

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**COBERTURA VEGETAL Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO EN
EL DISTRITO DE COATA - PUNO, PERIODO 2015 - 2023**

PRESENTADA POR:

JOSE OSWALDO PAREDES CHARCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO - PERÚ

2025



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



11.32%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 26 DEC 2024, 2:36 PM

Similarity report

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

● IDENTICAL
1.32%

● CHANGED TEXT
9.99%

Report #24283563

JOSE OSWALDO PAREDES CHARCA // COBERTURA VEGETAL Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DISTRITO DE COATA - PUNO, PERIODO 2015 - 2023 RESUMEN El presente estudio tuvo como objetivo de evaluar la relación entre la cobertura vegetal y el cambio climático en el distrito de Coata, Puno, periodo 2015 - 2023. para ello se recopilamos imágenes satelitales LandSat-8 de Google Earth Engine, realizando los cálculos para determinar el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en el software R, los datos climáticos se obtuvieron de TerraClim que incluyen temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones aplicando la prueba de Spearman para determinar la correlación entre la cobertura vegetal y el cambio climático. Los resultados revelaron que en el 2015 la cobertura vegetal alcanzaba los 4.39 km² y para 2023 la vegetación se redujo a 1.13 km² representando una pérdida de más del 74% en menos de diez años, con una proyección de la cobertura de 0.85 km² para el 2024, 0.59 km² al 2025 y 0.33 km² para el 2026, la validación del modelo proyectado revela un (RMSE) y un (MAE) promedio de 0.006 lo que sugiere un alto grado de precisión, las temperaturas tuvieron un incremento de 0.4 °C en la temperatura máxima y de 0.18 °C en la mínima y en las precipitaciones se tuvo un a disminución de - 69 mm equivalente a una reducción del 9.67% en el total de precipitaciones durante los periodos de estudio. También

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

**COBERTURA VEGETAL Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO EN
EL DISTRITO DE COATA - PUNO, PERIODO 2015 - 2023**

PRESENTADA POR:

JOSE OSWALDO PAREDES CHARCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOYZUETA

PRIMER MIEMBRO

: 
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

SEGUNDO MIEMBRO

: 
Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

ASESOR DE TESIS

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología.

Sub área: Ingeniería Ambiental.

Línea de Investigación: Ciencias ambientales

Puno, 30 de diciembre del 2024.

DEDICATORIA

A Dios, por ser la luz que ilumina mi camino y el fundamento de mi existencia. Estoy agradecido por la fortaleza y sabiduría que me ha otorgado en cada etapa de mi vida. Su amor y confianza en mí me han motivado a seguir mis sueños y a enfrentar los retos con valentía y determinación.

A mi familia, por su amor incondicional y su apoyo constante. Ustedes son mi refugio y mi fuente de motivación en cada instante. Gracias por creer en mí, por inculcarme valores perdurables y por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas. Sin su apoyo, esto no habría sido posible.

A mis amigos, por ser la alegría y el aliento en mi vida. Agradezco las risas, los sueños y los momentos inolvidables compartidos. Su presencia ha enriquecido mi trayectoria y me ha enseñado el verdadero valor de la amistad. Espero que siempre estemos juntos, apoyándonos en cada paso que tomemos.

AGRADECIMIENTOS

- Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a la Universidad Privada San Carlos de Puno, por haberme brindado la oportunidad de desarrollarme académicamente y por proporcionarme los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación.
- También extendo mi gratitud a la Facultad de Ingeniería Ambiental por su constante apoyo y por haberme ofrecido un entorno académico enriquecedor. La dedicación de los profesores y su disposición para compartir su experiencia han sido cruciales en mi formación tanto académica como profesional. Este trabajo refleja los valores y principios que me han transmitido a lo largo de mi carrera en la facultad.
- De manera especial, quiero agradecer al M.Sc. Julio Wilfredo Cano Ojeda, mi asesor, por su guía, paciencia y por las valiosas aportaciones que brindó durante el desarrollo de este trabajo. Su vasta experiencia y conocimientos fueron esenciales para el éxito de este proyecto, y su constante apoyo fue una fuente de motivación para superar los retos que se presentaron.
- Finalmente, mi agradecimiento también va a los miembros del jurado, quienes dedicaron su tiempo a revisar esta investigación. Sus comentarios y recomendaciones han sido de gran ayuda para mejorar este trabajo, y su compromiso con la excelencia académica es algo que valoro profundamente.

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	14
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
1.2. ANTECEDENTES	15
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	15
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	17
1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	21
2.1.1. ÍNDICE DE VEGETACIÓN	21
2.1.2. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)	21
2.1.3. COBERTURA VEGETAL	22
2.1.4. CAMBIO CLIMÁTICO	22
2.1.5. CAUSAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	23
2.1.6. TELEDETECCIÓN	23
2.1.7. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	24
2.1.8. FIRMA ESPECTRAL	25
2.1.9. IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8	26
2.1.10. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	27
2.2. MARCO CONCEPTUAL	28
2.3. MARCO NORMATIVO	29
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	30
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	30
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	30
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	31
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	32
3.2.1 POBLACIÓN	32
3.2.2. MUESTRA	32
3.3. MÉTODOS Y MATERIALES	32
3.3.1. MÉTODOS	32
3.3.2. MATERIALES	33
3.4 METODOLOGÍA	33

3.4.1. MÉTODO INDUCTIVO	33
3.4.2. MÉTODO DEDUCTIVO	33
3.4.3. TÉCNICAS	34
3.4.4. INSTRUMENTOS.	34
3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	40
3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	40
CAPÍTULO IV	
EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL MEDIANTE EL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI) DURANTE EL PERIODO 2015 - 2023.	43
4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL DURANTE EL PERIODO 2015 - 2023.	51
4.3. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES EN EL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL DURANTE EL PERIODO 2015 - 2023.	57
4.4. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	61
4.4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 01.	61
4.4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 02	62
4.4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 03	62
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	70
ANEXOS	76

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Resolución Espectral Landsat 8.	27
Tabla 02: Requerimiento para las fotografías aéreas de Landsat-L8.	35
Tabla 03: Clases de los valores del NDVI.	37
Tabla 04: Operacionalización de Variables.	40
Tabla 05: Grado de correlación.	42
Tabla 06: Estimación del cambio de la cobertura vegetal durante el 2015 y 2023.	44
Tabla 07: Estadística descriptiva del cambio de la cobertura vegetal de Coata.	47
Tabla 08: Prueba de normalidad 'Shapiro-Wilk' de la cobertura vegetal.	48
Tabla 09: Pronóstico de la cobertura.	50
Tabla 10: Estadística descriptiva de las temperaturas máximas y mínimas.	55
Tabla 11: Prueba de normalidad 'Shapiro-Wilk' de las temperaturas.	56
Tabla 12: Estadística descriptiva de las precipitaciones.	59
Tabla 13: Prueba de normalidad 'Shapiro-Wilk' de las precipitaciones.	60
Tabla 14: Correlación de Spearman de la variable independiente y dependiente.	64

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Fórmula y uso del índice de vegetación NDVI (Camas & Mamani, 2022).	22
Figura 02: Espectro de radiofrecuencias (Rodríguez, 2023).	25
Figura 03: Huella espectral (Escobar et al., 2023).	26
Figura 04: Mapa de ubicación del área de estudio, distritos de Coata.	32
Figura 05: Adquisición de las imágenes aéreas de Landsat-8 proporcionadas por el USGS.	36
Figura 06: Descarga de datos climáticos del geoportal TerraClimate.	39
Figura 07: Estimación de la cobertura vegetal de Coata entre el 2015 y 2023.	45
Figura 08: Estimación de la cobertura vegetal de Coata entre el 2015 y 2023.	46
Figura 09: Prueba de normalidad 'Shapiro-Wilk' de la cobertura vegetal.	48
Figura 10: Regresión lineal de la cobertura vegetal sobre los periodos.	49
Figura 11: Temperaturas máximas y mínimas del distrito de Coata.	51
Figura 12: Imagen de temperaturas máximas del distrito de Coata.	52
Figura 13: Imagen de temperaturas mínimas del distrito de Coata.	54
Figura 14: Prueba de normalidad 'Shapiro-Wilk' de las temperaturas.	56
Figura 15: Precipitación acumulada del distrito de Coata.	57
Figura 16: Imágenes de las precipitaciones del distrito de Coata.	58
Figura 17: Prueba de normalidad 'Shapiro-Wilk' de las precipitaciones.	60
Figura 18: Correlograma de la variables en colores.	64
Figura 19: Correlograma de la variables en valores numéricos.	65
Figura 20: Regresión lineal de las variables.	65

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia:	77
Anexo 02: Descarga de imágenes satelitales Landsat 8, de la plataforma Google Earth Engine.	78
Anexo 03: Conexión a la plataforma Google Earth Engine mediante Python en Jupyter.	79
Anexo 04: Descarga de imágenes satelitales mediante Python en Jupyter.	80
Anexo 05: Procesamiento de las imágenes satelitales mediante R.	81

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo de evaluar la relación entre la cobertura vegetal y el cambio climático en el distrito de Coata, Puno, periodo 2015 - 2023. para ello se recopilamos imágenes satelitales LandSat-8 de Google Earth Engine, realizando los cálculos para determinar el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en el software R, los datos climáticos se obtuvieron de TerraClim que incluyen temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones aplicando la prueba de Spearman para determinar la correlación entre la cobertura vegetal y el cambio climático. Los resultados revelaron que en el 2015 la cobertura vegetal alcanzaba los 4.39 km² y para 2023 la vegetación se redujo a 1.13 km² representando una pérdida de más del 74% en menos de diez años, con una proyección de la cobertura de 0.85 km² para el 2024, 0.59 km² al 2025 y 0.33 km² para el 2026, la validación del modelo proyectado revela un (RMSE) y un (MAE) promedio de 0.006 lo que sugiere un alto grado de precisión, las temperaturas tuvieron un incremento de 0.4 °C en la temperatura máxima y de 0.18 °C en la mínima y en las precipitaciones se tuvo una disminución de - 69 mm equivalente a una reducción del 9.67% en el total de precipitaciones durante los periodos de estudio. También refleja que (r^2) es de -0.43 lo que indica que a lo largo del periodo la cobertura vegetal ha disminuido en lugar de incrementarse, también el (r^2) de -0.53, indica que a medida que las temperaturas aumentan la cobertura vegetal disminuye y una (r^2) de 0.534 indicando la disminución de las precipitaciones está asociada en el deterioro de la cobertura vegetal. Concluyendo que el aumento de las temperaturas y la ausencia de precipitaciones causa el deterioro de la cobertura vegetal en el distrito de Coata.

Palabras clave: Cambio climático, Cobertura, LandSat-8, Precipitaciones, Temperatura

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the relationship between vegetation cover and climate change in the Coata district, Puno, period 2015 - 2023. For this purpose, Landsat-8 satellite images were collected from Google Earth Engine, performing calculations to determine the normalized difference vegetation index (NDVI) in the R software; The climatic data were obtained from TerraClim, which includes maximum and minimum temperatures and precipitation, applying the Spearman test to determine the correlation between vegetation cover and climate change. The results revealed that in 2015 the vegetation cover reached 4.39 km² and by 2023 the vegetation was reduced to 1.13 km² representing a loss of more than 74% in less than ten years, with a projection of coverage of 0.85 km² for 2024, 0.59 km² in 2025 and 0.33 km² for 2026, the validation of the projected model reveals an average (RMSE) and (MAE) of 0.006 which suggests a high degree of precision, temperatures had an increase of 0.44 ° C in the maximum temperature and 0.18 ° C in the minimum and in precipitation there was a decrease of - 69 mm equivalent to a reduction of 9.67% in total precipitation during the study periods. It also reflects that (r^2) is -0.43, which indicates that throughout the period the vegetation cover has decreased instead of increasing, also the (r^2) of -0.53 indicates that as temperatures increase the vegetation cover decreases and an (r^2) of 0.534 indicating the decrease in rainfall is associated with the deterioration of the vegetation cover. Concluding that the increase in temperatures and the absence of rainfall causes the deterioration of the vegetation cover in the Coata district.

Keywords: Climate change, Coverage, Landsat-8, Precipitation, Temperature

INTRODUCCIÓN

El cambio climático está intensificando la pérdida de vegetación a nivel global, afectando gravemente los ecosistemas. Entre 1990 y 2020, se han destruido alrededor de 420 millones de hectáreas de bosques, superando el tamaño de India, según datos de la FAO (2020). Este proceso, impulsado por actividades humanas como la agricultura, la ganadería y la urbanización, junto con fenómenos climáticos extremos, reduce la capacidad de los ecosistemas para capturar carbono y enfrentar el calentamiento global. Además, agrava problemas como la degradación de suelos, la pérdida de especies y la inseguridad alimentaria (Anzoategui & Sanabria, 2023).

El Perú, reconocido por su megadiversidad, enfrenta serias consecuencias del cambio climático que aceleran la reducción de su cobertura vegetal, especialmente en la Amazonía y los Andes. Datos del MINAM indican que entre 2001 y 2020, se perdieron más de 2.6 millones de hectáreas de bosques, con una deforestación anual promedio de 123,000 hectáreas. Factores como la agricultura migratoria, la tala ilegal y la minería sumados a sequías y cambios climáticos, han intensificado esta problemática. La pérdida de vegetación afecta la biodiversidad y limita la capacidad del país para reducir emisiones de CO₂, impactando a las comunidades dependientes de estos ecosistemas (Vela et al., 2024).

En el distrito de Coata los principales causantes de cambios del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), es el cambio climático en la atmósfera terrestre, como el incremento de las temperaturas y las ausencias de las precipitaciones. El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) 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. En el distrito de Coata, cada año que pasa las coberturas vegetales tienden a disminuir o en algunas ocasiones desaparecen, y esto conlleva a dejar los suelos desnudos. Este estudio busca responder

a la siguiente pregunta: ¿Cuál es la relación entre la cobertura vegetal y el cambio climático en el distrito de Coata - Puno, periodo 2015 - 2023?.

En la subcuenca Quisquichaca, Cusco, se estudió cómo las variaciones en precipitación y temperatura han afectado los cambios en la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca entre 1986 y 2018. Los resultados mostraron un incremento de la cobertura vegetal en las zonas de baja y media altitud, con un aumento promedio que va de 116.48 ha a 320 ha. En cambio, en la zona alta de la subcuenca hubo una ligera reducción en la cobertura, con una pérdida de 25.6 ha/año. Las variables climáticas presentaron incrementos anuales en precipitación (1.78 mm a 6.38 mm) y en temperatura (0.027 °C a 0.033 °C). La prueba ANOVA reveló que la precipitación influye en los cambios de cobertura en los pisos altitudinales 1, 2 y 3, pero no en el piso 4 ("Suní o Jalca"), donde la temperatura máxima tiene una mayor incidencia. En conclusión, la precipitación es el factor climático con mayor impacto en la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca, con efectos distintos según el piso altitudinal (Durand & Guerrero, 2024).

La hipótesis de esta investigación, es si existe una relación entre la degradación de la cobertura vegetal y el cambio climático en el distrito de Coata - Puno, periodo 2015 - 2023. Se espera que las variaciones climáticas, especialmente el incremento de la temperatura media anual, presenten una correlación significativa con la reducción de la cobertura vegetal.

Las variables se definen como Causa o variable independiente (VI): Influencia de los elementos climáticos. Efecto o variable dependiente (VD): Reducción de la cobertura vegetal.

El presente estudio se organiza en cuatro capítulos:

Capítulo I: Introducción. Se presenta el planteamiento del problema, los antecedentes del estudio, la formulación de los objetivos que se investiga.

Capítulo II: Marco teórico. Este capítulo ofrece un marco conceptual que respalda el análisis del cambio climático y su impacto en la cobertura vegetal, además de incluir estudios previos sobre la reducción de la cobertura vegetal.

Capítulo III: Metodología. Aquí se detalla el enfoque metodológico de la investigación, abarcando el análisis de imágenes satelitales y los datos climáticos recopilados, así como el tratamiento estadístico aplicado para evaluar la relación entre las variables.

Capítulo IV: Resultados y discusión. Se exponen los resultados de examinar la relación entre la cobertura vegetal y el cambio climático en el distrito de Coata - Puno, periodo 2015 - 2023 y su correlación con los factores climáticos. También se discuten los hallazgos en relación con estudios anteriores y sus implicaciones para la región. Finalmente, Conclusiones y recomendaciones se resumen los hallazgos más significativos y se plantean recomendaciones para futuras investigaciones y políticas de mitigación ante el cambio climático.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En varias regiones del mundo, la etapa inicial del deterioro del suelo es la pérdida del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI); si este proceso no se detiene a tiempo, el entorno acabará desertificado. La principal causa de la pérdida del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), 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 (Jasso et al., 2022).

En el Perú como en la mayoría de los países, el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) 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 del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (Vela et al., 2024).

En el distrito de Coata perteneciente a la provincia de Puno y a la región Puno, los principales causantes de cambios del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), es el cambio climático en la atmósfera terrestre, como el incremento de las temperaturas y las ausencias de las precipitaciones. El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) 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. En el distrito de Coata, cada año que pasa las coberturas vegetales tienden a disminuir o en algunas ocasiones desaparecen y esto conlleva a dejar los suelos desnudos.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la relación entre la cobertura vegetal y el cambio climático en el distrito de Coata - Puno, periodo 2015 - 2023?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es el cambio de la cobertura vegetal mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) durante el periodo 2015 - 2023?
- ¿De qué manera la temperatura influye en la cobertura vegetal entre el periodo 2015 - 2023?
- ¿De qué manera las precipitaciones influyen en el relación de la cobertura vegetal entre el periodo 2015 - 2023?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- Leija et al. (2023), en el Sistema Volcánico Transversal del estado de Michoacán, México, Este estudio analiza los cambios en la cobertura y conectividad estructural del bosque de niebla (BN) entre 1995 y 2018, utilizando ortofotos e imágenes satelitales Spot para la interpretación visual. Los resultados muestran una pérdida de 9,038 ha de cobertura del BN en estos 23 años, con una tasa de deforestación global

de -1.4%. En cuanto a la conectividad estructural, el número de parches de BN aumentó de 628 en 1995 a 762 en 2018, y la densidad de parches pasó de 2,1 a 3,6 ha. Estos datos reflejan una considerable fragmentación del BN y una acelerada pérdida de su extensión original.

- Anzoategui & Sanabria (2023), en el páramo del Parque Regional Natural Cortadera del municipio de Siachoque, Colombia, la investigación analizó los cambios en las coberturas vegetales durante los períodos de 1986, 2000 y 2016, evidenciando bordes que marcan una expansión de la frontera agrícola. Las coberturas identificadas incluyen Bosque abierto alto (Baa), Herbazal denso de tierra firme sin árboles (HdTf), Mosaico de pastos y cultivos (Mpc), Lagunas, lagos y ciénagas naturales (LICn), y Cuerpos de agua artificial (Caa). Se observó una reducción constante en HdTf, que disminuyó de 3,604 ha en 1986 a 2,531 ha en 2016; mientras que Mpc aumentó en 1,447 ha en estos 30 años. A pesar de haberse declarado área protegida en 2015, la expansión agrícola continúa alterando la distribución de coberturas vegetales, lo cual evidencia la urgencia de involucrar a los actores en acciones de conservación y restauración en el Páramo Cortadera.
- Celemin & Arias (2023), en la ciudad de Mar del Plata, Argentina, en su estudio evaluaron cómo ha cambiado la cobertura vegetal (mediante el NDVI) y el área construida (a través del NDBI) en la ciudad de Mar del Plata, Argentina, utilizando imágenes del satélite Sentinel 2 procesadas en Google Earth Engine. Los resultados indican una reducción en el NDVI y un incremento en el NDBI, mostrando una fuerte correlación entre ambas variables. Aunque el análisis temporal es limitado, ya que las imágenes del satélite están disponibles solo desde finales de 2018, los resultados destacan el efecto de la urbanización sobre la vegetación local, proporcionando una herramienta útil para la gestión ambiental urbana.

- Lara et al. (2023), en la región pampeana, Argentina, con el objetivo de analizar los cambios en cinco funciones y dos servicios ecosistémicos clave en la región pampeana entre 2001 y 2018, y su vínculo con las transformaciones en la utilización del terreno. Excepto el almacenamiento de carbono en biomasa, todas las funciones ecosistémicas disminuyeron a nivel regional, con la retención de precipitación (40.7 %) y el control de la erosión (35.4 %) presentando las mayores reducciones. Los servicios de amortiguación de inundaciones y regulación climática también disminuyeron en un 6.78 % y 6.8 %, respectivamente. Estas disminuciones se asociaron al reemplazo de pastizales naturales por áreas de cultivo. Los modelos biofísicos facilitaron un análisis espacial de la dinámica de estos servicios y su relación con el cambio de uso del suelo.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

- Gonzalez (2024), en su investigación realizada en la microcuenca Chorrillos en el distrito de Huancayo, Perú, centrada en analizar la cobertura vegetal, su uso actual, su distribución y la pérdida de cobertura entre 2000 y 2020. Los resultados muestran que los usos actuales del suelo se distribuyen en: 0,89 ha para áreas urbanas, 176,72 ha de bosque, 28,31 ha en cultivos extensivos, 19,77 ha en huertos frutales y 170,66 ha en praderas naturales. En cuanto a la cobertura vegetal, se identificaron 28,18 ha de áreas agrícolas, 244,10 ha de herbazal, 0,69 ha de área urbana, 103,43 ha de matorrales y 19,77 ha de plantaciones forestales. La pérdida de cobertura registró 80,06 ha, con un 5.33% en suelos desnudos y un 94.67% en pajonal andino. Se concluye que la microcuenca ha experimentado cambios significativos, como la conversión de uso de suelos, la degradación de pajonales y la revegetación en suelos desnudos mediante cultivos, herbazales rastreros y plantaciones forestales.
- Durand & Guerrero (2024), en la subcuenca Quisquichaca, Cusco, en su estudio buscaron establecer cómo las variaciones en precipitación y temperatura han

afectado los cambios en la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca entre 1986 y 2018. Los resultados mostraron un incremento de la cobertura vegetal en las zonas de baja y media altitud, con un aumento promedio que va de 116,48 ha a 320 ha. En cambio, en la zona alta de la subcuenca hubo una ligera reducción en la cobertura, con una pérdida de 25,6 ha/año. Las variables climáticas presentaron incrementos anuales en precipitación (1.78 mm a 6.38 mm) y en temperatura (0.027 °C a 0.033 °C). La prueba ANOVA reveló que la precipitación influye en los cambios de cobertura en los pisos altitudinales 1, 2 y 3, pero no en el piso 4 ("Suní o Jalca"), donde la temperatura máxima tiene una mayor incidencia. En conclusión, la precipitación es el factor climático con mayor impacto en la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca, con efectos distintos según el piso altitudinal.

- Espinoza (2022), en Chumbivilcas, Cusco, el objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de la expansión minera Constancia sobre la variabilidad en la cobertura vegetal entre 2010 y 2021. Los resultados evidenciaron una relación significativa entre ambas, con una correlación de Spearman de 0,99. Se observó una reducción anual promedio de 28,27 ha en la cobertura vegetal densa y de 52,4 ha en la cobertura ligera. En conclusión, la expansión de la minería a tajo abierto en Constancia tuvo un impacto notable en la disminución de la cobertura vegetal en Chumbivilcas.
- Mendoza & Rupa, (2022), el distrito de San Jerónimo, Cusco, en su estudio analizaron la pérdida de cobertura vegetal debido a incendios forestales entre 2019 y 2021. La investigación sigue un diseño no experimental y utiliza teledetección con imágenes satelitales del sensor Sentinel 2A, procesadas en ArcMap 10.8. Para cuantificar la pérdida de vegetación, se aplicaron los índices NBR (Índice Normalizado de Área Quemada) y NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada). Las áreas afectadas fueron de 500,07 ha en 2019, 117 ha en 2020, y

1397,22 ha en 2021, siendo este último el año de mayor impacto, con un 18.44 % de área afectada.

- Cordova & Sanchez (2020), en la cuenca del río Neshuya, Ucayali, investigaron sobre la variación de la cobertura vegetal entre 2010 y 2018, identificando ocho tipos de coberturas: áreas urbanizadas, red vial, palma aceitera, pastos, bosques, tierras desnudas, áreas quemadas y superficies de agua. Uno de los hallazgos más destacados fue la drástica pérdida de cobertura boscosa, que pasó de 59,826 ha en 2010 a 19,993 ha en 2018, lo que representa una disminución de 38,833 ha. En contraste, el área de palma aceitera creció de 31,032 ha en 2010 a 78,431 ha en 2018. Estos resultados fueron validados mediante un coeficiente de Kappa de 1.000 y una precisión general del 100%, además de la recolección de datos en 75 puntos aleatorios en campo utilizando un equipo RPAS-Drone, lo que permitió obtener una mayor precisión en la identificación de las coberturas en la cuenca.

1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES

- Loza & Taype (2021), en el distrito altoandino de Cabana, con el objetivo de caracterizar los cambios en la vegetación y el uso del suelo a lo largo del tiempo, se identificaron seis tipos de asociaciones vegetales naturales que experimentaron una disminución de 2000 hectáreas de las 12,500 hectáreas originales durante un período de 16 años, lo que representa una reducción del 16.27%. En el año 2000, la asociación *Muhlenbergetum fastigiatae* ocupaba la mayor área (43.96 %), mientras que en 2016 predominaba *Calamagrostio vicunaro - Festucetum dolichophyllae* (47.31 %). Las áreas de cultivo aumentaron de 5133 ha (27 %) a 7115 ha (37 %) de la superficie distrital. Los suelos degradados se expandieron de 35 a 120 ha, las zonas con poca vegetación de 17 a 30 ha, y los humedales disminuyeron de 179 a 29,7 ha. La cobertura urbana creció a un ritmo anual de 40.7 %. La falta de un

ordenamiento territorial en el uso del suelo llevó a la degradación de la vegetación y compromete la sostenibilidad de los recursos naturales.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la relación entre la cobertura vegetal y el cambio climático en el distrito de Coata, Puno, periodo 2015 - 2023.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el cambio de la cobertura vegetal mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) durante el periodo 2015 - 2023.
- Determinar la influencia de la temperatura en el cambio de la cobertura vegetal durante el periodo 2015 - 2023.
- Determinar la influencia de las precipitaciones en el cambio de la cobertura vegetal durante el periodo 2015 - 2023.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1.1. ÍNDICE DE VEGETACIÓN

Se trata de fórmulas algebraicas que permiten identificar un elemento distintivo dentro de una zona. Los niveles de reflectancia a distintas longitudes de onda son los que confieren a una región su elemento distintivo, valores de reflectancia a distintas longitudes de onda. La reflectancia del terreno permite estimar la extensión o el estado de la cubierta vegetal, aunque la productividad o disponibilidad vegetativa del terreno no se mide directamente con estos índices. Una característica esencial de estos índices vegetativos es la exclusión de factores físicos externos como la óptica del suelo y la irradiancia solar (Machaca et al., 2022).

2.1.2. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)

Este índice numérico se utiliza para evaluar las diversas unidades de vegetación en un área y determinar el estado general de salud de la cobertura vegetal (Martínez, 2022).

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 (Camas & Mamani, 2022).

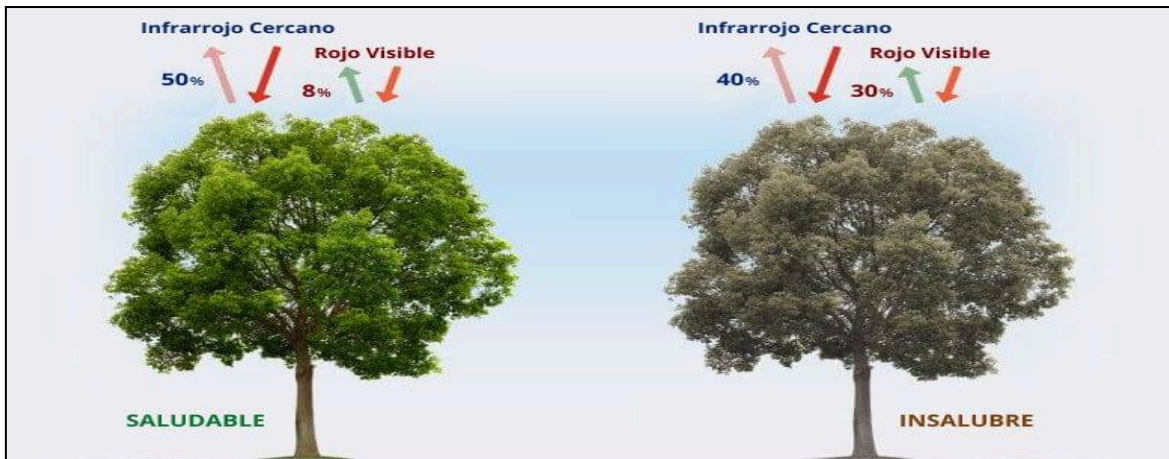


Figura 01: Fórmula y uso del índice de vegetación NDVI (Camas & Mamani, 2022).

2.1.3. COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal comprende todas las formas de vegetación que cubren la superficie terrestre, como árboles, arbustos, pastizales y otras plantas. Funciona como una barrera natural que protege el suelo, regula el flujo de energía con la atmósfera y desempeña un rol vital en la conservación de recursos, evitando la erosión, equilibrando el ciclo hídrico y brindando refugio a múltiples especies (Machaca et al., 2022).

Este componente es clave para el clima, ya que permite la captura de dióxido de carbono y genera oxígeno mediante la fotosíntesis. Su disminución, causada por actividades humanas o cambios climáticos, impactan negativamente en la biodiversidad y los ecosistemas, agravando problemas como la desertificación y el calentamiento global (Martínez, 2022).

2.1.4. 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 (Rozzi et al., 2020).

El cambio climático implica cambios prolongados en los patrones climáticos del planeta, originados tanto por fenómenos naturales, como la variación en la radiación solar, como

por actividades humanas que aumentan los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Estos gases, como el CO_2 y el CH_4 , intensifican el efecto invernadero al retener el calor, lo que eleva la temperatura global (Rozzi et al., 2020).

Entre sus efectos destacan el deshielo de glaciares, el aumento del nivel del mar, fenómenos meteorológicos extremos y la alteración de los ecosistemas. Estas transformaciones impactan negativamente en la biodiversidad, los recursos hídricos, la agricultura y la salud humana, afectando principalmente a las poblaciones más vulnerables (Armesto, 2021).

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 (Armesto, 2021).

2.1.5. CAUSAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático tiene como principal causa el aumento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, originado en gran medida por actividades humanas (Rozzi et al., 2020).

La quema de combustibles fósiles para la generación de energía, el transporte y la industria libera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2), mientras que actividades agrícolas y ganaderas emiten metano (CH_4) y óxidos de nitrógeno (N_2O). Estos gases atrapan el calor en la atmósfera, alterando los patrones climáticos y aumentando la temperatura global (Armesto, 2021).

2.1.6. TELEDETECCIÓN

Es la ciencia que permite identificar o analizar sin contacto las propiedades de los objetos de interés (Vargas, 2023).

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 (García & González, 2021).

2.1.7. 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 (Sánchez et al., 2022).

La medición de la radiación electromagnética o energía emitida por un objeto o material sirve de base para todas las imágenes a distancia (Rodríguez, 2023).

El espectro electromagnético se divide en regiones con características y usos específicos, ordenadas según su frecuencia: ondas de radio, microondas, infrarrojo, luz visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma. La luz visible, que incluye colores del rojo al violeta, es la única parte perceptible por el ojo humano, mientras que el resto de las regiones requiere equipos especializados para su detección (Miranda, 2022).

Este espectro es esencial para la ciencia y la tecnología, con aplicaciones en áreas como las comunicaciones, la medicina, la astronomía y la industria. Su estudio permite utilizar las distintas ondas para fines concretos, como la transmisión de información, técnicas de diagnóstico médico o la investigación del cosmos (Rita, 2024).

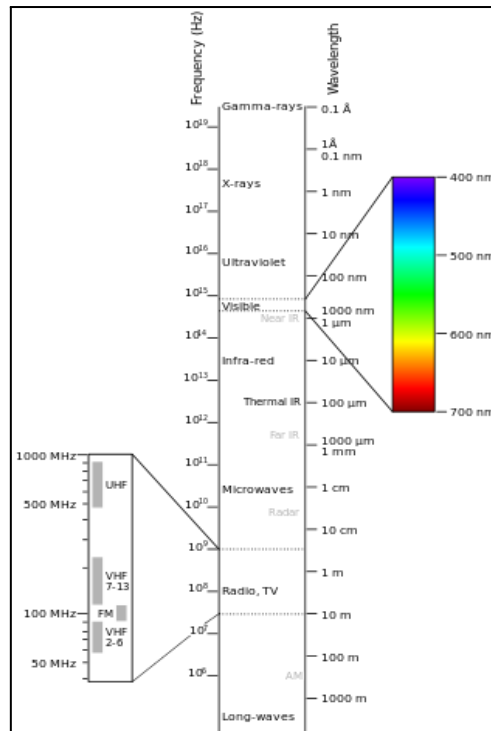


Figura 02: Espectro de radiofrecuencias (Rodríguez, 2023).

2.1.8. 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 (Arias et al., 2024).

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. (Escobar et al., 2023).

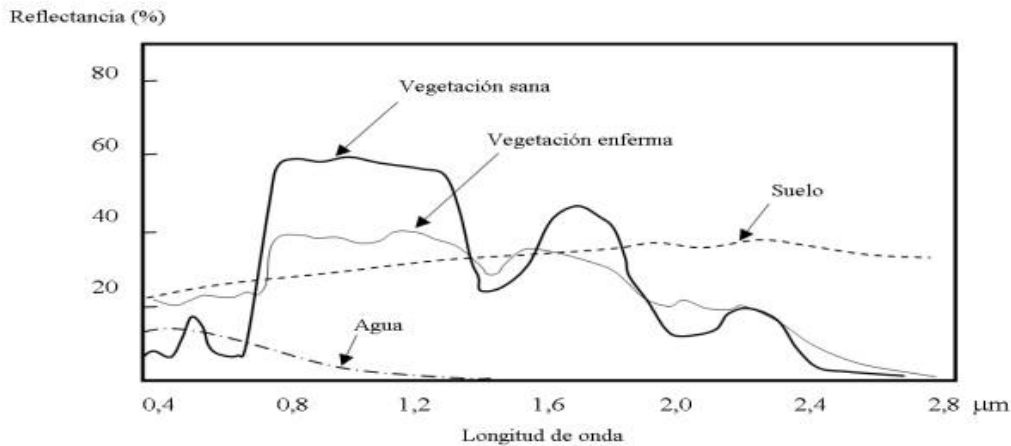


Figura 03: Huella espectral (Escobar et al., 2023).

2.1.9. 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 (Avilés, 2024).

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 científica 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 (Bravo et al., 2024).

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).

2.1.10. 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 (Pérez & Palacio, 2023).

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 (Sosa, 2023).

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. (Rozzi et al., 2020).

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 (Mendoza & Rupa, 2022).

Temperatura: Es un valor físico lineal relacionado con la energía térmica interior de un circuito energético y, más exactamente, con la energía cinética promedio de las partículas que lo integran, lo que refleja su desplazamiento. Dado que es independiente del volumen de sustancia del cuerpo, es una cualidad intrínseca (Rincones et al., 2023).

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 (Chirinos & Ruiz, 2023).

Calentamiento global: Se trata de un aumento de las temperaturas medias de los océanos y la atmósfera a lo largo del tiempo (Banfi, 2023).

Radiación solar: Debido a la emisión de energía solar en forma de radiación electromagnética, se trata de un fenómeno físico (Banfi, 2023).

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 (Giler, 2024).

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 (Giler, 2024).

2.3. MARCO NORMATIVO

Primero la norma:

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

Existe relación entre la cobertura vegetal y el cambio climático en el distrito de Coata, Puno, periodo 2015 - 2023.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La cobertura vegetal calculada mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) durante el periodo 2015 - 2023, tiende a disminuir.
- Las temperaturas influyen en el cambio de la cobertura vegetal durante el periodo 2015 - 2023.
- Las irregularidades de las precipitaciones influyen en el cambio de la cobertura vegetal durante el Periodo 2015 - 2023.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La investigación se llevó a cabo en el distrito de Coata, provincia de Puno, región de Puno, también se ubica a las orillas del lago navegable más alto del mundo, Lago Titicaca. El distrito Coata con una superficie territorial de 9956,68 Ha y 99.57 km², a una elevación máxima de 4276 m.s.n.m. y mínima de 3838 m.s.n.m. Con una temperatura máxima de 18 °C y una mínima de - 6 °C (SENAMHI, 2023), el distrito de Coata cuenta con una población de 6.994, según el último censo peruano (INEI, 2017).

Este distrito se encuentra a orillas del lago Titicaca, que es el lago navegable más alto del planeta, lo que le confiere una singularidad geográfica notable. Coata se sitúa a una altitud aproximada de 3,850 metros sobre el nivel del mar, caracterizándose por un clima frío y seco, con notables diferencias de temperatura entre el día y la noche.

En cuanto a sus coordenadas, Coata se ubica entre las latitudes -15.7850° S y las longitudes -70.2150° W. Su ubicación permite contemplar vistas espectaculares del lago Titicaca y de las montañas que lo rodean. Además, su proximidad a la ciudad de Puno, a unos 20 kilómetros al norte, lo convierte en un punto estratégico para acceder a esta ciudad, que es un importante centro turístico y comercial de la región. La cultura del lugar, influenciada por su herencia indígena, se manifiesta en sus tradiciones y en actividades económicas como la agricultura y la pesca.

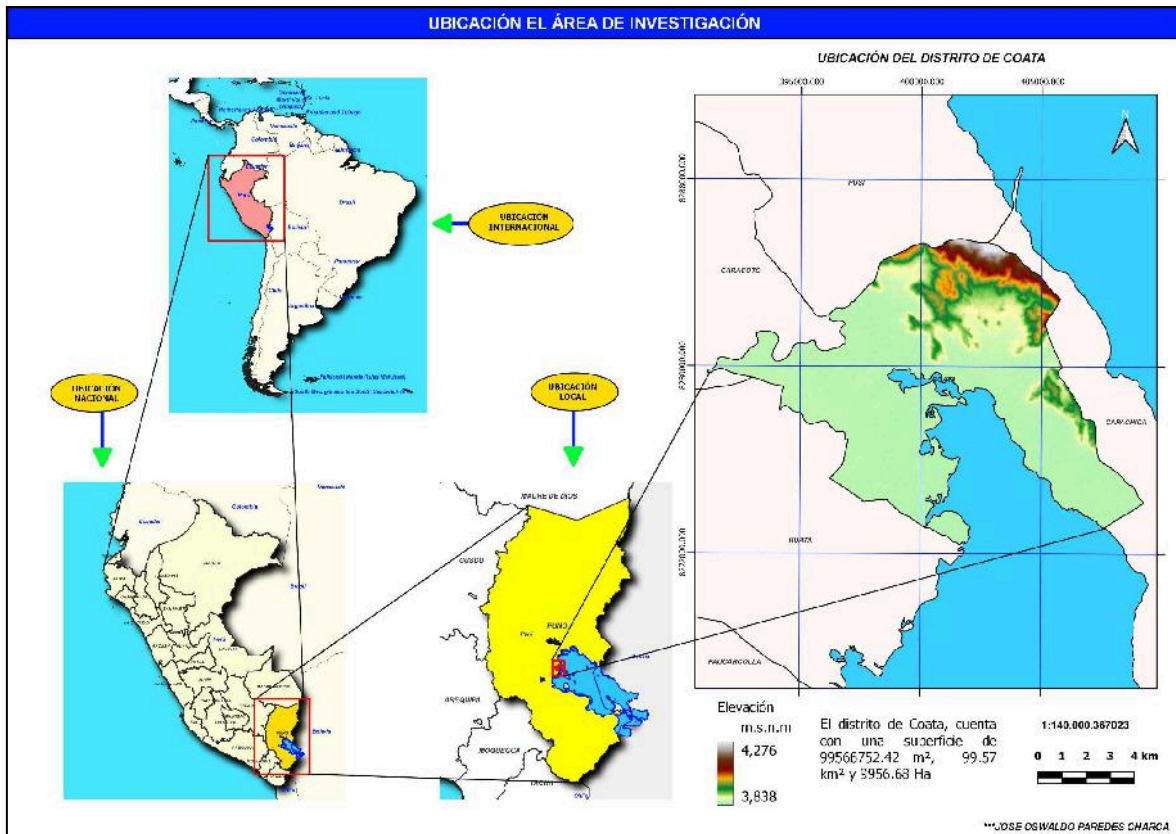


Figura 04: Mapa de ubicación del área de estudio, distritos de Coata.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

La población de la presente investigación corresponde al área de estudio superficie o territorial delimitada del distrito de Coata que es de 99.57 km².

3.2.2. MUESTRA

La muestra son los valores de los índices de vegetación: NDVI generados mediante las fotografías satelitales Landsat-L8 seleccionadas que resaltan la cobertura vegetal, los cuerpos de agua del área de estudio.

3.3. MÉTODOS Y MATERIALES

3.3.1. MÉTODOS

Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva correlacional, ya que se cuantificó el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) causado por el cambio climático, así como la correlación entre cambio climático y el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). El enfoque es cuantitativo, porque se obtuvieron datos numéricos y estadísticos.

Diseño de Investigación.

Cuando el investigador no interviene en las variables, el diseño se considera no experimental. Porque en la investigación se evaluaron los cambios del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y su relación con el cambio climático en el distrito de Coata - Puno, periodo 2015 - 2023, mas no se realizaron experimentos.

3.3.2. MATERIALES

Equipos

- Cámara fotográfica
- Computadora portátil, impresora, scanner.

Programas

- Qgis (v3.26.17)
- R-Studio (v4.3.1)

3.4 METODOLOGÍA

3.4.1. MÉTODO INDUCTIVO

Se refiere a la capacidad de razonamiento inductivo, que parte de indicios concretos y conduce a inferencias específicas. El enfoque deductivo se describe de dos maneras: primero, como un razonamiento que va de lo general a lo específico; y segundo, como la aplicación diligente de una regla para obtener un resultado (Flores & Anselmo, 2019).

3.4.2. MÉTODO DEDUCTIVO

Se trata de un proceso mental en el que la información pasa de lo general a lo específico. Comienza con una o varias premisas y extrae una conclusión a partir de ellas. Tanto en la

vida cotidiana como en el estudio académico, se emplea con frecuencia (Flores & Anselmo, 2019).

3.4.3. TÉCNICAS

Se aplicó la técnica de análisis documental, basada en la revisión y análisis de documentos técnicos, estudios científicos, imágenes satelitales y bases de datos relevantes. Este método facilita el estudio de las variaciones en los índices de vegetación como el NDVI, y la identificación de patrones relacionados con cambios climáticos y actividades humanas. La técnica permite interpretar información histórica y actual, proporcionando una base sólida para elaborar recomendaciones fundamentadas.

3.4.4. INSTRUMENTOS.

En esta investigación se emplearon diversos instrumentos digitales y documentales para analizar la cobertura vegetal en el distrito de Coata, Puno, durante el periodo 2015-2023. Entre ellos, las imágenes satelitales de plataformas como Landsat y Sentinel, que aportaron datos específicos del NDVI, fueron procesadas con software de SIG como QGIS y R para estudiar los cambios en la cobertura vegetal a nivel espacial y temporal. También se utilizaron bases de datos climáticas proporcionadas por entidades como TerraClimate, permitiendo establecer vínculos entre las variaciones en la vegetación y factores climáticos como temperatura y precipitación. Además, informes técnicos, artículos científicos y registros históricos complementaron el análisis, brindando un contexto sólido para interpretar los resultados. Estos instrumentos fueron esenciales para obtener información precisa y respaldar las conclusiones sobre la relación entre cobertura vegetal y cambio climático en la zona de estudio.

3.4.4.1 Sensores pasivos: Landsat 8 captura imágenes aéreas a través de la radiación reflejada o emitida por fuentes naturales de energía, como la luz solar, el calor y las ondas de radio, para identificar y analizar las características del objeto en estudio.

3.4.4.2 Instrumentos de medición y herramientas: los instrumentos de medición fueron conformados por las imágenes satelitales (Landsat 8 y 9) perteneciente al área de estudios, por otro lado las herramientas que se utilizaran son, los sistemas de información geográfica, como Qgis (v3.26.17) y R-Studio (v4.3.1).

3.4.5. Metodología para el objetivo específico O1: Determinar el cambio de la cobertura vegetal mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) durante el periodo 2015 - 2023.

Se utilizaron las imágenes de la misión Landsat-L8, de los sensores OLI Y TIR, el sensor OLI ofrece imágenes aéreas con una resolución de 30, 15 metros por píxel, luego el sensor TIR ofrece imágenes aéreas con una resolución de 100 metros por píxel. Estas imágenes aéreas se descargaron del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), que dispone de una amplia colección de imágenes de satélite de las distintas misiones desde épocas anteriores hasta la actualidad.

Tabla 02: Requerimiento para las fotografías aéreas de Landsat-L8.

Escena	PATH	ROW	Cobertura de nube
01	002	071	10%

Fuente: (USS, 2014).

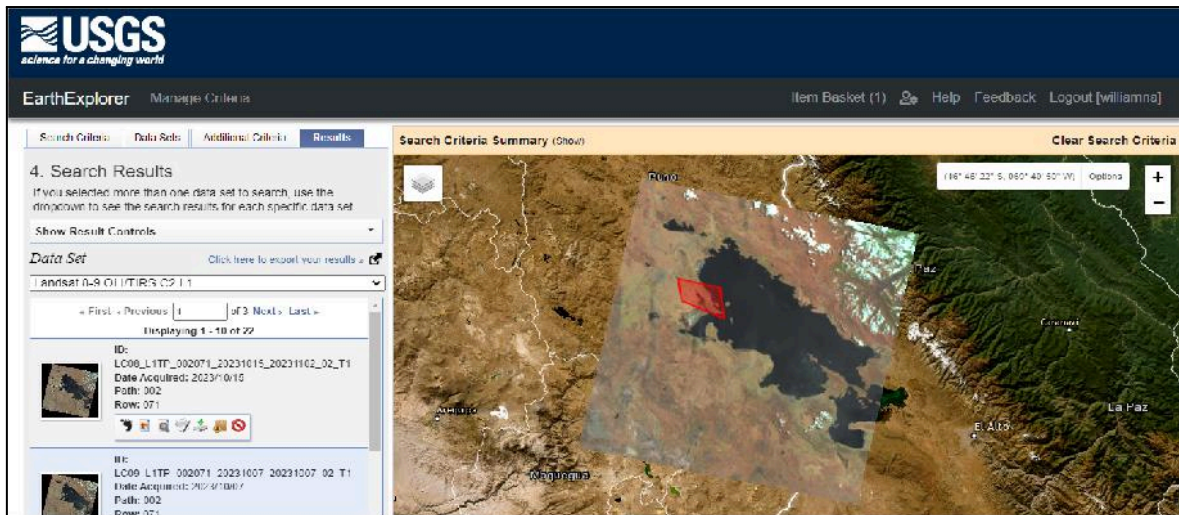


Figura 05: Adquisición de las imágenes aéreas de Landsat-8 proporcionadas por el USGS.

En el software R-Studio, se llevó a cabo inicialmente la corrección geométrica y radiométrica (TOA), seguida de la corrección topográfica debido a las pendientes pronunciadas del área de estudio. Estas correcciones son esenciales para las imágenes aéreas antes de emplear los datos de la misión Landsat-8 en el análisis multitemporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

La evaluación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), se desarrolló en el software R-Studio, a través de lenguajes o códigos de programación, con las mismas creando funciones algebraicas para el cálculo del NDVI.

a. 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. Existe una fuerte relación entre el NDVI y la cantidad de vegetación.

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

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

b. Método de clasificación no supervisada del NDVI, para la cobertura vegetal.

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 03: Clases de los valores del NDVI.

CLASIFICACIÓN	VALOR	TIPO
Planta muerta	-1 - 0	Sin cobertura vegetal
Planta enferma	0 - 0.33	
Planta medianamente sana	0.33 - 0.66	Con cobertura vegetal
Planta muy sana	0.66 - 1	

c. Determinación de la extensión de la cobertura vegetal NDVI.

Se realizó mediante el algoritmo de la ecuación, para calcular el tamaño de los índices espectrales en el distrito de Coata. Las coberturas se destacaron utilizando el índice NDVI, y su extensión en Ha se calcularon utilizando el programa R-Studio. Para ello se utilizaran lenguajes de programación de R, creando algoritmos y añadiendo ecuaciones basadas en la comprensión de la extensión espacial de cada píxel de una fotografía aérea Landsat-L8 que es de 30m x 30m, o mencionar que es de 900 m².

$$Área (Ha) = \frac{(n^{\circ} \text{ de píxeles})(900)}{1,0000}$$

Donde:

n° de píxeles: número de píxeles de la categoría Índice NDVI

d. Tasa de variación de la cobertura vegetal NDVI en porcentajes

$$Td = \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100$$

Donde:

Td = Tasa de variación de cobertura vegetal en porcentajes

$S2$ = Área de cobertura vegetal en el año final

$S1$ = Área de cobertura vegetal en el año inicial.

n = Número de años del periodo de análisis

Metodología para el objetivo específico O2: Determinar la influencia de la temperatura en el cambio de la cobertura vegetal durante el periodo 2015 - 2023.

Para tener los datos climáticos se recopilaron de la base de datos TerraClimate, como se muestra en la figura 06, que representan situaciones históricas y presentes. Pero primeramente se procederá a ubicar una estación meteorológica aplicando el método “teledetección” dentro del área de estudio distrito de Coata, para la ubicación adecuada, la estación se situará en un espacio abierto, alejados de cualquier obstáculo que pueden intervenir en su correcta captación de datos meteorológicos. Como datos de temperaturas máximas y mínimas (°C).

Metodología para el objetivo específico O3: Determinar la influencia de las precipitaciones en el cambio de la cobertura vegetal durante el periodo 2015 - 2023.

Para obtener los datos climáticos se descargaron de la base de datos TerraClimate, como se muestra en la figura 06, que representan situaciones históricas y presentes. Pero primeramente se ha procedido a ubicar una estación meteorológica aplicando el método “teledetección” dentro del área de estudio distrito de Coata, para la ubicación adecuada, la estación se situó en un espacio abierto, alejados de cualquier obstáculo que pueden intervenir en su correcta captación de datos meteorológicos. Como datos de precipitación acumulada.

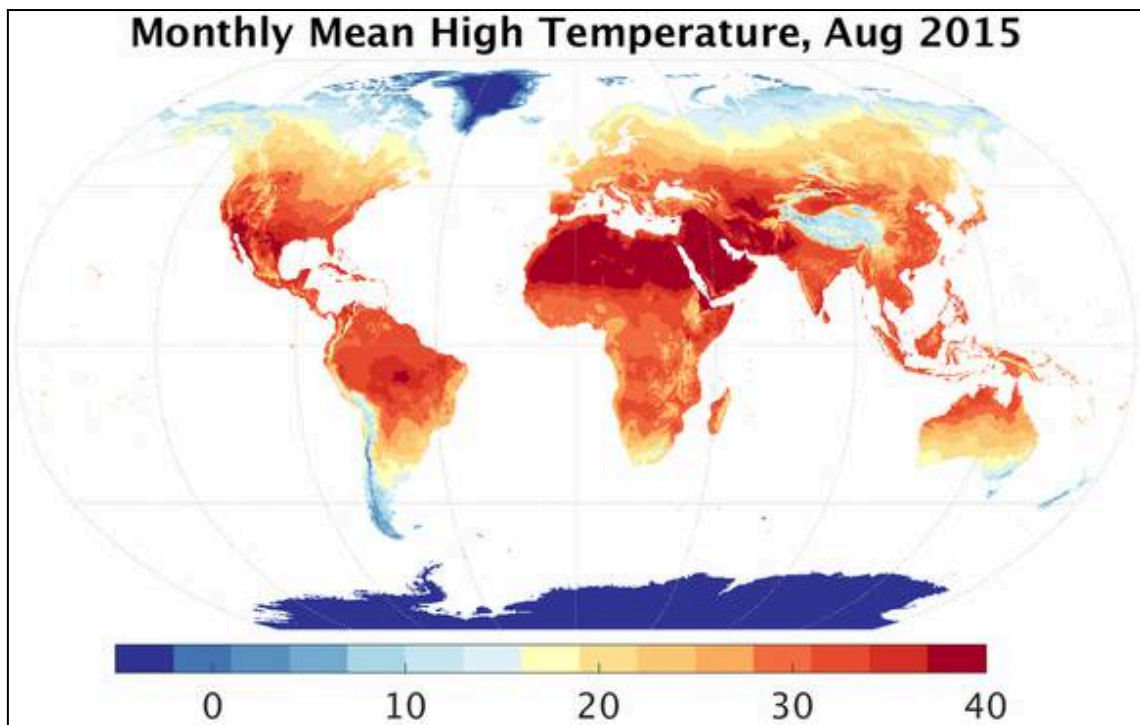


Figura 06: Descarga de datos climáticos del geoportal TerraClimate.

3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Causa o variable independiente (VI): Cambio climático

Efecto o variable dependiente (VD): Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

Tabla 04: Operacionalización de Variables.

Variables	Indicadores	Escala de Medición	Tipos de variables	
(VI) Cambio climático	Temperaturas			
	Máximas	°C	Independiente	
	Mínimas	°C		
	Anual	°C		
	Precipitación			
	Mensual	mm		
Anual	mm			
(VD) Cobertura vegetal	<ul style="list-style-type: none"> ● Planta muerta. ● Planta enferma. ● Planta medianamente sana. ● Planta muy sana. 	% Ha	Dependiente	

3.6. 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:

- ❖ Ha: La distribución de datos es normal.
- ❖ H0: La distribución de datos no es normal

Decisión:

Sig(p valor) > alfa: Acepto Ha (distribución de datos cumple con el supuesto de normalidad).

Sig(p valor) < alfa: Aceptar H0 (distribución de datos no cumple con el supuesto de normalidad).

Así, con un nivel de confianza del 95%, alfa representa la significación del 5% (0.05). Las estadísticas y las estimaciones pueden ser informativas y fiables cuando siguen una distribución normal.

Coefficiente de correlación (r)

Según Santabárbara (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 04.

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

Fuente: Adaptado de Asuero et al. (2006).

CAPÍTULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL MEDIANTE EL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI) DURANTE EL PERIODO 2015 - 2023.

Entre 2015 y 2023, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en el distrito de Coata - Puno, refleja una transformación notable en la cobertura vegetal de la zona. En el (Anexo 05) se muestran los datos satelitales obtenidos cada año indicando una fluctuación en los valores del NDVI, con aumentos observados en épocas de alta precipitación y disminuciones durante las sequías. Las áreas con vegetación densa mantienen valores altos de NDVI, lo cual indica buena cobertura vegetal, mientras que los sitios degradados o alterados exhiben valores bajos, señalando pérdida de vegetación y mayor exposición del suelo.

Durante estos ocho años de monitoreo, se han identificado zonas donde el índice ha mostrado un incremento, lo cual puede deberse a procesos de regeneración natural o intervenciones que buscan mejorar la vegetación. No obstante, también existen áreas con una disminución continua en el NDVI, principalmente alrededor de actividades humanas intensivas como la agricultura y el crecimiento urbano, que han provocado la degradación del suelo. Este análisis permite delinear patrones de cambio en la cobertura vegetal, información clave para gestionar los recursos naturales y planificar estrategias de conservación en el distrito de Coata.

Tabla 06: Estimación del cambio de la cobertura vegetal durante el 2015 y 2023.

Periodos	Área en (km ²)	Área en (Ha)	Tasa de cambio	Tasa de	Porcentaje (%)
			de la cobertura vegetal en (km ²)	cambio de la cobertura vegetal en (%)	
2015	4.39	439,74	0	0	23%
2016	0.35	35,37	-4.04	-91.95	2%
2017	4.27	427,23	3.91	1107.88	22%
2018	2.90	290,97	-1.36	-31.89	15%
2019	0.52	52,02	-2.38	-82.12	3%
2020	1.23	123,3	0.71	137.02	6%
2021	4.04	404,46	2.81	228.02	21%
2022	0.30	30,42	-3.74	-92.47	2%
2023	1.13	113,13	0.82	271.89	6%
TOTAL	19.16	1916.64	-3.26	1446.38	100%

En la tabla 06, se muestra el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en el distrito de Coata, donde se aprecia un notable deterioro en la cobertura vegetal, que pasó del 23% en 2015 al 6% en 2023. Esta reducción de 17% indica un deterioro considerable en la vegetación del área a lo largo de estos ocho años, posiblemente vinculado a factores como la expansión agrícola, el aumento de la urbanización y posibles eventos de sequía. Estos resultados apuntan a una pérdida de cobertura vegetal

sostenida, con importantes repercusiones para la estabilidad del suelo y la calidad ambiental en la región. La reducción al 6% en 2023 expone más áreas de suelo a procesos de erosión y agotamiento de nutrientes, lo que puede afectar la capacidad del ecosistema local para sostener prácticas agrícolas. Esta disminución en la cobertura vegetal evidencia la necesidad urgente de adoptar medidas de conservación y restauración en Coata, con el fin de detener o mitigar esta tendencia de pérdida de vegetación. Por otro lado coinciden con (Leija et al. 2023) en el Sistema Volcánico Transversal del estado de Michoacán México, Los resultados muestran una pérdida de 9.038 ha de cobertura vegetal en estos 23 años, con una tasa de deforestación global de -1.4%. En cuanto a la conectividad estructural, el número de parches de la cobertura vegetal aumentó de 628 en 1995 a 762 en 2018, y la densidad de parches pasó de 2.1 a 3.6 ha. Estos datos reflejan una considerable fragmentación de la cobertura vegetal y una acelerada pérdida de su extensión original.

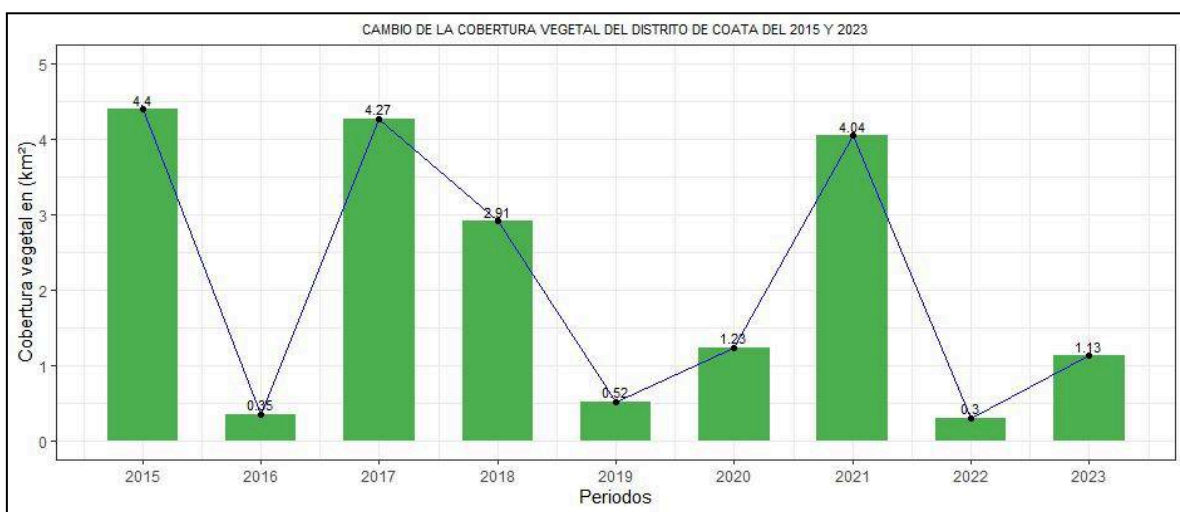


Figura 07: Estimación de la cobertura vegetal de Coata entre el 2015 y 2023.

En la figura 07, se muestra que la cobertura vegetal en el distrito de Coata, en Puno, ha disminuido notablemente, según el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). En 2015, el área verde alcanzaba los 4.39 km², evidenciando una gran presencia de vegetación en el paisaje, que favorecía la biodiversidad y sostenía los ciclos

ecológicos que benefician a la comunidad y su entorno natural. Para 2023, la vegetación se redujo a sólo 1.13 km², representando una pérdida de más del 74% en menos de diez años. Esta reducción podría deberse a factores como el cambio climático, prácticas insostenibles de uso de suelo o el aumento de actividades humanas que afectan el entorno natural de Coata. La disminución de áreas verdes amenaza el equilibrio ecológico y la calidad de vida de los habitantes, destacando la necesidad urgente de implementar estrategias de conservación y restauración en la región. Por otro lado coincide con (Celemin & Arias, 2023), en la ciudad de Mar del Plata, Argentina, en sus resultados indican una reducción en el NDVI y un incremento en el NDBI, mostrando una fuerte correlación entre ambas variables. Aunque el análisis temporal es limitado, ya que las imágenes del satélite están disponibles solo desde finales de 2018, los resultados destacan el efecto de la urbanización sobre la vegetación local, proporcionando una herramienta útil para la gestión ambiental urbana.

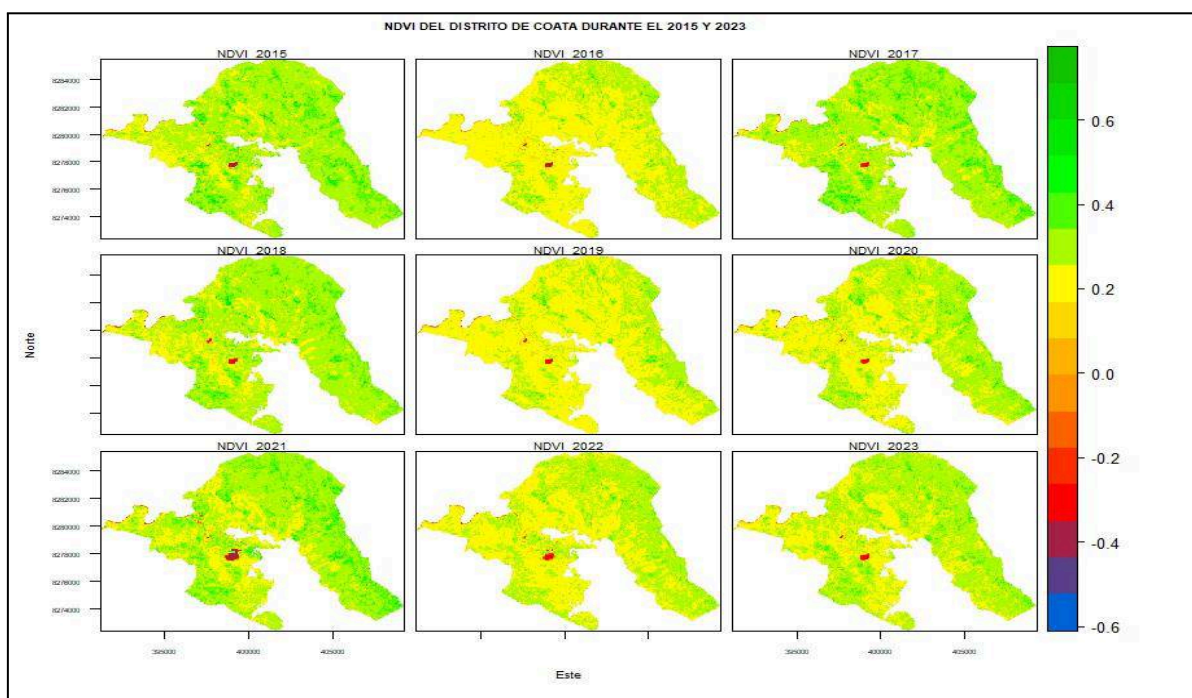


Figura 08: Estimación de la cobertura vegetal de Coata entre el 2015 y 2023.

En la figura 08, se muestra el estudio del cambio en la cobertura vegetal en el distrito de Coata entre 2015 y 2023, usando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), revela variaciones notables en la densidad y extensión de las zonas vegetadas. Según los valores de NDVI, se considera que las áreas con un índice ($>$) a 0.6 tienen una cobertura vegetal densa, mientras que las áreas con un índice ($<$) a 0.6 corresponden a zonas con poca o ninguna vegetación, como áreas urbanas o terrenos descubiertos. Durante el periodo analizado, se detectó una disminución continua en las zonas con NDVI $>$ 0,6, reflejando una reducción en la vegetación densa, posiblemente relacionada con la expansión urbana, el uso agrícola y las variaciones en las condiciones climáticas.

Tabla 07: Estadística descriptiva del cambio de la cobertura vegetal de Coata.

Var.	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Coef. de asimetría	Curtosis
Cob. vegetal	2.12	1.23	1.76	0.30	4.39	0.33	-2.05

Nivel de confianza(95,0%)

En la tabla 07, entre 2015 y 2023, en el distrito de Coata se registró variaciones en su cobertura vegetal, con una media de 2.12 km², lo que representa el promedio de los cambios observados. La mediana, que es de 1.23 km², indica que la mitad de los valores se sitúan por debajo de este punto, sugiriendo una mayor frecuencia de cambios menores en el área. La desviación estándar, de 1.76 km², refleja una variabilidad moderada, destacando ciertas diferencias en los cambios de cobertura. Los valores mínimo y máximo, de 0.30 km² y 4.39 km² respectivamente, evidencian la extensión de las fluctuaciones en el área vegetal, con periodos tanto de pérdida como de ganancia. La asimetría, con un valor de 0.33, indica una ligera inclinación hacia valores mayores. Por

otro lado, una curtosis de -2.05 señala una distribución aplanada con menos datos extremos, sugiriendo una variación relativamente uniforme en los cambios observados. Por otro lado coincide con (Cordova & Sanchez, 2020), en la cuenca del río Neshuya, Ucayali, en sus resultados hallados más destacados fue la drástica pérdida de cobertura boscosa, que pasó de 59.826 ha en 2010 a 19.993 ha en 2018 lo que representa una disminución de 38.833 ha.

Tabla 08: Prueba de normalidad ‘Shapiro-Wilk’ de la cobertura vegetal.

Variable	Statistic	<i>p-values</i>
Cobertura vegetal	0.831	0.0459

Nivel de confianza(95,0%)

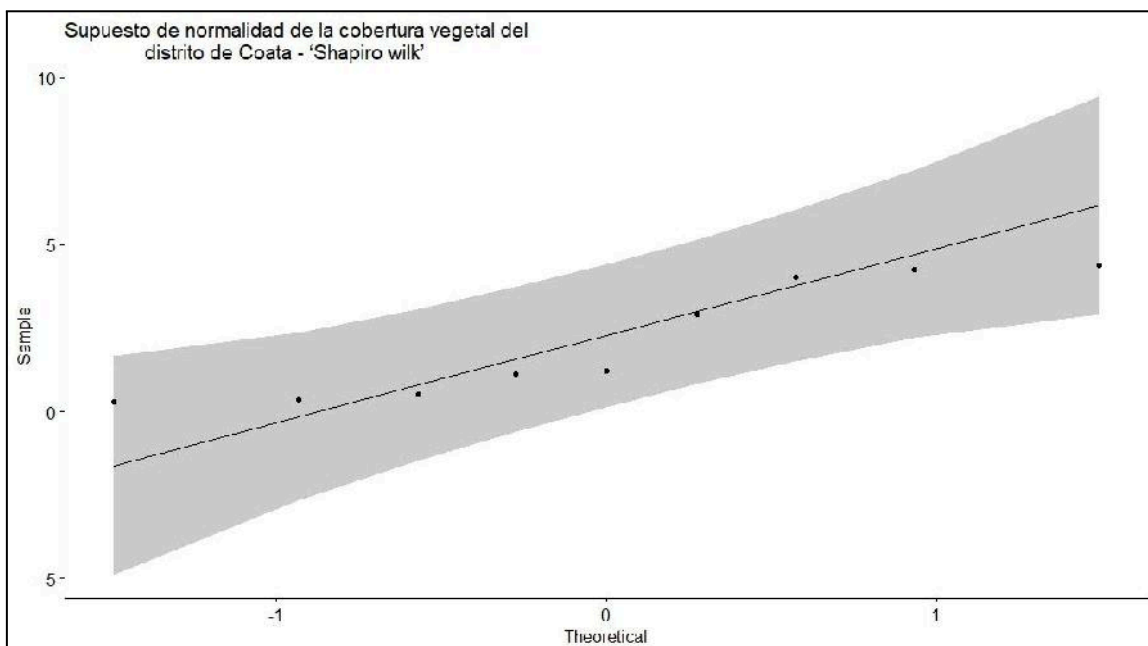


Figura 09: Prueba de normalidad ‘Shapiro-Wilk’ de la cobertura vegetal.

En la tabla 08 y en la figura 09, se muestra la prueba de Shapiro-Wilk realizada sobre los datos de cambio de cobertura vegetal en el distrito de Coata para el periodo 2015-2023, donde dio un *p-valor* de 0.0459. Como este *p-valor* es ligeramente inferior al nivel de

significancia del 95% (0.05), lo que indica que los datos no presentan una distribución normal, por lo tanto se concluye que los datos son no paramétricos y el coeficiente de correlación de Spearman es más apropiado para evaluar la relación entre el cambio de cobertura vegetal y otras variables. A diferencia del coeficiente de Pearson, Spearman no depende de la normalidad de los datos, lo que permite analizar relaciones monotónicas de manera más robusta y fiable en este contexto.

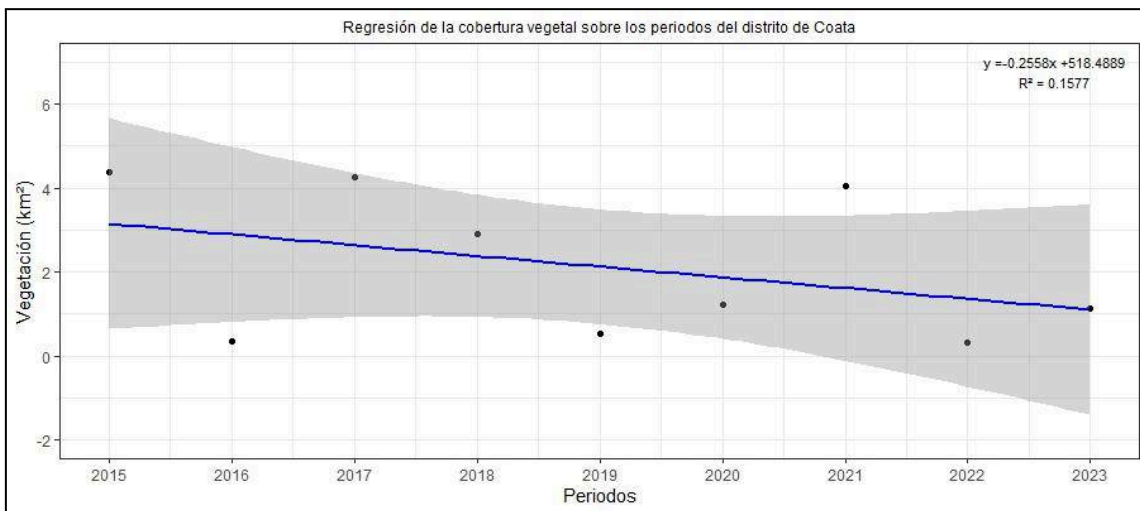


Figura 10: Regresión lineal de la cobertura vegetal sobre los periodos.

En la figura 10, se muestra la regresión lineal que relaciona la cobertura vegetal con los años en el distrito de Coata, durante el periodo de 2015 a 2023, presenta una tendencia a disminuir, lo que implica una reducción de la cobertura vegetal en este intervalo. El coeficiente de determinación; $R^2 = 0.1577$, indica que cerca del 15.77% de la variabilidad en la cobertura vegetal puede ser atribuida al paso del tiempo en este período. Este valor de R^2 ; sugiere que la conexión entre los años y la disminución de la cobertura vegetal es débil, lo que implica que otros factores, además del tiempo, pueden estar afectando estos cambios.

Tabla 09: Pronóstico de la cobertura.

Períodos futuros	Área de la cobertura en (km ²) proyectados	Métricas para evaluar la precisión del modelo de predicción estadística.	
		Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)	Error Absoluto Medio (MAE)
2024	0.85		
2025	0.59	0.0061	0.0051
2026	0.33		
Total	93.46		

En la tabla 09, se muestra el pronóstico de la cobertura vegetal en el distrito de Coata para los próximos años indica que se anticipa una cobertura de 0.85 km² en 2024, 0.59 km² en 2025 y 0.33 km² en 2026, evidenciando una disminución continua. Para la validez del modelo de pronóstico se midió a través de dos indicadores: la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) y el Error Absoluto Medio (MAE). El RMSE, que se sitúa en 0.0061 que es bajo sugiere que el modelo se ajusta adecuadamente a los datos, aunque es importante considerar el contexto de las cifras involucradas. El MAE, con un valor de 0.0051 que es bajo indicando que el modelo produce predicciones con una variabilidad aceptable en relación con los valores reales. Ambas métricas sugieren que el modelo de pronóstico es bastante preciso lo que incrementa la confianza en las proyecciones sobre la disminución de la cobertura vegetal en el distrito de Coata para los próximos años.

4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL DURANTE EL PERIODO 2015 - 2023.

Los datos recopilados durante este período indican que la temperatura no solo afecta la salud y la distribución de las especies vegetales, sino que también está relacionada con la disminución de áreas verdes en el distrito. Estos hallazgos resaltan la necesidad de considerar las variaciones de temperatura como un elemento crucial en la gestión y conservación de la cobertura vegetal en Coata, particularmente en el contexto del cambio climático global. Entre 2015 y 2023, se ha observado que la temperatura ha influido significativamente en el cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Coata. El aumento de las temperaturas ha mostrado una correlación directa con la reducción de la cobertura vegetal, lo que sugiere que los cambios climáticos han creado condiciones más difíciles para la vegetación, provocando estrés hídrico y alterando los ciclos de crecimiento, el incremento de las temperaturas puede intensificar la evapotranspiración, lo que reduce la disponibilidad de agua para las plantas y puede llevar a su debilitamiento.

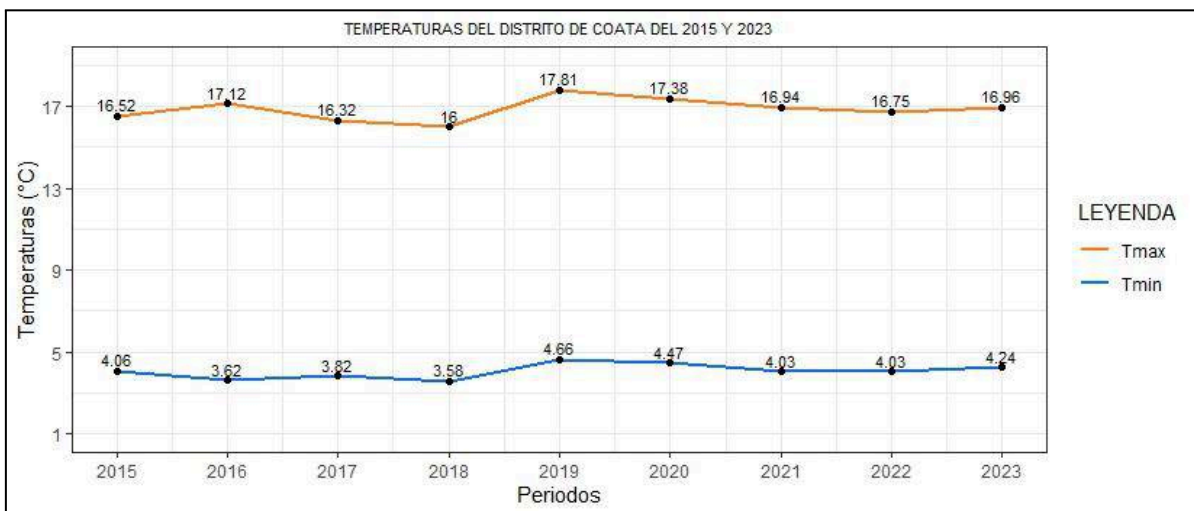


Figura 11: Temperaturas máximas y mínimas del distrito de Coata.

En la figura 11, se muestra que en el distrito de Coata, las temperaturas máximas han experimentado un incremento, pasando de 16.52 °C en 2015 a 16.96 °C en 2023 lo que implica una variación positiva de 0.44 °C en este intervalo. Asimismo, las temperaturas

mínimas también han registrado un leve aumento de 4.06 °C en 2015 a 4.24 °C en 2023 lo que representa un incremento de 0.18 °C. Estos cambios en las temperaturas, tanto máximas como mínimas, sugieren una tendencia de calentamiento gradual en el distrito de Coata, lo que podría afectar los patrones climáticos y la salud de los ecosistemas locales y la vegetación. La variación observada destaca la necesidad de monitorear las condiciones climáticas en Coata y su posible impacto en el medio ambiente. Por otro lado coincide con (Durand & Guerrero, 2024) en la subcuenca Quisquichaca, Cusco, durante el 1986 y 2018 donde la variable climática presenta un incremento anual en la temperatura de 0.027 °C a 0.033 °C estos incrementos de las temperatura han afectado los cambios en la cobertura vegetal. Estos hallazgos resaltan la necesidad de considerar las variaciones de temperatura como un elemento crucial en la gestión y conservación de la cobertura vegetal en Coata particularmente en el contexto del cambio climático global.

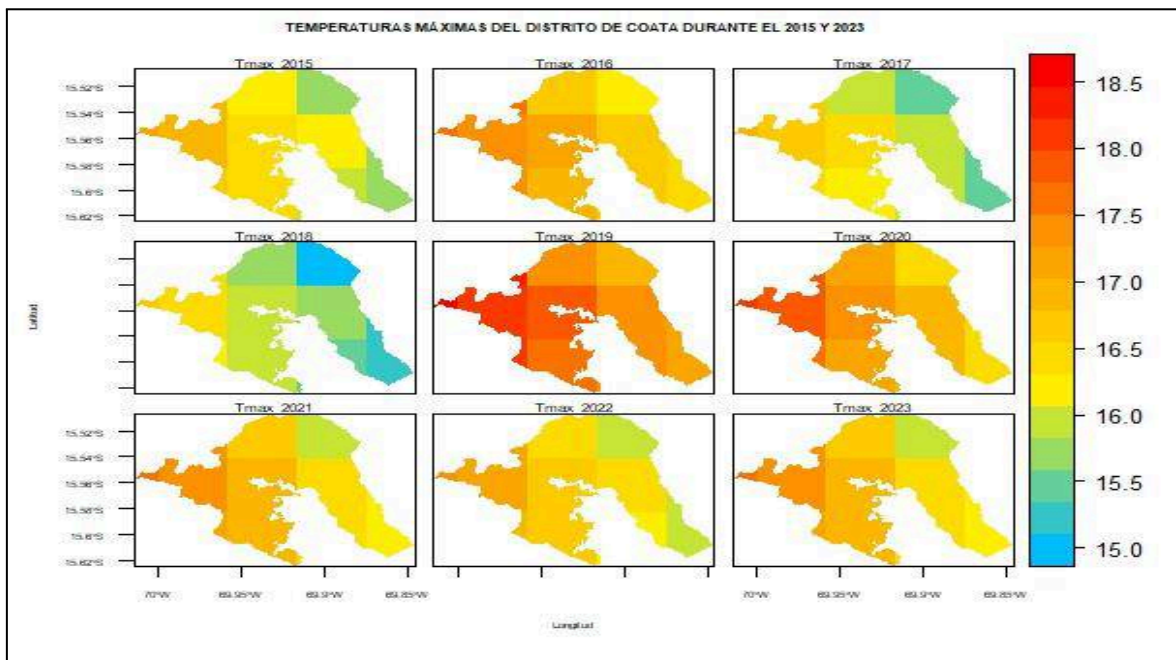


Figura 12: Imagen de temperaturas máximas del distrito de Coata.

En la figura 12, se muestra el estudio de los mapas de temperaturas máximas del distrito de Coata en 2015 y 2023 muestra que las temperaturas se mantienen entre 15 °C y 18.5 °C en ambos años. No obstante, se observa un cambio en la distribución con un leve

desplazamiento hacia el extremo superior del rango en 2023, lo que indica un aumento general en las temperaturas máximas. Esta variación sugiere que en comparación con 2015, algunas zonas que antes estaban más cerca del límite inferior (15 °C) han registrado temperaturas más altas acercándose a los 18.5 °C. Este fenómeno podría tener consecuencias relevantes para el clima y los ecosistemas locales, resaltando la necesidad de tener en cuenta estos datos para la gestión ambiental y el desarrollo sostenible en el distrito de Coata.

Este cambio indica que, en comparación con 2015, algunas áreas que antes tenían temperaturas cercanas al límite inferior están ahora registrando un aumento acercándose a los 18.5 °C. Si esta tendencia persiste en el futuro es probable que se produzcan efectos significativos en los ecosistemas locales y en la biodiversidad, ya que el aumento de las temperaturas podría alterar hábitats y dinámicas ecológicas. Además, el incremento de las temperaturas máximas podría impactar la agricultura y la disponibilidad de recursos hídricos en la región. Por ello, es fundamental que las autoridades y planificadores integren estas proyecciones climáticas en sus estrategias de gestión ambiental y desarrollo sostenible para reducir los efectos negativos y fortalecer la resiliencia frente al cambio climático en el distrito de Coata.

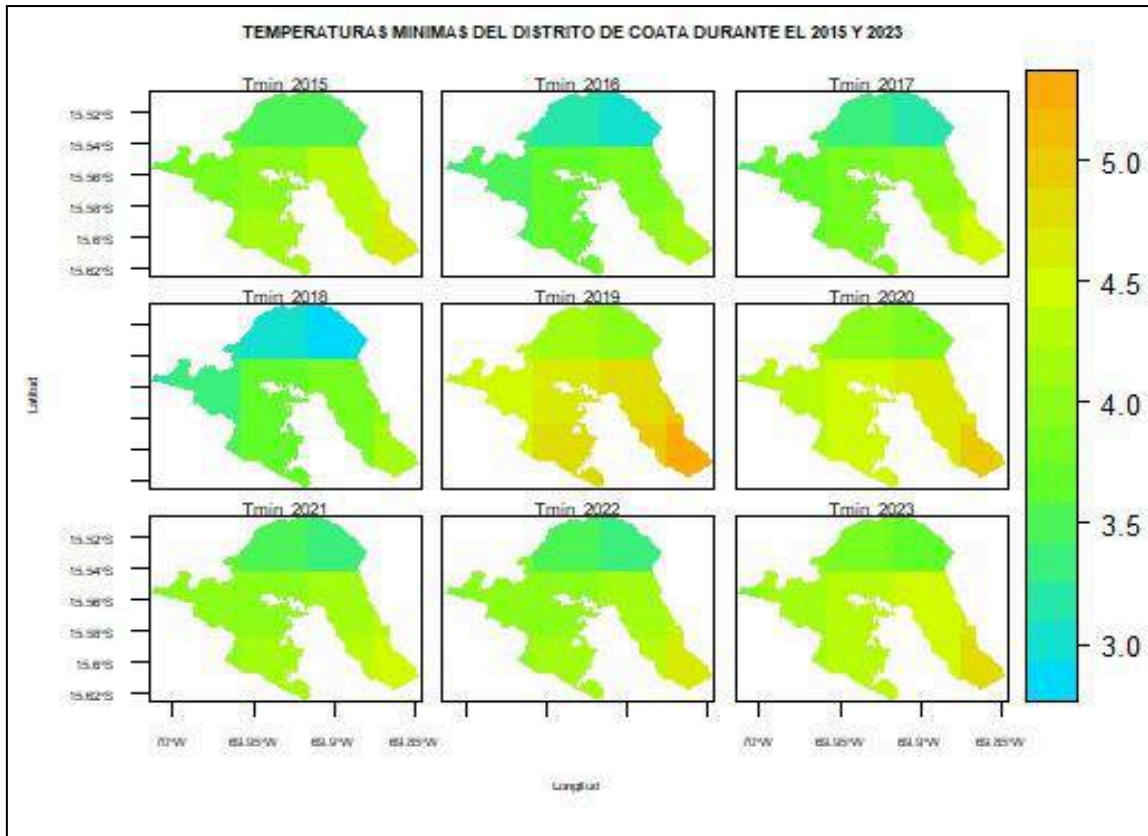


Figura 13: Imagen de temperaturas mínimas del distrito de Coata.

En la figura 13, se aprecia los mapas de temperaturas mínimas del distrito de Coata para 2015 y 2023 muestran que las temperaturas han variado entre 3.0 °C y 5.0 °C en ambos años. No obstante, se percibe una leve variación en la distribución de estas temperaturas a lo largo del tiempo. En 2023, algunas áreas que anteriormente presentaban temperaturas mínimas más cercanas a 3.0 °C han experimentado un aumento, alcanzando valores más próximos al extremo superior del rango (5.0 °C). Esta tendencia indica un ligero calentamiento en las temperaturas mínimas de la región lo que podría tener efectos sobre el comportamiento de los ecosistemas, la salud de la vegetación y la actividad de la fauna local. Además, este cambio podría afectar las prácticas agrícolas y la gestión del agua, resaltando la necesidad de un monitoreo constante de las condiciones climáticas en el distrito de Coata.

Tabla 10: Estadística descriptiva de las temperaturas máximas y mínimas.

Var.	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Coef. de asimetría	Curtosis
Tmax	16.86	16.94	0.54	16	17.80	0.12	-0.04
Tmin	4.05	4.03	0.35	3.58	4.65	0.31	-0.58

Nivel de confianza(95.0%)

En la tabla 10, se ve el análisis de las temperaturas máximas en el distrito de Coata muestra una media de 16.86 °C, reflejando el promedio de las temperaturas observadas. La mediana de 16.94 °C indica que la mitad de las mediciones están por debajo de este valor, lo que sugiere una distribución relativamente equilibrada. Con una desviación estándar de 0.54 °C, se evidencia una variabilidad moderada en las temperaturas máximas, señalando que las mediciones son coherentes con el promedio. Los valores mínimo y máximo, 16 °C y 17.80 °C, respectivamente, apuntan a un rango restringido de temperaturas, lo que indica una cierta estabilidad climática en la región. Las temperaturas mínimas nos cuentan una historia interesante: el promedio es de 4.05 °C, lo que significa que si juntamos todas las temperaturas y las dividimos en partes iguales, ese es el resultado. La mayoría de las temperaturas están cerca de 4.03 °C, lo que indica que los datos están bastante centrados. La diferencia entre las temperaturas más bajas (3.58 °C) y las más altas (4.65 °C) es pequeña, mostrando condiciones bastante estables. También descubrimos que hay una pequeña inclinación hacia valores más altos y que los números no se desvían mucho del promedio, con pocos casos extremos. Estos hallazgos resaltan la consistencia y estabilidad de las temperaturas en el distrito de Coata, lo cual es relevante para la gestión ambiental y agrícola de la zona.

Tabla 11: Prueba de normalidad ‘Shapiro-Wilk’ de las temperaturas.

Variables	Statistic	<i>p-values</i>
Tmax	0.992	0.998
Tmin	0.953	0.722

Nivel de confianza(95.0%)

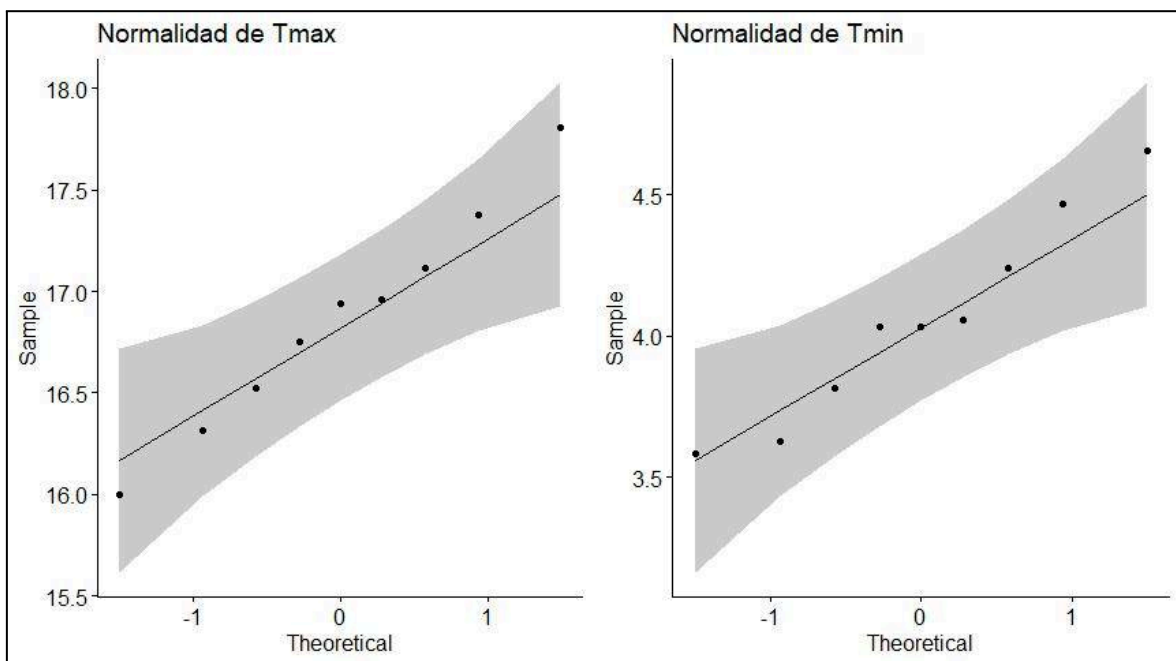


Figura 14: Prueba de normalidad ‘Shapiro-Wilk’ de las temperaturas.

En la tabla 11 y en la figura 14, se muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk realizada sobre las temperaturas en el distrito de Coata entre 2015 y 2023 muestra que las temperaturas máximas tienen un *p-value* de 0.998, y las mínimas presentan un *p-value* de 0.722. Ambos valores superan el nivel de significancia del 95% (0.05). Esto sugiere que tanto las temperaturas máximas como las mínimas siguen una distribución aproximadamente normal. Dado que se cumple con el supuesto de normalidad, la correlación entre estas variables puede analizarse mediante la prueba de Pearson, que

es adecuada para datos que presentan esta característica. Por lo tanto, se sugiere aplicar la prueba de Pearson para examinar la correlación entre las temperaturas máximas y mínimas en el distrito de Coata, respaldando así su uso por los resultados obtenidos de la prueba de normalidad.

4.3. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES EN EL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL DURANTE EL PERIODO 2015 - 2023.

Los datos analizados enfatizan la relevancia de monitorear las precipitaciones como un indicador clave para la gestión de la cobertura vegetal y la salud del ecosistema en el distrito de Coata. Además, estos hallazgos destacan la necesidad de desarrollar estrategias de conservación que tomen en cuenta las variaciones en las precipitaciones y su efecto en la vegetación, especialmente en el contexto de un cambio climático en curso.

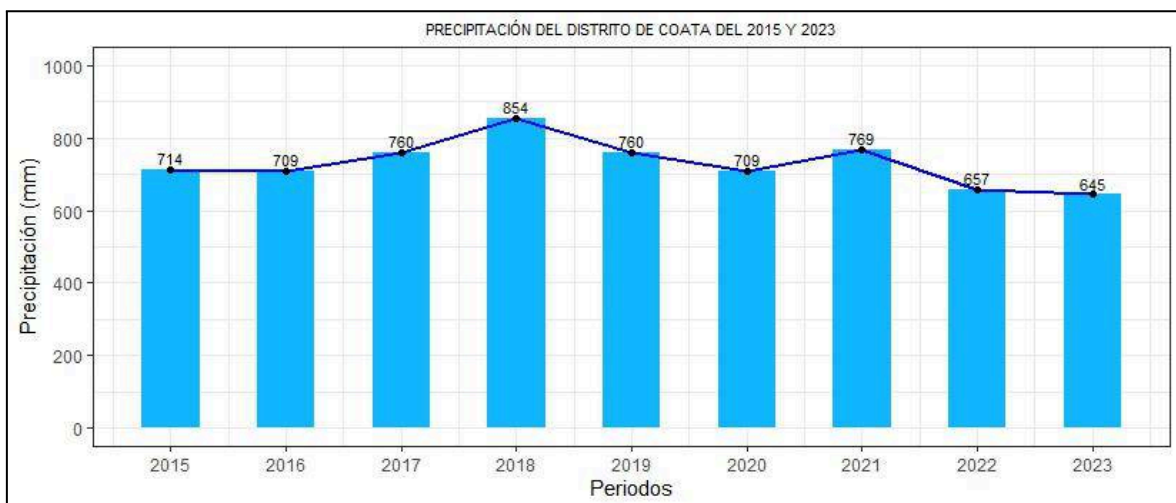


Figura 15: Precipitación acumulada del distrito de Coata.

En la figura 15, en el distrito de Coata, se observó una notable disminución en las precipitaciones acumuladas entre 2015 y 2023, con un descenso de 714 mm en 2015 a 645 mm en 2023. Esta diferencia de 69 mm equivale a una reducción del 9.67% en el total de precipitación durante este periodo. Esta caída en las precipitaciones puede tener consecuencias significativas para la vegetación y los ecosistemas de la zona, dado que una menor disponibilidad de agua puede perjudicar el crecimiento de las plantas y la

salud general de la cobertura vegetal. Además, la reducción de las precipitaciones podría agravar el estrés hídrico en las especies vegetales, contribuyendo a la degradación ambiental en el distrito de Coata. Esto resalta la urgencia de gestionar adecuadamente los recursos hídricos y de implementar estrategias de conservación efectivas. Por otro lado coincide con **Durand & Guerrero, (2024)**, en la subcuenca Quisquichaca, Cusco, las variables climáticas presentaron incrementos anuales en precipitación de 1.78 mm a 6.38 mm, la precipitación es el factor climático con mayor impacto en la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca.

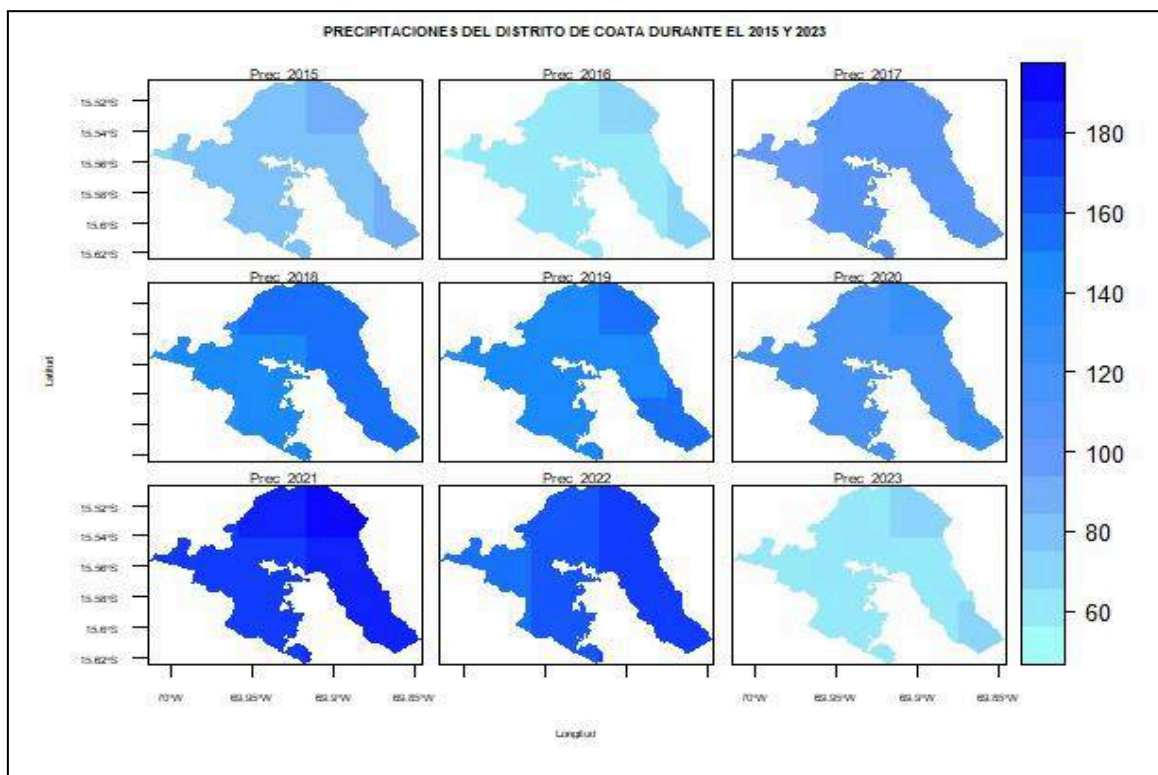


Figura 16: Imágenes de las precipitaciones del distrito de Coata.

En la figura 16, se muestran los mapas de precipitación acumulada en el distrito de Coata para 2015 y 2023 indica que las precipitaciones fluctúan entre 60 mm y 180 mm en ambos años. Sin embargo, se observa un cambio en la distribución de estas cifras; en 2023, las áreas que previamente registraban las mayores precipitaciones han experimentado disminuciones, indicando una tendencia general a la baja en la acumulación de lluvia. Este ajuste en el rango de precipitaciones sugiere que las regiones

que antes recibían abundante agua ahora enfrentan condiciones más áridas, lo que podría comprometer la salud de los ecosistemas y la cobertura vegetal local. La variación en las precipitaciones acumuladas durante este tiempo resalta la importancia de seguir estos cambios para entender mejor su efecto en el medio ambiente y para formular estrategias efectivas de gestión y conservación en el distrito de Coata.

Tabla 12: Estadística descriptiva de las precipitaciones.

Var.	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Coef. de asimetría	Curtosis
Prec.	730.77	714	63.62	645	854	0.57	0.63

Nivel de confianza(95.0%)

En la tabla 12, se ven las precipitaciones acumuladas en el distrito de Coata, donde muestra que la media es de 730.77 mm, lo que representa el promedio de las lluvias en el periodo analizado. La mediana de 714 mm indica que la mitad de los registros son menores a este valor, sugiriendo una distribución relativamente equilibrada. La desviación estándar de 63.62 mm refleja una variabilidad moderada en las precipitaciones, lo que indica que los datos no se desvían excesivamente del promedio. Los valores mínimos y máximos de 645 mm y 854 mm, respectivamente, evidencian un rango que muestra ciertas fluctuaciones en las precipitaciones. El coeficiente de asimetría de 0.57 sugiere una ligera inclinación hacia la derecha, indicando que hay más datos concentrados en la parte baja del rango, mientras que la curtosis de 0.63 señala que la distribución es algo más alta y estrecha que una normal, lo que implica una menor cantidad de valores extremos. Estos hallazgos resaltan la relevancia de las precipitaciones en la zona y su variabilidad, aspectos cruciales para la gestión de recursos hídricos y la conservación ambiental.

Tabla 13: Prueba de normalidad ‘Shapiro-Wilk’ de las precipitaciones.

Variable	Statistic	<i>p-values</i>
Precipitación	0.938	0.563

Nivel de confianza(95.0%)

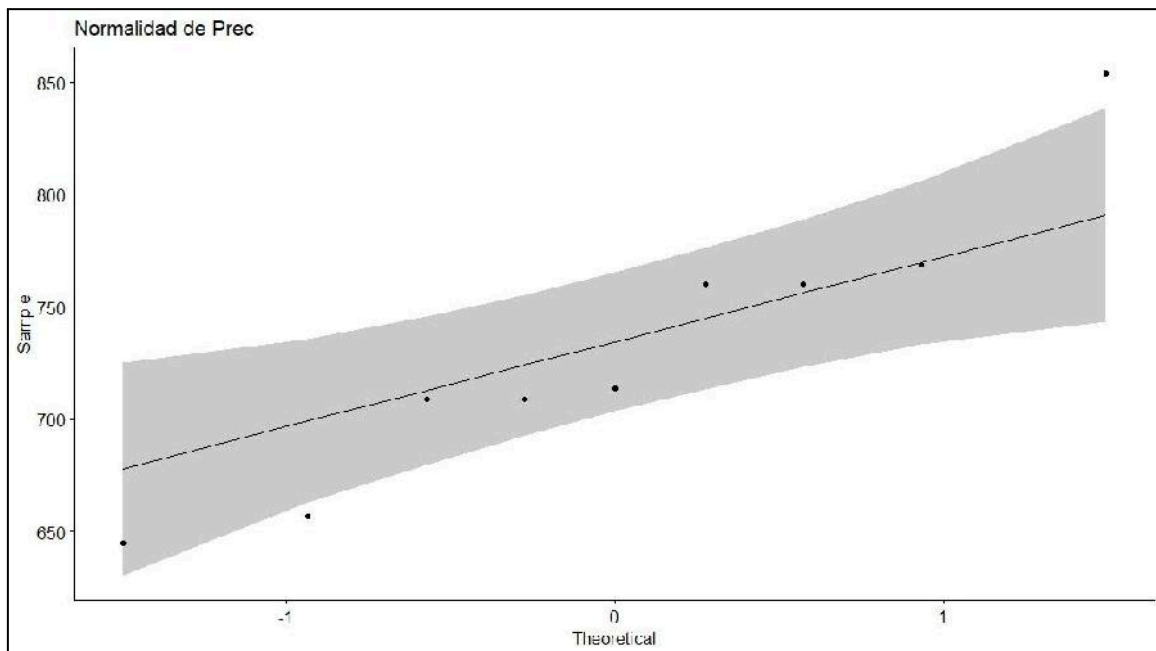


Figura 17: Prueba de normalidad ‘Shapiro-Wilk’ de las precipitaciones.

En la tabla 13 y en la figura 17, se ve la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada a las precipitaciones acumuladas en el distrito de Coata entre 2015 y 2023 arrojó un *p-value* de 0.563. Este resultado es considerablemente superior al nivel de significancia del 95% (0.05). Por lo tanto, se puede afirmar que las precipitaciones acumuladas se distribuyen de manera aproximadamente normal. Dado que los datos presentan una distribución normal, la relación entre las precipitaciones acumuladas y otras variables puede ser analizada mediante la prueba de Pearson. Esta prueba es adecuada para determinar la correlación lineal entre dos variables cuantitativas, bajo la suposición de que ambas variables siguen una distribución normal. Así, se sugiere utilizar la prueba de

Pearson para evaluar la correlación entre las precipitaciones acumuladas y otras variables en el distrito de Coata, apoyándose en los resultados de la prueba de normalidad.

4.4. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 01.

Formulación de la hipótesis:

Hipótesis alterna (HA) = La cobertura vegetal calculada mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) durante el periodo 2015 - 2023, tiende a disminuir.

Hipótesis nula (Ho) = La cobertura vegetal calculada mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) durante el periodo 2015 - 2023, no tiende a disminuir.

Toma de Decisiones:

- **Si el valor $p \leq \alpha$:** Se rechaza la hipótesis nula (hay suficiente evidencia para aceptar la hipótesis alternativa).
- **Si el valor $p > \alpha$:** No se rechaza la hipótesis nula (no hay suficiente evidencia para aceptar la hipótesis alternativa).

Dónde: $\alpha = 0.05$ su nivel de significancia es al 95%.

Interpretación:

De acuerdo a la tabla 14 y la figura 20, se muestra que el *p-valor* de 0.25, que supera el nivel de significancia α de 0.05, indica que no se puede rechazar la hipótesis nula (Ho). Esto sugiere que no existe suficiente evidencia para respaldar la hipótesis alternativa (HA), que afirma que la cobertura vegetal, evaluada mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), tiende a disminuir entre 2015 y 2023. Por lo tanto, se concluye que no se ha evidenciado una tendencia significativa a la reducción de la cobertura vegetal en el distrito de Coata durante el periodo estudiado.

4.4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 02

Formulación de la hipótesis:

Hipótesis alterna (HA) = Las temperaturas influyen en el cambio de la cobertura vegetal durante el periodo 2015 - 2023.

Hipótesis nula (Ho) = Las temperaturas no influyen en el cambio de la cobertura vegetal durante el periodo 2015 - 2023.

Toma de Decisiones:

- **Si el valor $p \leq \alpha$:** Se rechaza la hipótesis nula (hay suficiente evidencia para aceptar la hipótesis alternativa).
- **Si el valor $p > \alpha$:** No se rechaza la hipótesis nula (no hay suficiente evidencia para aceptar la hipótesis alternativa).

Dónde: $\alpha = 0.05$ su nivel de significancia es al 95%.

Interpretación:

De acuerdo a la tabla 14 y la figura 20, se muestra que el *p-valor* es de 0.15, que supera el nivel de significancia α de 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula (Ho). Esto significa que no hay evidencia suficiente para aceptar la hipótesis alternativa (HA), que propone que las temperaturas tienen un impacto en el cambio de la cobertura vegetal entre 2015 y 2023. Por lo tanto, se concluye que no se ha observado una influencia significativa de las temperaturas en la cobertura vegetal del distrito de Coata durante el periodo analizado.

4.4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 03

Formulación de la hipótesis:

Hipótesis alterna (HA) = Las irregularidades de las precipitaciones influyen en el cambio de la cobertura vegetal durante el Periodo 2015 - 2023.

Hipótesis nula (Ho) = Las irregularidades de las precipitaciones no influyen en el cambio de la cobertura vegetal durante el Periodo 2015 - 2023.

Toma de Decisiones:

- **Si el valor $p \leq \alpha$:** Se rechaza la hipótesis nula (hay suficiente evidencia para aceptar la hipótesis alternativa).
- **Si el valor $p > \alpha$:** No se rechaza la hipótesis nula (no hay suficiente evidencia para aceptar la hipótesis alternativa).

Dónde: $\alpha = 0.05$ su nivel de significancia es al 95%.

Interpretación:

De acuerdo a la tabla 14 y la figura 20, se muestra que el *p-valor* de 0.14 es superior al nivel de significancia α de 0.05, no es posible rechazar la hipótesis nula (H_0). Esto indica que no hay suficiente evidencia para respaldar la hipótesis alternativa (H_A), se sugiere que las irregularidades en las precipitaciones afectan el cambio en la cobertura vegetal durante el periodo de 2015 a 2023. Por lo tanto, se concluye que no se ha encontrado una relación significativa entre las irregularidades de las precipitaciones y el cambio en la cobertura vegetal en el distrito de Coata durante el periodo analizado.

Tabla 14: Correlación de Spearman de la variable independiente y dependiente.

Variables/Spearman	Vegetación	Tmax	Tmin	Prec
Vegetación				
R^2	1	-0.53	-0.15	0.54
P -values	< 2.2e-16	0.15	0.71	0.14
Tmax				
R^2	-0.53	1	0.68	-0.39
P -values	0.15	< 2.2e-16	0.05	0.3
Tmin				
R^2	-0.15	0.68	1	-0.04
P -values	0.71	0.05	< 2.2e-16	0.28
Prec				
R^2	0.54	-0.39	-0.04	1
P -values	0.14	0.3	0.28	< 2.2e-16

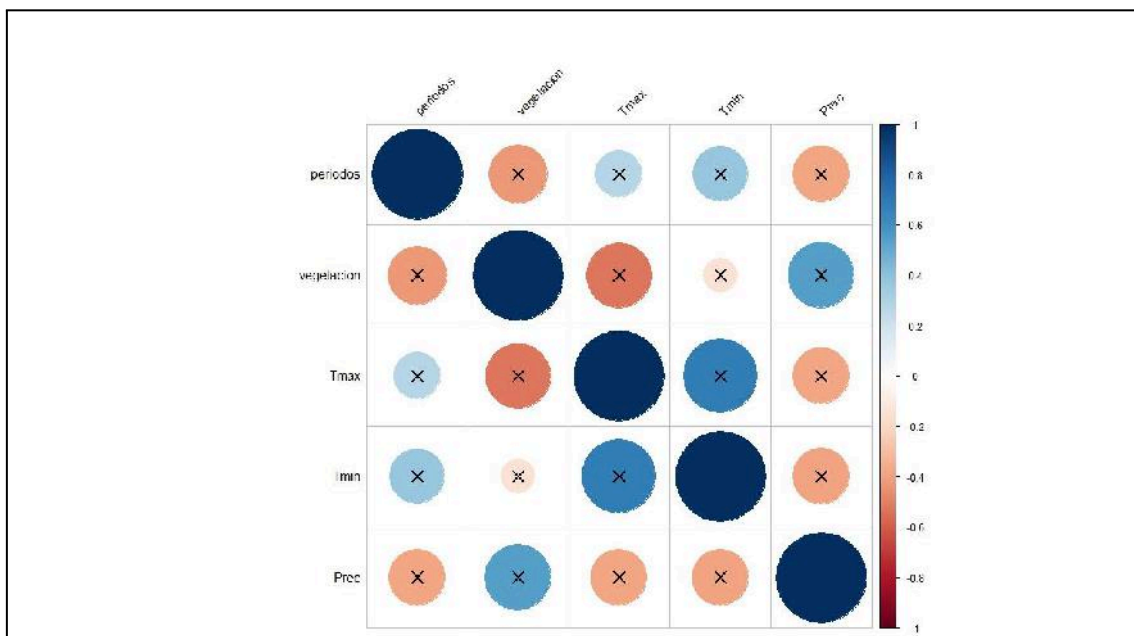


Figura 18: Correlograma de la variables en colores.

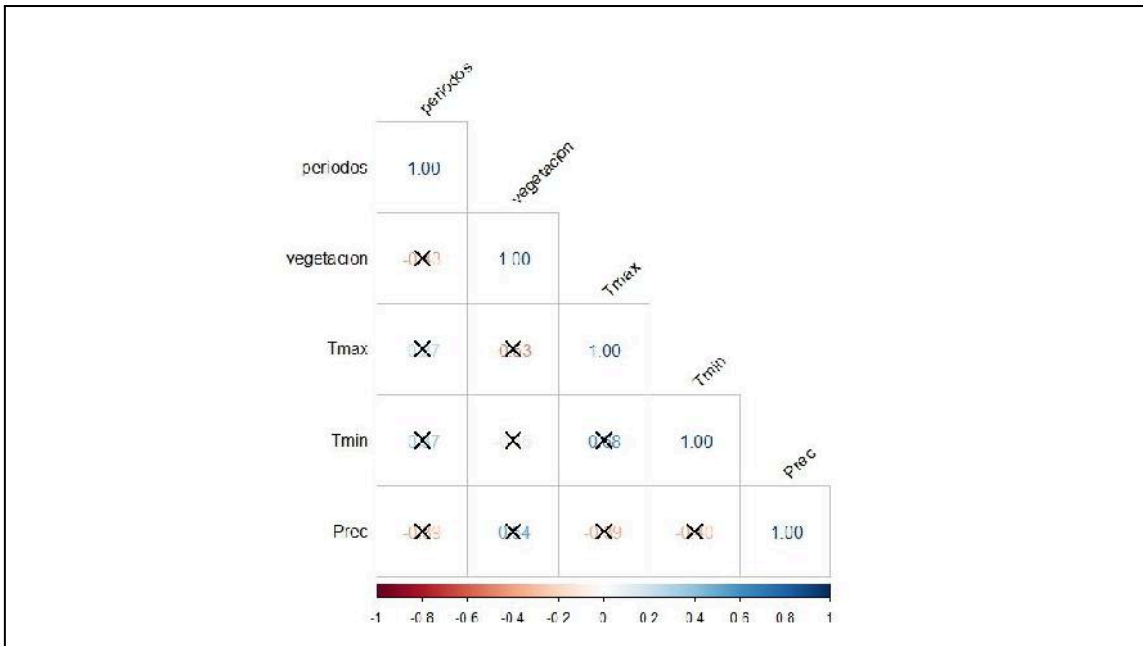


Figura 19: Correlograma de las variables en valores numéricos.

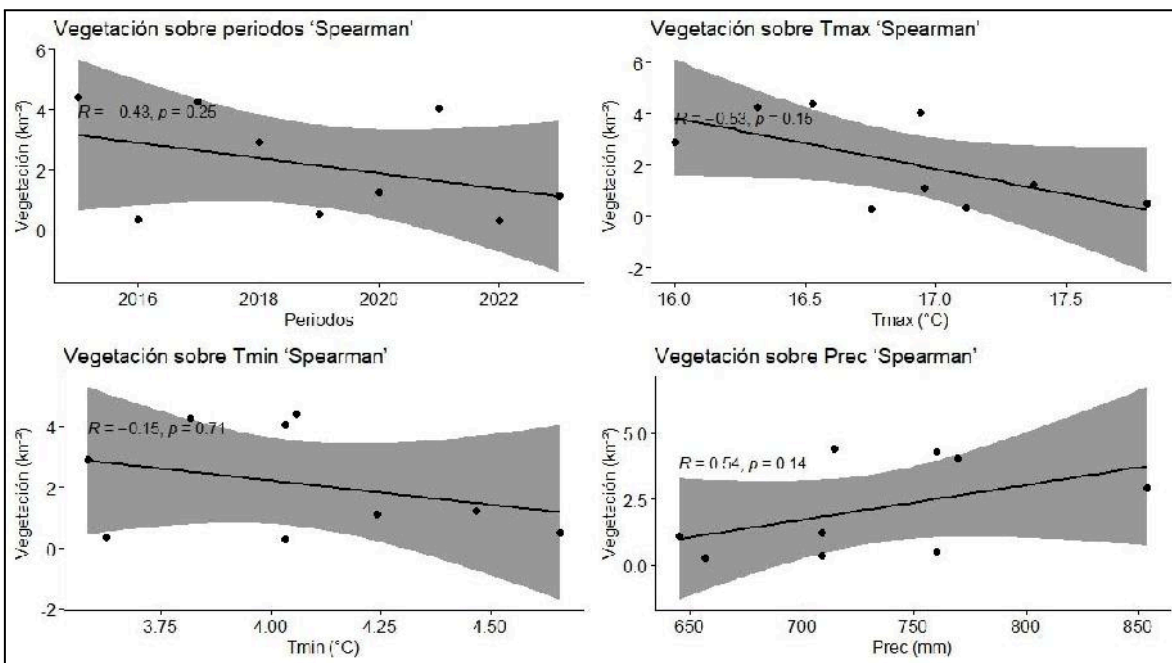


Figura 20: Regresión lineal de las variables.

CONCLUSIONES

PRIMERA: La relación entre la cobertura vegetal y el cambio climático en el distrito de Coata durante el periodo de 2015 al 2023, las alteraciones en los patrones climáticos han impactado notablemente en la cobertura vegetación local, por el aumento de las temperaturas y la reducción de las precipitaciones pluviales, evidenciando un deterioro en la cobertura vegetal, respaldado por un coeficiente de determinación Spearman que indica una correlación inversa (r^2) de -0.53.

SEGUNDA: El cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Coata utilizando el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) durante el periodo de 2015 al 2023 expresa un coeficiente de determinación (r^2) de -0.43, cuyo valor negativo indica una débil relación inversa entre las fluctuaciones del NDVI y el tiempo indicando que a lo largo del periodo la cobertura vegetal ha disminuido en lugar de incrementar.

TERCERA: La temperatura influye en el cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Coata, durante el periodo 2015 a 2023, respaldado por el coeficiente de determinación (r^2) de -0.53 cuyo valor negativo indica una relación inversa y moderada entre las variaciones de la temperatura y la cobertura vegetal indicando que a medida que las temperaturas aumentan la cobertura vegetal tiende a disminuir.

CUARTA: Las precipitaciones influyen en el cambio de la cobertura vegetal en el distrito de Coata, durante el periodo 2015 - 2023, determina que el coeficiente de determinación (r^2) de 0.54 cuyo valor positivo expresa una relación moderada y directa entre las

precipitaciones y la cobertura vegetal indicando una disminución de las precipitaciones influye negativamente sobre la cobertura vegetal.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda al Ministerio del Ambiente (MINAM) del Perú la adopción de políticas y estrategias que prioricen la conservación y restauración de la cobertura vegetal en el distrito de Coata, considerando que el análisis de la relación entre la vegetación y el cambio climático entre 2015 y 2023 ha mostrado un deterioro notable en los ecosistemas de la zona. Es fundamental impulsar iniciativas de reforestación y un manejo sostenible de los recursos hídricos, además de fomentar la educación ambiental en las comunidades locales para fortalecer su involucramiento en la preservación del medio ambiente.

SEGUNDA: Se recomienda al gobierno regional de Puno, Perú, que tome medidas concretas para abordar el cambio en la cobertura vegetal observado a través del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) entre 2015 y 2023 en el distrito de Coata. Es fundamental establecer programas de monitoreo y gestión sostenible de recursos naturales que impulsen la reforestación y el cuidado de la vegetación nativa, además de promover prácticas agrícolas que reduzcan su impacto en la cobertura vegetal.

TERCERA: Se recomienda al distrito de Coata que adopte acciones efectivas para contrarrestar la influencia de las temperaturas en el cambio de la cobertura vegetal entre 2015 y 2023. Es fundamental implementar programas de adaptación que promuevan prácticas agrícolas sostenibles y tecnologías que optimicen el uso del agua, además de fomentar técnicas de conservación del suelo.

CUARTO: Se recomienda a la población de Coata que implemente prácticas sostenibles para abordar la influencia de las precipitaciones en el cambio de la cobertura vegetal

registrado entre 2015 y 2023. Es crucial fomentar la reforestación en áreas deterioradas y emplear técnicas agrícolas que preserven el suelo y el agua, además de establecer sistemas para la recolección de agua de lluvia que maximicen el uso del recurso hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

- Anzoategui, L., & Sanabria, R. (2023, 04 04). *Frontera agrícola y multitemporalidad de cobertura vegetal en Páramo del Parque Regional Natural Cortadera (Boyacá, Colombia)*.
https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002023000100159&script=sci_artt_ext&tlng=pt
- Arias, M., Quintana, J., & Elseser, A. (2024, 06 02). *Evolución de la cobertura del suelo en las últimas décadas (1990-2020) en tres ciudades costeras al Río de la plata, Buenos Aires, Argentina*. SciELO. Retrieved November 2, 2024, from https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-25632024000100293
- Armesto, A. (2021, 12 08). *Preocupación por el cambio climático, condiciones económicas individuales y priorización del medioambiente en América Latina*. SciELO. Retrieved November 2, 2024, from <https://www.scielo.br/j/op/a/TFq8mKY7JD44rfJQC4QfBzj/>
- Avilés, E. (2024, March 27). *Análisis de la Variabilidad en la Cobertura de Manglares en las Islas Galápagos a través de un Análisis Multitemporal con Imágenes Satelitales Landsat 7 y Landsat 8 | INVESTIGATIO*. Universidad Espíritu Santo. Retrieved November 2, 2024, from <https://revistas.uees.edu.ec/index.php/IRR/article/view/980>
- Banfi, C. (2023, 04 18). *Juicios de daños y aporte de los tribunales chilenos ante los desafíos ético-ambientales que impone el cambio climático*. SciELO Chile. Retrieved November 2, 2024, from https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S1726-569X2023000100017&script=sci_artt_ext
- Bravo, R., Giler, A., & Mogro, Y. (2024, July 2). *Clasificación multitemporal de usos de la*

tierra utilizando imágenes landsat en la cuenca del Río Quinindé | Revista de Investigaciones en Energía Medio Ambiente y Tecnología RIEMAT ISSN 2588-0721. Portal de Revistas Científicas de la Universidad Técnica de Manabí.

Retrieved November 2, 2024, from <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/6793>

Camas, D., & Mamani, M. (2022, 06 02). *Evaluación de la vegetación y saturación del suelo en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla mediante teledetección en Perú, 2006-2021*. SciELO. Retrieved November 2, 2024, from https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-38962022000100054

Celemin, J., & Arias, M. (2023, 06 20). *Evolución de la cobertura vegetal y área construida en la ciudad de Mar del Plata (Argentina), en el periodo 2018-2022*. Universidad Complutense de Madrid. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/223855>

Chirinos, M., & Ruiz, M. (2023, 03 30). *Modelo estadístico para predicción de deslizamientos generados por precipitación en la zona occidental de Honduras*. SciELO Cuba. Retrieved November 2, 2024, from http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202023000200246&script=sci_arttext&tlng=pt

Cordova, J., & Sanchez, L. (2020, 04 12). *Análisis de la variación multitemporal de la cobertura vegetal entre los años 2010-2018, en la cuenca del río Neshuya, Ucayali, Perú*. Universidad Nacional de Ucayali. <https://repositorio.unu.edu.pe/items/03b57cdd-dc8f-414e-bfc5-ad6e0d9c3093>

Durand, G., & Guerrero, D. (2024, 02 24). *Influencia de la variación de precipitación y temperatura sobre la dinámica de la cobertura vegetal en la subcuenca Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta - Perú*.

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/36568>

Escobar, N., Beas, S., & Gras, N. (2023, 02 14). *Fraude alimentario: Pasado, presente y futuro*. SciELO Chile. Retrieved November 2, 2024, from https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182023000100106&script=sci_arttext&tlng=pt

Espinoza, L. (2022, 9 8). *Influencia de la expansión minera Constancia sobre la cobertura vegetal durante el periodo 2010 – 2021 Cusco - Perú*. Repositorio Institucional. Retrieved November 2, 2024, from <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/32624>

García, R., & González, M. (2021, 04 01). *Relación salinidad-cultivo de caña de azúcar determinada por teledetección en el Central Azucarero Urbano Noris*. SciELO Cuba. Retrieved November 2, 2024, from http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542021000200002&script=sci_arttext

Giler, E. (2024, July 10). *Análisis de espacios verdes urbanos mediante el uso de Índices de Vulnerabilidad Demográfica (IVD) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) en función de su relación con el entorno urbano del municipio de Barcelona*. UPCommons. Retrieved November 2, 2024, from <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/413903>

Gonzales, P. (2024, 08 04). *Análisis de la cobertura vegetal de la microcuenca Chorrillos, distrito de Huancayo, 2023*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/15634>

Jasso, M., Soria, J., & Antonio, X. (2022, 08 01). *Loss of cultivated areas of rainfed corn due to frosts in the Toluca valley*. SciELO México. Retrieved November 2, 2024, from https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342022000200207&script=sci_arttext

- Lara, B., Gandini, M., & Salese, S. (2023, September 4). *Cambios en los servicios ecosistémicos de regulación y su relación con los cambios en el uso del suelo en la región pampeana (Argentina) | Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Revista Chapingo. Retrieved November 2, 2024, from <https://revistas.chapingo.mx/forestales/article/view/r.rchscfa.2022.10.073>
- Leija, E., Mendoza, M., Rodríguez, C., & López, E. (2023, 11 08). *Análisis espacial de los cambios en la cobertura vegetal y conectividad estructural del paisaje del bosque de niebla en el Occidente de México*. SciELO Chile. Retrieved November 2, 2024, from https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34022023000300109&script=sci_arttext
- Loza, A., & Taype, I. (2021, 24 12). *Análisis multitemporal de asociaciones vegetales y cambios de uso del suelo en una localidad altoandina, Puno-Perú*. SciELO. Retrieved November 2, 2024, from https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-34702021000200027&script=sci_arttext
- Machaca, R., Pino, E., & Ramos, L. (2022, 06 16). *Estimación de la evapotranspiración con fines de riego en tiempo real de un olivar a partir de imágenes de un drone en zonas áridas, caso La Yarada, Tacna, Perú*. SciELO Chile. Retrieved November 2, 2024, from https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292022000200055&script=sci_arttext&lng=pt
- Martínez, L. (2022, 12 04). *Dinámica del desarrollo foliar de *Parkinsonia aculeata* L., Sp. Pl. ante altas temperaturas, la sequía y la salinidad del semidesierto de Sonora*. SciELO. Retrieved November 2, 2024, from <https://www.scielo.br/j/cflo/a/95PkmVLMsVB9xpv9Pkb3ccw/>

- Mendoza, S., & Rupa, J. (2022, 12 08). *Pérdida de cobertura vegetal a causa de los incendios forestales durante 2019 – 2021 en la localidad de San Jerónimo, Cusco*. Repositorio de la Universidad César Vallejo. Retrieved November 2, 2024, from <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91340>
- Pérez, M., & Palacio, A. (2023, 12 08). *Metodologías participativas y manejo de áreas protegidas. Un Sistema de Información Geográfica de Participación Pública (SIGPP) en el parque natural del Delta del Ebro (España)*. SciELO Chile. Retrieved November 2, 2024, from https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34022023000300113&script=sci_artt_ext
- Rincone, P., Zapata, J., & Figueroa, O. (2023, 03 18). *Evaluación de sustratos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (Eisenia fetida)*. SciELO Chile. Retrieved November 2, 2024, from https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642023000200011&script=sci_artt_ext
- Rodríguez, J. (2023, 12 02). *La radiación solar en extremo ultravioleta: implicaciones en la atmósfera de la Tierra*. SciELO. Retrieved November 2, 2024, from <https://www.scielo.br/j/rbef/a/cJ75f6Nk3pvFNHMg76c3cCg/#>
- Rozzi, R., Crego, R., & Contador, T. (2020, 12 12). *Un centinela para el monitoreo del cambio climático y su impacto sobre la biodiversidad en la cumbre austral de América: La nueva red de estudios a largo Plazo Cabo de Hornos*. SciELO Chile. Retrieved November 2, 2024, from https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-686X2020000300045&script=sci_artt_ext&tlng=en
- Sánchez, M., Suazo, G., & Araya, V. (2022, 06 01). *Estudio de la relación entre la reflexión de luz y el contenido de humedad superficial en muestras de relave*

utilizando imágenes hiperespectrales. SciELO Chile. Retrieved November 2, 2024, from https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-28132022000100077&script=sci_arttext

Sosa, I. (2023, 03 23). *Método para el procesamiento de consultas en un Sistema de Información Geográfica*. SciELO Cuba. Retrieved November 2, 2024, from http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542023000200008&script=sci_arttext&lng=pt

Vargas, L. (2023, January 26). *Estado del arte :aplicación de la teledetección en áreas cultivadas de pastos y forrajes con fines de pastoreo*. Repositorio. Retrieved November 2, 2024, from <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/4680>

Vela, A., Navarro, M., & Mendoza, M. (2024, 02 14). *Análisis multitemporal de cambios en el NDVI en una región con aprovechamiento forestal en la península de Yucatán, México*. SciELO México. Retrieved November 2, 2024, from https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322024000100160&script=sci_arttext

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia:

“Cobertura vegetal y su relación con el cambio climático en el distrito de Coata - Puno, periodo 2015 - 2023”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICA E INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
<p>GENERAL</p> <p>¿Cuál es la relación entre la cobertura vegetal y el cambio climático en el distrito de Coata - Puno, periodo 2015 - 2023?.</p> <p>ESPECÍFICOS</p> <p>¿Cuál es el cambio de la cobertura vegetal mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) durante el periodo 2015 - 2023</p> <p>¿De qué manera la temperatura influye en la cobertura vegetal durante el periodo 2015 - 2023?.</p> <p>¿De qué manera las precipitaciones influyen en la relación en la cobertura vegetal durante el periodo 2015 - 2023?.</p>	<p>GENERAL</p> <p>Evaluar la relación entre la cobertura vegetal y el cambio climático en el distrito de Coata, Puno, periodo 2015 - 2023.</p> <p>ESPECÍFICOS</p> <p>Determinar el cambio de la cobertura vegetal mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) durante el periodo 2015 - 2023.</p> <p>Determinar la influencia de la temperatura en el cambio de la cobertura vegetal durante el 2015 - 2023.</p> <p>Determinar la influencia de las precipitaciones en el cambio de la cobertura vegetal durante el 2015 - 2023.</p>	<p>GENERAL</p> <p>Existe relación entre la cobertura vegetal y el cambio climático en el distrito de Coata, Puno, periodo 2015 - 2023.</p> <p>ESPECÍFICAS</p> <p>La cobertura vegetal calculada mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) durante el periodo 2015 - 2023 .tiende a disminuir</p> <p>Las temperaturas influyen en el cambio de la cobertura vegetal durante el periodo 2015 - 2023.</p> <p>La irregularidad de las precipitaciones influyen en el cambio de la cobertura vegetal durante el periodo 2015 - 2023.</p>	<p>Independiente:</p> <p>Cambio climático</p> <p>Dependiente:</p> <p>Cobertura vegetal</p>	<p>Temperaturas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Máximas (°C) • Mínimas (°C) • Mensual (°C) • Anual (°C) <p>Precipitación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mensual(mm) • Anual (mm) <p>Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)</p> $NDVI = \frac{(NIR(B5) - Red(B4))}{(NIR(B5) + Red(B4))}$ <p>Áreas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ha • % 	<p>- Observación</p> <p>Guía de observación</p> <p>-Registro</p> <p>Registro de datos</p>	<p>Imágenes (LandSat - 8)</p> <p>Satelitales</p> <p>Tipo de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descriptivo, correlacional. <p>Diseño de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - No Experimental <p>Método</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deductivo - Inductivo. <p>Zona de estudio</p> <ul style="list-style-type: none"> - Distrito de Coata <p>1) Programas computacionales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Qgis (v3.26.17) - R-Studio (v4.3.1) <p>2) Estadísticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> c) Tendencias d) Normalidad e) Correlación f) Regresión lineal

Anexo 02: Descarga de imágenes satelitales Landsat 8, de la plataforma Google Earth Engine.

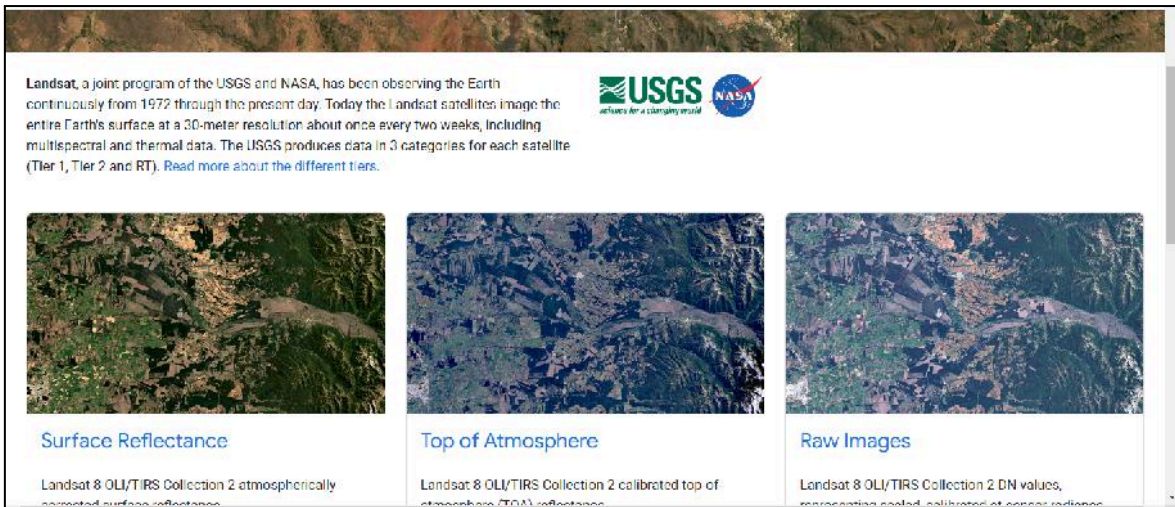


Figura 01: Descargar imágenes satelitales de Google Earth Engine.

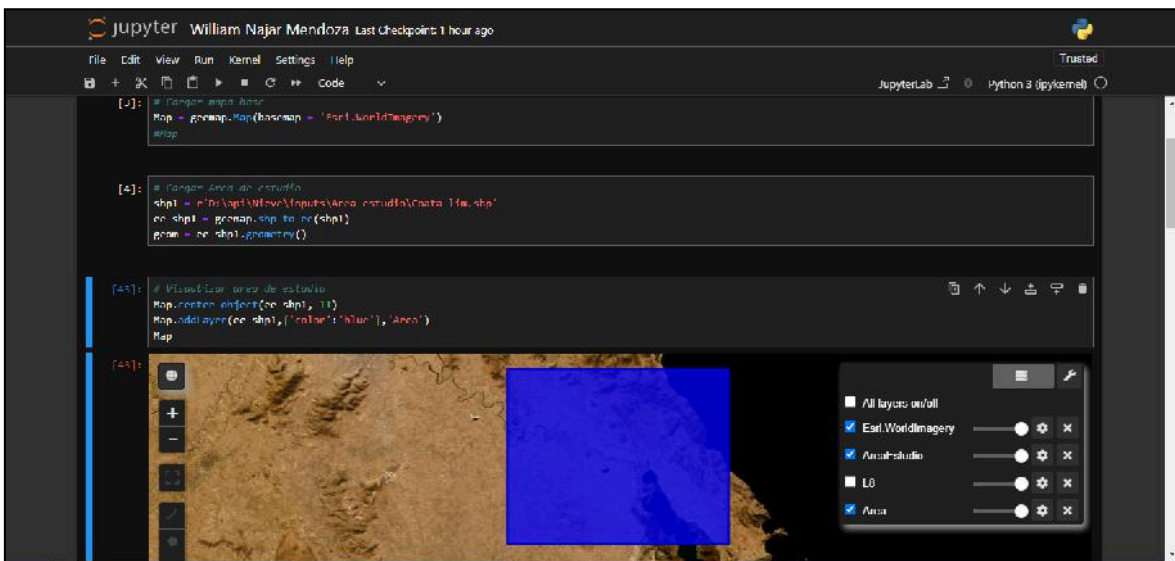


Figura 02: Descargar imágenes satelitales mediante Jupyter notebook con python conectado a Google Earth Engine.

Anexo 03: Conexión a la plataforma Google Earth Engine mediante Python en Jupyter.

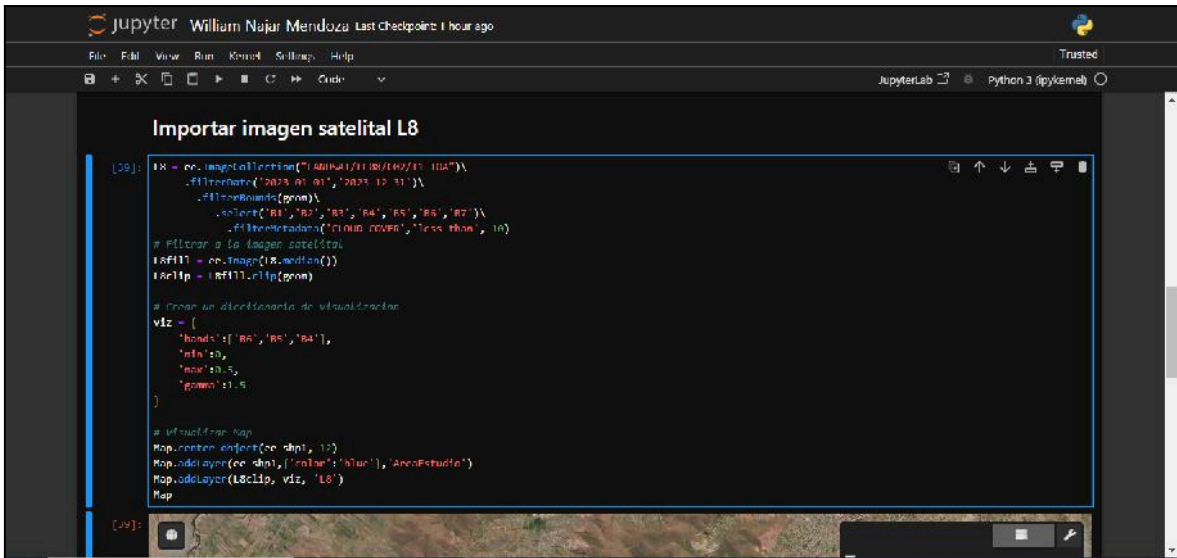


Figura 03: Descargar imágenes satelitales mediante Jupyter notebook con python conectado a Google Earth Engine.

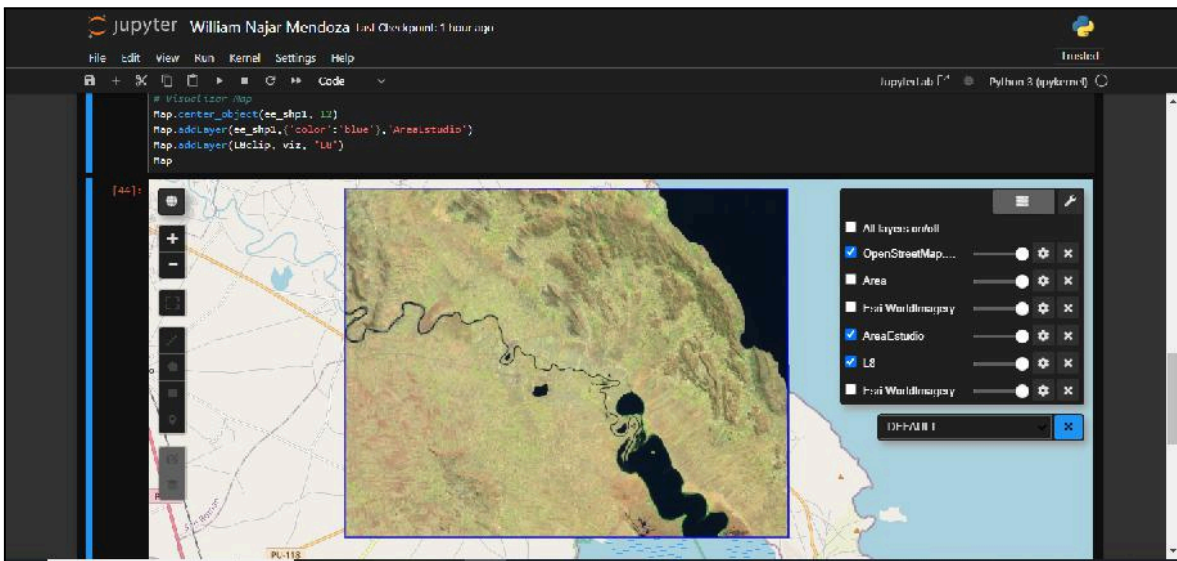


Figura 04: Descargar imágenes satelitales mediante Jupyter notebook con python conectado a Google Earth Engine.

Anexo 04: Descarga de imágenes satelitales mediante Python en Jupyter.

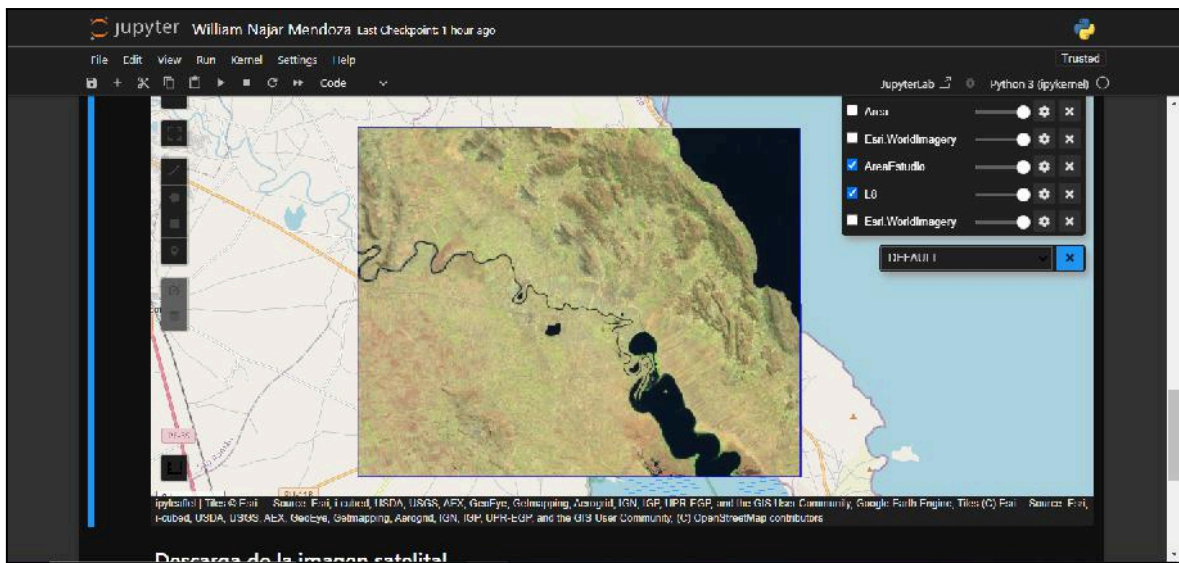


Figura 05: Descargar imágenes satelitales mediante Jupyter notebook con python conectado a Google Earth Engine.

Anexo 05: Procesamiento de las imágenes satelitales mediante R.

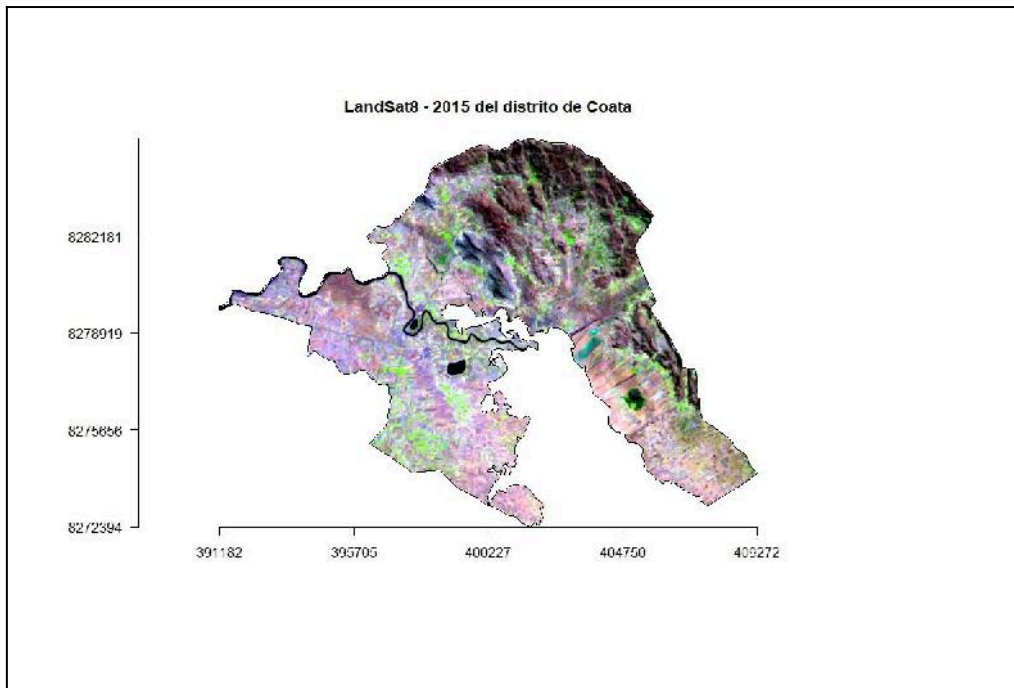


Figura 06: Visualización de la imagen satelital en R del 2015.

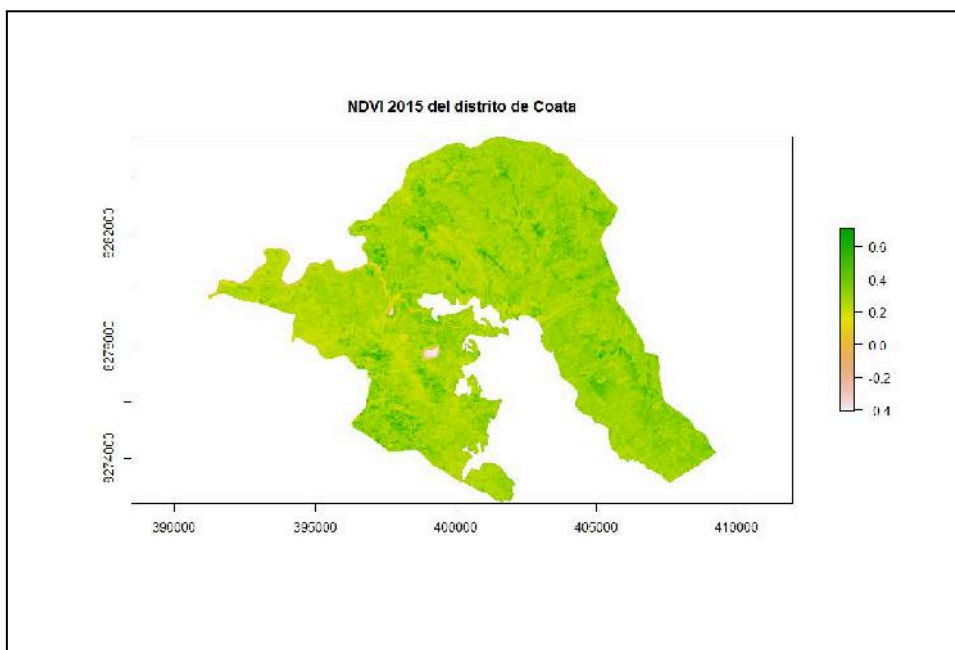


Figura 07: Cálculo del NDVI en R del 2015.

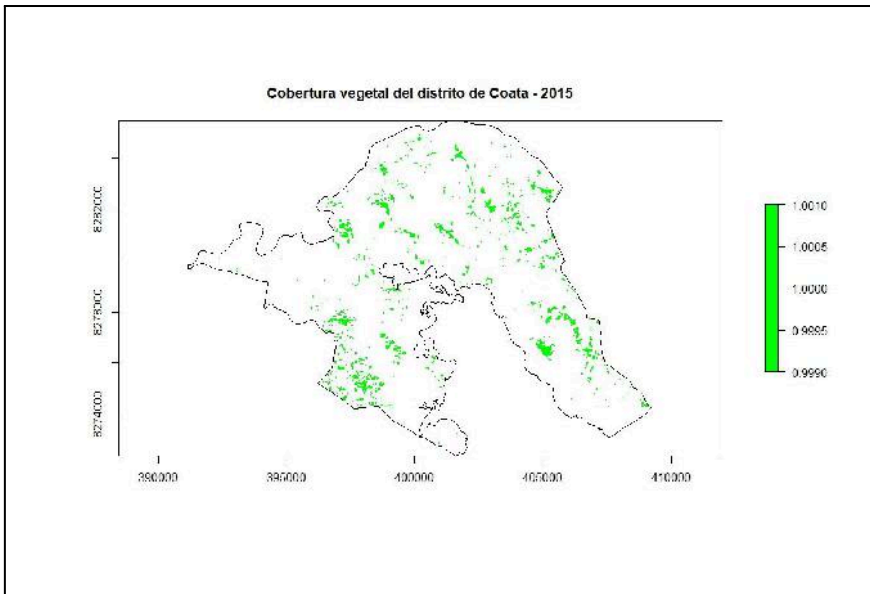


Figura 08: Extracción de la cobertura vegetal en R del 2015.

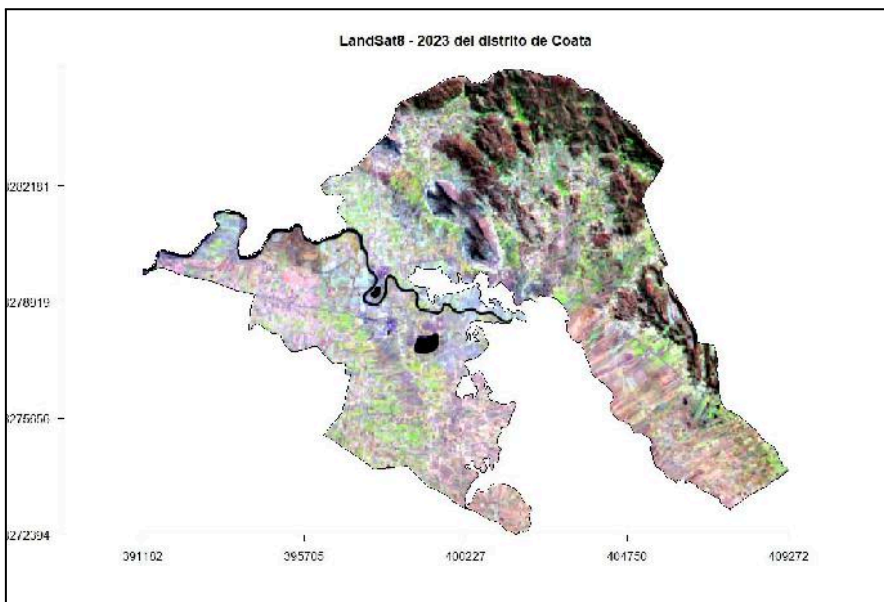


Figura 09: Visualización de la imagen satelital en R del 2023

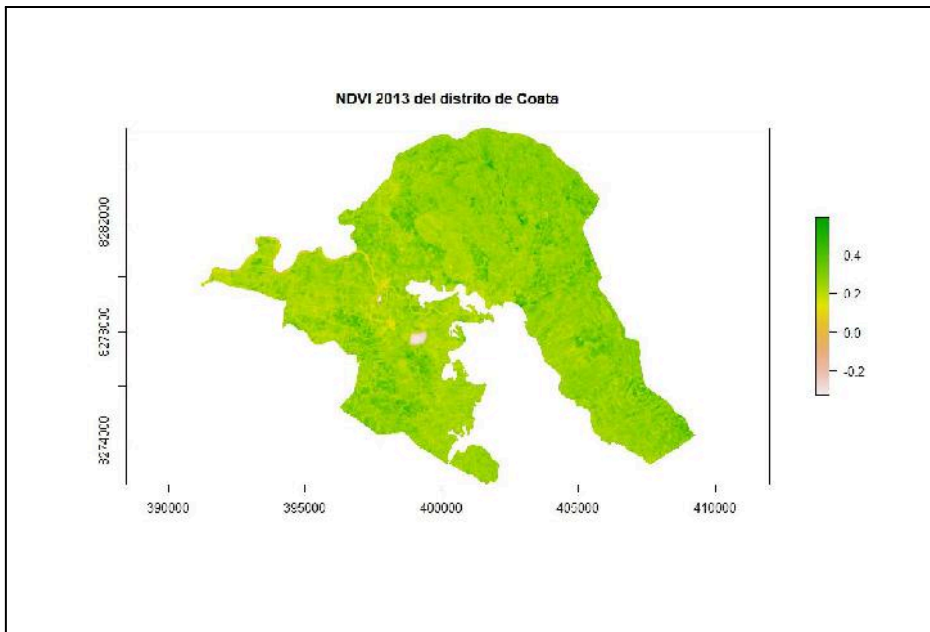


Figura 10: Cálculo del NDVI en R del 2023.

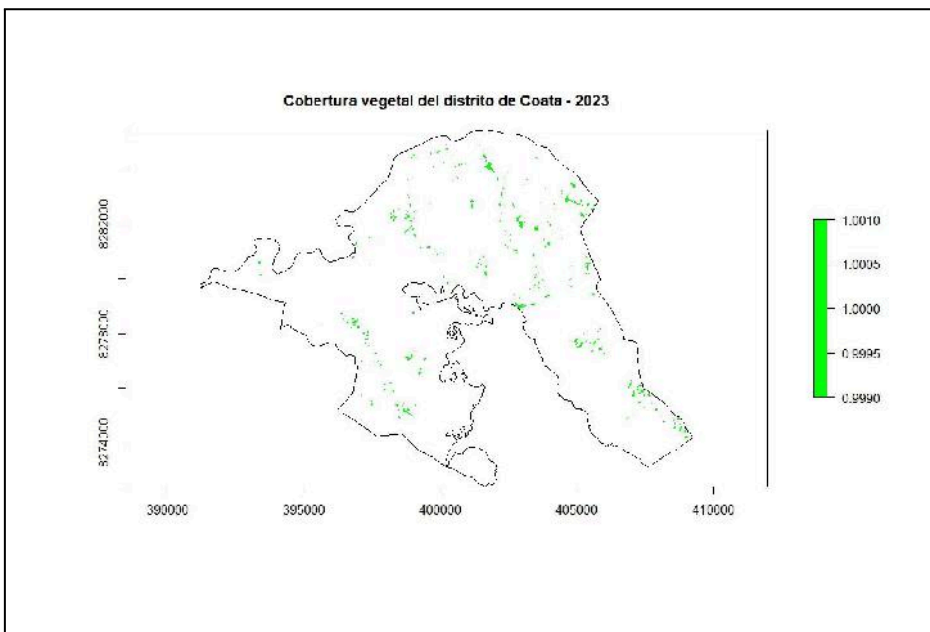


Figura 11: Extracción de la cobertura vegetal en R del 2023.