

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



TESIS

**“DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES DE
VEGETACIÓN Y EL CAMBIO CLIMÁTICO, HACIENDO UNA EVALUACIÓN
MULTITEMPORAL DE IMÁGENES LANDSAT DURANTE EL PERIODO 1972
- 2018, EN LA LAGUNA PAUCARANI – TACNA”**

**PARA OPTAR
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTADO POR:

Bach. ALEJANDRO JEAN PIER MAMANI VARGAS

TACNA – PERU

2021

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

Tesis

“DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y EL CAMBIO CLIMÁTICO, HACIENDO UNA EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE IMÁGENES LANDSAT DURANTE EL PERIODO 1972 - 2018, EN LA LAGUNA PAUCARANI – TACNA”

Tesis sustentada y aprobada el 09 de Julio de 2021; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE: Mtra. MILAGROS HERRERA REJAS

SECRETARIO: Dr. WILLIAMS SERGIO ALMANZA QUISPE

VOCAL: Dr. RICHARD SABINO LAZO RAMOS

ASESOR: Mgr. CARMEN ROSA ROMÁN ARCE

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Alejandro Jean Pier Mamani Vargas, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 77167633

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada:

“DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y EL CAMBIO CLIMÁTICO, HACIENDO UNA EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE IMÁGENES LANDSAT DURANTE EL PERIODO 1972 - 2018, EN LA LAGUNA PAUCARANI – TACNA”, la misma que presento para optar: Grado de Ingeniero Ambiental

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

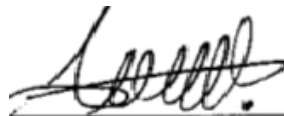
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi

acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 09 de Julio del 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Alejandro', written over a horizontal line.

Bach. Alejandro Jean Pier Mamani Vargas
DNI: 77167633

DEDICATORIA

A Dios por brindarme esfuerzo y sabiduría para la realización de esta tesis. A mi madre Florencia por su motivación constante para la culminación de la presente investigación, a mi padre Roberto que desde el cielo guía mis pasos, a mis tíos Cesar y Marlene por demostrarme que con esfuerzo se pueden lograr las cosas, y a toda mi familia por su apoyo y confianza depositada en mí.

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por sus enseñanzas dentro y fuera de las aulas.

A mi asesor Ing. Carmen Román por su apoyo y tiempo en la culminación de la presente investigación.

A mis compañeros de la universidad por sus sugerencias en la realización de la presente investigación.

INDICE GENERAL

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problema específico	3
1.3. Justificación e importancia de la investigación.....	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis.....	4
1.5.1. Hipótesis General	4
1.5.2. Hipótesis Específica	5
1.6. Identificación y caracterización de variables	5
1.6.1. Variable dependiente	5
1.6.2. Variable independiente	5
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.2. Bases teóricas	11
2.2.1. Espectro electromagnético.....	11
2.2.1.3. Resolución de sensores remotos	13

2.2.2. Imágenes satelitales	14
2.2.3. Índices de vegetación	16
2.2.4. Procesamiento en la nube	18
2.2.5 Clima y cambio climático	20
2.3. Definición de Términos	22
2.3.1. Absorción.....	22
2.3.2. Análisis Multitemporal.....	22
2.3.3. Cobertura	22
2.3.4. Ecosistema.....	22
2.3.5. Indicador Ambiental	22
2.3.6. Percepción Remota:	22
2.3.7. Sistema de Información Geográfico	22
CAPÍTULO III METODOLOGÍA	24
3.1. Área de estudio	24
3.2. Tipo y nivel de investigación	24
3.2.1. Descriptiva	24
3.2.2. Aprehensivo.....	24
3.3. Población y/o muestra de estudio	25
3.4. Materiales y/o instrumentos	25
3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	26
3.5.1. Pre - Verificación del Método	27
3.5.2. Procesamiento en Google Earth Engine	27
3.5.4. Relación de precipitación y temperatura con los índices de vegetación.	32
CAPÍTULO IV RESULTADOS	34
4.1. Relación entre los índices de vegetación y el cambio climático.....	34
4.1.1. Relación variables temperatura y precipitación con valores de NDVI.....	34
4.1.2. Variables temperatura y precipitación con el NDWI	36
4.1.1. Resultado de análisis multitemporal del NDVI.....	39
4.1.2. Resultado de análisis de temperatura y precipitación en la zona de estudio.	43

4.2. Validación del método de Google Earth Engine.....	48
CAPÍTULO V DISCUSIÓN.....	52
5.1. Contratación de hipótesis con resultados.....	52
5.1.1. Hipótesis general	52
5.2. Contratación de resultados con otros estudios similares.....	53
CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES.....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales ventanas atmosféricas.....	12
Tabla 2. Características de los sensores Landsat.....	16
Tabla 3. Principales datos de la plataforma Google Earth Engine.....	20
Tabla 4. Cuadro resumen de la estación meteorológica Paucarani	33
Tabla 5. Datos Estadísticos de NDVI generado con las imágenes de la plataforma Google Earth Engine	49
Tabla 6. Datos Estadísticos de NDVI de generado con imágenes Glovis procesadas con Envi 5.3.....	50
Tabla 7. Estadísticos Descriptivos de los valores de NDVI procedentes de ambos programas	51
Tabla 8. Correlaciones de los valores de NDVI de ambos programas	51
Tabla 9. Datos de NDVI y valores precipitación y temperatura para el año 2010. ...	52
Tabla 10. Correlaciones de NDVI y los valores de precipitación y temperatura para el año 2010.....	53
Tabla 11. Imágenes descargadas con el visor GLOVIS.....	64
Tabla 12. Imágenes seleccionadas de la plataforma Google Earth Engine.....	65
Tabla 13. Imágenes satelitales utilizadas para el año 1986	66
Tabla 14. Imágenes satelitales utilizadas para el año 1995	66
Tabla 15. Imágenes satelitales utilizadas para el año 2010	67
Tabla 16. Imágenes satelitales utilizadas para el año 2018	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro electromagnético.....	12
Figura 2. Firma espectral de las principales coberturas terrestres	13
Figura 3. Componentes de una imagen satelital	15
Figura 4. Cronología de los satélites landsat	15
Figura 5. Firma espectral de la vegetación	17
Figura 6. Ubicación del área de estudio.....	25
Figura 7. Aplicación de filtros a colección de imágenes Landsat.....	28
Figura 8. Aplicación de la función FMASK a la colección de imágenes seleccionadas	29
Figura 9. Aplicación de Algoritmo para la generación de índice NDVI.....	30
Figura 10. Generación de serie temporal y descarga de imagen índice “NDVI”.	31
Figura 11. Relación de valores de precipitación y NDVI para el año 1986	34
Figura 12. Relación de valores de precipitación y NDVI para el año 2018	35
Figura 13. Relación de valores de temperatura y NDVI para el año 2010.....	35
Figura 14. Relación de valores temperatura mínima y NDVI para el año 2018	36
Figura 15. Relación de los valores de precipitación y las áreas de cuerpos de agua. 37	
Figura 16. Relación de las áreas de los cuerpos de agua con los valores de temperatura mínima.....	38
Figura 17. Relación de las áreas de los cuerpos de agua con los valores de temperatura máxima.....	38
Figura 18. Mapa Índice NDVI del año 1986	39
Figura 19. Valores medios de NDVI para el año 1986	39
Figura 20. Mapa índice NDVI del año 1995	40
Figura 21. Valores medios de NDVI para el año 1995	40
Figura 22. Mapa índice NDVI del año 2010	41
Figura 23. Valores medios de NDVI para el año 2010	41
Figura 24. Mapa índice NDVI del año 2018	42
Figura 25. Valores medios de NDVI para el año 2018	42

Figura 26. Valores de precipitación promedio anual de la laguna Paucarani	43
Figura 27. Valores de precipitación mensual para el año 1986.....	44
Figura 28. Valores de precipitación mensual para el año 2018.....	44
Figura 29. Temperatura mínima media anual para la laguna Paucarani	45
Figura 30. Temperatura mínima mensual para el año 2010.....	45
Figura 31. Temperatura mínima mensual para el año 2018.....	46
Figura 32. Temperatura máxima media anual para la laguna Paucarani	46
Figura 33. Temperatura máxima mensual para el año 2010.....	47
Figura 34. Temperatura máxima mensual para el año 2018.....	47
Figura 35. NDVI con imagen satelital GLOVIS para el 2005/05/04	48
Figura 36. NDVI con imagen de Google Earth Engine para el 2005/05/04.....	49
Figura 37. Valores de precipitación mensual para el año 1995.....	68
Figura 38. Valores de precipitación mensual para el año 2010.....	68
Figura 39. Relación de valores de precipitación y NDVI para el año 1995	69
Figura 40. Relación de valores de precipitación y NDVI para el año 2010	69

RESUMEN

La presente investigación evaluó la relación entre los índices de vegetación y el cambio climático haciendo una evaluación multitemporal de imágenes Landsat para el periodo 1972 – 2018 en la laguna Paucarani, Tacna. La información utilizada corresponde a imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8 nivel 1 T corregidas en nivel de reflectancia superficial seleccionadas de la plataforma Google Earth Engine en donde se generó el índice de vegetación de diferencia normalizada “NDVI” para los años 1986, 1995, 2010 y 2018 y el índice de agua de diferencia normalizada “NDWI”. Los resultados indican que los valores medios de NDVI más altos corresponden a los meses de diciembre a mayo con valores iguales o mayores a 0,1, por el contrario, en los meses de julio y agosto los valores medios de NDVI disminuyen, presentando el año 1986 el valor de 0,078 y el año 2018 el valor de 0,065. De los valores de precipitación se verificó que estos presentan una frecuencia cíclica con años húmedos y secos, con respecto a la frecuencia de precipitación se determinó que el año 1986 presenta una frecuencia de precipitación desde el mes de diciembre hasta abril en comparación con el año 2018 que presenta frecuencia para los meses enero y febrero. De los valores de promedio anual de temperatura mínima, se verificó que estos presentan una tendencia de aumento a partir del año 2012 con valores menores a $-6,50\text{ }^{\circ}\text{C}$ en comparación con valores de hasta $-12,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ presentes en años anteriores. De los valores de promedio anual temperatura máxima se verificó que estos son casi homogéneos para los años analizados presentando valores mayores en $0,42\text{ }^{\circ}\text{C}$ del promedio de $12,92\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el año 2010. De la relación de los valores de precipitación y NDVI, se verificó que existe relación de ambas variables. De la extensión de las áreas de los cuerpos de aguas, se verificó que muestran una relación con los acumulados anuales de precipitación. Se concluyó que la variable precipitación, temperatura mínima y los valores del índice de vegetación “NDVI” presenta una relación con un grado de significancia $<0,05$ según Pearson.

Palabras clave: *Índices de vegetación, Cambio climático, Imágenes satelitales, Google Earth Engine y Cuerpos de agua.*

ABSTRACT

The present research work evaluated the relationship between the vegetation indices and climate change by making a multitemporal evaluation of Landsat images for the period 1972 - 2018 in the Paucarani lagoon, Tacna. The information used corresponds to satellite images Landsat 5 and Landsat 8 level 1 T corrected in surface reflectance level selected from the Google Earth Engine platform where the normalized difference vegetation index "NDVI" was generated for the years 1986, 1995, 2010 and 2018 and the normalized difference water index "NDWI". The results indicate that the highest mean NDVI values correspond to the months of December to May with values equal to or greater than 0,1 for all years, on the contrary, for the months of July and August the mean NDVI values decrease, presenting the year 1986 the value of 0,078 and the year 2018 the value of 0,065. From the precipitation values it was verified that these present a cyclical frequency with wet and dry years, with respect to the monthly precipitation values it was determined that the year 1986 presents a frequency of precipitation from December to April compared to the year 2018 that presents frequency for the months of January and February. From the annual average minimum temperature values, it was verified that these present an increasing trend as of 2012, presenting in August 2010 values of -13,61 °C compared to -5,75 °C in 2018. From the annual average maximum temperature values, it was verified that these are almost homogeneous for the years analyzed, presenting values greater than 0,42 °C than the average of 12,92 °C. From the relationship of the precipitation and NDVI values, it was verified that there is a relationship between both variables. From the extension of the areas of the bodies of water, it was verified that they show a relationship with the accumulated annual precipitation. It was concluded that the variable precipitation, minimum temperature and the values of the vegetation index "NDVI" present a relationship with a degree of significance $<0,05$ according to Pearson.

Key words: *Vegetation indices, Climate change, Satellite images, Google Earth Engine and Bodies of water.*

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere a la relación de los índices de vegetación y el cambio climático a través del uso de imágenes satelitales. Las imágenes satelitales son fotografías obtenidas desde el espacio, estas son usadas para diversos usos, entre los que destaca la evaluación y monitoreo del estado de la vegetación, en los niveles global, nacional, regional y local (Muñoz, 2010), Las imágenes satelitales almacenan información en función al espectro electromagnético del sensor satelital utilizado. Esta información se distribuye en bandas espectrales, con lo que se puede generar índices, que permite discriminar áreas de superficie territorial. (Gilabert et al., 1997)

El cambio climático tiene efectos en todo el sistema terrestre, lo que conlleva a la variación positiva o negativa de las actividades económicas, la función de los servicios ambientales, la diversidad de flora y fauna. Se sabe que los ecosistemas brindan servicios ambientales que benefician a la población, entre ellas el suministro de agua, y sus diversos usos como la agricultura, la ganadera, actividades comerciales y/o de servicios siendo estas actividades susceptibles a efectos ocasionados debido al cambio climático (IPCC, 2014).

La laguna Paucarani presenta una extensión de cobertura vegetal denominada “bofedal” que son formaciones vegetativas ubicadas en zonas altoandinas que ocupan terrenos inmediatos a cuerpos de aguas (Flores et al, 2005), los bofedales brindan servicios ambientales como los de suministro, regulación y cultural entre lo que destaca la provisión de forraje, el suministro de agua, la regulación hídrica y la belleza escena y paisajística (Rejas et al, 2016). Se sabe que la variación de precipitación y temperatura, así como los efectos del cambio climático afectan a los ecosistemas, pudiendo afectar a los servicios ambientales que brinda la laguna Paucarani. Frente a esta problemática el uso de imágenes satelitales se hace necesario para la obtención de información que permita determinar cambios en la superficie, así como conocer su estado y mostrar los cambios en el tiempo.

La presente investigación utilizó imágenes Landsat para determinar el índice de vegetación de diferencia normalizada “NDVI” e índice de agua de diferencia normalizada “NDWI” para la obtención de información de la vegetación y de la extensión de los cuerpos de agua y su relación con las variables climáticas.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y otros, debido a la actividad humana provoca un aumento en la temperatura global del planeta conocido como calentamiento global que produce cambios a nivel global en las condiciones climáticas. Uno de los primeros problemas detectados son las variaciones de los regímenes hídricos de precipitación, y el aumento constante de temperatura siendo los ecosistemas susceptibles a estos cambios para la prestación de sus servicios ambientales.

Desde hace 40 años los satélites Landsat vienen generando información de la superficie terrestre en imágenes satelitales, convirtiéndose en una herramienta fundamental para el análisis de las coberturas, entre ellas la cobertura vegetal, los cuerpos de agua, etc. Las imágenes satelitales nos permiten determinar índices espectrales, los índices espectrales son operaciones algebraicas, las cuales utilizan como base pixeles de determinadas regiones espectrales de una imagen satelital, logrando así determinar valores numéricos característicos de una superficie terrestre a partir de la reflectancia que emiten.

Se sabe que el Perú es susceptible de recibir impactos adversos debidos al cambio climático, y a sufrir variaciones. Ante eso, es necesario realizar una vigilancia de los distintos ecosistemas que son de importancia para el sostenimiento de la diversidad y la actividad humana. En el departamento de Tacna, se tiene el caso de la laguna Paucarani que es un importante reservorio hídrico, este presenta cobertura vegetal en sus alrededores susceptibles a sufrir cambios de cobertura debido a las condiciones climáticas existentes. En mérito de lo mencionado, la presente investigación utilizó imágenes satelitales para analizar la relación de los índices vegetación "NDVI" y "NDWI"; y el cambio climático en la laguna Paucarani.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Qué relación existe entre los índices de vegetación y el cambio climático en la laguna Paucarani, Tacna?

1.2.2. Problema específico

- ¿Cómo es el comportamiento del NDVI en la laguna Paucarani?
- ¿Cómo los valores de temperatura y precipitación se asocian al cambio climático para la laguna Paucarani?
- ¿Cómo es el comportamiento del NDWI en la laguna Paucarani?

1.3. Justificación e importancia de la investigación

1.3.1. Justificación e importancia Ambiental:

La importancia ambiental de la presente investigación se determinará al analizar si los valores medios del índice NDVI y las áreas de cuerpos de agua muestran una similitud de relación con los valores de precipitación y temperatura, esto podría mostrar cambios de la cobertura vegetal de la laguna Paucarani en función a las variaciones climáticas.

1.3.2. Justificación e Importancia Social

La importancia social de la presenta investigación se obtendrá al tender evidencias de la relación de los índices de vegetación y el cambio climático por lo que podrá ser fuente de consultas por la sociedad civil para tener información de la situación actual de la laguna Paucarani con posibles efectos del cambio climático.

1.3.3. Justificación e Importancia Económica

La importancia económica de la presente investigación, se obtendrá al estimar el estado de la vegetación, la extensión de los cuerpos de agua en la laguna Paucarani mediante el uso información proveniente de satelitales como las imágenes satelitales lo que permite el ahorro de costos y tiempo en la investigación.

1.3.4. Justificación e Importancia Tecnológica

La importancia tecnológica de la presente investigación se obtendrá mediante el uso información satelital proveniente de sensores remotos y de plataformas de procesamiento de imágenes satelitales que permiten detectar el estado y cambios de la cobertura terrestre.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Determinar la relación que existe entre los índices de vegetación y el cambio climático, haciendo una evaluación multitemporal de imágenes Landsat durante el periodo de 1972 - 2018, en la laguna Paucarani – Tacna.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis multitemporal del NDVI para los años 1986, 1995, 2010 y 2018.
- Realizar un análisis de la temperatura y precipitación de la zona de estudio.
- Determinar la relación entre el NDWI y las variables de temperatura y precipitación en la laguna Paucarani.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

Hi: Existe relación entre los índices de vegetación y el cambio climático en la laguna Paucarani.

Ho: No existe relación entre los índices de vegetación y el cambio climático en la laguna Paucarani.

1.5.2. Hipótesis Específica

H1: Es posible determinar el comportamiento del NDVI en la laguna Paucarani.

H2: los valores de temperatura y precipitación se asocian al Cambio climático para la Laguna Paucarani.

H3: Es posible determinar el comportamiento del NDWI en la laguna Pucarani.

1.6. Identificación y caracterización de variables

1.6.1. Variable dependiente

- Valores de índice de vegetación: NDVI.
- Extensión de cuerpos de agua: km².

1.6.2. Variable independiente

- Valores numéricos de imágenes satelitales.
- Valores de precipitación: mm .
- Valores temperatura máxima y temperatura mínima: °C .

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Aldás Andrade, (2019) “Análisis de la Dinámica Temporal del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para los años 1986, 2001 y 2017 en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Imbabura mediante el uso de Google Earth Engine” analizó la variación en el tiempo de la cobertura vegetal y de los cambios en el uso de suelo en la reserva ecológica de Cotachi Cayapas, Ecuador usando el índice de vegetación “NDVI” con imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8 de los años 1986, 2001 y 2017 haciendo uso de la plataforma Google Earth Engine, y una clasificación no supervisada de las diferentes coberturas de uso de suelo. Se mostró que los valores medios NDVI más altos corresponden en el año 1986, disminuyendo para el año 2001 y 2017, presentando el año 2017 una tendencia más estable, pero con valores positivos cercanos a cero lo que se relaciona con los cambios de uso de suelo, donde la categoría bosque presentó una reducción de superficie de 13,16 %, y categoría vegetación arbustiva y herbácea presentó un aumento en 8,51 %

Castillo (2019) “Procesamiento de Imágenes Satelitales Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM + y Landsat 8 OLI y los Índices de Vegetación, para la Caracterización de las Coberturas Vegetales en los Distritos de Cajamarca” comparó los índices de vegetación NDVI, SAVI y MSI de las imágenes satelitales Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8 de los años 1995, 2010 y 2018 para determinar las variaciones de cobertura vegetal en los distritos de Cajamarca, Baños del Inca, Encañada, Chetilla y Tumbaden de la provincia de Cajamarca. Para la realización de los objetivos realizó el procesamiento de las imágenes satelitales usando herramientas SIG y calculo los estadísticos descriptivos de cada índice mediante el software SPSS. Los resultados mostraron que los valores medios de los tres índices presentan un descenso desde el año 1995 al año 2010 y un aumento al año 2018 con valores bajos para los distritos de Cajamarca, Baños del Inca y Encañada reflejándose su pérdida de cobertura vegetal en el tiempo.

Paula et al., (2018) “Análisis Multitemporal de los cambios de la Vegetación, en la reserva de producción Fauna Chimborazo como Consecuencia del Cambio

Climático” tuvo como objetivo realizar un análisis multitemporal de los cambios de la vegetación, para lo cual utilizó imágenes satelitales Landsat 5, 7, 8 e imágenes aéreas y ortofotos de los años 1987, 2000 y 2015. Elaboró un mapa de vegetación basado en el sistema de clasificación de ecosistemas de Ecuador continental y calculó el índice de vegetación de diferencia normalizada “NDVI” haciendo una clasificación en función al valor de NDVI siendo así: suelo desnudo, vegetación dispersa, vegetación moderada, paramo y vegetación densa. Se mostró que la vegetación moderada incrementó en 17,70 %, al igual que la vegetación dispersa en 12,42 %, mientras que la vegetación densa se redujo en 8,27 % lo que indica el evidente cambio ecosistémico que ha experimentado la reserva en los últimos 28 años.

Campos et al. (2018) en su investigación “Evaluación de la Cobertura Vegetal en el Parque Nacional Cerros de Amotape de Tumbes Utilizando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI): 2000 – 2014” evaluó la evolución de la cobertura vegetal del Parque Nacional Cerros de Amotape mediante imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8 usando el índice de vegetación de diferencia normalizada “NDVI” en los meses de marzo a mayo para el periodo 2000 – 2014, para lo cual clasifico la cobertura vegetal en función del vigor de la vegetación de la siguiente manera: coberturas de suelo desnudo o agua, cubierta vegetal mixta, cobertura vegetal poco densa y cobertura vegetal densa : CV1, CV2, CV3 y CV4 respectivamente. Se evidencia que las coberturas CV1, CV2 y CV3 tienden a aumentar presentando ciclos irregulares de crecimiento en relación con años secos y la CV 4 tiende a disminuir presentando una tendencia negativa influenciado por la ausencia de precipitaciones pluviales y actividad antrópica.

Ramos (2018) “Variación Espacio - Temporal de los Ecosistemas de Humedales Altoandinos en el Anexo de Chalhuanca del Distrito de Yanque (Caylloma, Arequipa) entre los años 1986 – 2016” evaluó la variación espacio temporal de bofedales de Chalhuanca, distrito de Yaque - Caylloma, Arequipa usando imágenes satelitales Landsat para la época húmeda y seca del periodo 1986 – 2016 donde determinó el índice de vegetación de diferencia normalizada “NDVI”, la cobertura de uso de suelo y su relación con las variables climáticas. Las imágenes satelitales se procesaron con el software Envi y ArcGis, a la vez se realizó una caracterización del clima mediante series de tiempo. Los resultados muestran que los humedales se han incrementado en 101,25 ha en la época seca y 759,6 ha en la época húmeda, los valores de NDVI hacia el final del periodo de estudio para la época húmeda están entre 0,22 a 0,91 y para la época seca entre 0,1 y 0,7. La temperatura máxima ha aumentado aproximadamente 1°C en los últimos 32 años y se muestra

disminución progresiva de la temperatura mínima a partir del año 1998, la precipitación muestra un aumento en sus volúmenes hacia el final del periodo, pero con variación en su frecuencia presentando periodos cortos de mayor intensidad. Se concluye que los valores de NDVI en los bofedales son el reflejo de la interacción de las características climáticas y antrópicas realizada por los comuneros.

En la investigación Turpo Cayo et al., (2018) “Mapeo Multitemporal de Cuerpos de Agua y Áreas Urbanas en los Andes del Perú usando Imágenes Landsat en la Plataforma Google Earth Engine, periodo 1984-2018” analizó la tendencia de las extensiones superficiales de cuerpos de agua, glaciares y áreas urbanas en la región andina del Perú en el periodo 1984 - 2018 mediante imágenes Landsat de la plataforma Google Earth Engine (GEE). El procesamiento se basó en la metodología del proyecto Mapbiomas Brasil con árboles de decisión empíricas. Los resultados mostraron una leve tendencia negativa de los glaciares en donde las áreas pequeñas presentaron una tendencia negativa, a la vez, los cuerpos de agua presentan un incremento con una alta correlación temporal a los cambios de áreas de los glaciares, por otro lado, las áreas urbanas presentaron un incremento significativo desde el año 2003.

En la investigación de Rios, (2018) “Monitoreo del efecto del cambio climático en la huasteca potosina a partir de técnicas de percepción remota y estaciones climatológicas” realizó un diagnóstico de la Huasteca Potosina con el objetivo de encontrar evidencias en la alteración en su clima para el periodo 1986 - 2015. Para lo cual utilizó imágenes satelitales Landsat y datos climatológicos de 30 años para la creación de los índices de vegetación: NDVI, SAV y humedad: NDWI, NDWI2 y MSI. Dividió a la zona de estudio de acuerdo a su orografía en: zona montañosa y planicie y estacionalidad: temporada seca y temporada húmeda. Los resultados mostraron que el 70 % y 80 % de las estaciones meteorológicas presentaron un incremento en su temperatura promedio, del mismo modo, los índices de vegetación presentan una variación, siendo el año 1998, donde la vegetación pierde mayor vigorosidad y se presenta un incremento en la temperatura del suelo, lo que sucede de igual manera en la reducción de los cuerpos de agua determinados con el índice NDWI. La zona montañosa presentó la mayor afectación en la reducción de su cobertura vegetal densa en relación con la zona planicie.

Escobar y Guarín (2018) “Análisis de los Procesos de Desertificación a Partir del Cambio Multitemporal en la Cobertura y uso del Suelo en la Cuenca Media del río Chicamocha, Colombia” analizó los procesos de desertificación en la cuenca media

del río Chicamocha usando el índice de vegetación de diferencia normalizada “NDVI” y el índice de agua de diferencia normalizada “NDWI” usando imágenes satelitales Landsat y la identificación de la cobertura y uso de suelo de la metodología Lorine Land Cover para los años 1987, 2003 y 2017. Los resultados mostraron que las áreas con mayor proceso de desertificación son la parte media y baja de la cuenca con los usos de suelo de ganadería y agricultura, esto es sustentado con los valores de NDVI calculados donde los valores más bajos son para el año 2017.

En la investigación de Manchego, (2017) “Variabilidad Espacio-Temporal de la Vegetación en la Cuenca Quilca-Chili Durante el Periodo 2005-2015” evaluó la variación espacio temporal de la vegetación de la cuenca Quilca – Chili haciendo uso de imágenes satelitales Landsat 7 en los meses secos del periodo 2005 – 2015, las imágenes se corrigieron radiométrica y atmosféricamente en el software Envi 5.3 para generar el índice de vegetación de diferencia normalizada “NDVI”, reclasificar sus valores, calcular sus áreas, analizar su variación y relacionarlo con las variables meteorológicas. Los resultados mostraron que el valor medio del NDVI para el año 2005 de 0,107 y para el año 2015 de 0,131, lo que se ve reflejado en las áreas de cobertura vegetal que aumentan de 6061,39 km² del año 2005 a 7854,38 km² para el año 2015, y en las variaciones meteorológicas, es especial por la variable precipitación que es la que presenta la mayor correlación con el valor de NDVI con un coeficiente de determinación de 0,83.

Chantre (2017) “Análisis Comparativo de Cambios de Área en Coberturas en la Parte Alta de la Subcuenca Río Palacé, a través de Imágenes Landsat entre 1989 y 2016” evaluó los cambios de cobertura en la parte alta de la sub cuenca del río Palacé usando imágenes satelitales Landsat 4, 5, 7 y 8 para los años 1989, 2000, 2010 y 2016. Identificó las coberturas mediante la metodología Lorine Land Cover identificando pastos, cultivos transitorios, herbazal denso, humedal y bosques, evidenciando mediante clasificaciones supervisadas que la cobertura de pastos y cultivos transitorios se sobrepone a la cobertura de humedal identificando así un cambio en el uso de suelo de 145 ha, concluyendo que el uso de imágenes satelitales facilitó el análisis de cambios en la cobertura de suelo.

En la tesis de Lozano (2016) “Evaluación del Impacto de uso de Suelos Según el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, Mediante Imágenes Satelitales en el Distrito de Tambillo – Ayacucho, 2000-2014” evaluó el impacto de uso de suelo mediante imágenes satelitales del sensor MODIS usando el índice de vegetación de diferencia normalizada “NDVI” para describir y estimar el comportamiento de la

cobertura vegetal en el distrito de Chambillo, Ayacucho para el periodo 2000 - 2014. Clasifico a la cobertura vegetal según la FAO en 8 tipos de cobertura donde los resultados mostraron que los valores de NDVI son dinámicos en el tiempo, siendo estos más altos en la estación de otoño y más bajos en primavera, a la vez relaciono que el aumento de la cobertura vegetal causo una disminución de las áreas de suelo desnudo, el autor menciona que estos resultados pueden estar en función de los planes de manejo de áreas de cultivo que viene realizando el Gobierno Regional de Ayacucho.

En la investigación de Ordoñez (2015) "Análisis Superficial y Multitemporal de Imágenes Landsat 7 ETM + y Landsat 8 OLI TIRS en el Proyecto Carbonífero la Luna entre los años 2001 y 2015" realizó el procesamiento de imágenes Landsat 7 ETM + y Landsat 8 OLI del año 2001 y 2016 para realizar un análisis multitemporal y superficial de coberturas de suelo. Usó la metodología Loraine Land Cover para la identificación de coberturas y el uso de herramientas de clasificación supervisada y no supervisada para los análisis multitemporales. Determina mediante la clasificación supervisada una disminución de la cobertura de bosque y un aumento en las coberturas de explotación minera, pastos, y cultivos en el área de estudio.

Zeballos et al., (2014) "Uso de imágenes satelitales, modelos digitales de elevación y sistemas de información geográfica para caracterizar la dinámica espacial de glaciares y humedales de alta montaña en Bolivia" caracterizó la dinámica espacial de glaciares y humedales mediante un análisis multitemporal de imágenes Landsat para el periodo 1984 – 2009. Las imágenes se corrigieron geométricamente y radiométricamente, se aplicaron tres índices NDVI, NDSI y NDWI para determinar la variabilidad. Se determino un porcentaje de retroceso de 47 % de los glaciares y humedales en la Cordillera Real Bolivia.

Gonzaga (2014) "Aplicación de índices de Vegetación Derivados de Imágenes Landsat 7 ETM y ASTER para la Caracterización de Cobertura Vegetal en la Provincia de Loja, Ecuador" evaluó los índices NDVI, SAVI y MSI como estimadores de cambio de cobertura vegetal usando una imagen satelital Landsat 7 y ASTER del 07 de noviembre 2001 y 22 de Julio 2004 respectivamente en la Provincia de Loja al sur de Ecuador. Los estadísticos individuales de cada índice por cobertura vegetal precisa que el índice MSI registra los valores más bajos de desviación estándar que SAVI y NDVI mostrando que el índice MSI presenta una mejor correspondencia a identificar las distintas coberturas vegetales en ambos sensores evaluados.

En la investigación de Aliaga y Fernández (2014) “Estudio espacial multitemporal de variaciones en superficie observadas a través de imágenes satelitales Landsat en una región del Parque Nacional Sajama Bolivia” estudia la variación espacio temporal de los glaciares tropicales y bofedales en una zona específica del Parque Nacional de Sajama Bolivia mediante el uso de imágenes satelitales multitemporales Landsat, mediante los índices NDSI y NDVI resultando para los glaciares una reducción de 70,24 km² desde el año 1999 al 2010, y en el caso de bofedales una reducción de 7,57 km² desde el año 1986 al 2011.

En la tesis de Yufra (2010) “Evaluación de la Vulnerabilidad Ecológica Mediante un Análisis Multitemporal de Imágenes Satelitales Landsat 5 en los Humedales Altoandinos de Tacna” evaluó el grado de vulnerabilidad ecológica del humedal altoandino de Huaytire de la región de Tacna mediante un análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat 5 “TM” en los meses de mayo y septiembre para el periodo 1985 – 2009. Clasifico la cobertura vegetal del bofedal en función al vigor de NDVI en cobertura densa, cobertura moderada, vegetación asociada a bofedal y cuerpos de agua, y los relaciono con los parámetros de temperatura y precipitación. Determino que la cobertura vegetal densa ha disminuido al año 2009 en un 44,23 % y 54,9 % en el mes de mayo y septiembre respectivamente y la temperatura superficial muestra un incremento entre 2,18 °C a 3,23 °C para el mes de mayo y 6,42 °C a 11,37 °C para el mes de septiembre.

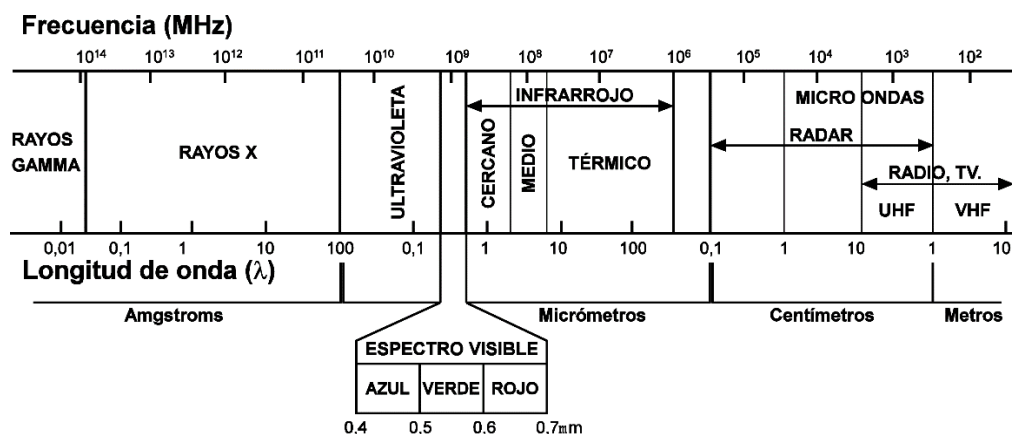
2.2. Bases teóricas

2.2.1. Espectro electromagnético

El espectro electromagnético es la organización de la radiación electromagnética acorde a su longitud de onda y frecuencia, el cual empieza desde longitudes de onda corta como los rayos gamma hasta longitudes de onda de mayor amplitud como las microondas y las ondas radio utilizadas en las telecomunicaciones (Labrador *et al.* 2013; Torralba Pérez, 2019).

En la figura 1 se observa que la micra ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$) es la unidad utilizada para medir longitudes de onda corta. De otro modo las ondas de mayor amplitud con mayor facilidad se miden en centímetros o metros de acuerdo a las frecuencias del espectro electromagnético (Villegas, 2007).

Figura 1
Espectro electromagnético



Nota: obtenido de Piazzesse y Oñate (2004).

Para detectar longitudes de ondas en la superficie terrestre, tiene que intervenir la radiación solar como forma de energía, pero no toda esta energía es percibida en la superficie terrestre siendo gran cantidad reflejada, absorbida y dispersada por los gases atmosféricos y partículas presentes en la atmosfera. Sin embargo, la atmosfera presenta ventanas espectrales donde la radiación electromagnética atraviesa con una mayor facilidad, estas ventanas se muestran en la Tabla 1 siendo los rangos del espectro visible, infrarrojo y microondas las principales ventanas atmosféricas que permiten el uso de la información satelital (Piazzesse y Oñate, 2004; Villegas, 2007).

Tabla 1
Principales ventanas atmosféricas

Ventana	Rango espectral (μm)	Espectro
1	0,3 – 1,3	Visible - Infrarrojo Cercano
2	1,5 – 1,8	Infrarrojo Medio
3	2,0 – 2,6	Infrarrojo Medio
4	3,0 – 3,6	Infrarrojo Medio
5	4,2 – 5,0	Infrarrojo Medio
6	7,0 – 15,0	Infrarrojo Térmico - Microondas

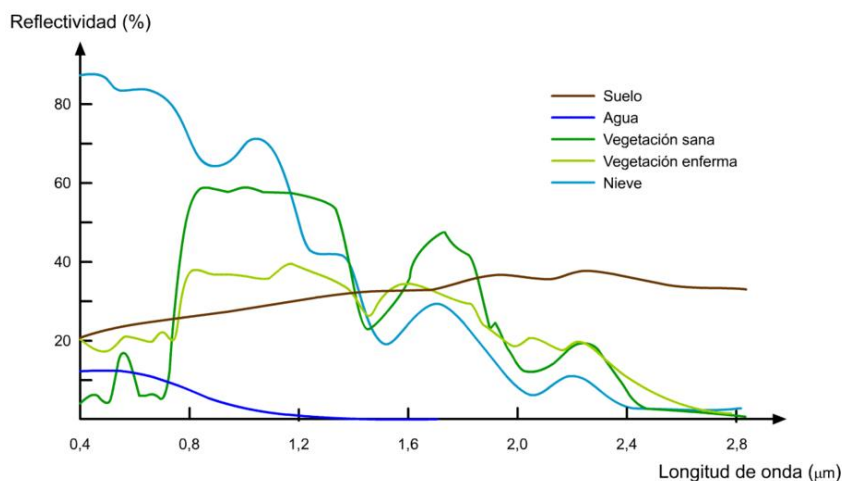
Nota: obtenido de Hernández y Montaner (2009).

2.2.1.1. Firma Espectral

Hernández y Montaner (2009) definen a la firma espectral como una característica de cada cuerpo o material (rocas, vegetación, cuerpos de agua, nieve,

suelo desnudo, zonas urbanas, etc.) que le permite absorber o emitir en mayor intensidad ciertas longitudes de onda que son percibidas por sensores electromagnéticos o el ojo humano.

Figura 2.
Firma espectral de las principales coberturas terrestres



Nota: obtenido de Piazzese (2004).

2.2.1.2. Sensores Remotos

De acuerdo con Reuter (2009) un sensor es un dispositivo que detecta la radiación que emite o refleja una cobertura o cuerpo terrestre. Los tipos de sensores presentes en la percepción remota son los siguientes:

- Sensores Pasivos: se limitan a recibir de forma natural la energía emitida por una cobertura terrestre, ejemplo de estos sensores tenemos los siguientes. Landsat, Aster, Modis, Sentinel.
- Sensores Activos: Emiten su propio haz de energía. Esta energía es reflejada, detectada y medida por el sensor, ejemplo de estos sensores son: Lidar, Radar, Sonar.

2.2.1.3. Resolución de Sensores Remotos

Según Reuter (2009) y Bravo (2017) La resolución de un sensor se puede definir como la capacidad de registrar información, esta se puede clasificar en:

- Resolución Espectral:

La resolución espectral indica el número y ancho de las bandas del espectro que un sensor puede detectar procedente de la energía reflejada de la

superficie terrestre, esta le permite distinguir las diferentes coberturas de superficie terrestre y sus características.

- Resolución Radiométrica

La resolución radiométrica indica el máximo rango de "DN" (números digitales) que puede detectar el sensor, estando relacionado con los niveles de gris que presentes de una imagen satelital.

- Resolución Espacial

La resolución espacial indica el detalle al cual puede ser distinguible una imagen en función al tamaño de su pixel, las imágenes de alta resolución espacial son las que perciben objetos desde tamaños de 0,5 a 4 m, las imágenes de media resolución espacial son las que perciben objetos de 4 a 30 m y las imágenes de baja resolución espacial de 30 m en adelante.

- Resolución Temporal

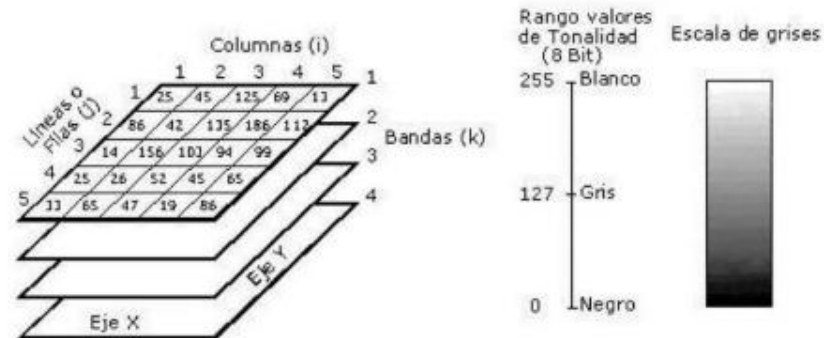
La resolución temporal indica el tiempo en el que el sensor del satélite vuelve registrar una imagen de la misma superficie, pudiendo ser de:

- Alta resolución temporal : <1 día a 3 días
- Media resolución temporal : 4 a 16 días
- Baja resolución temporal : >16 días

2.2.2. Imágenes satelitales

Una imagen satelital es el conjunto de pixeles de igual tamaño, que se encuentran agrupados en filas y columnas. Cada pixel contiene un número digital que es la energía registrada por un determinado objeto de la superficie terrestre que está en función de las propiedades del sensor satelital (Díaz González *et al.*).

Figura 3
Componentes de una imagen satelital

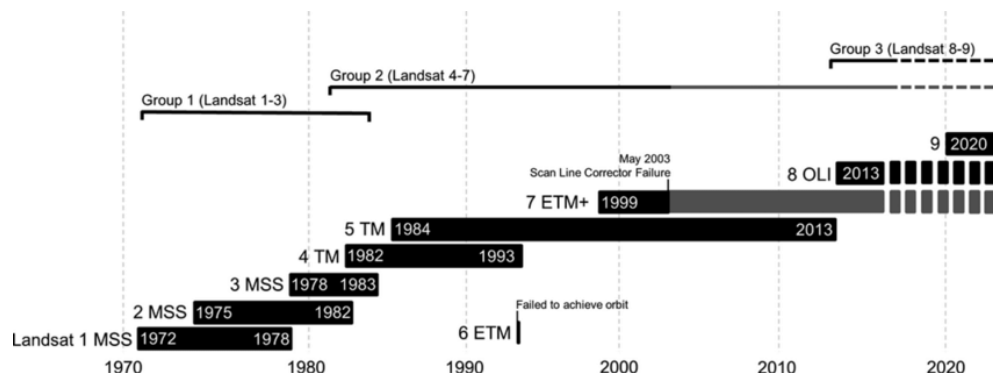


Nota: obtenido de Bravo (2017)

2.2.2.1. Programa Landsat

El programa Landsat es el más grande conjunto de misiones satelitales para la observación de la tierra gestionado por la Administración Nacional de Aeronáutica y del espacio (NASA) y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). (Bravo, 2017; Díaz González *et al.*, 2014). En la figura 4 se observa que el primer satélite Landsat fue lanzado en 1972 y han seguido desde entonces 6 exitosos lanzamientos hasta alcanzar el Landsat 8 lanzado el 2013 (Bravo, 2017; Young *et al.*, 2017).

Figura 4
Cronología de los satélites landsat



Nota: obtenido de Young *et al.* (2017)

Entre los distintos satélites y sensores Landsat existe una diferencia en el número de bandas y la longitud de onda captada en el sensor como se ilustra en la Tabla 2. Landsat 1, 2 y 3 llevaron el sensor Multiespectral Scanner (MSS) que recolectaba la información en cuatro bandas espectrales, dos en el visible y dos en infrarrojo. Landsat 4, 5 y 7 llevaron el Thematic Mapper (TM) o Enhanced Thematic Mapper (ETM) que recolectaba la información en 7 y 8 en bandas espectrales, usando tres bandas en el espectro visible, una en el espectro infrarrojo cercano, dos en el infrarrojo medio, una en el térmico y una banda pancromática. Landsat 8 lleva el sensor OLI – TIRS que recolecta la información en 11 bandas espectrales añadiendo 3 bandas nuevas a las antes mencionadas como coastal, cirrus e infrarrojo térmico (Young *et al.*, 2017).

Tabla 2
Características de los sensores de los satélites Landsat.

SENSOR	MSS 2		TM 5		ETM + 7		OLI – TIRS 8	
Banda	Tamaño pixel	Rango espectral	Tamaño pixel	Rango espectral	Tamaño pixel	Rango espectral	Tamaño pixel	Rango espectral
1	79	VERDE 0,5 – 0,6	30	AZUL 0,4 – 0,52	30	AZUL 0,4 – 0,52	30	COASTAL 0,43 – 0,45
2	79	ROJO 0,6 – 0,7	30	VERDE 0,52 – 0,60	30	VERDE 0,52 – 0,60	30	AZUL 0,45 – 0,51
3	79	INFRARROJO 0,7 – 0,8	30	ROJO 0,63 – 0,69	30	ROJO 0,63 – 0,69	30	VERDE 0,53 – 0,59
4	79	INFRARROJO 0,8 – 1,1	30	INFRARROJO 0,76 – 0,90	30	INFRARROJO 0,76 – 0,90	30	ROJO 0,65 – 0,67
5	-	-	30	INFRARROJO 1 1,55 – 1,75	30	INFRARROJO 1 1,55 – 1,75	30	INFRARROJO 0,85 – 0,88
6	-	-	120	INFRARROJO TÉRMICO 1 10,4 – 12,5	60	INFRARROJO TÉRMICO 1 10,4 – 12,5	30	INFRARROJO 1 1,57 – 1,65
7	-	-	30	INFRARROJO 2 2,08 – 2,35	30	INFRARROJO 2 2,08 – 2,35	30	INFRARROJO 2 2,1 – 2,3
8	-	-	-	-	15	PAN 0,5 – 0,9	15	PAN 0,5 – 0,68
9	-	-	-	-	-	-	30	NUBES 1,36 – 1,38
10	-	-	-	-	-	-	100	INFRARROJO TÉRMICO 1 10,6 – 11,19
11	-	-	-	-	-	-	100	INFRARROJO TÉRMICO 2 11,5 – 12,51

Nota: Se muestra el tamaño de pixel de una imagen satelital en metros y el rango espectral en micrómetros. Adaptado de U.S. Geological Survey (2016)

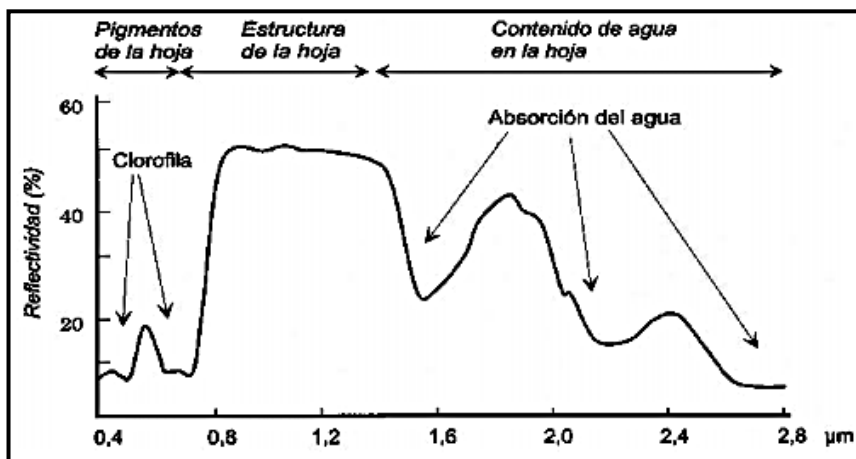
2.2.3. Índices de Vegetación

Los índices de vegetación son valores calculados a partir diferentes bandas espectrales que tiene como fin resaltar la vegetación. (Lozano, 2016). Los valores calculados de los índices de vegetación son numéricos y reflejan el vigor de la

actividad clorofílica de una cobertura vegetal, usualmente combinando información de las de la bandas roja e infra roja de una imagen satelital (Gialbert, 1999).

En la figura 5 se muestra la firma espectral de una cobertura vegetal sana en el espectro electromagnético.

Figura 5.
Firma espectral de la vegetación



Nota: obtenido de Chuvieco (1996)

2.2.3.1. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El índice de vegetación de diferencia normalizada "NDVI" propuesto por Rouse *et al.* (1994) es el más usado para cuantificar el estado de la vegetación, se determina usando las bandas rojas e infra rojo de una imagen satelital. Los valores del índice varían de -1 a +1, donde los valores iguales o inferiores a 0,1 corresponden a suelos desnudos y agua, y los valores mayores a 0,1 están relacionados con las características de vegetación, tendiendo a aumentar su vigorosidad en el índice hasta un máximo de 1 (Muñoz, 2013). Para el cálculo del índice se utiliza la siguiente ecuación 1.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Donde:

NIR : Valores de pixel de la banda infrarrojo cercano.

RED : Valores de pixel de la banda rojo.

Nota: obtenido de Muñoz (2013)

2.2.3.3. Índice de Agua de Diferencia Normalizado (NDWI)

El índice de agua de diferencia normalizado “NDWI” diseñado por McFeeters (1996) es ampliamente utilizado para maximizar la presencia del agua. Para su cálculo se utiliza las banda verde e infrarrojo cercano de una imagen satelital, los valores positivos muestran las cubiertas del agua, mientras que los valores cero o negativos muestran la vegetación, el suelo, rocas o coral (Ariza *et al.*, 2018). La ecuación 2 ilustra el índice de agua de diferencia normaliza.

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (2)$$

Donde

GREEN : Valores de banda verde visible

NIR : Valores de banda infrarrojo cercano

Nota: obtenido de Cárdenas Angulo (2020)

2.2.4. Procesamiento en la nube

El procesamiento en la nube se fundamenta en el uso de la memoria, la capacidad de almacenamiento y procesos ofrecido por servidores computacionales robustos para brindar usuarios de computadoras menos potentes la posibilidad de utilizar todas sus herramientas mediante una conexión a Internet. (Turpo Cayo, 2018)

En los últimos años se ha cambiado del procesamiento tradicional de decenas o cientos de imágenes de una computadora a miles de imágenes mediante servidores computacionales de la nube, ofreciendo al usuario facilidad para el procesamiento de imágenes satelitales.

2.2.4.1. Google earth engine

Google Earth Engine (GEE), es una herramienta que permite el análisis de datos geoespacial a escala global en la nube utilizando capacidades computacionales masivas de Google y conectado a programas satelitales para la recepción de imágenes para abordar problemas sociales y fenómenos ocurridos en la superficie terrestre como la deforestación, las sequías, los desastres, las enfermedades, la seguridad alimentaria, el manejo del agua, el monitoreo del clima y la protección del medio ambiente. (Gorelick, 2017).

Los usuarios pueden acceder a Google Earth Engine (GEE), mediante el siguiente enlace <https://earthengine.google.com> y acceder a la interfaz, así como a la guía de usuarios, tutoriales, ejemplos, videos de entrenamiento, funciones de referencia y a una curricula educativa. (Gorelick, 2017).

Google Earth Engine ofrece un editor de código “code editor” que es una interfaz que permite el procesamiento y visualización de datos para crear análisis personalizados complejos mediante un entorno de desarrollo integrado (IDE) en línea que soporta el lenguaje de programación JavaScript o Python (Aldas, 2019)

2.2.4.2. Catálogo de datos

Google Earth Engine ofrece una colección de imágenes satelitales de distintos programas satelitales organizados en un catálogo de datos a escala petabyte con datos históricos y actuales que incluyen toda la colección de imágenes Landsat, Sentinel 1, Sentinel 2, así como datos de pronósticos climáticos, datos de la cobertura terrestre, ambientales, geofísicos y socioeconómicos (Aldas, 2019; Turpo 2018, Gorelick, 2017).

Las imágenes relacionadas, como son todas las imágenes producidas por un sensor, se agrupan y se presentan como una “colección”. Una colección proporciona capacidades rápidas de filtrado y clasificación que facilita a los usuarios su búsqueda entre millones de imágenes seleccionando aquellos que cumplan con criterios específicos como ubicación, tiempo, porcentaje de nubes, etc. (Gorelick, 2017).

La tabla 3 muestra los principales datos disponibles de la plataforma Google Earth Engine, estos se actualizan en una tasa de 6000 imágenes cada 24 horas en programas satelitales activos con un retraso de 1 día a partir de la adquisición de la imagen (Turpo, 2018; Gorelick 2017).

Tabla 3
Principales datos de la plataforma Google Earth Engine

Conjunto de datos	Resolución espacial	Resolución Temporal	Rango de Cobertura	Cobertura Espacial
Landsat				
Landsat 8 OLI/TIRS	30 m	16 días	2013 – actualidad	Global
Landsat 7 ETM'+	30 m	16 días	2000 – actualidad	Global
Landsat 5 TM	30 m	16 días	1984 – 2012	Global
Landsat 4 – 8 surface reflectance	30 m	16 días	1984 – actualidad	Global
Sentinel				
Sentinel 1 A/B	10 m	6 días	2014 – actualidad	Global
Sentinel 2A MSI	10/20 m	10 días	2015 – actualidad	Global
Modis				
MOD08	1°	Diario	2000–Presente	Global
MOD09	500 m	1 día/8 días	2000–Presente	Global
MOD10 nieve	500 m	1 día	2000–Presente	Global
MOD11 temperatura	1000 m	1 día/8 días	2000–Presente	Global
MCD12 cobertura	500 m	Anual	2000–Presente	Global
MOD13 vegetación	500/250 m	16 días	2000–Presente	Global
MOD14 anomalías térmicas e incendios	1000 m	8 día	2000–Presente	Global
MCD15 área foliar	500 m	4 días	2000–Presente	Global
MOD17 productividad primaria bruta	500 m	8 días	2000–Presente	Global
MCD43 reflectancia ajustada por BDRF	1000/500 m	8 días/16 días	2000–Presente	Global
MOD44 coberturas vegetales	250 m	Anual	2000–Presente	Global
MCD45 anomalías térmicas e incendios	500m	30 días	2000 – presente	Global
Aster				
L1 T radiance	15/30/90 m	1 día	2000 – presente	Global
Global emissivity	100 m	Una vez	2000 – 2010	Global

Nota: Adaptado de Gorelick (2017)

2.2.5 Clima y cambio climático

El clima es definido como el estado promedio de la atmosfera terrestre durante largos periodos de tiempo, que generalmente es un promedio de al menos 30 años.

De otro modo el tiempo atmosférico es el fenómeno que se observa día a día como son los vientos, las lluvias, la temperatura, la humedad, etc. (Torres, 2019)

Según el IPCC, (2013) se puede definir al cambio climático como la variación de los valores medios del clima que perduran por décadas o periodos más largos en el tiempo debido a la variabilidad natural como son los procesos internos naturales, forzamientos externos; y a la actividad humana.

Para Ramos (2018) los procesos internos (movimiento de placas tectónicas, la composición atmosférica), los forzamientos externos (variaciones solares, variaciones orbitales, meteoritos) sumados al aumento de gases de efecto invernadero debido a la actividad humana son los principales factores que ocasionan el cambio climático.

2.2.5.1. Efecto invernadero

El efecto invernadero se atribuye a la manera en que la atmosfera terrestre se calienta debido a los gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua, metano que en proporciones muy pequeñas retienen el calor reflejado por la superficie terrestre manteniendo un ambiente cálido que permite el desarrollo de la vida (Caballero *et al.*, 2007)

Los gases de efecto invernadero (GEI) de origen natural o como consecuencia de quema de combustibles fósiles son el dióxido de carbono, vapor de agua, ozono, oxido de nitroso y metano, Estos gases que están presentes en la composición de la atmosfera son un factor fundamental para el clima, por lo que su variación repercute en la temperatura del planeta (Caballero *et al.*, 2007; Beck, 2016)

2.2.5.2. Impacto ambiental de cambio climático

Los efectos del cambio climático son ocasionados principalmente por el incremento de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmosfera debido a la actividad humana. Estos efectos se evidencian en el cambio de dos factores ambientales principalmente: temperatura y disponibilidad de agua; ambos factores regulan muchos procesos ecológicos, así como los servicios ambientales que brindan a la población local y global. (Ramos, 2018)

2.3. Definición de Términos

2.3.1. Absorción

Fenómeno producido en la atmosfera terrestre debido a la presencia de gases atmosféricos y aerosoles que obstaculizan la captación de energía en longitudes de onda específicas por parte del sensor (Reuter, 2009).

2.3.2. Análisis Multitemporal

Comparación en el tiempo de una determinada área para realizar la interpretación de diferentes coberturas terrestre, permitiendo así evaluar los cambios que han existido en el tiempo (Silva y Rivera, 2016).

2.3.3. Cobertura

Aquello que se observa sobre la superficie y sub superficie terrestre, incluye biota, cuerpos de agua superficial y subterránea y estructuras realizadas por actividades humanas, etc (Silvia y Rivera, 2016).

2.3.4. Ecosistema

Composición de comunidades vegetales, animales y microorganismos asociados a su medio no viviente que interactúan como conjunto en determinado espacio (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2018).

2.3.5. Indicador Ambiental

Variable que proporciona información mediante un análisis de un conjunto de datos de determinados componentes del ecosistema (Therburg *et al.*, 2005).

2.3.6. Percepción Remota:

Estudio que mide las magnitudes de energía reflejada de objetos y superficie que son recibidos por sensores satelitales para obtener información de su estado y o características (Schomwandt, 2015).

2.3.7. Sistema de Información Geográfico

Es el uso de información numérica o textual, métodos y herramientas para analizar, editar y presentar información y de sus atributos con el objetivo de cumplir

diversos propósitos (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2006).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

En esta sección se describe el área de estudio, los materiales e instrumentos, las técnicas de procesamiento y análisis de datos realizados en la presente investigación.

3.1. Área de estudio

El presente estudio ha sido desarrollado en la Laguna Paucarani que se encuentra ubicada en el Departamento de Tacna, Provincia de Tacna, Distrito de Palca, presentando las siguientes coordenadas geográficas: Latitud: -17°31'54,11" N, Longitud: -69°46'25,62" E y una altitud de 4553 msnm. Geográficamente delimita: por el norte con la provincia de Tarata del departamento de Tacna; por el sur con el país de Chile; por oeste con la provincia de Tacna; y por el este con el país de Bolivia.

La laguna Paucarani, debido a su altitud se encuentra en la vertiente occidental de los andes peruanos presentado un clima frígido, con precipitaciones promedio de 350 mm al año en la temporada de lluvias para los meses de diciembre a abril y un periodo de estiaje para el resto de meses del año. En la presente investigación, el área de estudio representa una extensión de 503,2 km².

En la figura 6 se muestra la ubicación de la laguna Paucarani y su área de extensión en el presente estudio.

3.2. Tipo y nivel de Investigación

3.2.1. Descriptiva

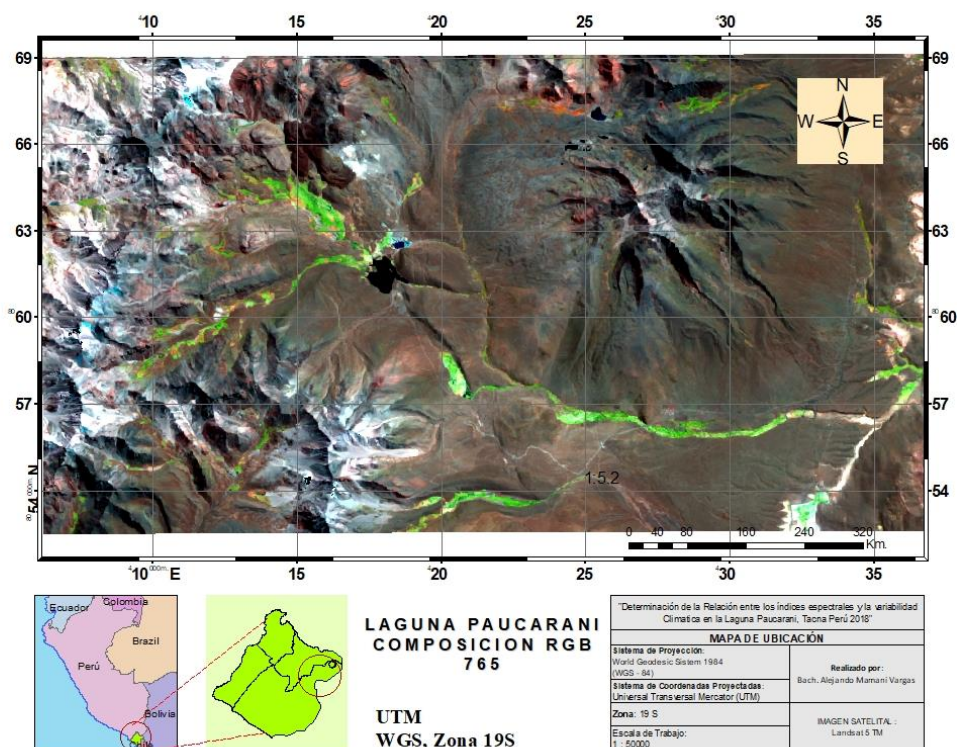
La presente investigación es de tipo descriptiva, ya que analiza y describe eventos sin influir en ellos, determinando el estado de la cobertura vegetal y el área de la laguna mediante la generación de valores de índice de vegetación: "NDVI", "NDWI" y su relación con las variables de precipitación y temperatura.

3.2.2. Aprehensivo

La presente investigación es de nivel aprehensivo ya que analiza y compara las series de tiempo de los valores de NDVI de los años analizados y la variación de

la extensión de los cuerpos de agua de la laguna Paucarani con las variables de precipitación y temperatura.

Figura 6
Ubicación del área de estudio



3.3. Población y/o muestra de estudio

La población de la presente investigación corresponde al área de estudio delimitada de la laguna Paucarani que es de 502,2 km² y la muestra a los valores de los índices de vegetación: NDVI y NDWI generados mediante las imágenes satelitales Landsat seleccionadas que resaltan la cobertura vegetal, los cuerpos de agua del área de estudio.

3.4. Materiales y/o instrumentos

3.3.1. Información satelital

La presente investigación utilizó información satelital del programa Landsat (Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI/TIRS) que se encuentra disponible en la categoría de datos corregidas en reflectancia superficial "**surface reflectance**" del catálogo de

datos de Google Earth Engine para los años 1986, 1995, 2010 y 2018, los que se encuentran con la siguiente denominación:

- LANDSAT/LT05/C01/T1_SR
- LANDSAT/LT08/C01/T1_SR

3.3.2. información temperatura y precipitaciones

La información de las variables temperatura y precipitación utilizada corresponde a lo registrado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – “SENAMHI”, en donde se seleccionó la estación meteorológica Paucarani, presentando las siguientes coordenadas geográficas: Latitud: -17°31'58,5" N, Longitud: -69°46'49,4" E y el código: 117043.

Los datos meteorológicos se descargaron mediante el visor de estaciones hidrometeorológicas de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) al que se puede acceder mediante el siguiente link (<http://snirh.ana.gob.pe/visors2/>). Se utilizó esta fuente de información debido a su facilidad de descarga de datos en formato “csv”.

La información consultada corresponde a las siguientes variables:

- Precipitación
- Temperatura Máxima
- Temperatura Mínima

3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El presente trabajo de investigación utilizó imágenes satelitales de la plataforma Google Earth Engine - “GEE” para el procesamiento y generación de índices de vegetación: NDVI para los años 1986, 1995, 2010 y 2018 e índice de agua de diferencia normalizada: NDWI para una serie de años de 1986 a 2018.

Las variables climáticas de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima se procesaron para generar histogramas mensuales y anuales para los años: 1986, 1995, 2010 y 2018 y analizar su relación con los valores de NDVI y el área de los cuerpos de agua determinados con el índice NDWI.

Antes de realizar el procesamiento de las imágenes satelitales en la plataforma de Google Earth Engine se realizó una pre verificación de los valores de esta plataforma, comparando los valores estadísticos del índice “NDVI” generados con imágenes satelitales de la plataforma Google Earth Engine y del software Envi 5.3 -

Arc Gis para el procesamiento, para la pre verificación se utilizaron 10 imágenes satelitales de igual fecha y sensor.

3.5.1. Pre - Verificación del método

Las imágenes satelitales utilizados para la verificación corresponden a dos imágenes por año, para la época húmeda y seca respectivamente, para los años: 1986, 1995, 2005, 2010 y 2018

Las imágenes satelitales utilizadas para aplicar la corrección radiométrica y atmosférica con el software Envi 5.3 y generar el índice NDVI con el software Arc Gis corresponden al visor "GLOVIS" (<https://glovis.usgs.gov/app?fullscreen=>) del Servicio Geológico de los Estados Unidos, en donde se obtuvo los valores estadísticos de los índices NDVI generados.

Las imágenes satelitales utilizadas para la generación del índice "NDVI" con la plataforma Google Earth Engine fueron seleccionadas usando la interfaz "code editor" donde se aplicó la búsqueda según el ID "LANDSAT_PRODUCT_ID" de la imagen, se generó el índice NDVI, su descarga y la visualización de los estadísticos descriptivos con el software Arc Gis. Se seleccionaron las imágenes de iguales fechas que las descargadas mediante el visor Glovis. La lista de imágenes satelitales seleccionadas para la pre verificación del método se muestra en el Anexo 1.

3.5.2. Procesamiento en google earth engine

El procesamiento de las imágenes satelitales se realizó en Google Earth Engine, a continuación, se describen los procedimientos realizados para la generación del índice "NDVI" y "NDWI", los gráficos de serie temporal del índice "NDVI", la descarga de las imágenes de los índices y el cálculo de su superficie.

Se generaron scripts en donde se seleccionaron las colecciones de datos correspondientes a LANDSAT/LT05/C01/T1_SR para los años 1986, 1995 y 2010 y LANDSAT/LT08/C01/T1_SR para el año 2018 debido a la disponibilidad de datos.

a) Selección de colección de imágenes

Google Earth Engine ofrece un acceso online a los datos Landsat mediante el siguiente link ([https://code.earthengine.google.com/.](https://code.earthengine.google.com/)) Para el estudio se utilizó la API (interfaz de aplicaciones integrado) para creación de scripts que nos permitan utilizar la información de forma rápida y sencilla.

b) Aplicación de filtros

Debido a que Google Earth Engine trabaja con colecciones completas de imágenes Landsat, es necesario la aplicación de filtros, para así seleccionar las imágenes que corresponden a la zona de estudio, personalizar el rango de fecha y la calidad de imagen en porcentaje de nubosidad.

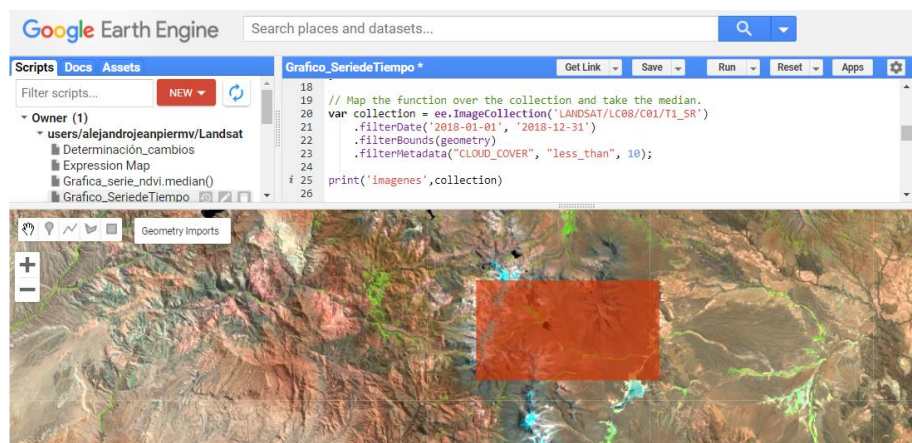
En la creación de cada Script se aplicó los siguientes filtros:

- Filtro de Geometría: Se seleccionó el área rectangular de nuestra zona de estudio.
- Filtro de Fecha: Se seleccionó las imágenes que contengan el siguiente rango de fecha: desde el 01 de enero al 31 de diciembre de los años: 1986, 1995, 2010 y 2018.
- Filtro de Metadatos: Se seleccionó las imágenes que contengan un nivel de nubosidad menor al 10 %.

En la figura 7 se muestra la selección de la colección de imágenes de LANDSAT/LT08/C01/T1_SR para el año 2018 y la aplicación de filtros en la interfaz “code editor” de Google Earth Engine.

Figura 7

Aplicación de filtros a colección de imágenes Landsat



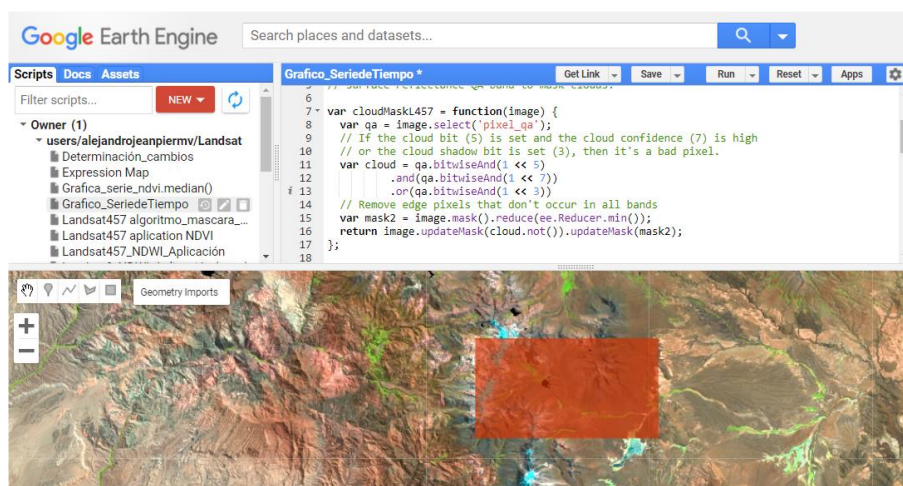
c) Generación de imágenes libre sin nubes

Uno de las principales dificultades en los datos de percepción remota y teledetección son las nubes y sus sombras (Turpo, 2018). Para minimizar esta dificultad se utilizó la función “CFMask”, que es un algoritmo de indeterminadas interacciones que rellena los píxeles de acuerdo a un árbol de decisión para las

estadísticas de toda la escena y crea máscaras que correspondan a nubes, sombra de nubes, nieve y hielo para el procesamiento de datos Landsat (Landsat. 2020). Esta función se añadió en la creación de los scripts.

En la figura 8 se muestra el uso de la función “Fmask” para la colección de imágenes seleccionada en la interfaz de Google Earth Engine.

Figura 8
Aplicación de la función FMASK a la colección de imágenes seleccionadas



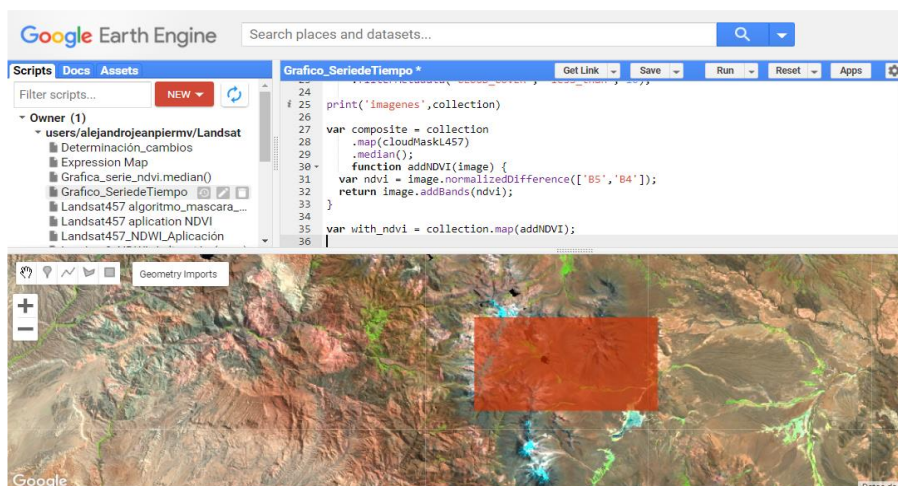
d) Generación de índices

El índice de vegetación de diferencia normalizada “NDVI” es un indicador del estado de la vegetación elaborado por Rouse *et al* (1974), este índice se añadió al script en elaboración por cada año de estudio.

El índice de agua normalizada es un indicador que resalta los cuerpos de agua sobre la vegetación, suelo y nieve, fue elaborado por Mc Feters (1996), este indicador se añadió al script para cada año de estudio.

Para añadir el índice NDVI y el índice NDWI se utilizó las ecuaciones 1 y 2 mostradas en anterioridad. En la figura 9 se muestra el algoritmo utilizado para la generación del índice NDVI

Figura 9
Aplicación de Algoritmo para la generación de índice NDVI



e) Generación de serie temporal

Con el objetivo de determinar cambios en los valores medios de NDVI, para cada año de estudio, se generó series de tiempo anuales con los filtros ya establecidos a las colecciones de imágenes Landsat seleccionadas en los scripts. Para esto se utilizó la función “Print_Chart” que genera gráficos de los valores estadísticos medios de NDVI con la posibilidad de exportar sus valores en formatos “csv”.

f) Descarga de imagen

Con el objetivo de cuantificar la extensión de los cuerpos de agua resaltados por el índice NDWI y generar mapas temáticos se descargaron las imágenes satelitales para su posterior proceso y análisis en un software externo.

g) Modelo de script utilizado

Los modelos de script elaborados para la generación de los índices de vegetación y las series de tiempo descritos en la presente metodología se pueden acceder haciendo click a los siguientes hipervínculos.

El siguiente hipervínculo muestra el código de programación utilizado para la elaboración del índice NDVI para una imagen satelital Landsat 7

- <https://code.earthengine.google.com/d489e7018da4f95e39c248837e5df7bf?noload=true>

Nota: Obtenido de Google Earth Engine (2021)

El siguiente hipervínculo muestra el código de programación utilizado para la elaboración del índice NDVI para una imagen satelital Landsat 8

- <https://code.earthengine.google.com/fe5a095b8e0191236bce268970419d15?noload=true>

Nota: Obtenido de Google Earth Engine (2021)

El siguiente hipervínculo muestra el código de programación utilizado para la elaboración del índice NDWI para una imagen satelital Landsat 7

- <https://code.earthengine.google.com/3e6bb20480ff75bf4cc62d4a20c42658?noload=true>

Nota: Obtenido de Google Earth Engine (2021)

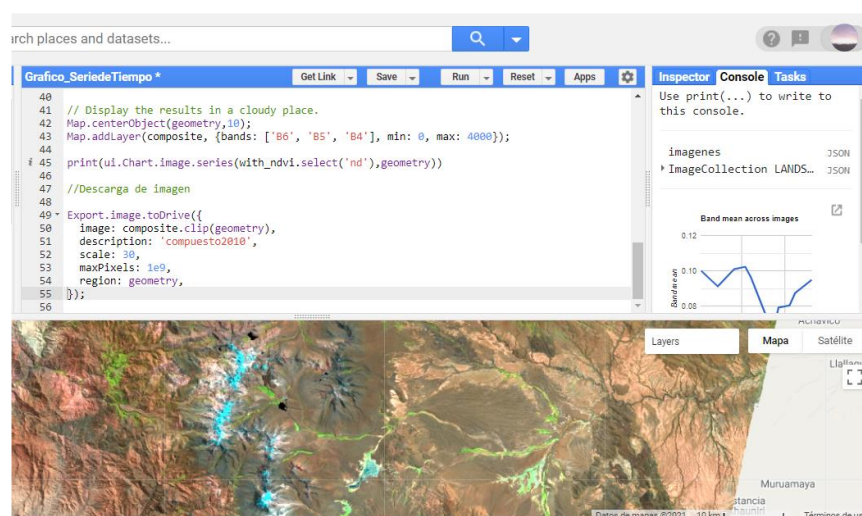
El siguiente hipervínculo muestra el código de programación utilizado para la elaboración del índice NDWI para una imagen satelital Landsat 8

- <https://code.earthengine.google.com/e1aef5f5a70a69f7b1124294b78573e5?noload=true>

Nota: Obtenido de Google Earth Engine (2021)

Figura 10

Generación de serie temporal y descarga de imagen índice "NDVI".



3.5.3. Determinación de extensión de los cuerpos de agua

Para determinar la extensión de los cuerpos de agua de la zona de estudio se utilizó el algoritmo de la ecuación 02 donde se generó el índice de NDWI para los años; 1986, 1995, 2003, 2005, 2006, 2008, 2010, 2013, 2014, 2018; y su posterior descarga con el objetivo de lograr una mayor cantidad de datos para su relación con los valores de precipitación y temperatura. Las imágenes descargadas del índice NDWI resaltan cuerpos de agua, por lo que mediante su uso en el software Arc Map 10.5, se determinó su extensión en km², para esto se aplicó la herramienta “Reclasify” y la opción “Calculate Geometry” en la que se introdujo la ecuación 3 en base a los conocimientos de extensión espacial de cada pixel de una imagen Landsat que es de 30 m x 30 m, es decir 900 m².

$$\text{Área (km}^2\text{)} = \frac{(\text{n}^\circ \text{ de pixeles})(900)}{1,000\,000} \quad (3)$$

Donde:

n° de pixeles: número de pixeles de la categoría cuerpos de agua.

3.5.4. Relación de la precipitación y temperatura con los índices de vegetación.

Con los datos de precipitación y temperatura se generaron histogramas mensuales y anuales en los años analizados con el objetivo de determinar variaciones en el tiempo. Posteriormente se realizó una superposición de los valores mensuales de precipitación y temperatura con los valores medios mensuales de NDVI para cada año de estudio, para determinar si el NDVI presenta una relación con las variables de precipitación y temperatura.

De igual forma con los datos de precipitación y temperatura se generaron gráficos de superposición con la extensión de los cuerpos de agua, para determinar si existe relación entre las variables.

En la tabla 4 se muestra un resumen la información meteorológica consultada:

Tabla 4*Información consultada de la estación meteorológica Paucarani*

Año	Precipitación	T° Máxima	T° Mínima
1986	Ene – Dic	No presentan datos	No presentan datos
1995	Ene – Dic	No presentan datos	No presentan datos
2003	Ene – Dic	Ene - Dic	Ene - Dic
2005	Ene – Dic	Ene - Dic	Ene - Dic
2006	Ene – Dic	Ene - Dic	Ene - Dic
2008	Ene - Dic	Ene - Dic	Ene - Dic
2010	Ene - Dic	Ene - Dic	Ene - Dic
2013	Ene - Dic	Ene - Dic	Ene - Dic
2014	Ene - Dic	Ene - Dic	Ene - Dic
2018	Ene - Dic	Ene - Dic	Ene - Dic

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1. Relación entre los índices de vegetación y el cambio climático.

4.1.1. Relación variables temperatura y precipitación con valores de NDVI

Para determinar la relación entre los índices de vegetación y el cambio climático, se analizó los valores de precipitación y temperatura con los valores medios de NDVI y las extensiones de los cuerpos de agua.

En la figura 11 y figura 12 se muestra la relación de los valores de precipitación y NDVI en los años 1986 y 2018. Las figuras de los años 1995 y 2010 se muestran en la sección de anexo 1.

Figura 11
Relación de valores de precipitación y NDVI para el año 1986

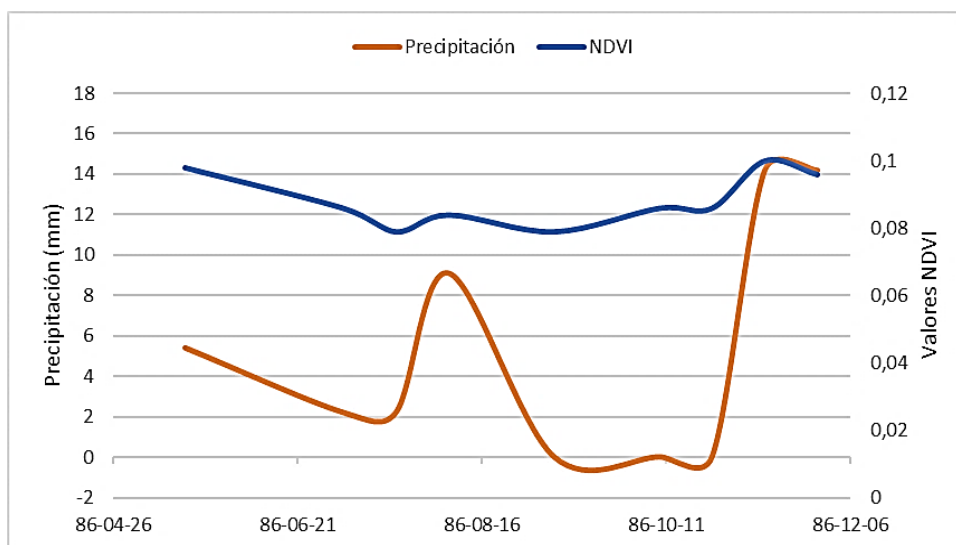
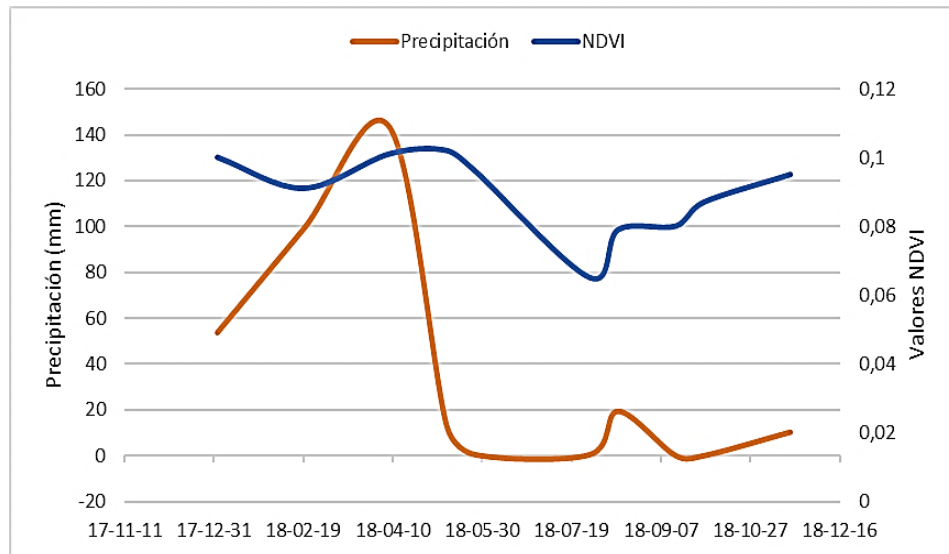


Figura 12

Relación de valores de precipitación y NDVI para el año 2018

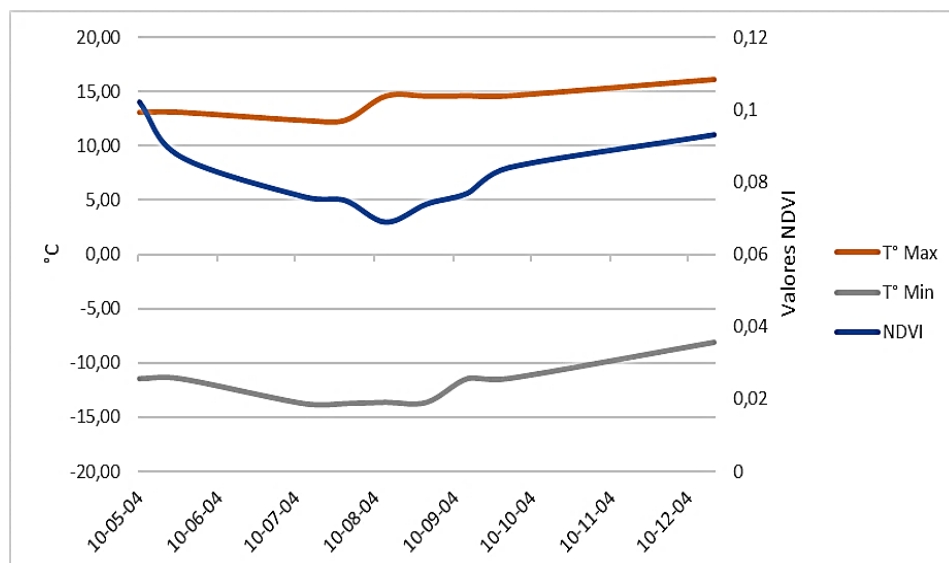


De las figuras 11 y 12 se observa que para el año 1986 los valores de NDVI presentan una línea de tendencia más estable a lo largo del año, en comparación con el año 2018 donde los valores de NDVI disminuyen en los meses de julio y agosto. De igual manera se observa que los valores de NDVI aumentan y disminuyen junto con los valores de precipitación para ambos años.

En la figura 13 y figura 14 se muestra la relación de los valores de temperatura mínima y temperatura máxima con los valores de NDVI para el año 2010.

Figura 13

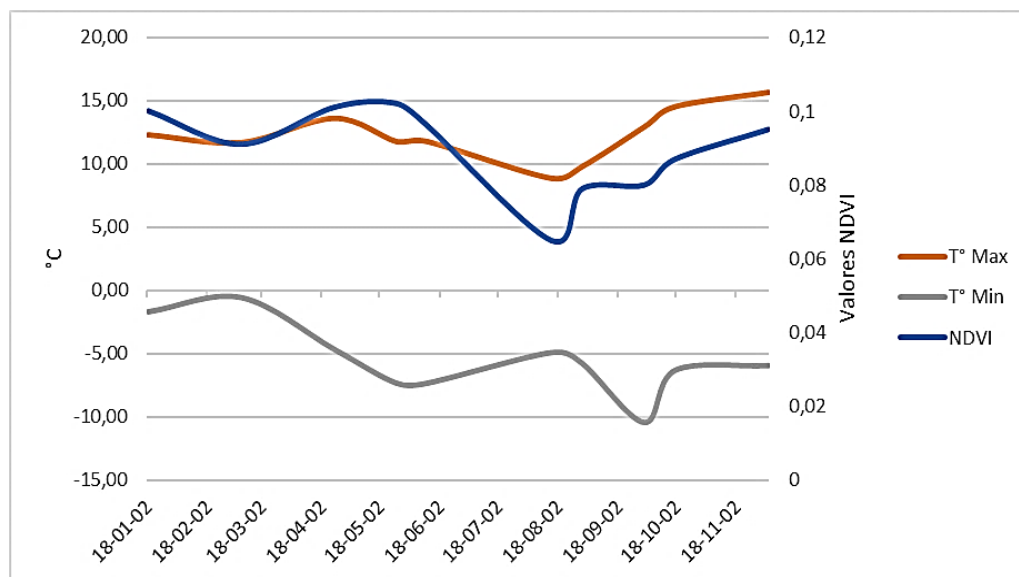
Relación de valores de temperatura y NDVI para el año 2010



De la figura 13 con respecto al año 2010 se observa que los valores de temperatura mínima presentan un aumento con los valores de NDVI desde el mes de mayo. De los valores de temperatura máxima se observa que estos presentan una frecuencia homogénea con los valores de NDVI a partir del mes de agosto, donde estos aumentan hasta el mes de diciembre.

Figura 14

Relación de valores temperatura y NDVI para el año 2018



De la figura 14 con respecto al año 2018 se observa que los valores de temperatura mínima presentan una frecuencia homogénea con los valores de NDVI a partir del mes de setiembre, donde estos aumentan hasta el mes de diciembre. De los valores de temperatura máxima se observa que estos presentan una frecuencia homogénea a partir del mes de julio con los valores de NDVI donde estos aumentan hasta el mes de diciembre.

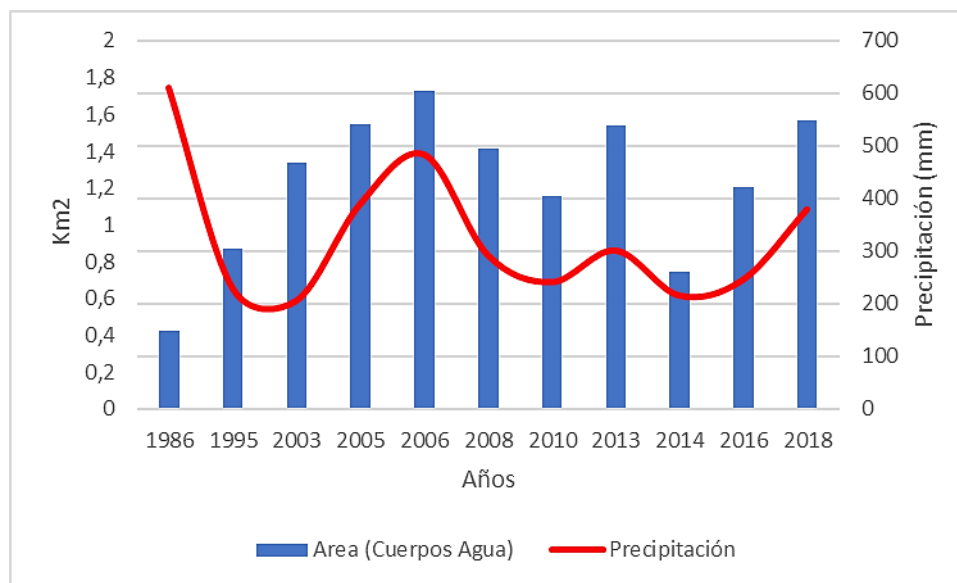
De ambas figuras 13 y 14 se puede observar que los valores de NDVI presentan una frecuencia más estable en el año 2010 en comparación con el año 2018 al igual que los valores de temperatura mínima que aumentan o disminuyen en función a los valores de NDVI.

4.1.2. Variables temperatura y precipitación con el NDVI

En la figura 15 se muestra la relación de los valores de precipitación y el área de los cuerpos de agua.

Figura 15

Relación de los valores de precipitación y las áreas de cuerpos de agua.



De la figura 15 se puede observar que las áreas de cuerpos de agua y los acumulados de precipitación muestran una distribución de frecuencia homogénea, donde los valores de extensión de cuerpos de agua aumentan al igual que los valores de precipitación. Esto puede observarse en el año 2006 donde el acumulado anual de precipitación es 483,5 mm y la extensión de cuerpo de agua de 1,728 km² comparando con el año 2014 donde el acumulado anual es de 215,9 mm y la extensión de cuerpo de agua es de 9,7479 km².

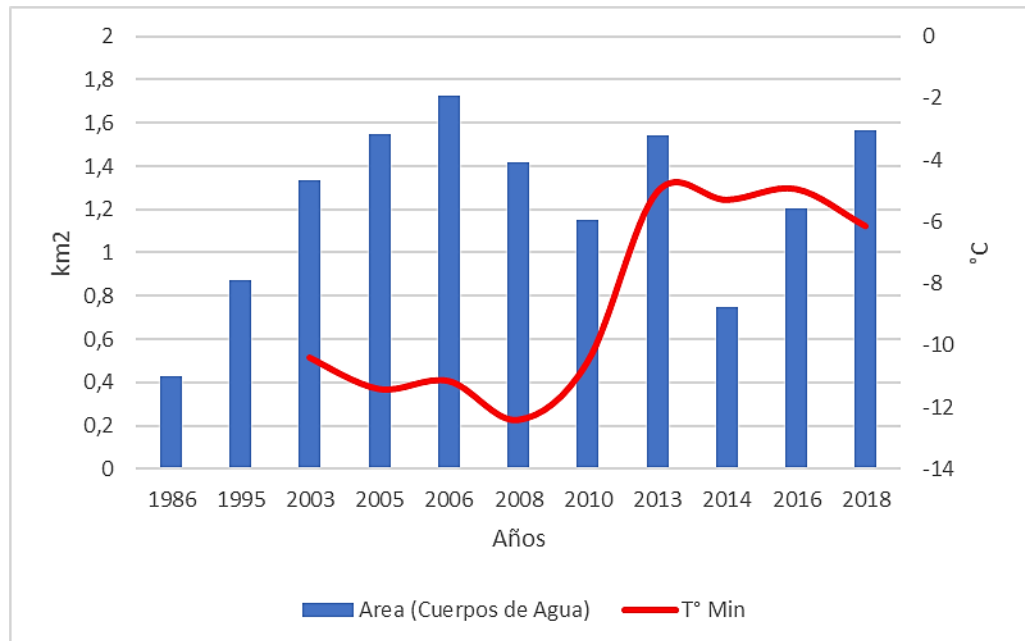
En la figura 16 y figura 17 se muestra las áreas de los cuerpos de agua y la frecuencia de los valores de temperatura mínima y temperatura máxima.

De la figura 16 se puede observar que los valores de temperatura mínima promedio anual presentan una frecuencia estable desde el año 2003 hasta el año 2010 con valores menores a -10 °C, pero se observa un aumento desde el año 2013 hasta el año 2018 con valores promedio anual de hasta - 4,97°C y además se observa una disminución de las áreas de cuerpos de agua para el año 2010 y 2014 que presentan 1,1529 km² y 0,7479 km².

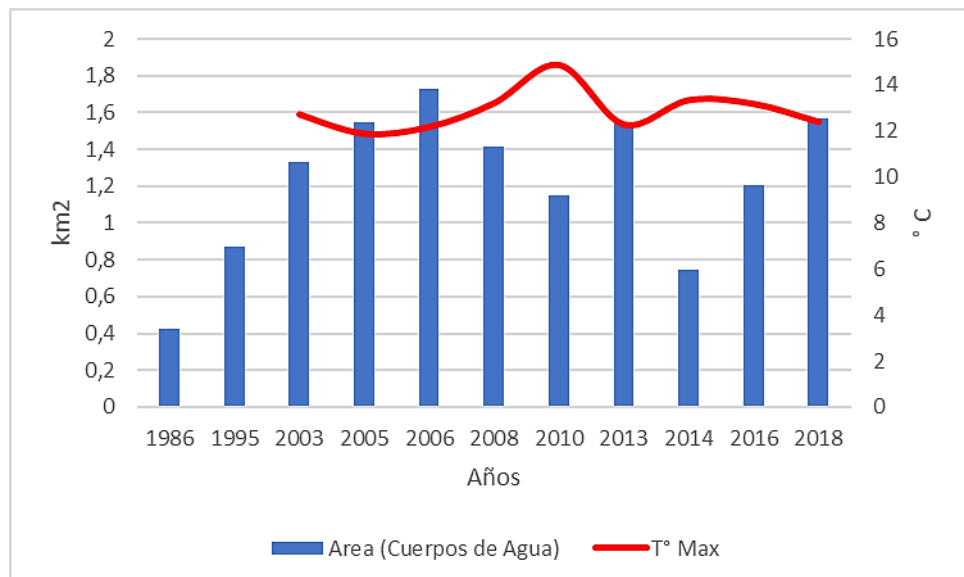
De la figura 17 de los valores de temperatura máxima promedio anual se puede observar que estos mantienen una frecuencia estable con excepción del año 2010 que presenta un pico de temperatura, además se observa una disminución de las áreas de cuerpos de agua para el año 2010 y 2014 que presentan 1.1529 km² y 0.7479 km².

Figura 16

Relación de las áreas de los cuerpos de agua con los valores de temperatura mínima.

**Figura 17**

Relación de las áreas de los cuerpos de agua con los valores de temperatura máxima.



4.1.1. Resultado de análisis multitemporal del NDVI

A continuación, en las figuras 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25 se muestran los mapas y valores medios del índice NDVI obtenido para los años 1986, 1995, 2010 y 2018.

Figura 18

Mapa Índice NDVI del año 1986

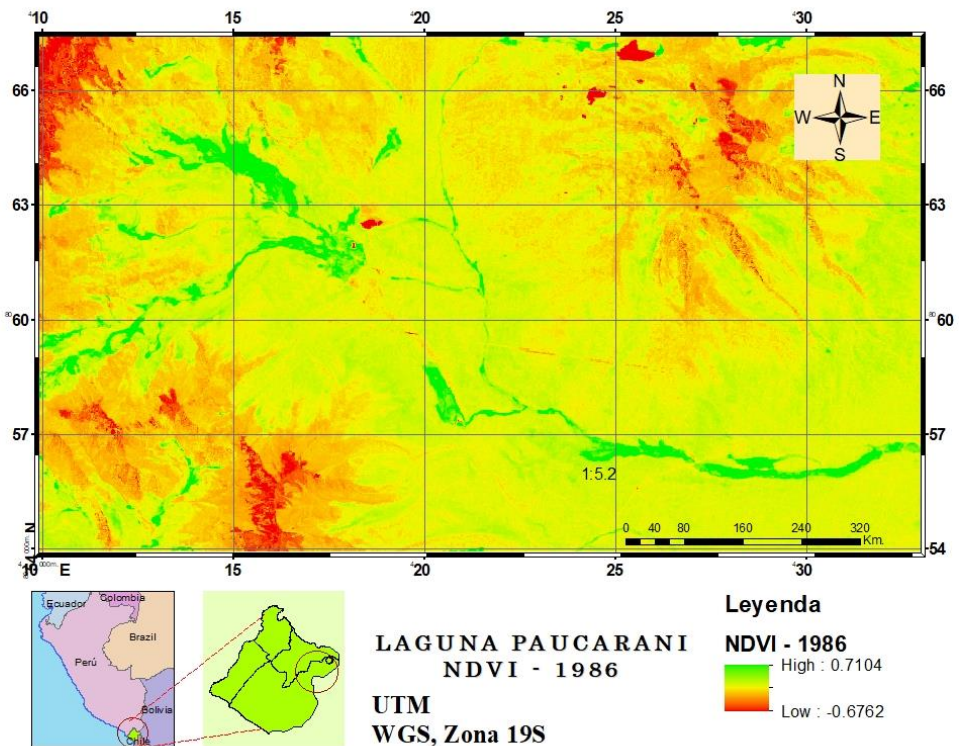


Figura 19

Valores medios de NDVI para el año 1986

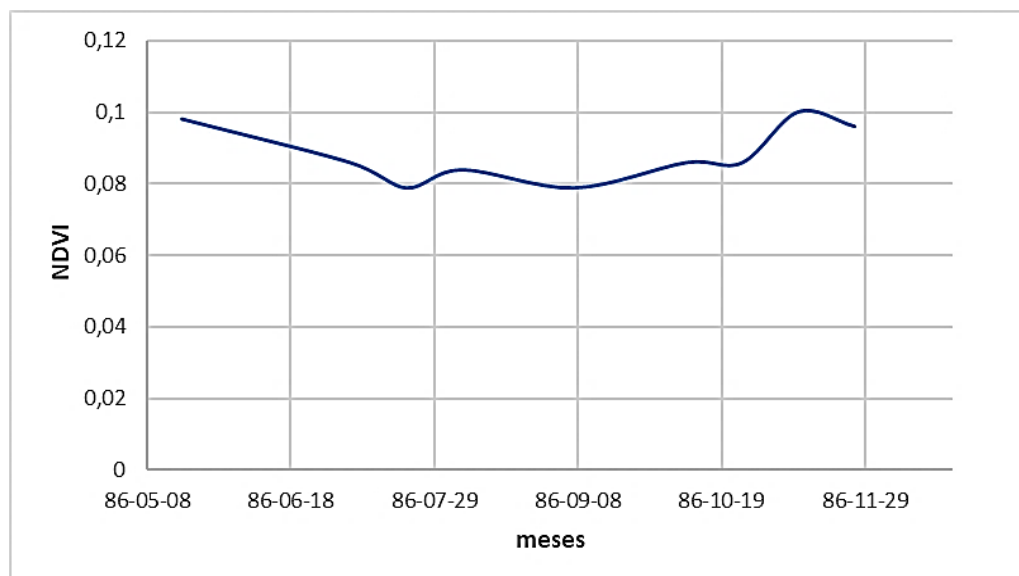


Figura 20
 Mapa índice NDVI del año 1995

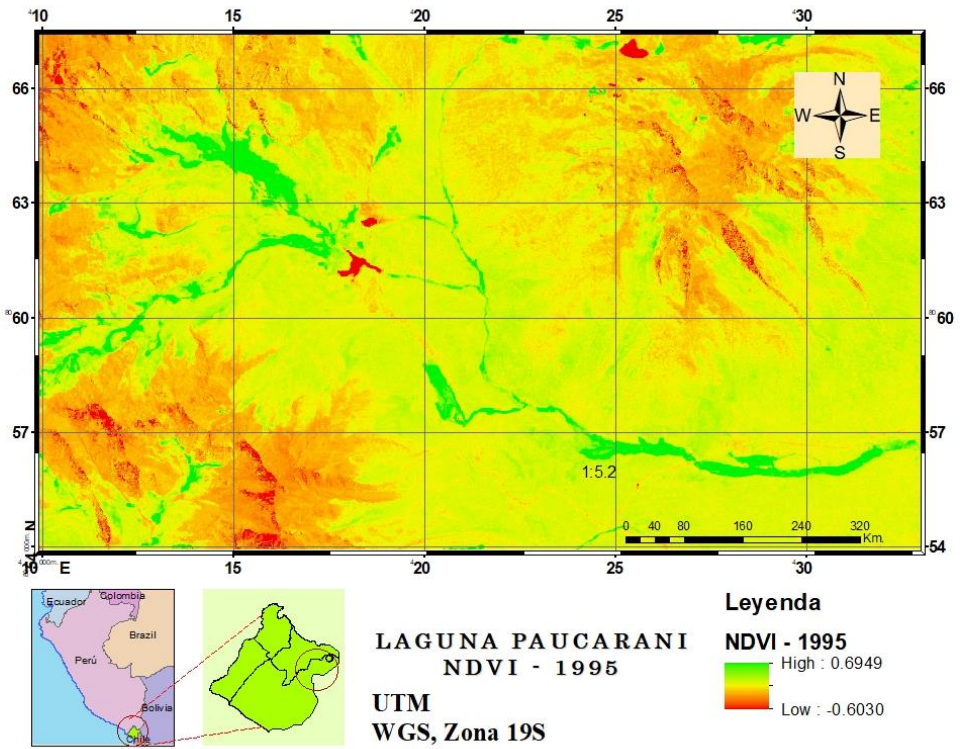


Figura 21
 Valores medios de NDVI para el año 1995

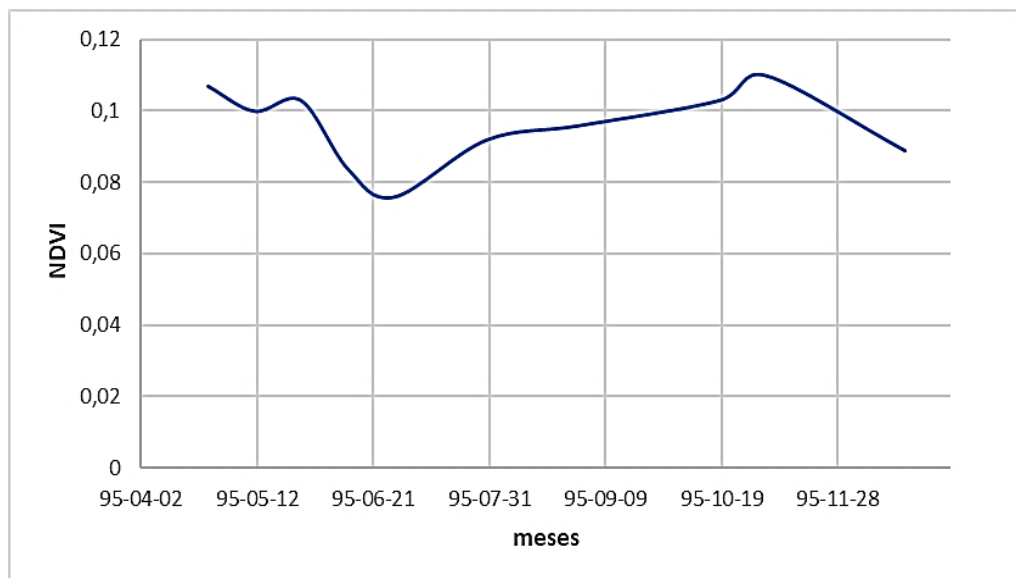


Figura 22
 Mapa índice NDVI del año 2010

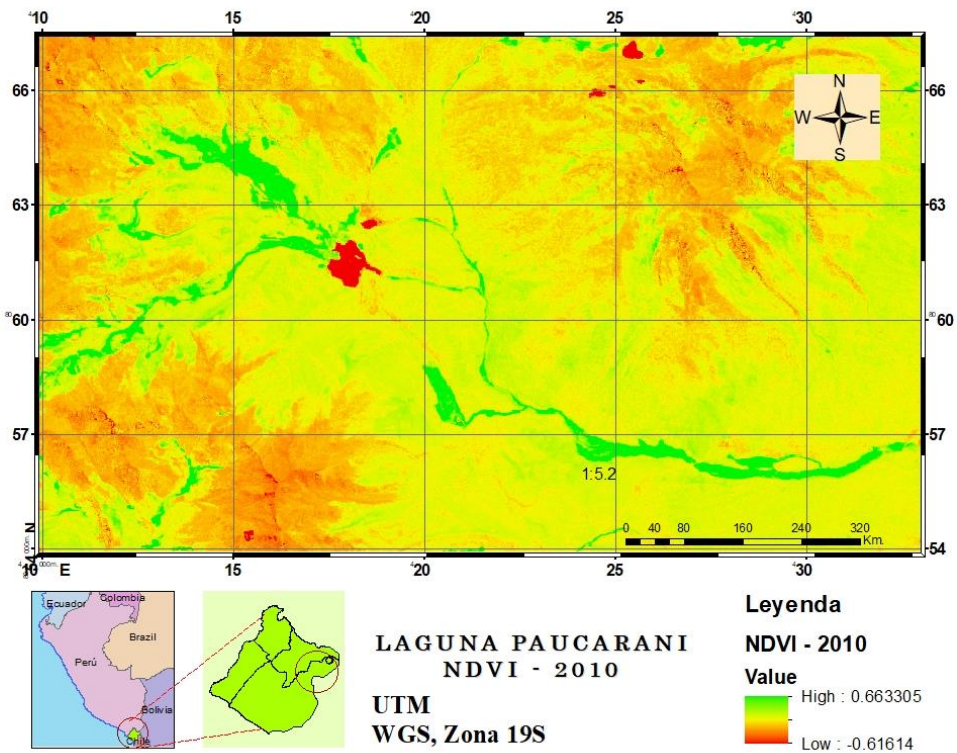


Figura 23
 Valores medios de NDVI para el año 2010

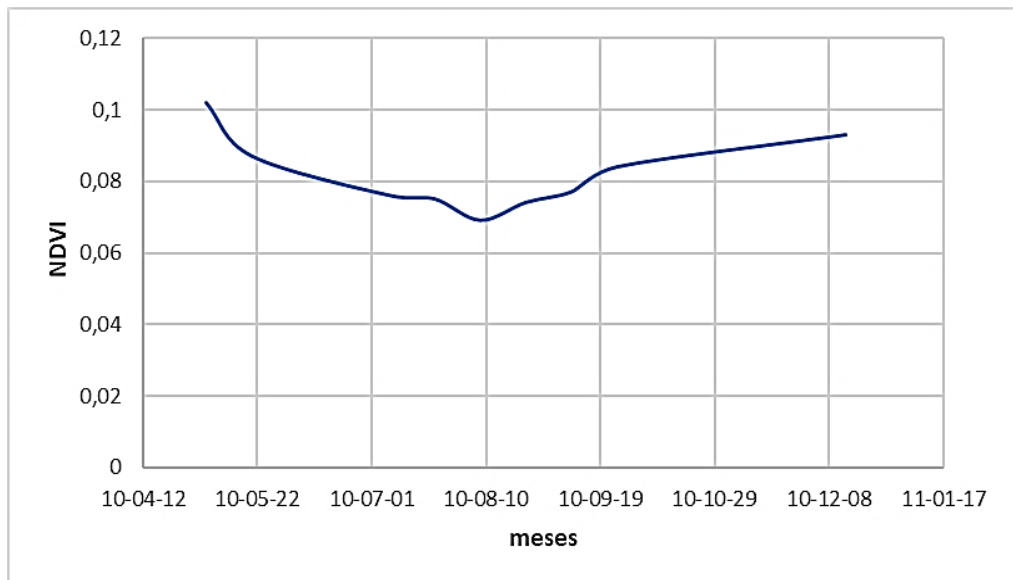


Figura 24
 Mapa índice NDVI del año 2018

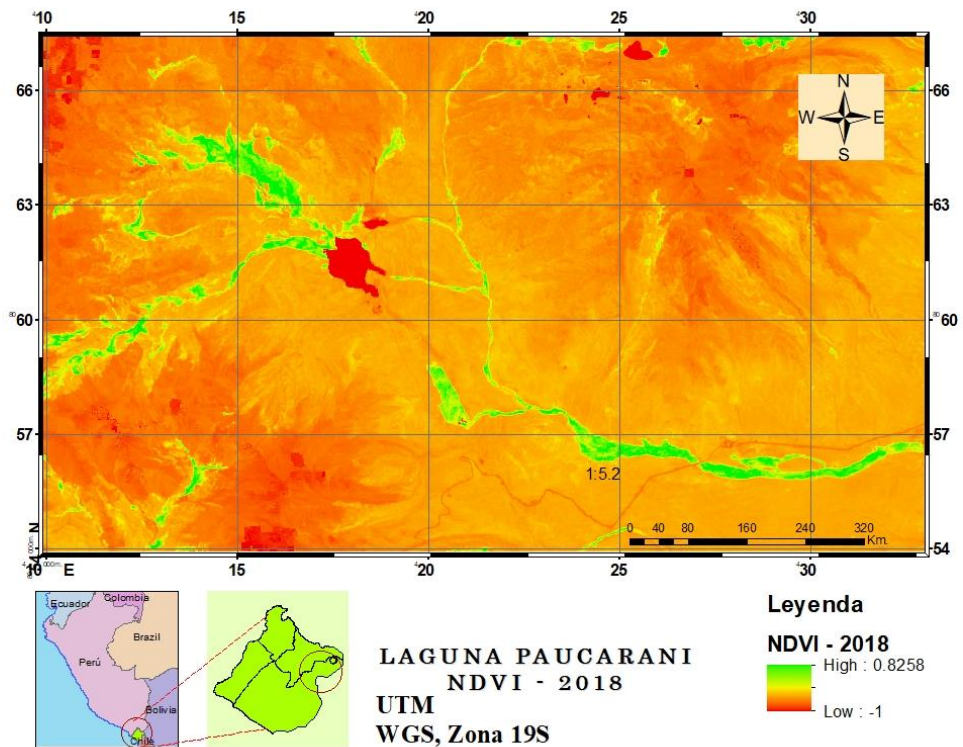
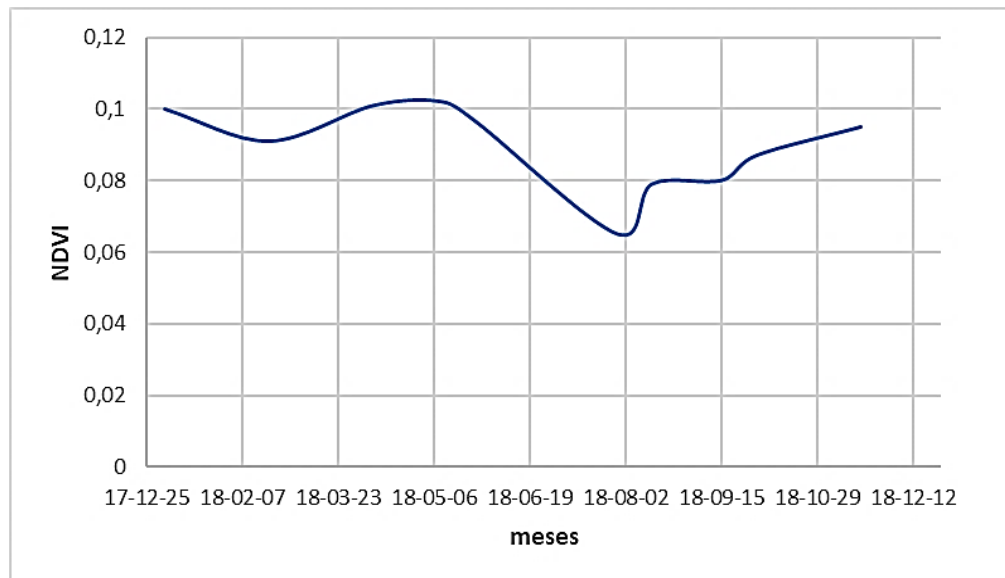


Figura 25
 Valores medios de NDVI para el año 2018



De las figuras mostradas se puede observar que los valores medios de NDVI más altos corresponden a los meses de diciembre a mayo, presentando valores iguales o mayores a 0,1. Por otra parte, los meses de julio y agosto presentan los

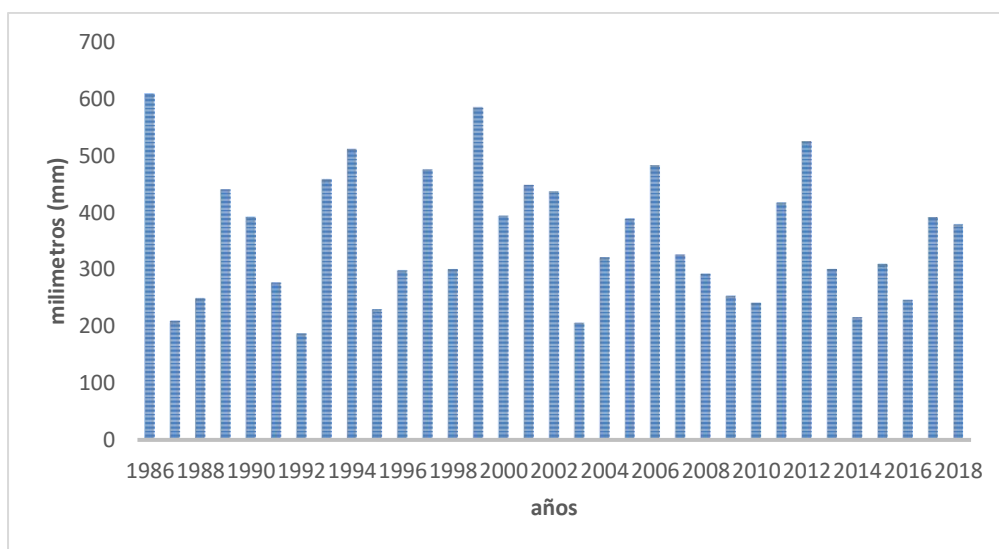
valores medios NDVI más bajos, como se observa en el mes de julio del año 1986 el valor de 0,079 y el mes de julio del año 2018 el valor de 0,065.

4.1.2. Resultado de análisis de temperatura y precipitación en la zona de estudio

En la figura 26 se muestra los valores de precipitación promedio anual para la laguna Paucarani desde el año 1986 hasta el año 2018.

Figura 26

Precipitación promedio anual de la laguna Paucarani



De la figura mostrada se observa que los promedios anuales de precipitación en el periodo de 1986 a 2018 son cíclicos, presentando años húmedos y secos. Siendo los años 1986, 1994, 1999 y 2012 los de mayor precipitación con valores iguales o mayores a 512,4mm/años y los años 1987, 1992, 2003, 2014 los de menor precipitación con valores menores a 206,4mm/año.

En la figura 27 y 28 se muestra los valores de precipitación mensual para los años 1986 y 2018. Los valores de precipitación mensual para los años 1995 y 2010 se muestran en la sección de anexos.

Figura 27
Precipitación mensual para el año 1986

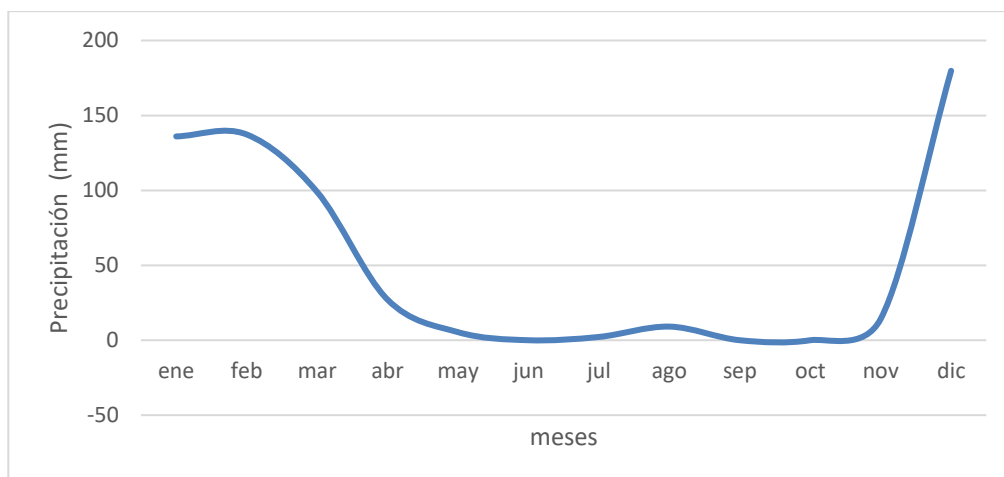
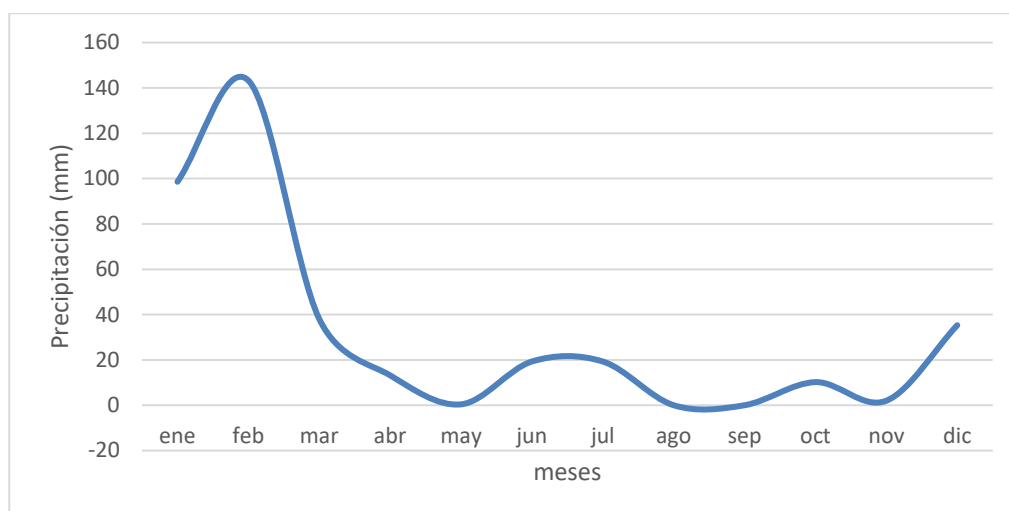
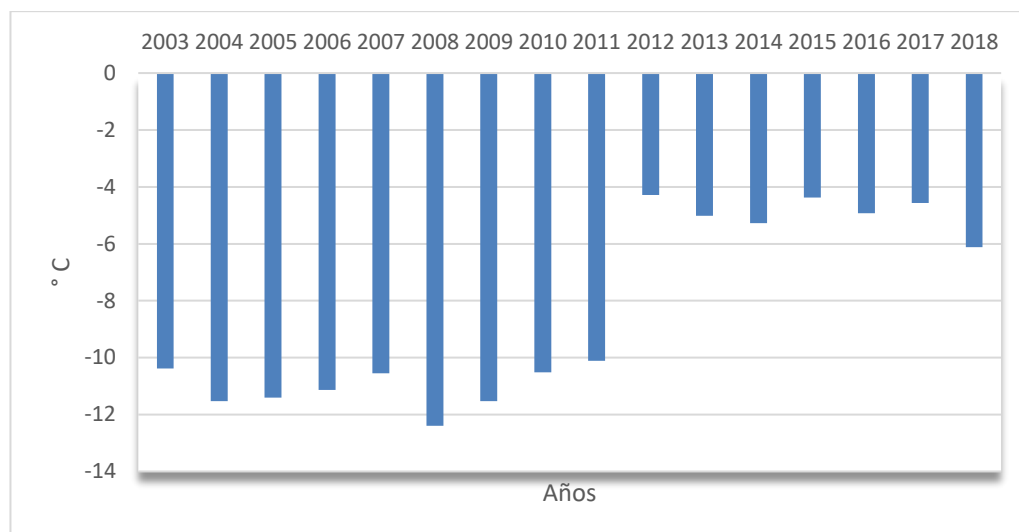


Figura 28
Precipitación mensual para el año 2018



De las figuras de precipitación mensual se puede observar que el año 1986 presenta una frecuencia de precipitación desde el mes de diciembre hasta el mes de abril, siendo esto distinto para el año 2018 donde la frecuencia de precipitación de mayor intensidad es para el mes de enero y febrero

En la figura 29 se muestra los valores de temperatura mínima media anual de la laguna Paucarani desde el año 2003 al año 2018.

Figura 29*Temperatura mínima media anual para la laguna Paucarani*

De las figuras de temperatura mínima media anual se observa una tendencia de aumento a partir del año 2012, siendo estas menores a $-6,50\text{ }^{\circ}\text{C}$, en comparación con años anteriores al 2012 con valores de hasta $-12,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ como en el año 2008.

A continuación, en las figuras 30 y figura 31 se muestra los valores de temperatura mínima mensual para los años 2010 y 2018.

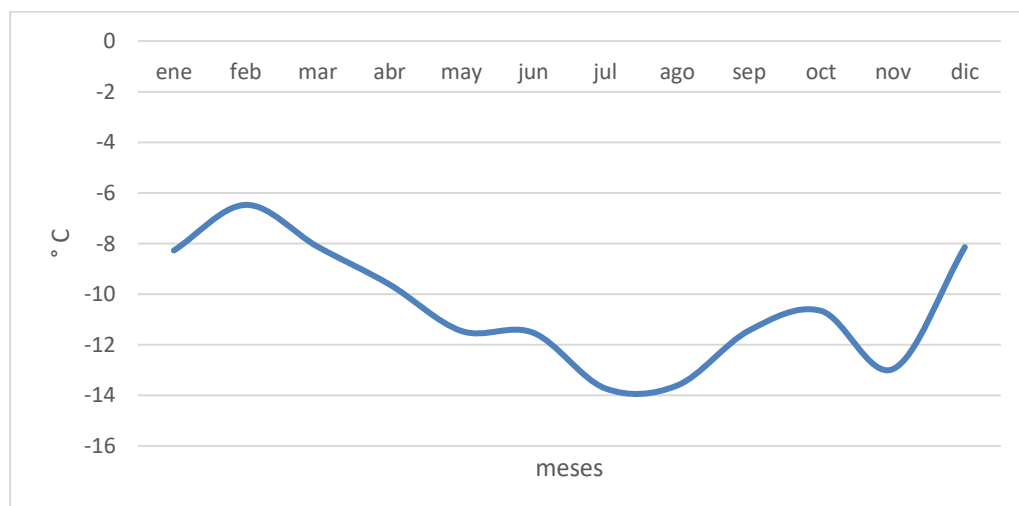
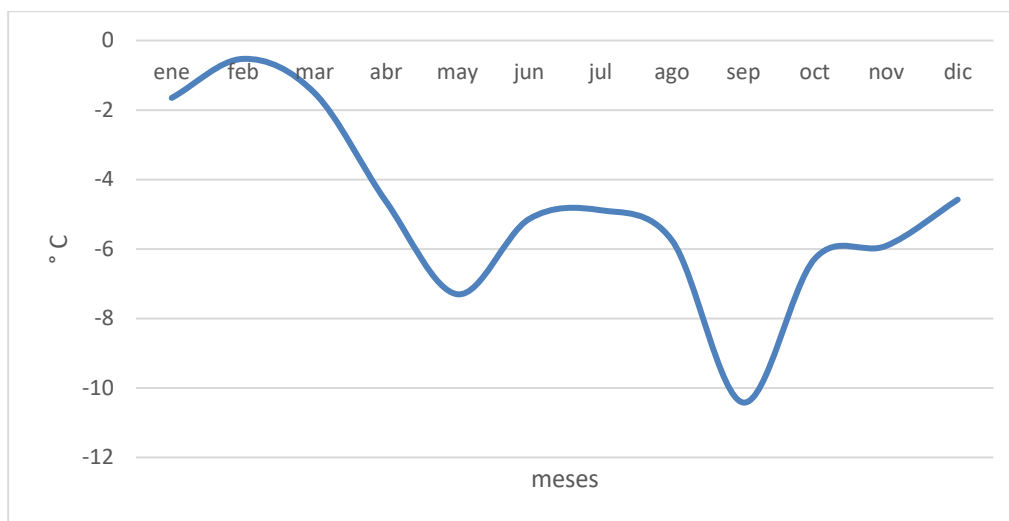
Figura 30*Temperatura mínima mensual para el año 2010*

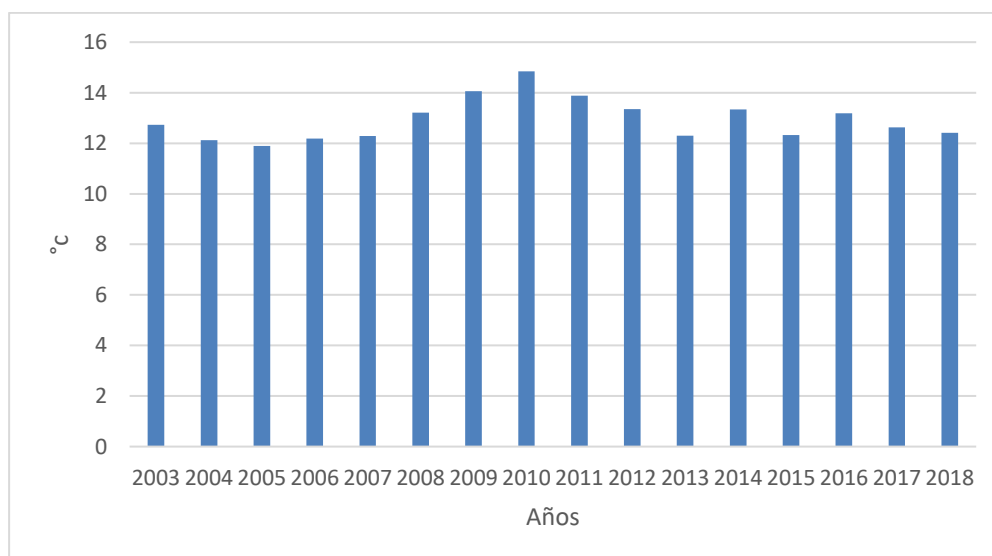
Figura 31
Temperatura mínima mensual para el año 2018



De las figuras se observa que los valores mensuales del año 2018 son mayores a los del año 2010, con respecto al año 2010 este presenta su menor valor para el mes de agosto con $-13,61\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su mayor valor para el mes de febrero del año 2010 con $-6,47\text{ }^{\circ}\text{C}$. Con respecto al año 2018 este presenta su menor valor para el mes de septiembre $-10,42\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su mayor valor para el mes de febrero con $-0,53\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En la figura 32 se muestra los valores de temperatura máxima media anual para la laguna Paucarani desde el año 2003 al año 2018.

Figura 32
Temperatura máxima media anual para la laguna Paucarani



De la figura mostrada se observa que los valores de temperatura máxima media anual son casi homogéneos a excepción de los años 2009, 2010, 2011 y 2014

que presentan valores iguales o mayores a $0,42\text{ }^{\circ}\text{C}$ del promedio $12,92\text{ }^{\circ}\text{C}$ de los años analizados en la presente figura.

A continuación, en la figura 33 y 34 se muestra la temperatura máxima mensual para el año 2010 y 2018.

Figura 33

Temperatura máxima mensual para el año 2010

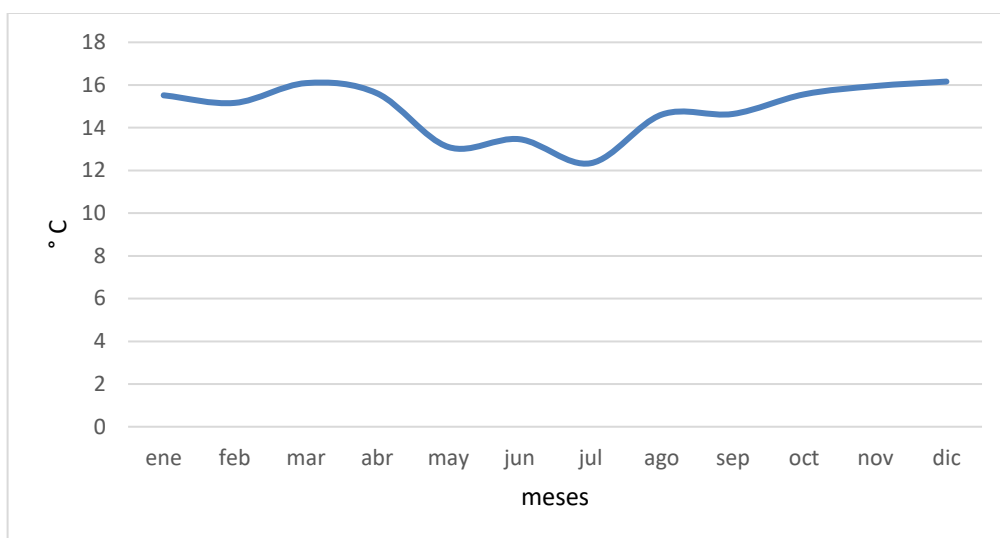
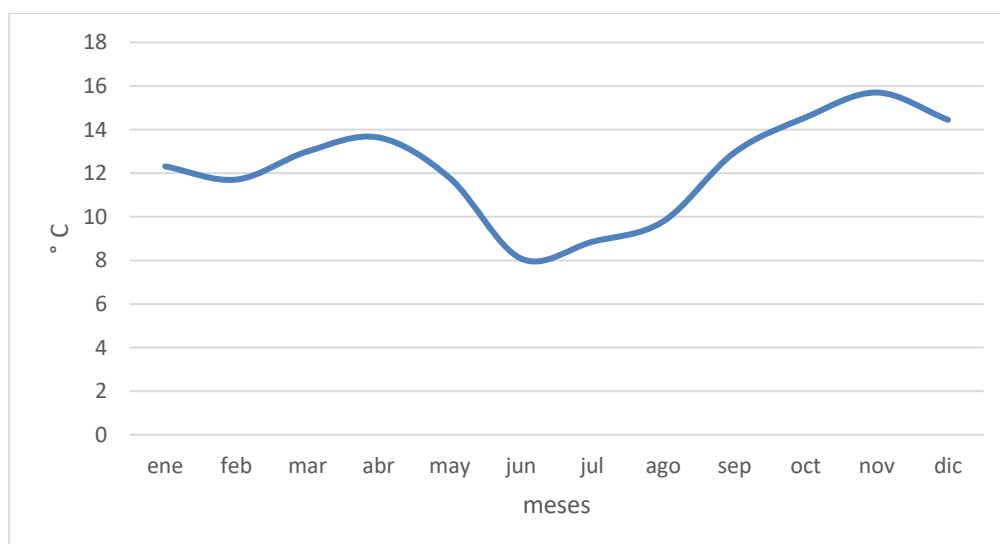


Figura 34

Temperatura máxima mensual para el año 2018



De las figuras de temperatura máxima mensual se observa que el año 2018 presenta valores menores que el año 2010, con respecto al año 2010 este presenta su menor valor para el mes de julio con $12,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su mayor valor para el mes

diciembre con 16,16 °C. Con respecto al año 2018 este presenta el menor valor para el mes junio con 8,09 °C. y el mayor valor para el mes de diciembre de 15,07 °C.

4.2. Validación Método Google Earth Engine

Para la validación del método se descargaron imágenes satelitales de ambos visores “Glovis” y de la plataforma “Google Earth Engine”. En la sección de Anexos se muestra la lista de imágenes descargadas de ambas plataformas.

En la siguiente figura se muestra la imagen NDVI generada con imagen de la plataforma Glovis y Google Earth Engine para la fecha 2005/05/04.

Figura 35

NDVI con imagen satelital GLOVIS para el 2005/05/04

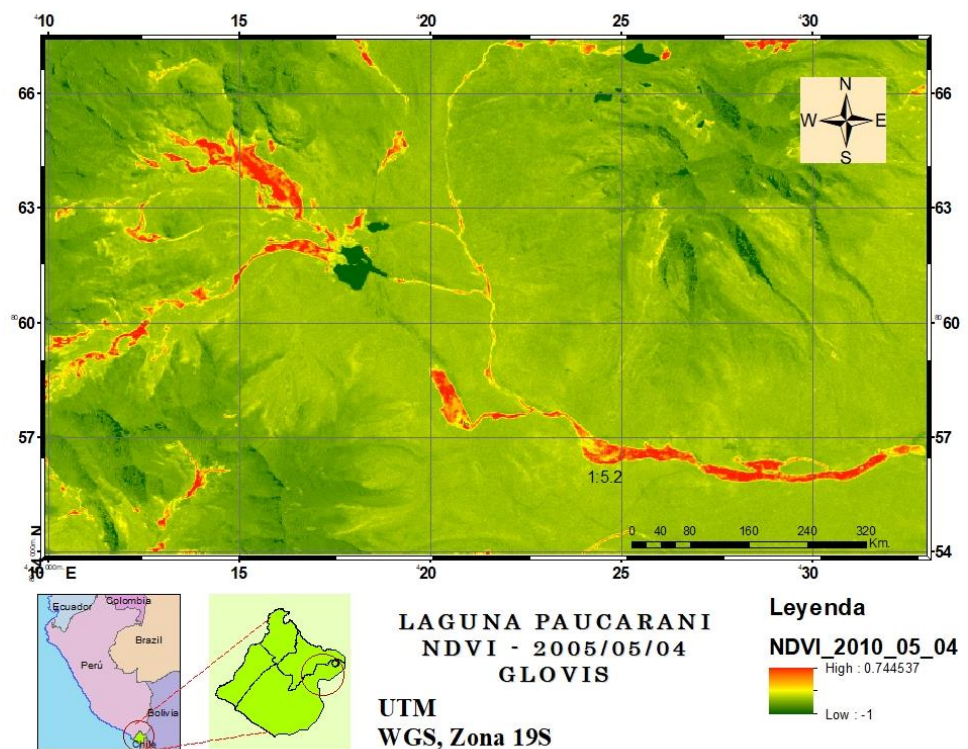
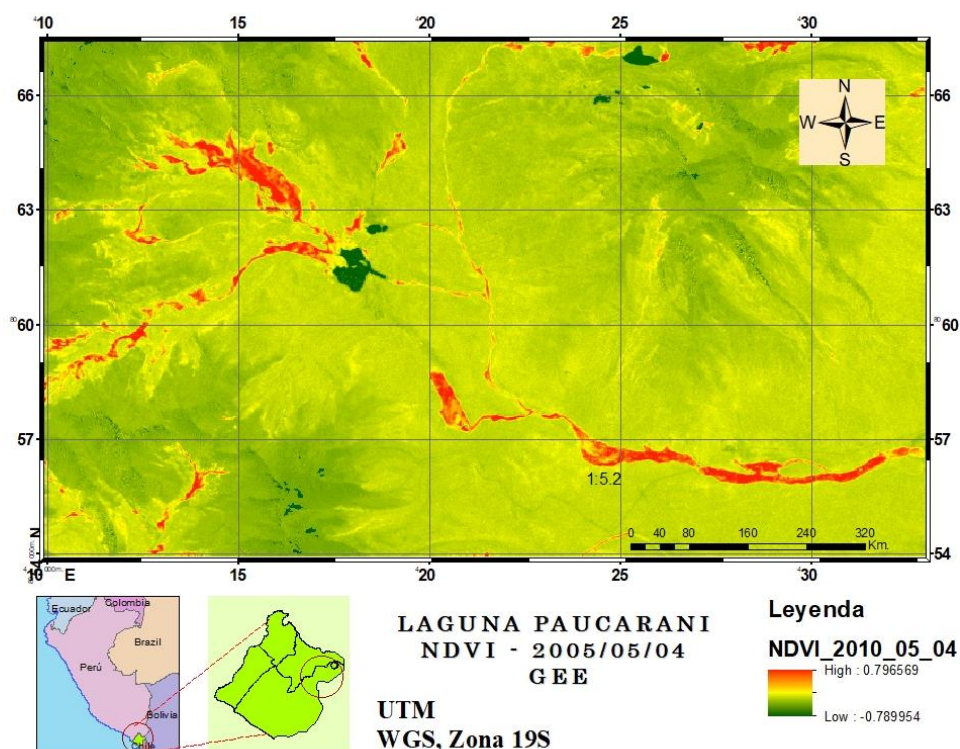


Figura 36

NDVI con imagen de Google Earth Engine para el 2005/05/04



En la tabla 5 y tabla 6 se muestra los datos estadísticos de los valores de NDVI generados con las imágenes de la plataforma Glovis y Google Earth Engine.

Tabla 5

Datos Estadísticos de NDVI generado con las imágenes de la plataforma Google Earth Engine

Datos Estadísticos Google Earth Engine				
Fecha	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
1986-05-18	-0,746 650	0,770 888	0,097 805	0,095 990
1986-09-07	-0,731 057	0,673 352	0,079 160	0,076 088
1995-04-09	-0,558 162	0,806 597	0,099 998	0,085 300
1995-08-31	-0,806 216	0,619 269	0,095 870	0,058 343
2000-04-14	-0,775 385	0,860 527	0,071 410	0,177 911
2000-08-04	-0,731 250	0,633 604	0,071 849	0,106 792

2005-04-20	-0,750 260	0,829 202	0,099 686	0,098 081
2005-08-10	-0,843 103	0,598 918	0,079 803	0,065 360
2010-05-04	-0,789 954	0,796 569	0,101 997	0,092 663
2010-09-25	-0,672 131	0,665 487	0,084 058	0,060 127
2014-04-13	-0,992 095	0,866 504	0,105 567	0,107 914
2014-08-19	-1,000 000	0,714 092	0,091 230	0,079 336
2018-05-10	-1,000 000	0,868 896	0,102 185	0,112 493
2018-10-01	-1,000 000	0,817 498	0,087 251	0,086 246

Tabla 6

Datos Estadísticos de NDVI de generado con imágenes Glovis procesadas con Envi 5.3

Datos Estadísticos Envi 5.3				
Fecha	Min	Max	Media	desviación Estándar
1986-05-18	-1,000 000	0,719 262	-0,000 460	0,102 039
1986-09-07	-0,956 293	0,609 688	-0,009 756	0,069 946
1995-04-09	-0,751 931	0,708 822	-0,104 833	0,091 447
1995-08-31	-1,000 000	0,547 388	-0,008 972	0,071 185
2000-04-14	-1,000 000	0,979 225	-0,200 812	0,162 527
2000-08-04	-1,000 000	0,706 999	0,065 764	0,119 062
2005-04-20	-1,000 000	0,787 713	0,005 999	0,103 297
2005-08-10	-1,000 000	0,538 606	-0,014 190	0,077 573
2010-05-04	-1,000 000	0,744 537	-0,005 704	0,095 573
2010-09-25	-0,784 340	0,596 193	-0,016 884	0,063 333
2014-04-13	-0,300 648	0,534 295	0,058 368	0,057 681
2014-08-19	-0,293 388	0,439 146	0,053 920	0,043 151
2018-05-10	-0,304 641	0,515 147	0,055 560	0,055 423
2018-10-01	-0,370 098	0,521 568	0,055 753	0,049 283

En la siguiente tabla 7 y tabla 8 se muestran los estadísticos descriptivos y las correlaciones de los valores de NDVI procesados con la plataforma Google Earth Engine y el software ENVI.

Tabla 7
Estadísticos Descriptivos de los valores de NDVI procedentes de ambos programas

Ítem	Media	Desviación	N
Envi	,0830	,03220	14
Google Earth Engine	,0930	,02995	14

De las tablas 7 y 8 podemos decir que según Pearson existe una correlación moderada entre los datos, validando así la relación entre los dos softwares utilizados.

Tabla 8
Correlaciones de los valores de NDVI procedentes de ambos programas

		Envi	Google Earth Engine
Envi	Correlación de Pearson	1	,688**
	Sig. (bilateral)		,007
	N	14	14
Google Earth Engine	Correlación de Pearson	,688**	1
	Sig. (bilateral)	,007	
	N	14	14

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

CAPÍTULO V

DISCUSION

5.1. Contrastación de Hipótesis Con resultados

5.1.1. Hipótesis General

Con respecto a la hipótesis planteado:

Hi: Existe relación entre los índices de vegetación y el cambio climático en la laguna Paucarani.

Ho: No existe relación entre los índices de vegetación y el cambio climático en la laguna Paucarani.

En la siguiente tabla 9 se muestra los datos de los resultados obtenidos del Índice de vegetación NDVI y los datos climáticos.

Tabla 9
Datos de NDVI y valores precipitación y temperatura para el año 2010.

Fecha	NDVI	PP	T° Max	T° Min
2010-05-04	0,102	9	13,10	-11,45
2010-05-20	0,087	9	13,10	-11,45
2010-07-07	0,076	9	12,34	-13,72
2010-07-23	0,075	0	12,34	-13,72
2010-08-08	0,069	0	14,62	-13,61
2010-08-24	0,074	0	14,62	-13,61
2010-09-09	0,077	0	14,65	-11,43
2010-09-25	0,084	0,7	14,65	-11,43
2010-12-14	0,093	45,3	16,16	-8,14

En la siguiente tabla 10 se muestra las correlaciones de los resultados de NDVI y los datos climáticos.

Tabla 10
Correlaciones de NDVI y los valores de precipitación y temperatura para el año 2010.

	Correlación	NDVI	Precipitación	T° max	T° min
NDVI	Correlación de Pearson	1	,550	,072	,709*
	Sig. (bilateral)		,125	,855	,032
	N	9	9	9	9
Precipitación	Correlación de Pearson	,550	1	,467	,809**
	Sig. (bilateral)	,125		,205	,008
	N	9	9	9	9
T° max	Correlación de Pearson	,072	,467	1	,617
	Sig. (bilateral)	,855	,205		,077
	N	9	9	9	9
T° min	Correlación de Pearson	,709*	,809**	,617	1
	Sig. (bilateral)	,032	,008	,077	
	N	9	9	9	9

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).
 **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Trabajando la correlación de Pearson vemos que existe una relación directa entre vegetación, precipitación y temperatura mínima, encontrando una CORRELACION ALTA y una significancia de ($p < 0,05$) rechazando la hipótesis nula

5.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares

De acuerdo al objetivo central “**Determinar la relación que existe entre los índices de vegetación y el cambio climático**” se determinó que los valores de NDVI aumentan o disminuyen en función a la precipitación mensual. Para el año 1986 los valores de NDVI presenta una línea de tendencia más estable a lo largo del año con valores más cercanos a 0,1 en comparación con el año 2018 donde los valores de NDVI disminuyen en los meses de julio y agosto con valores de 0,065. De la extensión de los cuerpos de agua calculados mediante el índice “NDWI” se determinó que estos aumentan o disminuyen en función a los acumulados anuales de precipitación. Se concluye que la precipitación, temperatura mínima y los índices de vegetación presentan una correlación alta y una significancia ($< 0,05$) según pearson,

pudiendo la laguna Paucarani ser vulnerable a impactos severos del cambio climático. Los resultados son diferentes si lo comparamos con la investigación de Manchego (2017) “Variabilidad Espacio – Temporal de la Vegetación en la Cuenca Quilca – Chili Durante el Periodo 2005 – 2015” donde mediante el uso de imágenes satelitales landsat en la Cuenca Quilca – Chili, determinó los valores medios de NDVI, presentando el año 2005 valores de 0,107 y el año 2015 valores de 0,131, este resultado podría deberse a que la investigación de Manchego (2017) es para un periodo 10 años y se centra en toda una cuenca, diferente el área de estudio y tiempo de análisis de la presente investigación. Con respecto a la relación de la variable de precipitación con los valores de NDVI nuestra investigación concuerda con Manchego (2017) donde determino que la variable precipitación y temperatura mínima es la que presenta la mayor correlación con los índices de vegetación.

De acuerdo al primer objetivo específico **“Realizar un análisis multitemporal del NDVI para los años 1986, 1995, 2010 y 2018 en la laguna Paucarani – Tacna”** para los años analizados se determinó que los valores medios de NDVI más altos corresponden a los meses de diciembre a mayo, presentando valores iguales o mayores a 0,1. Por otra parte, en los meses de julio y agosto se mostró una disminución, presentando el mes de julio de 1986 el valor de 0,079 y el mes julio de 2018 el valor de 0,065. Esto significaría que la cobertura vegetal de la zona de estudio presenta mayor stress y menor actividad fotosintética lo que podría estar relacionado con disminución de la disponibilidad hídrica, cambios en la frecuencia de precipitación y actividad antrópicas. Por su parte Aldas (2019) en su investigación “Análisis de la Dinámica Temporal del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para los años 1986, 2001 y 2017 en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Imbabura mediante el uso de Google Earth Engine” determinó mediante imágenes satelitales landsat valores medios de NDVI de los años 1986, 1995 y 2017 encontrando que los valores medios mensuales más altos de NDVI corresponden al año 1986, disminuyendo en el año 2001 y 2017 con valores positivos cercanos a 0,1. Comparando los resultados se muestra que los valores medios de NDVI para el año 1986 son mayores en comparación con años más recientes que presentan valores cercanos a 0 lo que estaría relacionado a cambios en la cobertura vegetal debido a efectos del cambio climático y de la actividad antrópica.

Según el segundo objetivo específico planteado “**Realizar un análisis de la temperatura y precipitación en la zona de estudio**” se determinó que los acumulados anuales de precipitación muestran una tendencia a la disminución hacia el final del periodo evaluado, el ciclo de precipitación mensual presenta una variación en su frecuencia, presentando en el año 1986 frecuencias desde el mes de diciembre a abril y para el 2018 desde el mes diciembre a febrero. De la temperatura mínima, se determinó que los promedios anuales muestran una tendencia de aumento a partir del año 2012 con valores menores a $-6,50^{\circ}\text{C}$. De la temperatura máxima, se determinó que los promedios anuales muestran un promedio de $12,92^{\circ}\text{C}$ no presentando tendencias de aumento o disminución. Los resultados de la investigación presentan una similitud a los de Ramos (2018) que en su investigación “” para los últimos 30 años encuentran la misma tendencia con respecto al comportamiento del ciclo pluvial en años más recientes con respecto a décadas anteriores, donde la frecuencia de precipitación empieza en diciembre y termina en marzo, con respecto a los acumulados anuales de precipitación estos presentan un aumento progresivo hacia el final del periodo evaluado, del mismo modo, los promedios anuales de temperatura mínima presentan una tendencia de aumento hacia el final del periodo evaluado. Realizando una comparación de los resultados expuestos con anterioridad se muestra que los ciclos pluviales presentan una disminución, así como los valores de temperatura mínima que presenta un incremento hacia el final del periodo evaluado siendo esto distinto en los acumulados anuales de precipitación que en la investigación de Ramos (2018) presenta un incremento lo que estaría relacionado a la ubicación de la zona de estudio, siendo esta una zona andina tropical en comparación con la presente investigación . Así mismo esta investigación concuerda con Ríos (2018) “Monitoreo del efecto del cambio climático en la huasteca potosina a partir de técnicas de percepción remota y estaciones climatológicas” que analiza imágenes satelitales Landsat y datos de estaciones meteorológicas por 30 años, sus resultados muestran que el 80 % de estaciones meteorológicas presentan un incremento en su temperatura promedio. Visto las investigaciones anteriores podemos concluir que el ciclo de precipitación y la temperatura mínima presentan una variación con respecto a años anteriores situación que estaría relacionado a los efectos del cambio climático.

Según el tercer objetivo específico “**Determinar la relación entre el NDWI y las variables de temperatura y precipitación**” se determinó que la extensión de los cuerpos de agua presenta una relación con los acumulados anuales de precipitación, donde el año 2006 presento un acumulado de $483,5\text{ mm/año}$ con una extensión de

1,728 km² y el año 2014 un acumulado de 215,9 mm/año con una extensión de 0,7479 km². De la extensión de los cuerpos de agua con los valores de temperatura máxima no se encuentra relación alguna. Los resultados de investigación son similares a los encontrados en Rios (2018) "Monitoreo del efecto del cambio climático en la huasteca potosina a partir de técnicas de percepción remota y estaciones climatológicas" que analiza imágenes satelitales Landsat y datos de estaciones meteorológicas de 30 años, donde encuentra variación de las áreas de cuerpo de agua en función al aumento o disminución de los acumulados anuales de precipitación. De acuerdo a la investigación anterior podemos concluir que los acumulados anuales de precipitación son uno de los factores que varían la extensión de los cuerpos de agua.

CONCLUSIONES

De la relación de los índices de vegetación y el cambio climático se evidencia que existe relación directa entre el índice de vegetación "NDVI", precipitación y temperatura mínima encontrando una correlación alta ($< 0,05$) según Pearson, lo que demuestra que las variables climáticas influyen en la vegetación y cuerpos de agua en la laguna Paucarani.

De los años analizados se evidencio una disminución de los valores medios de NDVI para los meses de julio y agosto presentando el año 1986 el valor de 0,079 y el año 2018 el valor de 0,065. Con estos resultados se evidencia una disminución en el vigor de la vegetación para un periodo de 32 años en la laguna Paucarani.

Del ciclo pluvial se mostró que en el año 1986 las frecuencias de precipitación son más extensas en comparación con el año 2018 que presenta mayor intensidad pluvial en los meses de enero y febrero. De los promedios anuales de temperatura mínima se mostró que estos presentan una tendencia de aumento a partir del año 2012 con valores menores a $-6,50$ °C en comparación con la década anterior. De los promedios anuales de temperatura máxima se mostró que estos no presentan una tendencia de variación para el periodo evaluado. Con estos resultados se evidencio que las variables de precipitación y temperatura mínima se asocian al cambio climático.

De la extensión de las áreas de los cuerpos de agua y su relación con las variables de precipitación y temperatura, se mostró que los acumulados anuales de precipitación muestran una relación directa con la extensión de los cuerpos de agua, donde al aumentar o disminuir los acumulados anuales de precipitación los cuerpos de agua también presentan variaciones. Demostrando así que la extensión de los cuerpos de agua de la laguna Paucarani está relacionado con la variación de los acumulados anuales de precipitación.

RECOMENDACIONES

Para posteriores investigaciones, se recomienda tomar muestras in situ de la zona de estudio, seleccionando zonas húmedas y zonas secas para determinar su variabilidad mediante el índice NDVI en el tiempo.

Se recomienda determinar la cantidad de carbono orgánico que presenta la cobertura vegetal de la laguna de Paucarani para conocer su potencial de almacenamiento, así como implementar mecanismos de conservación que beneficien al ecosistema.

Se recomienda implementar un seguimiento a la extensión de los cuerpos de agua mediante el índice NDWI y relacionarlo con las variables de precipitación, temperatura para predecir alertas de déficit hídrico en la laguna Paucarani.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldás Andrade, A. P. (2019). *Análisis De La Dinámica Temporal Del Índice De Vegetación De Diferencia Normalizada (Ndvi) Para Los Años 1986, 2001 Y 2017 En La Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Imbabura, Mediante El Uso De Google Earth Engine*. 166. [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica de Ecuador] Repositorio Institucional – Pontificia Universidad Católica de Ecuador.
- Bravo, F. (2017). *Teledetección espacial Landsat, Sentinel 2, Aster L1T y Modis (PRIMERA ED)*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. https://acolita.com/wp-content/uploads/2018/01/Teledeteccion_espacial_ArcGeek.pdf
- Caballero, M., Lozano, S., Ortega, B. (2005) Efecto invernadero, Calentamiento Global y Cambio Climático: Una Persepctiva desde las Ciencias de la Tierra. *Revista Digital Universitaria*, 8(10). <http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/int78.htm>
- Cárdenas Angulo, C. A. (2020). Análisis de la Dinámica Espacial de la Ciénaga de Betancí durante los años 1985, 2001, 2015 y 2020 mediante imágenes satelitales Landsat. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 23.
- Campos, A., Guerrero, E., y Gines, E. (2018). Evolución de la cobertura vegetal en el parque nacional de cerros de amotape de tumbes utilizando el indice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI): 2000 - 2014. *Revista de Investigación Científica Universidad Nacional de Tumbes, Perú*, 15(1), 47–56.
- Castillo Rojas, H. (2019). *Procesamiento de imágenes satelitales landsat 5 TM, 7 ETM+, 8 OLI y los indices de vegetacion, para la caracterización de las coberturas vegetales en los distritos de Cajamarca*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Federico Villareal]. Repositorio Institucional – Universidad Federico Villareal.
- Chantre Velasco, M. (2017). *Analisis comparativo de cambios de area en coberturas en la parte alta de la subcuenca rio palacé, a traves de imágenes landdat entre 1989 y 2016*. [Trabajo de grado, Universidad de Manizales]. Repostorio Institucional – Universidad de Manizales.

- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de teledetección espacial*. RIALP, S.A.
- Díaz González, F., Quintero Torres, S., Triana Correa, J., y Morón Hernández, D. (2014). *Aproximación a los sistemas de percepción remota en satélites pequeños*. Universidad Sergio Arboleda.
- Escobar, C., & Guarín, A. (2018). *Análisis de los procesos de desertificación a partir de cambio multitemporal en la cobertura y uso del suelo en la cuenca media del Río Chicamocha, Colombia*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. Repositorio Institucional – Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
- Gilabert, M. A., Gonzáles-Piqueras, J., y García-Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). *Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Gonzaga Aguilar, C. (2014). *Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM + y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia De Loja, Ecuador*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de la Plata]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de la Plata.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (2006). Los Sistemas de Información Geográfica. *Geoenseñanza*, 11(1), 107–116.
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de Síntesis. In *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.
- Lozano, J. L. (2016). *Evaluación del impacto de uso de suelos según el índice de vegetación de diferencia normalizada, mediante imágenes satelitales en el Distrito de Tambillo, Ayacucho, 2000 - 2014*. [Tesis de Maestría – Universidad Nacional San Cristobal de Huamánaga] <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1278>
- Manchego, M. G. (2017). *Variabilidad Espacio Temporal de la Vegetación en la Cuenca Quilca - Chili durante el periodo 2005 - 2015*. [Trabajo de grado, Universidad Nacional de San Agustín]. Repositorio Institucional – Universidad

Nacional de San Agustín.

Ministerio del Ambiente (2018). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú*.

Muñoz, P. (2013). Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación. *Centro de Informaición de Recursos Naturales*.
<http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/26389>

Navia, J. A., y Rivera, L. E. (2016). *Análisis Multitemporal de Coberturas en la Subzona Hidrográfica Alto Río Cauca Utilizando Imágenes Satelitales Landsat*. [Trabajo de grado, Universidad de Manizales].
<http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/2806>

Ordoñez Hoyos, A. E. (2015). *Analisis superficial y multitemporal de imágenes Landsat 7 ETM + y Landsat 8 OLI TIRS en el proyecto carbonifero la luna entre los años 2001 y 2015*. [Trabajo de grado, Universidad de Manizales].
<http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/2523>

Paula, P. A., Zambrano, L., & Paula, P. (2018). Análisis Multitemporal de los cambios de la vegetación , en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático. *Enfoque UTE*, 9(2), 125–137.

Piazzese, J., y Oñate, E. (2004). Metodología para la obtención de información geográfica, geofísica y geo - ambiental desde imágenes satelitales. Research Report. https://www.scipedia.com/public/Piazzese_Oñate_2003a

Poff, L., Brinson, M., & Day, J. (2002). Aquatic ecosystems & Global climate change: Potential Impacts on Inland Freshwater and Coastal Wetland Ecosystems in the United States. United States: Pew Center on Global Climate Change

Ramos, C. S. (2018). *Variación espacio - temporal de los ecosistemas de humedales altoandinos en el anexo de chahuanca del Distrito de Yanque (Caylloma, Arequipa) entre los años 1986 - 2016* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Reuter, F. (2009). *Principios de teledetección*. Serie Didáctica No 33. Catedra de Teldetección y Cartografía. Facultad de Ciencias Forestales – Uiversidad Nacional Santiago de Estero. <http://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/SD-33-Principios-teledeteccion-REUTER.pdf>

Rios, D. (2018). *Monitoreo del efecto del cambio climático en la huastequa potosina a partir de tecnicas de percepción remota y estaciones climatológicas*. [Tesis de

pregadro, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica]
Respositorio del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica]

Sanchez, L. (2017). *Elaboración de un índice de calidad ambiental (ICA), enfocado al sector urbano de la ciudad de Cuenca utilizando teledetección y análisis espacial*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca].
http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27524/1/TESIS_SANCHEZ_LUIS.pdf

Schomwandt, D. (2015). *Teledetección aplicada a las ciencias agronómicas y recursos naturales*.

Silva, C., y Rivera, M. (2016). *Diagnostico multitemporal y generación de un plan de acción, adaptación y mitigación para las zonas de desertificación y degradación del Cerro Nitón, Parroquia Chiquicha Cantón Pelileo*. [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/6224/1/236T0233.PDF>

Therburg, A., D’Inca, V., y López, M. (2005). Modelo de indicadores ambientales. *Proyección*, 1(3).

Torralba Pérez, J. (2013). *Generación de algoritmo para la identificación de Alerce (Fitzroya Cupressoides) mediante análisis de imágenes hiperespectrales en el lago Tagua-Tagua, X Región, Chile*. [Proyecto final de grado, Universidad de Castilla - La Mancha]
https://www.researchgate.net/publication/332188185_Generacion_de_algoritmo_para_la_identificacion_de_Alerce_Fitzroya_Cupressoides_mediante_analisis_de_imagenes_hiperespectrales_en_el_lago_Tagua-Tagua_X_Region_Chile

Turpo Cayo, E. (2018). *Modelagem de mudancas espaco-temporais de ambientes glaciais dos andes do sul-PERU*. [Tesis de Postgrado, Universidade Estadual de Feira de Santana] Repostorio de Universidade Estadual de Feira de Santana-

Turpo Cayo, E., Espinoza Villar, R., Rios, S., & Moreno, C. (2018). *Mapeo Multitemporal de Cuerpos de Agua y Area Urbana en los Andes del Perú Usando Imágenes Landsat en la Plataforma Google Earth Engine, Periodo 1984 - 2018*. 3569–3572.

U.S. Geological Survey. (2016). Landsat - Earth Observation Satellites. En *Landsat Missions Timeline*. <https://doi.org/10.1177/0033688205055578>

- Young, N. E., Anderson, R., Chignell, S., Vorster, A., Lawrence, R., & Evangelista, P. H. (2017). A survival guide to Landsat preprocessing. *Ecology*, 98(4), 920–932. <https://doi.org/10.1002/ecy.1730>
- Yufra, S. (2010). *Evaluación de la Vulnerabilidad Ecológica Mediante un Análisis Temporal de Imágenes Satelitales Landsat 5 en los Humedales Altoandinos de Tacna*. [Tesis de Pregrado no publicada]. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Zeballos, G., Soruco, Á., Cusicanqui, D., Joffré, R., & Rabatel, A. (2014). Uso de imágenes satelitales, modelos digitales de elevación y sistemas de información geográfica para caracterizar la dinámica espacial de glaciares y humedales de alta montaña en Bolivia. *Ecología En Bolivia*, 49(3), 14–26.
- Zhiminaicela Cabrera, J., Quevedo-Guerrero, J., & Morocho-Castillo, A. (2020). Deforestación y cambios en la cobertura vegetal del archipiélago de Jambelí, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 8. *Manglat*, 17(3), 282. <https://doi.org/10.2307/40087073>

ANEXOS**ANEXO 1****Tabla 11***ID de Imágenes descargadas con el visor GLOVIS*

ID Imagen	Fecha
LT05_L1TP_002072_19860518_20170217_01_T1	1986 – 05 – 18
LT05_L1TP_002072_19860907_20170216_01_T1	1986 – 09 – 07
LT05_L1TP_002072_19950409_20170108_01_T1	1995 – 04 – 09
LT05_L1TP_002072_19950831_20170106_01_T1	1995 – 08 – 31
LE07_L1TP_002072_20000414_20170212_01_T1	2000 – 04 – 14
LE07_L1TP_002072_20000804_20170210_01_T1	2000 – 08 – 04
LT05_L1TP_002072_20050420_20170106_01_T1	2005 – 04 – 20
LT05_L1TP_002072_20050810_20161124_01_T1	2005 – 08 – 10
LT05_L1TP_002072_20100504_20161015_01_T1	2010 – 05 – 04
LT05_L1TP_002072_20100925_20161013_01_T1	2010 – 09 – 25
LC08_L1TP_002072_20140413_20170423_01_T1	2014 – 04 – 13
LC08_L1TP_002072_20140819_20170420_01_T1	2014 – 08 – 19
LC08_L1TP_002072_20180510_20180517_01_T1	2018 – 05 – 10
LC08_L1TP_002072_20181001_20181010_01_T1	2018 – 10 – 01

Tabla 12*ID de Imágenes seleccionadas de la plataforma Google Earth Engine*

ID imagen	Fecha
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19860518	1986 – 05 – 18
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19860907	1986 – 09 – 07
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19950409	1995 – 04 – 09
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19950831	1995 – 08 – 31
LANDSAT/LE07/C01/T1_SR/LT07_002072_20000414	2000 – 04 – 14
LANDSAT/LE07/C01/T1_SR/LT07_002072_20001804	2000 – 08 – 04
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_20050420	2005 – 04 – 20
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_20050810	2005 – 08 – 10
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_20100504	2010 – 05 – 04
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_20100925	2010 – 09 – 25
LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_002072_20140413	2014 – 04 – 13
LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_002072_20140819	2014 – 08 – 19
LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_002072_20180510	2018 – 05 – 10
LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_002072_20180801	2018 – 10 – 01

Tabla 13

ID de Imágenes satelitales utilizadas para el año 1986

ID imagen	Fecha
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19860518	18 - 05 - 1986
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19860705	05 - 07 - 1986
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19860721	21 - 07 - 1986
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19860806	06 - 08 - 1986
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19860907	07 - 09 - 1986
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19861009	09 - 10 - 1986
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19861025	25 - 10 - 1986
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19861110	10 - 11 - 1986
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19861126	26 - 11 - 1986

Tabla 14

ID de Imágenes satelitales utilizadas para el año 1995

ID imagen	Fecha
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19950425	25 - 04 - 1995
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19950511	11 - 05 - 1995
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19950527	27 - 05 - 1995
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19950612	12 - 06 - 1995
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19950628	28 - 06 - 1995
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19950730	30 - 07 - 1995
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19950831	31 - 08 - 1995
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19951018	18 - 10 - 1995
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19951103	03 - 11 - 1995
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_19951221	21 - 12 - 1995

Tabla 15
ID de Imágenes satelitales utilizadas para el año 2010

ID imagen	Fecha
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_20100504	04 - 05 - 2010
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_20100520	20 - 05 - 2010
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_20100707	07 - 07 - 2010
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_20100723	23 - 07 - 2010
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_20100808	08 - 08 - 2010
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_20100824	24 - 08 - 2010
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_20100909	09 - 09 - 2010
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_20100925	25 - 09 - 2010
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_002072_20101214	14 - 12 - 2010

Tabla 16
ID de Imágenes satelitales utilizadas para el año 2018

ID imagen	Fecha
LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_002072_20180102	02 - 01 - 2018
LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_002072_20180219	19 - 02 - 2018
LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_002072_20180408	08 - 04 - 2018
LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_002072_20180510	10 - 05 - 2018
LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_002072_20180526	26 - 05 - 2018
LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_002072_20180729	29 - 07 - 2018
LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_002072_20180814	14 - 08 - 2018
LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_002072_20180915	15 - 09 - 2018
LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_002072_20181001	01 - 10 - 2018
LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_002072_20181118	18 - 11 - 2018

ANEXO 2

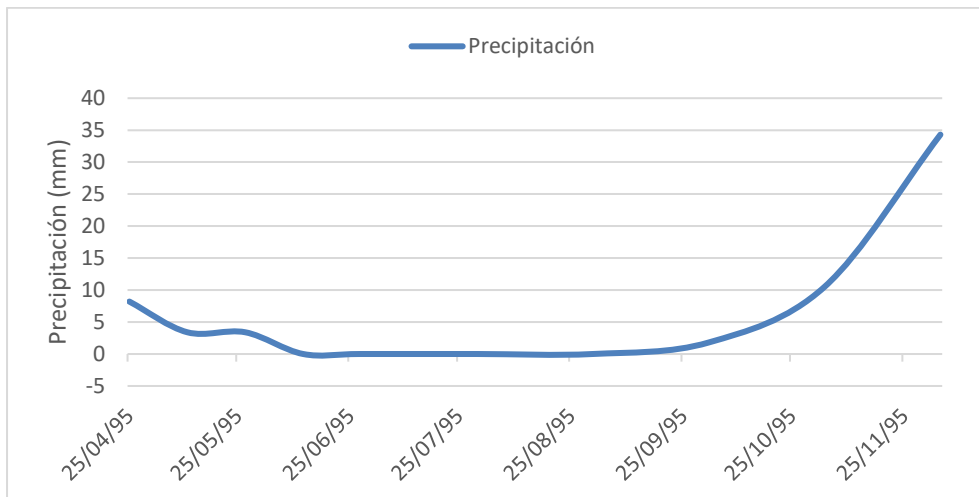
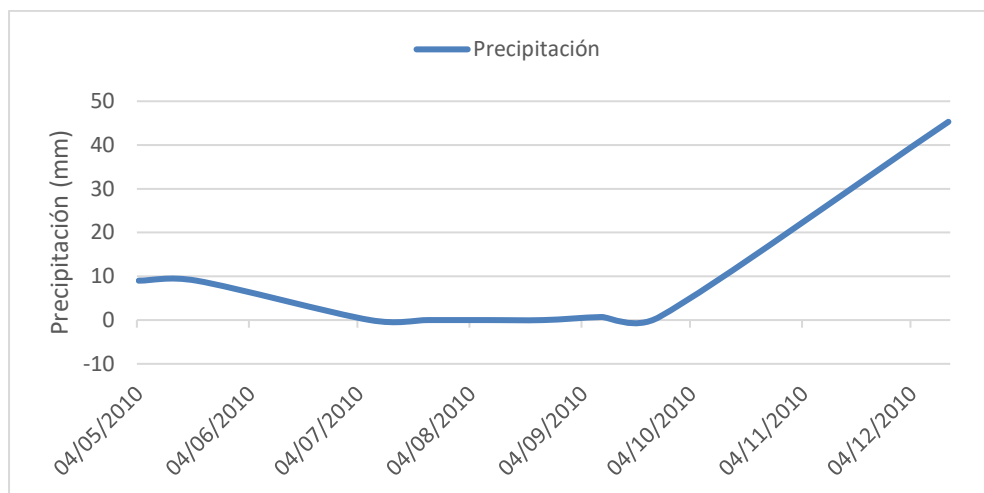
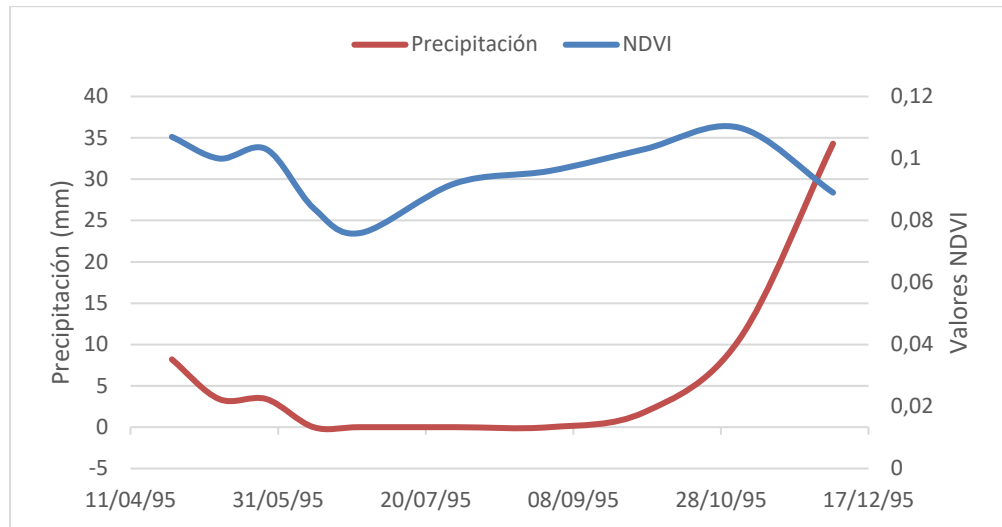
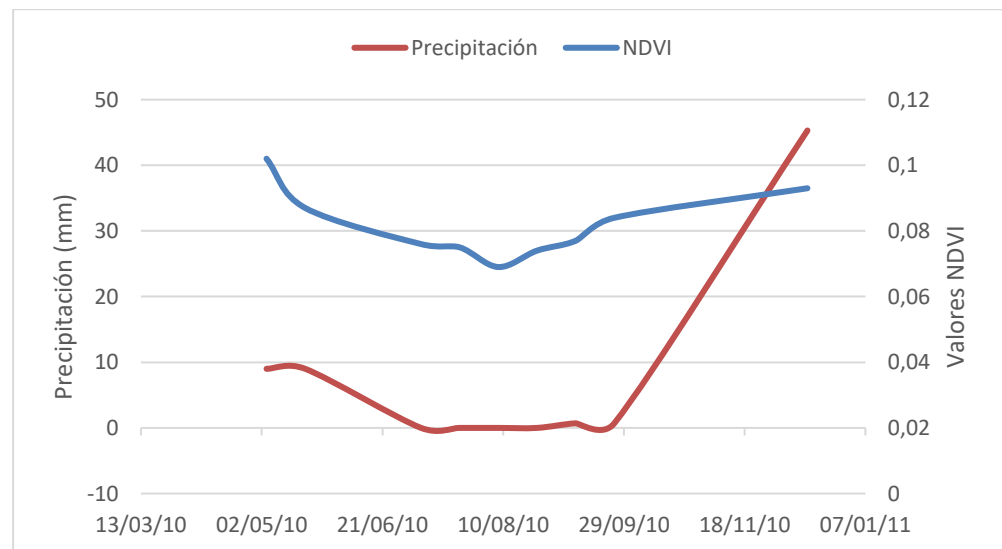
Figura 37*Valores de precipitación mensual para el año 1995***Figura 38***Valores de precipitación mensual para el año 2010*

Figura 39

Relación de valores de precipitación y NDVI para el año 1995

**Figura 40**

Relación de valores de precipitación y NDVI para el año 2010



ANEXO 3

Figura 33
Mapa índice NDWI para el año 1986

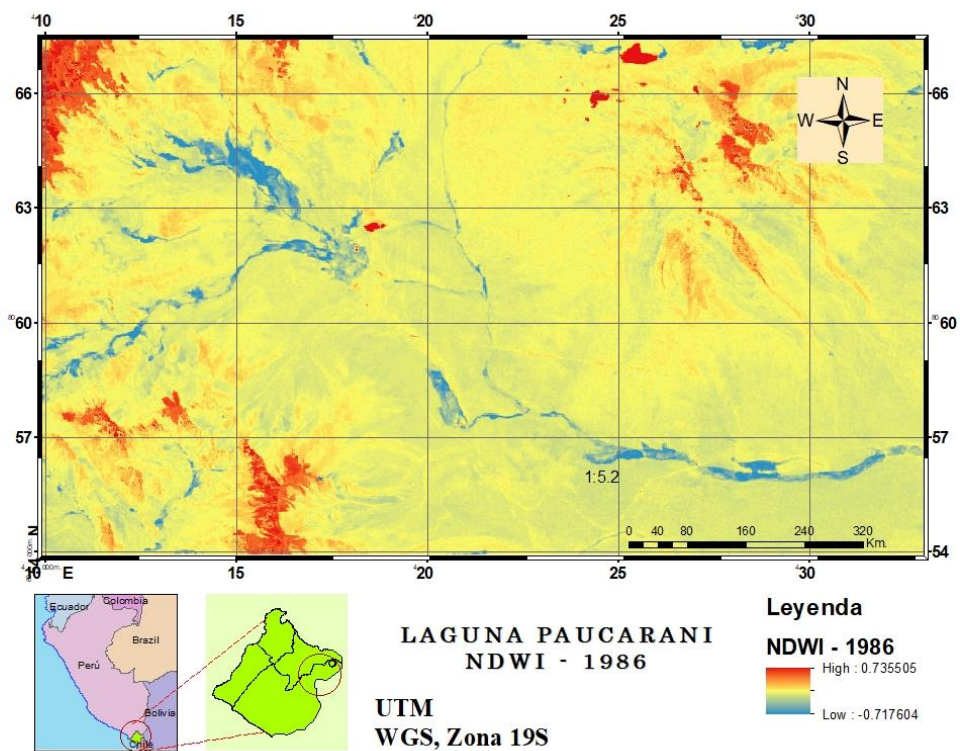


Figura 34
Mapa índice NDWI para el año 2003

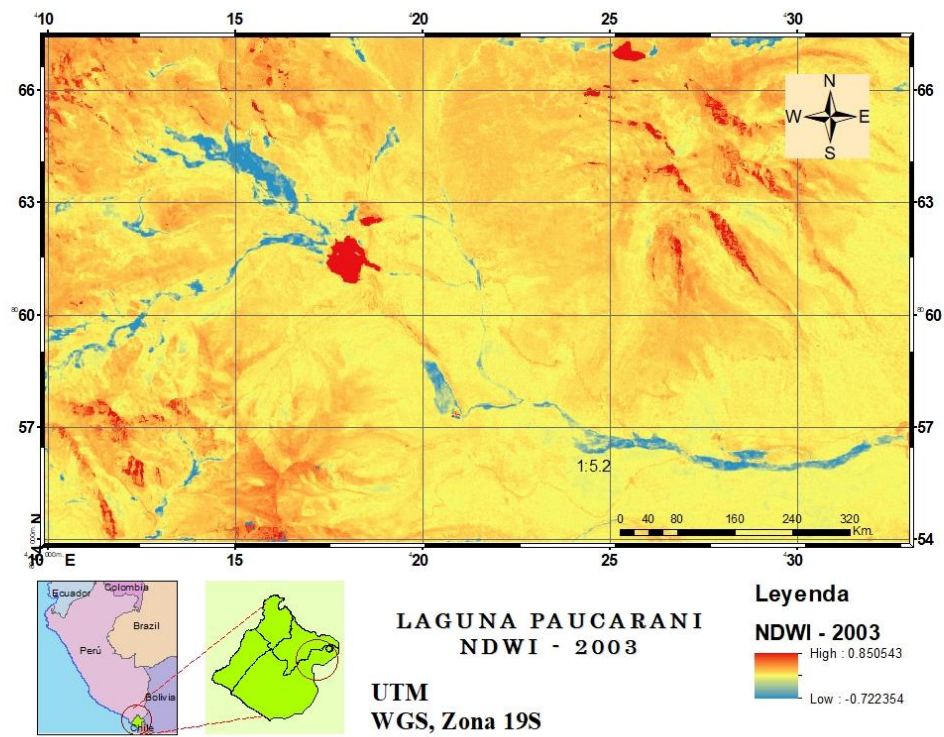


Figura 35
 Mapa índice NDWI para el año 2005

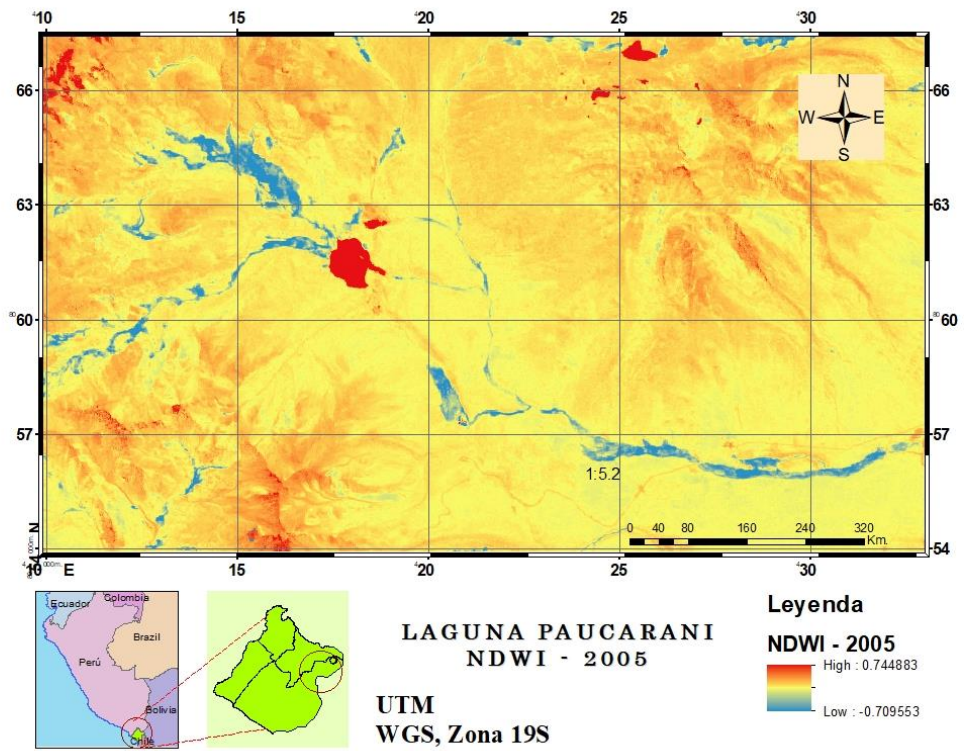


Figura 36
Mapa índice NDWI para el año 2008

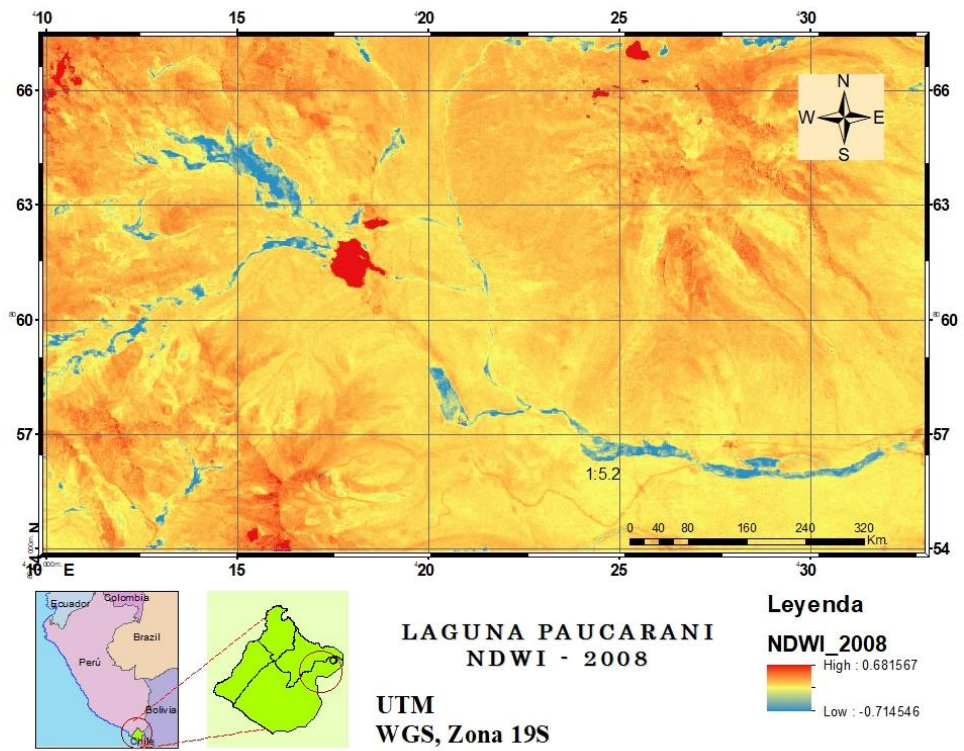


Figura 37
 Mapa índice NDWI para el año 2010

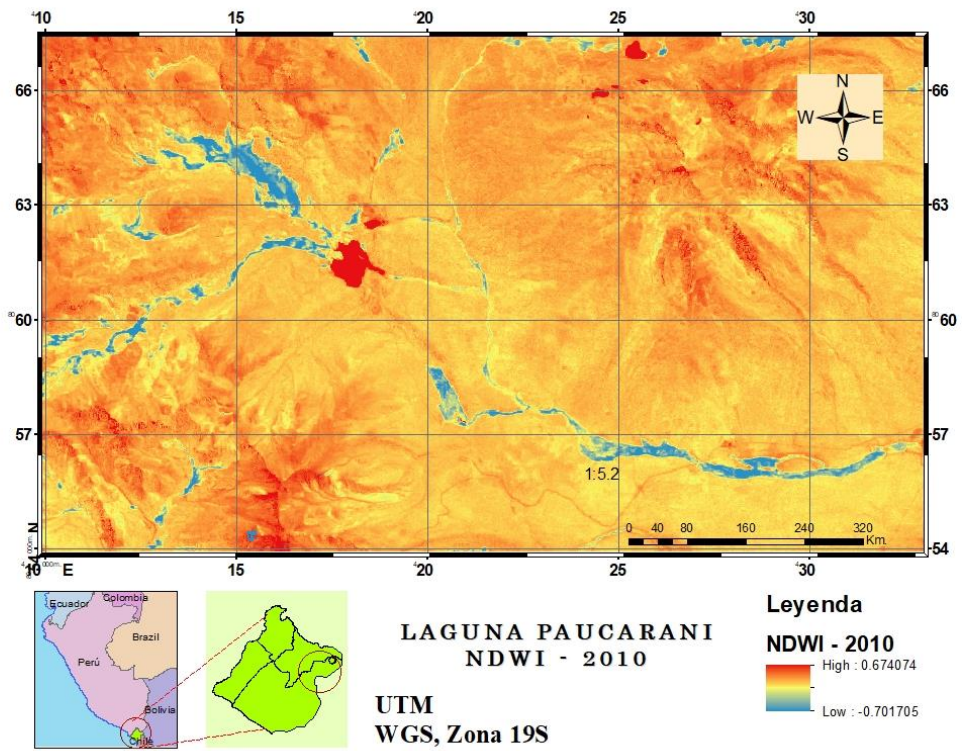
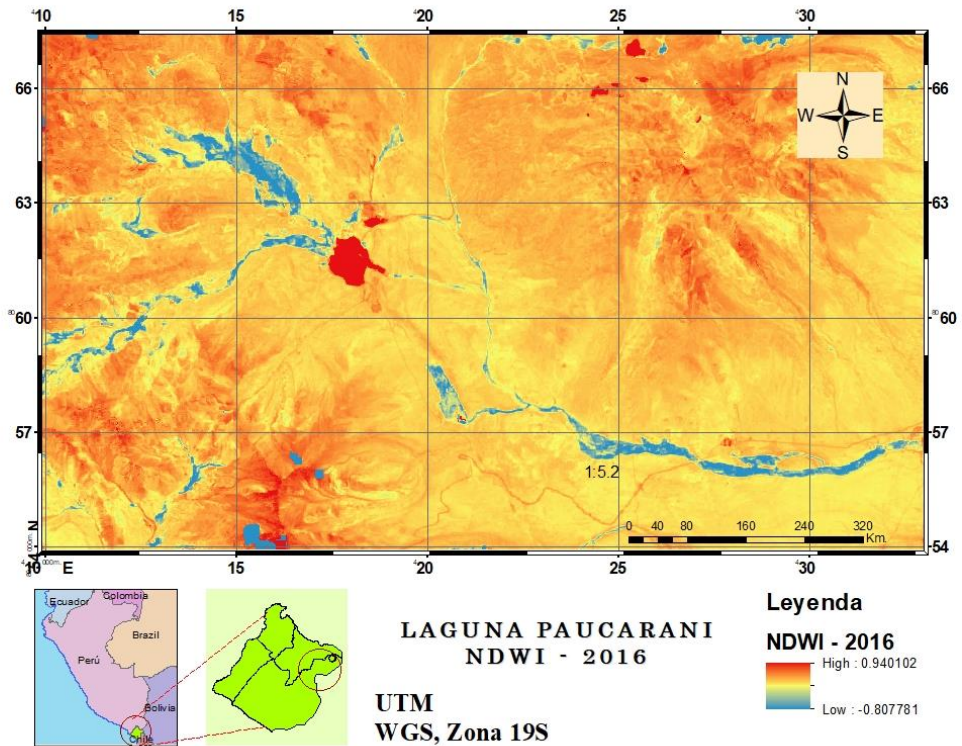


Figura 38
 Mapa índice NDWI para el año 2016



ANEXO 4
MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título Probable	Determinar la relación entre los índices de vegetación y el cambio climático, haciendo una evaluación multitemporal de imágenes Landsat durante el periodo 1972 - 2018, en la laguna Paucarani – Tacna					
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Dimensión	Indicador	Metodología
¿Qué relación existe entre los índices de vegetación y el cambio climático, en la laguna Paucarani – Tacna?	Determinar la relación que existe entre los índices de vegetación y el cambio climático, haciendo una evaluación multitemporal de imágenes Landsat durante el periodo de 1972 – 2018, en la laguna Paucarani, Tacna.	H: Existe relación entre los índices de vegetación y el cambio climático en la laguna Paucarani. Tacna	Variables Independientes: - Valores de Pixel de imágenes de satélite. - Valores de Precipitación (mm) - Valores de temperatura máxima y temperatura mínima (°C)	laguna Paucarani – Tacna	Valores de Pixel de imágenes de satélite Valores de Precipitación mensual y anual (mm) Valores de temperatura mensual y anual (°C)	Correlación de Pearson y superposición de variables de precipitación y temperatura y NDVI de la laguna Paucarani.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		Dimensión	Indicador	Metodología
¿Cómo es el comportamiento de NDVI de la laguna Paucarani?	Realizar un análisis multitemporal de NDVI para los años 1986, 1995, 2010 y 2018	Es posible determinar el comportamiento del NDVI en la laguna Paucarani	Variable Dependientes - Valores de índice de vegetación “NDVI” - Extensión de los cuerpos de agua (km ²)	laguna Paucarani – Tacna	Valores de NDVI	Procesamiento de imágenes satelitales Landsat, generación de algoritmo de serie temporal Procesamiento de información de temperatura y precipitación, generación de tablas.
¿Cómo los valores de temperatura y precipitación se asocian al cambio climático para la laguna de Paucarani?	Realizar un análisis de temperatura y precipitación en la laguna Paucarani.	Los valores de temperatura y precipitación se asocian al cambio climático				

¿Cómo es el comportamiento del NDWI en la laguna Paucarani?	Determinar la relación entre el NDWI y las variables de temperatura y precipitación en la laguna Paucarani	Es posible determinar el comportamiento del NDWI en la laguna Paucarani			Extensión de Cuerpos de agua (Km ²)	Procesamiento de imágenes satelitales Landsat, generación de índice NDWI y áreas de cuerpos de agua.
---	--	---	--	--	---	--