cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025

De acuerdo con los datos mostrados en la tabla 9, la correlación de Spearman fue de 0,775**, con un nivel de significancia (Sig.) de < 0,00, lo que indica una correlación positiva considerable entre las variables estudiadas (Variables climáticas “precipitación y temperatura vs. superficie de la cobertura vegetal); por ende se acepta la hipótesis alterna H_a y se rechaza la hipótesis nula H_0 .

Tabla 09: Factores climáticos vs. superficie de la cobertura vegetal (Rho de Spearman)

			Variables climaticas	Cobertura vegetal
Rho de Spearman	Variables climaticas	Coefficiente de correlación	1,000	,775**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	7	7
	Cobertura vegetal	Coefficiente de correlación	,775**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	7	7

4.4.3. Comprobación de la tercera hipótesis específica

H_a : La cobertura vegetal y las variables climáticas **presentan una tendencia decreciente** para el año 2040 en el distrito de Huayrapata

H₀: La cobertura vegetal y las variables climáticas **no presentan una tendencia decreciente** para el año 2040 en el distrito de Huayrapata

De acuerdo a lo expuesto en el apartado 4.3. en donde se indica que la cobertura vegetal, la precipitación presentan una tasa de decrecimiento, mientras que solo la temperatura presenta una tasa de incremento al año 2040, por ende se acepta la hipótesis alterna **H_a** y se rechaza la hipótesis nula **H₀**.

4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Estos resultados comparados con Galvis (2021), proyecta escenarios climáticos para Paraguay usando modelos como HADCM3 y PRECIS, prediciendo aumentos de temperatura de 1°C (2020), 2.5°C (2050) y 4.5°C (2080), con variaciones en precipitaciones (+5% oriente, -6% cuenca Paraguay) y humedad (+0.3 g/kg en 2080). Estos patrones regionales altoandinos se alinean con la tendencia de incremento de temperatura (+0.15°C) observada en Huayrapata (2015-2025), donde la correlación positiva con pérdida de vegetación escasa (-1.12%) sugiere que elevaciones térmicas similares podrían exacerbar la degradación vegetal local, aunque las precipitaciones decrecientes (-0.24 mm/año) difieren de los incrementos paraguayos. Así, mientras Galvis enfatiza impactos socioeconómicos (SRES A2/B2), en Huayrapata implica urgencia en modelado predictivo para 2040, integrando NDVI para mitigar la desertificación altiplánica.

Además Ruíz et al. (2022), proponen 29 indicadores de resiliencia y sostenibilidad para viviendas urbanas en Panamá ante cambio climático, validados por expertos, abordando vulnerabilidades como inundaciones y calor extremo. Aunque enfocado en infraestructura, sus indicadores (15 resiliencia, 14 sostenibilidad) son adaptables a ecosistemas rurales como Huayrapata, donde el aumento de suelos desnudos (+2.78%) refleja baja resiliencia vegetal ante fluctuaciones climáticas (precipitación 48-68 mm, temperatura 14.8-17.6°C). La tesis muestra fragmentación similar a patrones panameños, sugiriendo que métricas como cobertura vegetal moderada (de 1.56 km² en 2015 a 0.34 km² en 2025) podrían incorporarse

para evaluar sostenibilidad ambiental, promoviendo políticas integrales que combinen adaptación urbana y restauración vegetal altoandina.

De igual forma Hernández et al. (2022), documentan en Veracruz, México, una reducción del 57% en vegetación (1989-2015, tasa -2.15%/año) por cambio de uso del suelo y fragmentación, usando Landsat y métricas paisajísticas (disminución en tamaño de parches y edge density). Esto corrobora los resultados de Huayrapata, con pérdida sostenida en vegetación escasa (de 24.3 km² a 21.48 km²) y moderada (-12.93%), atribuible a variables climáticas correlacionadas ($Rho=0.775$). La fragmentación paisajística en ambos contextos subraya la sensibilidad andina/mexicana a sequías, pero en Huayrapata el rol climático es dominante sobre antrópico directo, recomendando monitoreo multitemporal Landsat para proyecciones al 2040 y restauración focalizada en parches degradados.

También Loredo et al. (2020), analizan en la cuenca Nazas (México nortero) una pérdida del 32.1% de cobertura natural (1990-2016), de bosque galería a matorral xerófilo, vía interpretación Landsat TM/ETM, enfatizando conservación en zonas áridas. Paralelamente, Huayrapata registra expansión de suelos desnudos (54.96 km² a 73 km²) y pajonales degradados estables pero reducidos, vinculados a precipitación decreciente, validando la necesidad de gestión hídrica sostenible. Las diferencias radican en el contexto seco mexicano vs. altiplánico húmedo-variable peruano, pero ambos destacan teledetección para políticas; en la tesis, precisión Kappa 0.988 confirma viabilidad para tendencias 2040, promoviendo medidas gubernamentales contra desertificación.

Y de igual manera Mamani et al. (2023), modelan en la Amazonía peruana (2003-2019) cómo cambio climático aumenta pérdida boscosa (+4.3 ha/mm precipitación, +483.9 ha/°C), mientras cobertura forestal la mitiga (-0.13 ha/ha), usando paneles econométricos. En Huayrapata, la correlación climática-vegetal (0.775) y tendencias (precipitación -0.24 mm/año, temperatura +0.15°C) replican este efecto positivo del clima en degradación, pese a ecosistemas no boscosos (pajonales/praderas). La ausencia de políticas amazónicas criticada se extiende al altiplano, donde proyecciones al 2040 sugieren aceleración; la tesis

propone integrar modelos econométricos con NDVI para cuantificar mitigación por restauración vegetal.

Por su parte Huacac (2022), cuantifica deforestación por minería aurífera en Paríamachu (Madre de Dios, 2010-2020) con SAR: 99.73 ha pérdidas en 2020 (7.05% total, 0.0039 ha/año), 93% por agricultura/infraestructura. Aunque antrópico dominante, en Huayrapata el driver climático prevalece (vegetación muy escasa -0.38%), pero expansión urbana desnuda (+2.78%) evoca conversión similar; precisión SAR complementa Landsat de la tesis (Kappa 0.988). Esto implica monitoreo híbrido para altiplano, donde minería potencial podría sumar a climáticos, urgiendo zonificación para 2040 y sostenibilidad cuencas altoandinas.

De igual forma Torre & Rivas (2019), evalúan en Satipo (Junín) disminución vegetal (2015-2018) vía teledetección: sin cobertura de 13% a 6% (agricultura), revirtiendo a 10% por fenómenos naturales (precisión 88.33%, Kappa 0.83). Coincide con fluctuaciones en Huayrapata (suelos desnudos 54.96-73 km², recuperación parcial), pero tesis enfatiza climático sobre natural/antropogénico, con tasas más estables. Alta precisión local valida metodología; para 2040, integrar reversibilidad natural en modelos predictivos altiplánicos previene recaídas por sequías crecientes.

Además Guevara (2021), correlaciona en Espinar (Cusco) descenso NDVI (-345.2 ha/año, 2013-2020) con minería (+50.6 ha/año, 60.5% impacto). En Huayrapata, NDVI decrece en moderada/escasa sin minería explícita, pero correlación climática (0.775) sugiere drivers indirectos similares; expansión desnuda evoca presión antrópica cusqueña. Ambos andinos destacan NDVI para causalidad; tesis extiende a proyecciones climáticas 2040, recomendando políticas minero-ambientales preventivas en Puno.

Así como también Aguila & Espinoza (2024), analizan en Carabaya (Puno) reducción vegetal natural (16.27%, 2000-2016) por agricultura (+10% tierras, 5,133-7,115 ha), usando Landsat (30m), con shifts en asociaciones (Muhlenbergia a Calamagrostis). Directamente comparable a Huayrapata (regional Puno): pérdida moderada (-12.93%), suelos degradados decrecientes, pero tesis añade climático cuantificado (precipitación/temperatura). Ausencia

de ordenamiento territorial amenazan ambos; proponer planes integrales con Landsat multitemporal para sostenibilidad altoandina al 2040.

Y finalmente Mamani & Elé (2020), documentan en la cuenca Zapatilla (Ilave-Juli, Puno) pérdidas (1987-2015): 497.1 ha pastos, 24.1 ha humedales; ganancias en pastizales (+1,500.1 ha), desnudos (+16.59 ha); clima: +0.8°C temperatura, -55.5 mm precipitación. Espejo de Huayrapata: tendencias similares (temperatura +0.15°C, precipitación -0.24 mm/año), validando drivers hidrotérmicos regionales en degradación praderas/pastos. Tesis actualiza a 2025-2040 con NDVI, enfatizando restauración humedales para mitigar vientos/humedad estables en altiplano puneño.

CONCLUSIONES

Primera: Se concluye que existe un cambio significativo en la cobertura vegetal de Huayrapata, con tasas decrecientes en la cobertura vegetal y correlación fuerte con las variables climáticas “Precipitación y temperatura” (Rho de Spearman = 0.775, $p=0.000$).

Segunda: Se evaluó el cambio de cobertura vegetal en el periodo de 2015-2025 en base al NDVI donde los suelos desnudos/urbanos crecieron +2.78% (54.96 km² a 73.00 km²), mientras que la vegetación muy escasa -0.38% (321.86 km² a 307.84 km²), y la vegetación escasa -1.12% (24.30 km² a 21.48 km²) y finalmente la vegetación moderada -12.93% (1.56 km² a 0.343 km²), confirmando la tasa decreciente de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata.

Tercera: Se determinó una relación entre las variables climáticas (precipitación 48-68 mm, temperatura 14.8-17.6°C) con respecto a la cobertura vegetal, presentando una correlación Rho de Spearman 0.775 (Sig. 0.000); con precipitación decreciente (-0.24 mm/año) y temperatura creciente (+0.15°C) asociándose con la cobertura vegetal.

Cuarta: Se estimó una tendencia al 2040 con regresión lineal, donde se encontró que la cobertura vegetal fue de 294.58 km² (-1.9338x + 4239, decreciente), mientras que la precipitación fue de 55.43 mm (-0.147x + 355.13, decreciente), y la temperatura temperatura con 19.18°C (+0.1456x + 277.88, creciente).

RECOMENDACIONES

Primera: fortalecer el monitoreo continuo de la cobertura vegetal, incorporando imágenes satelitales de mayor resolución espacial y temporal (como Sentinel-2 o Landsat 9), a fin de mejorar la precisión en la detección de cambios futuros en la cobertura vegetal del distrito de Huayrapata.

Segunda: ampliar el análisis de variables climáticas, incluyendo no solo precipitación y temperatura, sino también variables como heladas, evapotranspiración y humedad del suelo, debido a su alta incidencia en los ecosistemas altoandinos y su influencia directa sobre la dinámica de la vegetación.

Tercera: implementar programas locales de reforestación y revegetación, priorizando especies nativas adaptadas a las condiciones climáticas del altiplano puneño, como medida de mitigación frente a la degradación de la cobertura vegetal y los efectos del cambio climático proyectados hasta el año 2040.

Cuarta: promover la educación y sensibilización ambiental en la población local, especialmente en comunidades campesinas, sobre la importancia de la cobertura vegetal y su relación con el clima, fomentando prácticas sostenibles de uso del suelo, pastoreo y agricultura.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguila, S. del, & Espinoza-Montes, F. (2024). Impacto del cambio climático en las descargas futuras de una cuenca altoandina de Perú al 2100. *Tecnología y ciencias del agua*, 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-15-01-03>
- Barrera-Narváez, C.-F., González-Sanabria, J.-S., Cáceres-Castellanos, G., Barrera-Narváez, C.-F., González-Sanabria, J.-S., & Cáceres-Castellanos, G. (2020). Toma de decisiones en el sector turismo mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica e inteligencia de negocios. *Revista científica*, 38, 160-173. <https://doi.org/10.14483/23448350.15997>
- Briceño de Urbaneja, I., Sánchez-García, E., Pardo Pascual, J. E., Palomar Vázquez, J. M., Ugalde-Peralta, R., Aguirre-Galaz, C., Perez Martinez, W., & Vidal Páez, P. J. (2021). Cambios espacio-temporales costeros con imágenes Landsat 8 y Sentinel 2 (2015-2019) en Chile Central; Playa Reñaca, Bahía de Concón y Bahía de Algarrobo. *Proceedings 3rd Congress in Geomatics Engineering*, 302-310. <https://doi.org/10.4995/CiGeo2021.2021.12766>
- Buzai, G. D. (2020). *Geografía y sistemas de información geográfica en contexto del COVID-19*. <http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/799>
- Córdova Regalado, M. D. (2018). *Determinación de la firma espectral del estrato herbazal—Arbustal del páramo en la subcuenca del Río Chambo, provincia de Chimborazo* [bachelorThesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8767>
- Flórez-Molina, M. T., Parra Sánchez, L. N., & Calderón Gutiérrez, J. A. (2023). Evidencias de eventos extremos de precipitación y de explosiones volcánicas entre 1455-2022, a.d., en el humedal la Bramadora, Antioquia, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 53, 9-24.
- Galvis Martínez, C. A. (2021). *Evaluación del conservadurismo de nicho en lutzomyia gomezi, lu. Shannoni, y lu. Ovallesi del pleistoceno a escenarios futuros en Centro y*

sur

América.

<http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/961>

Garnacho Saucedo, G. M., Salido Vallejo, R., & Moreno Giménez, J. C. (2020). Efectos de la radiación solar y actualización en fotoprotección. *Anales de Pediatría*, 92(6), 377.e1-377.e9. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2020.04.014>

González Gaudiano, E. J., Meira Cartea, P. Á., González Gaudiano, E. J., & Meira Cartea, P. Á. (2020). Educación para el cambio climático: ¿Educar sobre el clima o para el cambio? *Perfiles educativos*, 42(168), 157-174. <https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2020.168.59464>

Guevara Velazco, B. R. (2021). Análisis de la deforestación ocasionada por incendios forestales en el periodo 2010-2020 en el distrito de Ccatcca, Quispicanchis, Cusco. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84172>

Hernández Lasso, H. (2022). *Diseño de una subasta multi-objeto: Un método para maximizar el bienestar social en la asignación del espectro electromagnético en Colombia 2010-2022* [Trabajo de grado - Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/83696>

Hernandez-Clemente, R., & Hornero, A. (2021). Monitoreo y evaluación de la desertificación con teledetección: *Ecosistemas*, 30(3), Article 3. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2240>

Hernández-Pérez, E., García-Franco, J. G., Vázquez, G., Cantellano de Rosas, E., Hernández-Pérez, E., García-Franco, J. G., Vázquez, G., & Cantellano de Rosas, E. (2022). Cambio de uso de suelo y fragmentación del paisaje en el centro de Veracruz, México (1989—2015). *Madera y bosques*, 28(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812294>

Herrero-Cortell, M. Á., Raich Creus, M., Artoni, P., & Madrid García, J. A. (2022). Caracterización de pigmentos históricos a través de técnicas de imagen, en diversas bandas del espectro electromagnético. *Ge-conservación*, 22, 58-75.

Huacac Auccapuri, J. L. (2022). Evaluación de la deforestación por minería de oro mediante

- imágenes de satélites SAR en la microcuenca del río Pariamanu—Madre de Dios, Periodos 2010-2020. *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD*. <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/845>
- Jara, C., Delegido, J., Ayala, J., Lozano, P., Armas, A., & Flores, V. (2019). Estudio de bofedales en los Andes ecuatorianos a través de la comparación de imágenes Landsat-8 y Sentinel-2. *Revista de Teledetección*, 53, 45-57. <https://doi.org/10.4995/raet.2019.11715>
- López Álvarez, D. V. (2021). *Relación entre los cambios de la cobertura vegetal ocurridos en la región del Valle de San Nicolás y los casos de dengue en sus 9 municipios durante el periodo 2007-2019*. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/18847>
- Loredo, E. G. L., Ceballos, S. I. V., Castro, M. V., González, G. J., Gaytán, G. C., Hernández, H. R., & Cantú, M. E. M. (2020). Análisis de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo en la región centro-norte de México. El caso de la cuenca baja del río Nazas: *Ecosistemas*, 29(1), Article 1. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1826>
- Lozano, D. L. Z. (2019). Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2(3), Article 3. <https://doi.org/10.25127/ucni.v2i3.607>
- Mamani, J. C. Q., Álvarez, M. F. Lizarraga, Portilla, R. M., Huaman, R. N. T., Larico, M. I. A., Pilco, E. M. S., Mamani, J. C. Q., Álvarez, M. F. Lizarraga, Portilla, R. M., Huaman, R. N. T., Larico, M. I. A., & Pilco, E. M. S. (2023). Efecto del cambio climático y la cobertura forestal en la pérdida de bosques en la selva amazónica de Perú, 2003-2019. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 7(19), 88-102. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i19.200>
- Mamani, Q., & Elé, I. (2020). Cambio de cobertura vegetal en la cuenca del río Zapatilla Ilave—Juli. *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3279697>
- Meléndez Podesta, A. (2023). *La significación del conocimiento tradicional: Reflexiones y*

experiencias desde el método inductivo Intercultural.

<https://hdl.handle.net/20.500.12371/18527>

Olivares, B. O., López-Beltrán, M. A., Olivares, B. O., & López-Beltrán, M. A. (2019). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(2), 112-121. <https://doi.org/10.22458/urj.v11i2.2299>

Perea-Ardila, M. A., Andrade-Castañeda, H. J., Segura-Madrigal, M. A., Perea-Ardila, M. A., Andrade-Castañeda, H. J., & Segura-Madrigal, M. A. (2021). Estimación de biomasa aérea y carbono con Teledetección en bosques alto-Andinos de Boyacá, Colombia. Estudio de caso: Santuario de Fauna y Flora Iguaque. *Revista cartográfica*, 102, 99-123. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i102.821>

Pineda Bedón, J. G., & Jaramillo Cuaycal, C. E. (2022). *Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en la zona de amortiguamiento altoandina del parque nacional Cotacachi-Cayapas (1990-2019)* [bachelorThesis]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11967>

Piscocya Perez, L. R. (2019). *Índice de vegetación de diferencia normalizada (Ndvi) en el distrito de Puquina, Moquegua*. <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/144>

Poveda-Sotelo, Y., Bermúdez-Cella, M. A., Gil-Leguizamón, P., Poveda-Sotelo, Y., Bermúdez-Cella, M. A., & Gil-Leguizamón, P. (2022). Evaluación de métodos de clasificación supervisada para la estimación de cambios espacio-temporales de cobertura en los páramos de Merchán y Telecom, Cordillera Oriental de Colombia. *Boletín de Geología*, 44(2), 51-72. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n2-2022002>

Rosero Mier, M. M. (2018). *Análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca del Río Tahuando y proyección de cambios al año 2031, en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura* [masterThesis]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7745>

Ruíz González, M. A., Mack-Vergara, Y. L., Ruíz González, M. A., & Mack-Vergara, Y. L.

- (2022). Indicadores de resiliencia y sostenibilidad para la vivienda urbana Panameña frente al cambio climático. *Revista hábitat sustentable*, 12(2), 8-25. <https://doi.org/10.22320/07190700.2022.12.02.01>
- Sansare, D. A., & Mhaske, S. Y. (2020). Natural hazard assessment and mapping using remote sensing and QGIS tools for Mumbai city, India. *Natural Hazards*, 100(3), 1117-1136. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03852-5>
- Santos, A. J. F. dos, Ferreira, J. M., Baptista, F., Alexandrino, B., Silva, M. A. G. da, Gomes, J. E. C., Júnior, J. P. V., Tavares, R. M., & Almeida, K. de S. (2022). Statistical analysis between 2006 and 2019 and forecast of rabies in cattle from 2020 to 2022 in Tocantins State (Brazil), by using the R Studio software. *Epidemiology & Infection*, 150, e82. <https://doi.org/10.1017/S0950268822000553>
- Segado-Boj, F., Díaz-Campo, J., & Navarro-Sierra, N. (2020). Emociones y difusión de noticias sobre el cambio climático en redes sociales. Influencia de hábitos, actitudes previas y usos y gratificaciones en universitarios. *Revista Latina de Comunicación Social*, 75, 245-269. <https://doi.org/10.4185/RLCS-2020-1425>
- Tiria Forero, L. N., Bonilla Castillo, J. S., Bonilla Castillo, C. A., Tiria Forero, L. N., Bonilla Castillo, J. S., & Bonilla Castillo, C. A. (2018). Transformación de las coberturas vegetales y uso del suelo en la llanura amazónica colombiana: El caso de Puerto Leguízamo, Putumayo (Colombia). *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27(2), 286-300. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n2.70441>
- Torre Pillpa, M. I., & Rivas Aquino, P. D. (2019). Análisis temporal de la pérdida de cobertura vegetal mediante teledetección en el distrito de Satipo-Satipo-Junín, durante los años 2015 – 2018. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39901>
- Zhiminaicela-Cabrera, J., Quevedo-Guerrero, J., & Morocho-Castillo, A. (2020). Deforestación y cambios en la cobertura vegetal del archipiélago de Jambelí, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat-8. *Manglar*, 17(2), Article 2. <https://doi.org/10.17268/manglar.2020.023>

Zúñiga López, J. M. (2018). *Aplicación de sensores remotos para análisis del estado vegetativo del cultivo de palma de aceite por medio del índice de vegetacion de diferencia normalizada (NDVI) y firmas espectrales mediante fotografías aéreas.*
<http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/20387>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia:

CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y SU RELACIÓN CON LAS VARIABLES CLIMÁTICAS EN EL DISTRITO DE HUAYRAPATA - PUNO DURANTE EL PERIODO 2015 AL 2025

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
GENERAL ¿Cuál es la relación de la cobertura vegetal con las variables climáticas en el distrito de Huayrapata - Puno durante el periodo 2015 al 2025?	GENERAL Analizar el cambio de la cobertura vegetal y su relación con las variables climáticas en el distrito de Huayrapata - Puno durante el periodo 2015 al 2025.	GENERAL La cobertura vegetal presenta una relación significativa con las variables climáticas en el distrito de Huayrapata - Puno durante el periodo 2015 al 2025.	Independiente Variables climáticas	Variables climáticas	Temperatura Precipitación	Imágenes Satelitales (LandSat – 8 y 9) Nivel de Investigación - Descriptivo Tipo de Investigación - Aplicada
ESPECÍFICOS ¿Cuál es la tasa de cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025? ¿Cuál es la relación de las variables climáticas con respecto al cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025.	ESPECÍFICOS Evaluar el cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025. Determinar la relación de las variables climáticas con respecto al cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025.	ESPECÍFICAS La cobertura vegetal presenta una tasa de cambio decreciente en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025. Las variables climáticas presentan una relación significativa con el cambio de la cobertura vegetal	Dependiente Cambio de la cobertura vegetal.	Tasa de cambio de la cobertura vegetal - Índice normalizado de diferencia de vegetación (NDVI)	Cuerpos de agua – (-1 – 0) Suelo desnudo/área urbana (0 – 0.1) Vegetación muy escasa (Pajonales degradadas, áreas sobre pastoreadas) (0.1 – 0.2) Vegetación escasa (Pastos naturales secos, cobertura	Diseño de Investigación - No Experimental Método - Deductivo Zona de estudio - Distrito de Huayrapata

durante el periodo 2015 al 2025?	Estimar la tendencia de la cobertura vegetal para el año 2040 en el distrito de Huayrapata.	en el distrito de Huayrapata durante el periodo 2015 al 2025 La cobertura vegetal y las variables climáticas presentan una tendencia decreciente para el año 2040 en el distrito de Huayrapata			discontinua) (0.2 – 0.3)	
¿Cuál es la tendencia de la cobertura vegetal para el año 2040 en el distrito de Huayrapata?					Vegetación moderada (Praderas altoandinas, cultivos en desarrollo) (0.3 – 0.45)	

Anexo 02: Descarga de imágenes satelitales Landsat con la metodología NDVI

This tool will also be unavailable from 4:00 pm (CDT) Tuesday, April 8 through 12:00 pm (CDT) Thursday, April 10 as systems are brought back online. We apologize for the inconvenience.

Search Criteria

1. Enter Search Criteria

To narrow your search area, type in an address or place name, country, feature's class, and/or feature type in which you're interested. You can also select a color range from the advanced map tools. View the help documentation, and/or choose a color range.

Color Range: Red/Orange/White

Select a Geocoding Method

Feature (GNIS)

Search Limits: The search tool has a 100 square meter search limit. To refine your search, enter a bounding box or a point. To refine your search, enter a bounding box or a point. To refine your search, enter a bounding box or a point.

US Features World / features

Feature Name

State

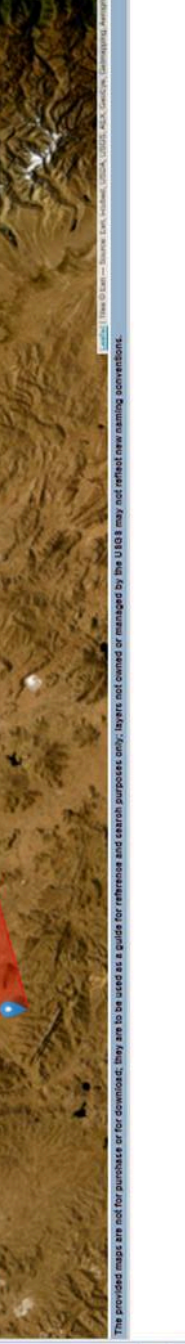
Latitude

Longitude

Feature Type

Altitude

Show



The provided maps are not for purchase or for download. They are to be used as a guide for reference and design purposes only. Layers not owned or managed by the USGS may not reflect new naming conventions.

Search Criteria Summary

Clear Search Criteria

(10° 00' 00" N, 10° 00' 00" W) Options

Display: Red/Orange/White Default

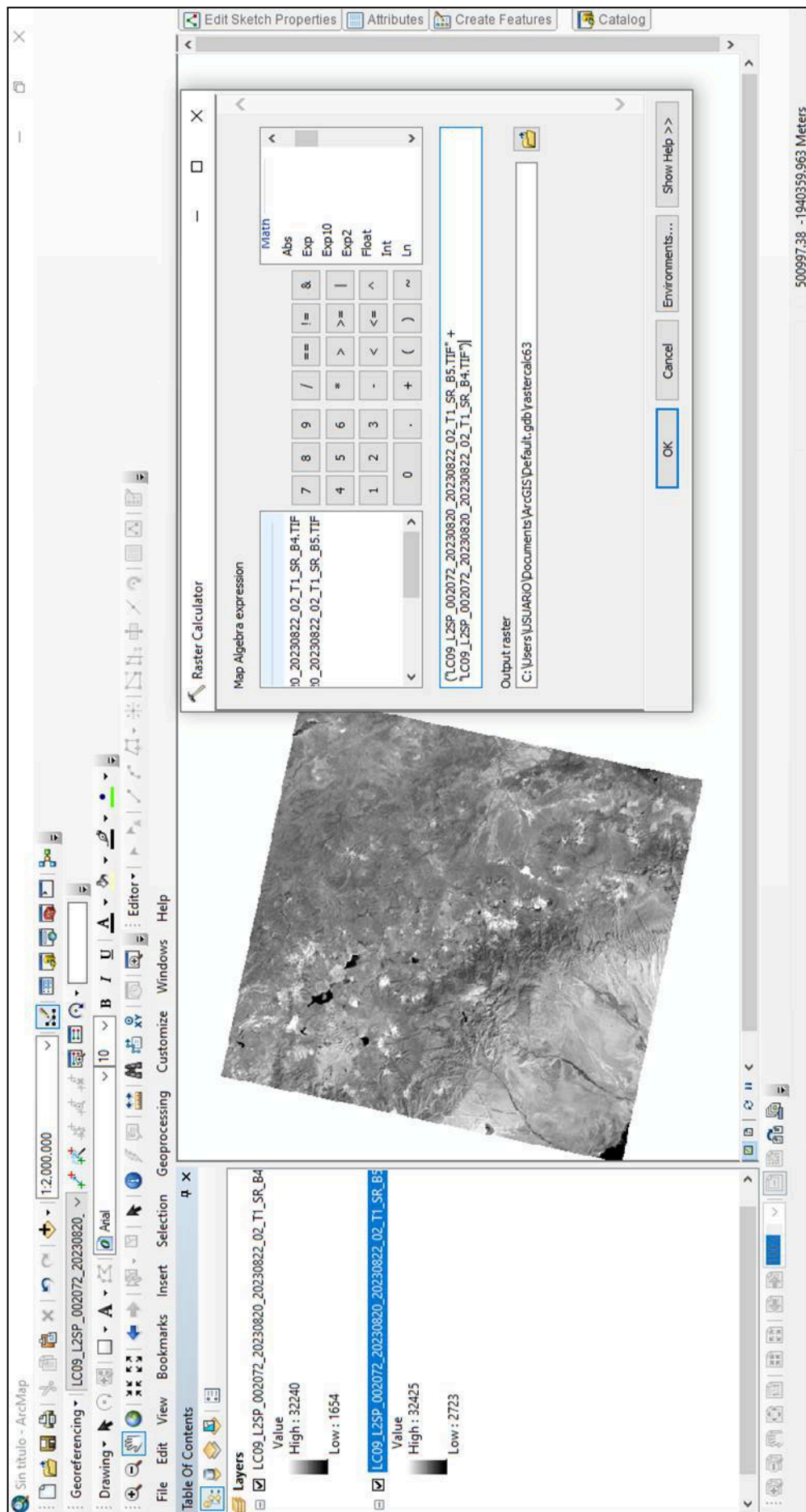
Layers: Red/Orange/White Default

Search From: to

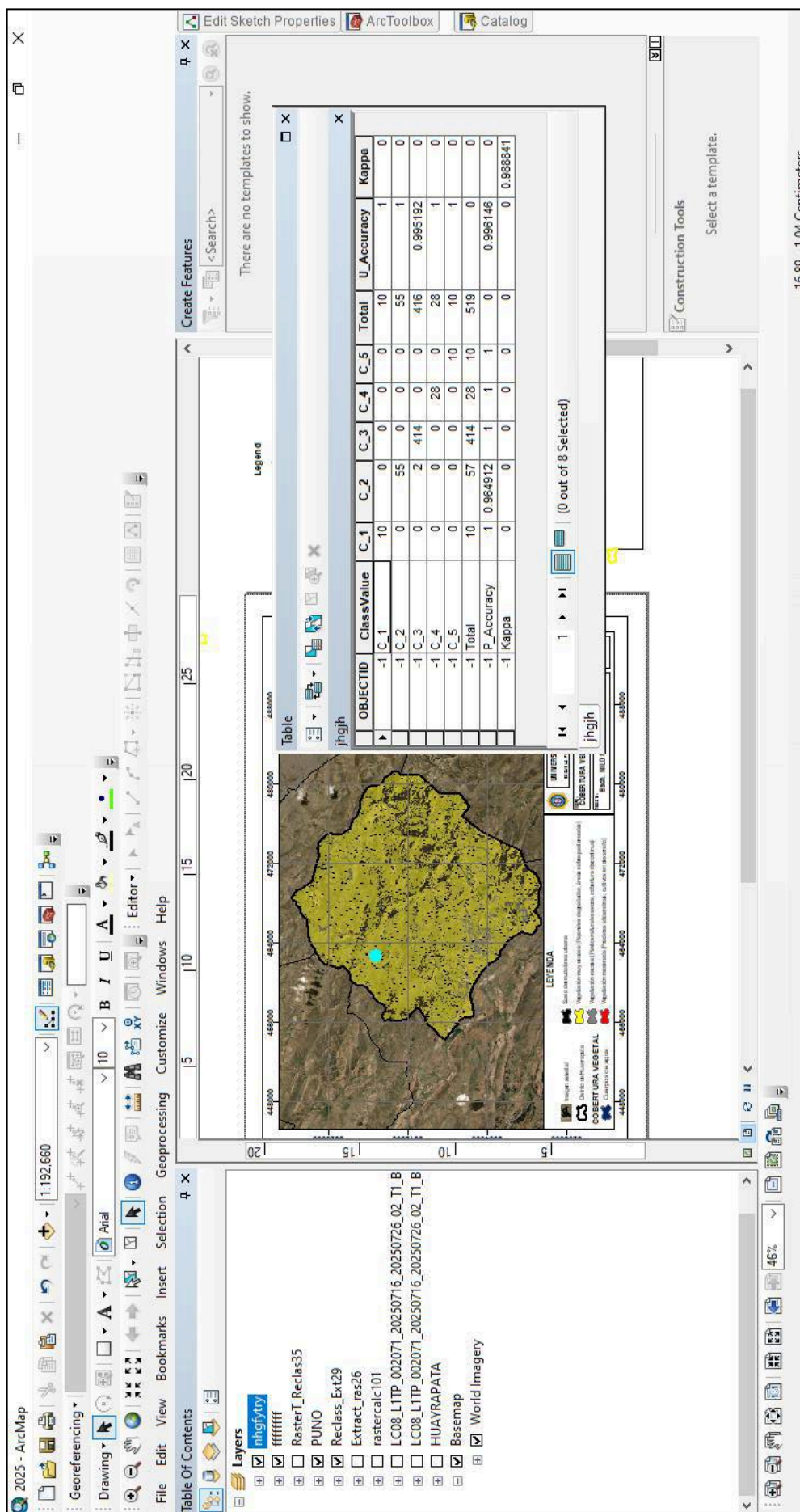
Search months: All +

Data Store: Data Store Results >

Anexo 03: Procesamiento de imágenes satelitales Landsat con la metodología NDVI



Anexo 04: Índice Kappa de la cobertura vegetal del distrito de Huayrapata



Anexo 05: Panel fotográfico









