



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y**  
**AGRIMENSURA**



**ESPACIO-TEMPORAL DEL ÁREA DE ESPEJO DE AGUA Y  
VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA CUENCA ILPA,  
DETERMINADOS MEDIANTE LA PLATAFORMA DE GEE  
ENTRE LOS AÑOS 1990 – 2020**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. FREDY QUENTA JULI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



NOMBRE DEL TRABAJO

**ESPACIO-TEMPORAL DEL ÁREA DE ESP  
EJO DE AGUA Y VARIABILIDAD CLIMÁTI  
CA EN LA CUENCA ILPA, DETERMINADO  
S MEDIANTE LA PLATAFORMA DE GEE  
ENTRE LOS AÑOS 1990 - 2020**

AUTOR

**FREDY QUENTA JULI**

RECuento DE PALABRAS

**26188 Words**

RECuento DE CARACTERES

**125267 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**118 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.7MB**

FECHA DE ENTREGA

**Aug 7, 2023 6:55 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Aug 7, 2023 6:56 AM GMT-5**

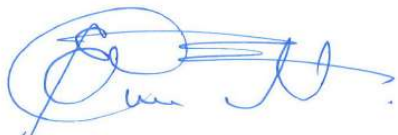
● **15% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 5% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado

  
Elmer Elío Calizaya (Calap)  
42924051  
Asesor / Director

  
M. Sc. Luis Alberto Mamani Huanca  
SUBDIRECTOR DE INVESTIGACIÓN  
EPITA - FCA



## DEDICATORIA

Doy gracias a Dios, quien me ha obsequiado el don supremo de la vida, ha infundido en mí fortaleza y sabiduría, y me ha sostenido con su amor inquebrantable durante el curso de mis días.

A mi padre Gregorio y mi madre Alicia, cuyos consejos y amor incondicional han sido los pilares fundamentales que han permitido moldear mi formación profesional. Les estoy eternamente agradecido por su apoyo constante.

Extiendo mi gratitud a mis hermanos, cuya paciencia, apoyo, motivación y comprensión han sido esenciales durante mi vida. Su aliento ha sido un faro en los momentos de oscuridad.

Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento a mis queridos amigos, con quienes he compartido momentos inolvidables y gratificantes. En especial, a Lizbeth, cuya amistad ha sido una fuente de alegría y motivación constante.

**Quenta Juli, Fredy**



## AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, y en particular a la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura.

A los docentes de esta prestigiosa institución que fueron la fuente de conocimiento y valores que han moldeado mi desarrollo profesional.

Mi más sincero agradecimiento a mi asesor, Ph.D. Elmer Elio Calizaya Llatasi, cuya guía y disposición para orientarme fue fundamental en la elaboración de esta tesis.

Además, quiero expresar mi gratitud al Ing. Efraín Yury Turpo Cayo, cuya dirección ha sido esencial para dar vida a esta investigación. Por su apoyo y conocimientos han sido un recurso invaluable en este viaje de descubrimiento.

Finalmente, quiero agradecer a los miembros del jurado: M.Sc. Alberto Ramos Vilca, D.Sc. Néstor Quispe Condori e Ing. Saul Sardón Flores. Por sus valiosas instrucciones y orientaciones han sido imprescindibles para la culminación de esta tesis.

A todos ustedes, mi más profundo respeto y gratitud.

**Quenta Juli, Fredy**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 12**

**ABSTRACT..... 13**

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 15**

**1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 17**

1.2.1 Problema General..... 17

1.2.2 Problemas específicos ..... 17

**1.3 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN ..... 17**

1.3.1 Hipótesis general..... 17

1.3.2 Hipótesis específicas ..... 18

**1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 18**

1.4.1 Objetivo general ..... 18

1.4.2 Objetivos específicos ..... 18

## **CAPITULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 ANTECEDENTES..... 19**

2.1.1 Antecedentes internacionales ..... 19

2.1.2 Antecedentes nacionales ..... 22



2.1.3	Antecedentes locales .....	25
<b>2.2</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>27</b>
2.2.1	Hidrología .....	27
2.2.2	Ciclo hidrológico.....	27
2.2.3	Cuenca hidrográfica .....	27
2.2.4	Cambio climático .....	28
2.2.5	Variabilidad climática .....	29
2.2.6	Precipitaciones satelitales.....	30
2.2.7	Uso de suelo .....	37
2.2.8	Normalized Difference Water Index(NDWI) .....	40
2.2.9	Reducción de escala (Downscaling) .....	41
2.2.10	Métodos de dowscaling.....	42
2.2.11	Percepción remota.....	42
2.2.12	Teledetección .....	43
2.2.13	Programa Landsat.....	43
2.2.14	Imágenes satelitales Landsat 5 .....	44
2.2.15	Imágenes satelitales Landsat 7 .....	45
2.2.16	Imágenes satelitales Landsat 8 .....	47
2.2.17	Google Earth Engine .....	48
2.2.18	Matriz de confusión.....	49

### **CAPITULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1</b>	<b>CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>52</b>
<b>3.2</b>	<b>UBICACIÓN GEOGRAFICA.....</b>	<b>52</b>
<b>3.3</b>	<b>UBICACIÓN POLÍTICA .....</b>	<b>53</b>
<b>3.4</b>	<b>EXTENSIÓN SUPERFICIAL.....</b>	<b>53</b>



<b>3.5</b>	<b>MATERIALES E INSTRUMENTOS .....</b>	<b>53</b>
3.5.1	Materiales .....	53
3.5.2	Equipos.....	53
3.5.3	Sotfware .....	54
<b>3.6</b>	<b>METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>54</b>
3.6.1	Tipo de investigación .....	54
<b>3.7</b>	<b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>54</b>
3.7.1	Enfoque de investigación .....	54
<b>3.8</b>	<b>MÉTODOS ESTADÍSTICOS .....</b>	<b>55</b>
3.8.1	Estadística de prueba.....	55
3.8.2	Error de muestra y nivel de confianza.....	55
3.8.3	Población.....	55
3.8.4	Muestra.....	55
<b>3.9</b>	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO .....</b>	<b>56</b>
3.9.1	Planeamiento del proyecto de investigación .....	57
<b>3.10</b>	<b>PROCESO METODOLÓGICO .....</b>	<b>58</b>
3.10.1	Recolección de datos de áreas de espejo de agua en la cuenca Ilppa ...	58
3.10.2	Validación de espejo de agua en la cuenca Ilpa .....	65
3.10.3	Recolección de información de datos para la variabilidad climática ....	69
3.10.4	Validación por el método estadístico para datos de variabilidad climática.....	76
3.10.5	El ritual de la significancia estadística para la validación.....	78
<b>3.11</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....</b>	<b>81</b>
3.11.1	Nivel de alcance correlacional .....	81
3.11.2	Nivel de significancia.....	81
3.11.3	Prueba de Normalidad.....	81



3.11.4	Correlación de Pearson (Prueba estadística paramétrica) .....	82
3.11.5	Correlación de Spearman (Prueba estadística no paramétrica).....	82

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>4.1</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>83</b>
4.1.1	Prueba de normalidad en los datos recopilados .....	89
4.1.2	El ritual de la significancia estadística para el objetivo específico N°1	91
4.1.3	El ritual de la significancia estadística para el objetivo específico N°2	93
<b>4.2</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>95</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>98</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>105</b>

**Área** : Sistemas de Información geográfica

**Tema** : Recursos Hídricos

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 10 de agosto del 2023





## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Cuenca hidrológica e hidrográfica .....	28
<b>Figura 2</b>	Base de datos de estaciones utilizadas para el producto PISCO .....	32
<b>Figura 3</b>	Cronología de las misiones Landsat.....	44
<b>Figura 4</b>	Catálogo de datos públicos Google Earth Engine .....	49
<b>Figura 5</b>	Matriz de confusión.....	50
<b>Figura 6</b>	Localización geográfica de la cuenca Ilppa .....	52
<b>Figura 7</b>	Diagrama de flujo “Metodología de trabajo” .....	56
<b>Figura 8.</b>	Planeamiento del proyecto de investigación.....	57
<b>Figura 9</b>	Google Earth Engine API.....	59
<b>Figura 10</b>	Google Earth Engine API.....	59
<b>Figura 11</b>	Google Earth Engine API .....	60
<b>Figura 12</b>	Google Earth Engine API .....	61
<b>Figura 13</b>	Google Earth Engine API .....	62
<b>Figura 14</b>	Google Earth Engine API .....	63
<b>Figura 15</b>	Google Earth Engine API .....	63
<b>Figura 16</b>	Puntos de muestreo.....	68
<b>Figura 17</b>	Prueba de normalidad en SPSS .....	79
<b>Figura 18</b>	Grado de correlación Rho de Spearman en SPSS .....	80
<b>Figura 19</b>	Curva doble masa .....	80
<b>Figura 20</b>	Promedio de área de espejo de agua en la cuenca Ilpa.....	85
<b>Figura 21</b>	Promedio de áreas de espejo de agua en la Cuenca Ilpa .....	85
<b>Figura 22</b>	Precipitación anual acumulada.....	87
<b>Figura 23</b>	Datos de temperatura promediada.....	89
<b>Figura 24</b>	Área de espejo de agua (Km <sup>2</sup> ) vs Precipitación anual acumulada (mm).....	93
<b>Figura 25</b>	Área de espejo de agua vs Temperatura media promediada .....	95



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Colecciones de imágenes Landsat .....	60
<b>Tabla 2</b>	Clasificación por periodos .....	61
<b>Tabla 3</b>	Área de espejo de agua en la cuenca Ilpa (km <sup>2</sup> ).....	64
<b>Tabla 4</b>	Matriz de confusión para el periodo I - 2020.....	65
<b>Tabla 5</b>	Coefficiente kappa periodo I - 2020.....	66
<b>Tabla 6</b>	Matriz de confusión para el periodo II - 2020 .....	66
<b>Tabla 7</b>	Coefficiente kappa para el periodo II - 2020 .....	66
<b>Tabla 8</b>	Matriz de confusión para el periodo III - 2020.....	66
<b>Tabla 9</b>	Coefficiente kappa periodo III - 2020 .....	67
<b>Tabla 10</b>	Datos de precipitaciones mensuales acumuladas 1990 - 2020 .....	71
<b>Tabla 11</b>	Datos de temperatura media promediada 1990 - 2020 .....	74
<b>Tabla 12</b>	Precipitación mensual acumulada Estación Mañazo vs Precipitación mensual acumulada Producto PISCO 2017 - 2020.....	76
<b>Tabla 13</b>	Información de área de espejo de agua 1990- 2020.....	84
<b>Tabla 14</b>	Datos de precipitación anual acumulada .....	86
<b>Tabla 15</b>	Datos de temperatura promediada (°C) .....	88
<b>Tabla 16</b>	Prueba de normalidad .....	90
<b>Tabla 17</b>	Prueba de normalidad .....	90
<b>Tabla 18</b>	Correlación de Rho de Spearman Área de espejo de agua vs Precipitación anual acumulada.....	92
<b>Tabla 19</b>	Correlación de Rho de Spearman Área de espejo de agua vs Temperatura media promediada .....	94



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- SENAMHI** : Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
- PISCO** : Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations (Datos peruanos interpolados de las Observaciones Climatológicas e Hidrológicas del SENAMHI)
- ONU** : Organización de las Naciones Unidas
- FAO** : Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- IPCC** : Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático
- NDWI** : Normalized Difference Water Index NDWI (Índice Normalizado de Diferencia de Agua)
- GGE** : Google Earth Engine



## RESUMEN

Esta investigación se centra cómo altera la variabilidad climática en la cuenca Ilpa, ubicada dentro de los distritos de Mañazo, Vilque, Tiquillaca, Atuncolla, Cabana y Paucarcolla en la Provincia de Puno y San Roman, del departamento de Puno. El objetivo fue determinar la correlación entre el área de espejo de agua y la variabilidad climática en la cuenca Ilpa, determinados mediante la plataforma GEE, durante el periodo de 1990 a 2020. Por ende, se investigó el efecto de la precipitación anual acumulada y la temperatura media promediada sobre el área de espejo de agua. La metodología consistió en identificar las áreas de espejo de agua (lagunas y lagos) utilizando la plataforma GEE y reclasificando el NDWI. Se creó una colección de mosaicos de imágenes anuales de píxeles medianos, usando las imágenes de satélite Landsat. Para la recopilación de datos de precipitación anual acumulada, se obtuvo información del producto grillado de PISCOp y PISCOh. Asimismo, para los datos de temperatura media promediada se obtuvieron a través del método de downscaling utilizando los datos de Terraclimate y los datos grillados de PISCOt. Como resultado de la correlación entre el área de espejo de agua y la precipitación anual acumulada, se obtuvo un valor p de Spearman de 0.000064 (0.0064%) y un valor Rho de Spearman de 0.655. Además, para la temperatura media promediada, se obtuvo un valor p de Spearman de 0.385 (38.5%) y un valor Rho de Spearman de -0.162. En conclusión, tras analizar los resultados, se puede interpretar que existe menos de un 0.0064% de probabilidad de error al afirmar que existe correlación entre el área de espejo de agua y la precipitación anual acumulada, y con un Rho de Spearman de 0.655, que indica una correlación positiva considerable. Por último, para la correlación entre el área de espejo de agua y la temperatura media promediada, el valor p de Spearman es 0.385 (38.5%) y el valor Rho de Spearman es -0.162, lo que indica que no existe una correlación entre el área de espejo de agua y la temperatura media promediada.

**Palabras claves:** Espejo de agua, Precipitaciones, Temperatura, Google earth engine, Terraclimate.



## ABSTRACT

This research focuses on how climate variability alters in the Ilpa basin, located within the districts of Mañazo, Vilque, Tiquillaca, Atuncolla, Cabana, and Paucarcolla in the Province of Puno and San Roman, in the department of Puno. The objective was to determine the correlation between the water body area and climate variability in the Ilpa basin using the GEE platform, during the period from 1990 to 2020. Therefore, the effect of accumulated annual precipitation and average temperature on the water body area was investigated. The methodology involved identifying water body areas (lakes and lagoons) using the GEE platform and reclassifying the NDWI. A collection of annual mosaic images of median pixels was created using Landsat satellite images. For the collection of accumulated annual precipitation data, information from the gridded product of PISCOp and PISCOh was obtained. Likewise, data for average temperature was obtained using the downscaling method, with Terraclimate data and gridded data from PISCOt. As a result of the correlation between the water body area and accumulated annual precipitation, a Spearman p-value of 0.000064 (0.0064%) and a Spearman Rho value of 0.655 were obtained. Additionally, for average temperature, a Spearman p-value of 0.385 (38.5%) and a Spearman Rho value of -0.162 were obtained. In conclusion, after analyzing the results, it can be interpreted that there is less than 0.0064% probability of error in stating that there is a correlation between the water body area and accumulated annual precipitation, with a Spearman Rho of 0.655, indicating a considerable positive correlation. Finally, for the correlation between the water body area and average annual temperature, the Spearman p-value is 0.385 (38.5%) and the Spearman Rho value is -0.162, indicating that there is no correlation between the water body area and average temperature.

**Keywords:** Water surface, Precipitation, Temperature, Google Earth Engine, Terraclimate.



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento de gran importancia en el medio ambiente a nivel mundial, es vital que se cuide y conserve tanto de manera natural como a través de la intervención humana. Desde tiempos antiguos, los seres humanos han tratado de encontrar formas de almacenar grandes cantidades de agua, lo que condujo a la creación de embalses. Los embalses son una acumulación artificial de agua en un entorno natural, construida por el ser humano con el fin de utilizarla.

Perú cuenta con una amplia diversidad de cuerpos de agua como ríos, lagos y lagunas, los cuales son esenciales para el desarrollo de las comunidades y los ecosistemas. Sin embargo, la variabilidad climática y el Cambio Climático están produciendo impactos importantes en estos cuerpos de agua, afectando su calidad y cantidad. La disminución de las precipitaciones y el aumento de la temperatura están provocando una disminución en los caudales de los ríos, la reducción de los niveles de agua de lagos y lagunas, y la pérdida de glaciares que abastecen de agua a estas fuentes. Estos cambios están generando una crisis hídrica en el país, especialmente en las zonas más vulnerables. Por ello, es importante entender los efectos de la variabilidad climática en los cuerpos de agua del Perú y tomar medidas de adaptación y mitigación para asegurar la disponibilidad y calidad de este recurso vital.

Muchas investigaciones realizadas coinciden, que los efectos de la variabilidad climática influyen en la dinámica de ecosistemas. Durante las últimas décadas se ha visto los cambios frecuentes, los cuales son producidos por actividades humanas que se han desarrollado a lo largo del tiempo, y esto genera el calentamiento global, la desaparición



de lagos, lagunas, retroceso de glaciares con el transcurso de los años, lo cual afecta a los recursos hídricos.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Nos encontramos ante una creciente crisis de seguridad hídrica a nivel global, impulsada por un aumento sin precedentes en la demanda de agua debido a la rápida expansión de la población, los efectos perturbadores del cambio climático y la fragmentación de los recursos hídricos. Proyecciones indican que, si se mantienen las prácticas actuales, se espera un déficit del 40% entre la demanda y el suministro de agua para 2030. Adicionalmente, para 2040, se prevé que uno de cada cuatro niños residirá en regiones con extrema escasez de agua. Este problema tiene implicaciones económicas significativas, ya que aproximadamente un cuarto del Producto Interno Bruto (PIB) global se genera en áreas con potencial exposición a la escasez de agua. Esta crisis emergente de seguridad hídrica global demanda atención inmediata, investigación rigurosa y la implementación de soluciones innovadoras para salvaguardar la disponibilidad futura de agua y proteger la estabilidad económica mundial (Banco Mundial, 2023).

En Brasil las grandes cuencas hidrográficas muestran reducciones en la escorrentía superficial y en otras, una tendencia al aumento. Un problema que, combinado con los escenarios de cambio climático, ya sean los más optimistas y/o pesimistas, puede conducir a cambios en la organización socioespacial urbana y agraria inserta en el territorio brasileño Merengo, (Domiciano & Bezerra, 2013).

De acuerdo al Tyndall Center de Inglaterra, Perú ocupa el tercer lugar en cuanto a vulnerabilidad al cambio climático, después de Bangladesh y Honduras. La vulnerabilidad climática hace referencia al nivel de susceptibilidad de un territorio, el cual puede variar dependiendo de su exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación al



cambio climático. En América Latina y el Caribe, los efectos del cambio climático serán particularmente importantes debido a la variabilidad y los extremos climáticos presentes en la región. En el caso específico de Perú, se trata de uno de los países más afectados debido a la repercusión de fenómenos hidrometeorológicos relacionados con el Fenómeno de El Niño.

La cuenca Ilpa, ubicada en dentro de los distritos de Mañazo, Vilque, Tiquillaca, Atuncolla, Cabana y Paucarcolla en la Provincia de Puno y San Roman, del departamento de Puno, ha experimentado cambios significativos en su área de espejo de agua en las últimas décadas. Este fenómeno puede estar relacionado con la variabilidad climática y sus posibles efectos sobre los recursos hídricos en la región. Sin embargo, hasta ahora, no se ha realizado un estudio exhaustivo que investigue la relación entre el área de espejo de agua y la variabilidad climática en esta cuenca.

El área de espejo de agua es un indicador importante de la disponibilidad de agua en una cuenca, y su variabilidad puede estar influenciada por factores climáticos como la precipitación y la temperatura. Por lo tanto, entender la relación entre el área de espejo de agua y la variabilidad climática es crucial para la gestión adecuada de los recursos hídricos en la cuenca Ilpa.

El propósito de esta investigación es determinar el grado de correlación entre el área de espejo de agua y la variabilidad climática en la cuenca Ilpa, utilizando la plataforma de Google Earth Engine, debido a que la teledetección se ha desarrollado rápidamente y su aplicación que se ha utilizado en los recursos naturales, se basa en el hecho de que los elementos de la naturaleza tienen su propia respuesta espectral. Con el análisis de espacio temporal, se identifica los cambios de la superficie de los cuerpos de agua en la cuenca Ilpa.





Por lo tanto, surgen las siguientes interrogantes como pregunta al problema de investigación:

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema General**

¿Existe correlación entre el área de espejo de agua y la variabilidad climática en la cuenca Ilpa, determinados mediante la plataforma de Google Earth Engine entre los años 1990 – 2020?

### **1.2.2 Problemas específicos**

¿Existe correlación entre el área de espejo de agua y la precipitación anual acumulada en la cuenca Ilpa, determinados mediante la plataforma de Google Earth Engine entre los años 1990 – 2020?

¿Existe correlación entre el área de espejo de agua y la temperatura media promediada en la cuenca Ilpa, determinados mediante la plataforma de Google Earth Engine entre los años 1990 – 2020?

## **1.3 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 Hipótesis general**

Existe correlación entre el área de espejo de agua y la variabilidad climática en la cuenca Ilpa, determinados mediante la plataforma de Google Earth Engine entre los años 1990 – 2020.



### **1.3.2 Hipótesis específicas**

Existe correlación entre el área de espejo de agua y la precipitación anual acumulada en la cuenca Ilpa, determinados mediante la plataforma de Google Earth Engine entre los años 1990 – 2020.

Existe correlación entre el área de espejo de agua y la temperatura media promediada en la cuenca Ilpa, determinados mediante la plataforma de Google Earth Engine entre los años 1990 – 2020.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo general**

Determinar la correlación entre el área de espejo de agua y la variabilidad climática en la cuenca Ilpa, determinados mediante la plataforma de Google Earth Engine entre los años 1990 – 2020.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

Determinar la correlación entre el área de espejo de agua y la precipitación anual acumulada en la cuenca Ilpa, determinados mediante la plataforma de Google Earth Engine entre los años 1990 – 2020.

Determinar la correlación entre el área del espejo de agua y la temperatura media promediada en la cuenca Ilpa, determinados mediante la plataforma de Google Earth Engine entre los años 1990 – 2020.



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Ashok et al., (2021), en su artículo titulado “Monitoring of dynamic wetland changes using NDVI and NDWI based landsat imagery” Las iniciativas recientes que utilizan las herramientas GIS para mapear y analizar la dinámica de los humedales traen la esperanza de una gestión eficaz de los humedales. Los humedales degradados o modificados son más sensibles y menos resistentes al cambio climático. Este documento se centra en un estudio de cuerpos de agua en el distrito de Sirmaur, Uttarakhand, India, con un enfoque especial en el humedal de Renuka. El humedal Renuka, un sitio Ramsar se ve afectado por el calentamiento global, inundaciones y tormentas y cambios debido a la precipitación. Los mapas actualizados o precisos y los cambios espaciales y temporales del humedal Renuka no están disponibles. En esta región solo se han registrado los detalles sobre la flora y la fauna. Los métodos tradicionales de mapeo y monitoreo, como la encuesta de campo y el muestreo, generalmente requieren mucha mano de obra, mucho tiempo y son costosos, y con frecuencia no logran detectar los cambios en las regiones de las zonas de humedales. El presente estudio se lleva a cabo utilizando la plataforma de código abierto de procesamiento planetario interactivo en línea basada en la nube, Google Earth Engine (GEE). Los mapas de humedales considerados son imágenes Landsat 7 y 8 con nubosidad inferior al 30% durante las temporadas. El índice de idoneidad



también se calcula con base en el área y el perímetro del cuerpo de agua en la región de estudio para demostrar el cambio característico del humedal Renuka durante el período de tiempo seleccionado. Los datos faltantes de NDVI y NDWI se ajustan utilizando la serie temporal armónica y el mapa resultante con la clasificación supervisada Random Forest muestra una alta precisión general del 90 % con un coeficiente Kappa razonable de 0,8. Utilizando el Global Water Occurrence Explorer, se estudian la intensidad de los cambios de agua y el cambio estacional. Los resultados mostraron una visión significativa de los cambios en la región de estudio en términos de rango de píxeles con la presencia de agua y el cambio en las ubicaciones en términos de estacionalidad y persistencia

Según Sarp & Ozcelik (2017), en su artículo titulado “Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey” En este estudio, se evaluaron los cambios espaciotemporales en el lago Burdur entre 1987 y 2011 utilizando imágenes multitemporales Landsat TM y ETM+. La clasificación de la Máquina de vectores de soporte (SVM) y la indexación del agua espectral, incluido el Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), el NDWI modificado (MNDWI) y el Índice de extracción de agua automatizado (AWEI), se utilizaron para la extracción de agua superficial de los datos de imagen. El rendimiento espectral y espacial de cada clasificador se comparó utilizando la  $r$  de Pearson, la Medida del índice de similitud estructural (SSIM) y el Error cuadrático medio. (RMSE). Las precisiones de SVM y los índices derivados de satélite se probaron utilizando el RMSE. En general, SVM seguido de MNDWI, NDWI y AWEI arrojó el mejor resultado entre todas las técnicas en términos de calidad espectral y espacial. Los cambios espaciotemporales del lago con base en el método aplicado revelan una intensa



tendencia decreciente en la superficie entre 1987 y 2011, especialmente de 1987 a 2000, cuando el lago perdió aproximadamente una quinta parte de su superficie en comparación con 1987. Los resultados muestran la efectividad de la detección de cambios en el agua superficial basada en SVM y MNDWI, particularmente en la identificación de cambios entre intervalos de tiempo específicos.

Según Rifat & Akter (2017), en su artículo titulada “Analysis of landcover change in southwest Bengal delta due to floods by NDVI, NDWI and K-means cluster with landsat multi-spectral surface reflectance satellite data”, explica que las inundaciones en la zona costera suroeste de Bangladesh son muy regulares. Las inundaciones de las mareas se producen en cada período de marea alta dos veces al día. Las cubiertas terrestres del área de estudio son principalmente cuerpos de agua o humedales, para el cultivo de camarones y cangrejos de agua salada, y vegetación, para actividades agrícolas y el bosque de manglares de Sundarbans. Hay cambios y alteraciones significativos en las coberturas terrestres debido a las inundaciones de mayo de 2009. Las inundaciones estacionales por mareas están ocurriendo en la estación húmeda en el área de estudio debido al daño del Polder-32 en varios puntos, que se rompió durante el ciclón Aila y causando un prolongado período de inundación. Después del ciclón Aila, se necesitan 4 años hasta noviembre de 2013 para recuperar la tierra de las inundaciones. Debido al ciclón Aila, en noviembre de 2009 surgió una superficie inundada de 43,7 km<sup>2</sup> y 43,6 km<sup>2</sup> de cobertura vegetal desaparecieron. Estos cambios significativos en la cobertura del suelo se estudian bien con dos índices espectrales: NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) y NDWI (Índice de agua de diferencia normalizada), y con una clasificación de tierra supervisada y no supervisada de K-Means Cluster. El estudio encontró que NDVI



y NDWI son prominentes para identificar la vegetación y las cubiertas de agua teniendo en cuenta su restricción individual, junto con la validación por K-means que agrupa las clasificaciones de tierras supervisadas y no supervisadas. La agrupación supervisada de K-medias se utiliza para estimar las áreas de cobertura terrestre. El NDVI y NDWI se utilizaron para identificar las coberturas de vegetación y agua.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Según Turpo et al., (2019) Los glaciares en la región andina actúan como depósitos y proveedores de agua dulce para las comunidades situadas aguas abajo, y son también valiosos indicadores del clima. Actualmente, están experimentando una disminución glacial, lo que podría generar serios desafíos en cuanto a la disponibilidad de agua. La meta de esta investigación es examinar las tendencias en las dimensiones superficiales de cuerpos de agua, glaciares y zonas urbanas en la región andina o sierra de Perú, durante un lapso de 35 años, desde 1984 hasta 2018, utilizando la plataforma Google Earth Engine (GEE) para procesar imágenes Landsat. Se emplearon árboles empíricos de clasificación basados en la mezcla espectral, índices compuestos y un índice topográfico para diferenciar las coberturas. La investigación revela las conexiones espaciales y temporales entre las tres coberturas analizadas, subrayando la utilidad de GEE como instrumento para el procesamiento de imágenes a nivel regional y temporal.

Según los autores Barbosa et al., (2020) en su artículo titulado “Monitoring Wildfires in the Northeastern Peruvian Amazon Using Landsat-8 and Sentinel-2 Imagery in the GEE Platform” “Durante las últimas décadas, la Amazonía ha experimentado una gran pérdida de cobertura vegetal, en muchos casos como



consecuencia directa de los incendios forestales, los cuales se convirtieron en un problema a nivel local, nacional y global, generando impactos económicos, sociales y ambientales. Por lo tanto, este estudio se compromete a desarrollar una rutina para monitorear los incendios en la cobertura vegetal, utilizando datos multitemporales recientes (2017-2019) de las imágenes de Landsat-8 y Sentinel-2, a través de la plataforma basada en la nube de Google Earth Engine (GEE). Para evaluar las áreas quemadas (AQ), se emplearon índices espectrales, como el Índice de Quemadura Normalizado (NBR), el Índice de Quemadura Normalizado 2 (NBR2) y el Índice de Quemadura en el Infrarrojo Medio (MIRBI). Todos estos índices se aplicaron para evaluar las AQ de acuerdo con umbrales apropiados. Además, para reducir la confusión entre las áreas quemadas y otras clases de cobertura terrestre, se utilizaron otros índices que consideran las diferencias temporales entre las condiciones antes y después del incendio: el Índice de Quemadura en el Infrarrojo Medio Diferencial (dMIRBI), el Índice de Quemadura Normalizado Diferencial (dNBR), el Índice de Quemadura Normalizado 2 Diferencial (dNBR2) y el Infrarrojo Cercano Diferencial (dNIR). Las AQ calculadas por Sentinel-2 fueron más grandes durante los tres años de investigación (16.55, 78.50 y 67.19 km<sup>2</sup>) y de mayor detalle (detectando áreas pequeñas) que las AQ extraídas por Landsat-8 (16.39, 6.24 y 32.93 km<sup>2</sup>). La rutina para monitorear los incendios forestales presentada en este trabajo se basa en una secuencia de reglas de decisión. Esto permite la detección y el monitoreo de la cobertura vegetal quemada y se ha aplicado originalmente a un experimento en la Amazonía peruana nororiental. Los resultados obtenidos por las imágenes de los dos satélites se comparan en términos de métricas de precisión y nivel de



detalle (tamaño de los parches de AQ). La precisión para Landsat-8 y Sentinel-2 en 2017, 2018 y 2019 varió del 82.7-91.4% al 94.5-98.5%, respectivamente.

Según SENAMHI (2019), el cambio climático y sequías son los principales desafíos para los cuerpos de agua en Perú es el cambio climático y las sequías que afectan a gran parte del país. Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), la disminución de las lluvias en la costa y la sierra del país ha llevado a una disminución en la cantidad de agua en los ríos y lagos, lo que ha llevado a la disminución en la cantidad de cuerpos de agua en el país.

Según SPDA (2020), la desaparición de los cuerpos de agua también puede tener un impacto negativo en la biodiversidad en Perú. Según la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA), la desaparición de los humedales en el país ha llevado a la pérdida de hábitats para especies de aves y anfibios, así como a la disminución en la cantidad de agua disponible para la agricultura.

Según Mamani (2021), en su investigación, evaluó la relación entre los índices de vegetación y el cambio climático mediante un análisis multitemporal de imágenes Landsat en la laguna Paucarani, Tacna, para el periodo 1972-2018. Se utilizó información de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8 nivel 1 T, corregidas en nivel de reflectancia superficial, seleccionadas de la plataforma Google Earth Engine. Los resultados muestran que los valores medios de NDVI más altos se observan durante los meses de diciembre a mayo, con valores iguales o mayores a 0,1. En contraste, en los meses de julio y agosto, los valores medios de NDVI disminuyen, siendo 0,078 en 1986 y 0,065 en 2018. Se encontró que los valores de precipitación presentan una frecuencia cíclica con años húmedos y





secos. En 1986, la frecuencia de precipitación es desde diciembre hasta abril, mientras que en 2018 se observa frecuencia en enero y febrero. Los valores de promedio anual de temperatura mínima muestran una tendencia de aumento a partir de 2012, con valores menores a  $-6,50\text{ }^{\circ}\text{C}$  en comparación con años anteriores que presentaban valores de hasta  $-12,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se encontró una relación entre los valores de precipitación y NDVI, y también se observó una relación entre la extensión de las áreas de los cuerpos de agua y los acumulados anuales de precipitación. Se concluyó que la precipitación, temperatura mínima y los valores del índice de vegetación NDVI presentan una relación significativa con un grado de significancia  $<0,05$  según el coeficiente de correlación de Pearson.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Menciona Guitiérrez (2018), en su tesis de pregrado titulada “Determinación de la dinamina espacial de bofedales mediante imágenes satelitales landsat frente a escenarios del cambio climático en la cuenca del río Coata durante el periodo de 1984 – 2016. El estudio se llevó a cabo en la cuenca del río Coata, ubicada entre las provincias de Lampa, San Román y Puno. Su objetivo fue determinar el nivel de correlación entre la dinámica espacial de los humedales desde 1984 hasta 2016 y los factores climáticos como la precipitación acumulada y la temperatura máxima. La metodología implicó medir el área superficial de los humedales utilizando algoritmos del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), a través de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8. También se recopiló información sobre la precipitación acumulada anual y la temperatura máxima anual, y se analizó la tendencia de estos factores climáticos durante los años especificados, revelando una tendencia significativa en la temperatura máxima anual. Luego se realizó una regresión lineal múltiple,



resultando en el hallazgo de que el factor climático que más afecta el comportamiento de los humedales es la temperatura máxima, ya que el coeficiente de correlación fue ( $R^2 = 0.46$ ), lo que indica una relación significativa. Se concluyó que a medida que aumenta la temperatura máxima anual, el área superficial de los humedales disminuye o, en algunos casos, los humedales desaparecen, lo que implica que uno de los factores que influyen en el comportamiento de los humedales es el cambio climático.

Según Mazzarino & Finn (2017), realizó un análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en la cuenca Nuñoa, ubicada en los Andes del sur de Perú, utilizando datos del satélite Landsat 5-TM desde 1985 hasta 2010. Se empleó un modelo de regresión múltiple que consideró variables como la precipitación, la temperatura, el día juliano y el año de adquisición de las imágenes. Los resultados revelaron que aproximadamente el 30% de las áreas de humedales experimentaron una disminución en el NDVI. Además, se encontró una correlación moderada entre el NDVI durante la estación seca y la precipitación durante la estación húmeda ( $R^2 = 0.56$ ,  $p < 0.05$ ). Estos hallazgos sugieren que los cambios en el manejo de la tierra podrían estar relacionados con un uso más intensivo de los humedales, lo cual ha resultado en una disminución de la vegetación en ciertas áreas.



## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Hidrología**

“La Hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente” (Villón, 2020).

### **2.2.2. Ciclo hidrológico**

El ciclo hidrológico se describe como la serie de eventos a través de los cuales el agua se transforma desde la fase de vapor en la superficie de la Tierra, se eleva a la atmósfera, y luego retorna en sus estados líquido y sólido. “El ciclo hidrológico es irregular ya que este puede presentar periodos de abastecimiento, inundación o sequía, además no tiene principio ni fin y se puede empezar a describir desde cualquier punto del ciclo” (Fattorelli & Fernández, 2011).

Según el artículo científico de Li et al. (2021), el ciclo hidrológico es un proceso complejo que incluye la evaporación del agua de los cuerpos de agua y la superficie terrestre, la formación de nubes, la precipitación y la escorrentía hacia los cuerpos de agua. Además, el ciclo hidrológico también desempeña un papel importante en la regulación del clima global y regional, ya que la distribución de la precipitación está influenciada por los patrones de circulación atmosférica y oceánica.

### **2.2.3. Cuenca hidrográfica**

En síntesis, la cuenca hidrográfica es un área que contribuye a la escorrentía y proporciona todo o parte del flujo hacia el cauce principal y sus tributarios, que a su vez se unen en un punto de salida. Esta área recoge las aguas

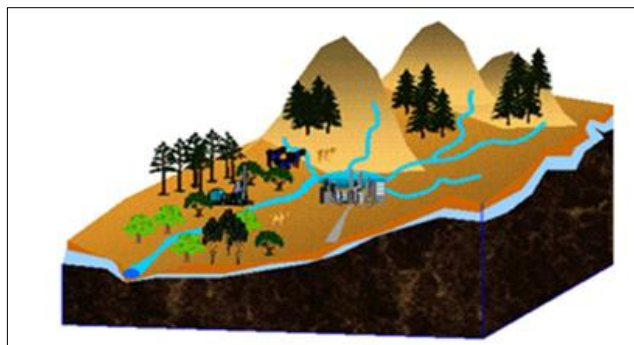
que precipitan en ella a través de su sistema de drenaje, formado por ríos o quebradas que llevan el flujo de agua hacia el cauce principal. Este curso de agua único desemboca en un punto de salida, que puede ser un lago, un mar o un océano.

“Una cuenca hidrográfica se define como el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica (*Divortium Aquarum*), que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal” (Vasquez & et al., 2016).

Una cuenca hidrográfica es una estructura en la que la precipitación es la entrada clave, y las salidas son la evapotranspiración, el flujo cercano a la superficie y la filtración. La línea divisoria es una frontera geográfica que distingue dos cuencas hidrográficas o sistemas de drenaje, dirigiéndolos en diferentes rutas y direcciones (Fattorelli & Fernández, 2011).

### Figura 1

Cuenca hidrológica e hidrográfica



Nota: La figura muestra una cuenca hidrográfica (Ordoñez, 2011)

#### 2.2.4. Cambio climático

Se trata de una modificación en las condiciones climáticas que se pueden reconocer por cambios en la media y/o en la variabilidad de sus características, y



que continúa por un lapso prolongado de tiempo, que puede ser de varias décadas o incluso más tiempo (IPCC, 2013).

En su artículo 1, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático establece el cambio climático como una modificación del clima que puede ser atribuida, ya sea directa o indirectamente, a las acciones humanas que modifican la composición de la atmósfera global, añadiéndose a las fluctuaciones naturales del clima observadas en períodos de tiempo similares. Se hace una distinción entre la variabilidad climática, que se relaciona con las alteraciones naturales y previstas en el clima a corto plazo, y el cambio climático, que se refiere a una transformación a largo plazo que supera la fluctuación natural y puede ser originada por influencias humanas.

#### **2.2.5. Variabilidad climática**

La variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones naturales en los patrones climáticos a lo largo del tiempo, que pueden ocurrir en una variedad de escalas temporales y espaciales. Estas variaciones pueden ser causadas por varios factores, como cambios en la radiación solar, actividad volcánica y ciclos climáticos naturales como El Niño y La Niña (IPCC, 2013). La variabilidad climática también puede ser influenciada por actividades humanas, como cambios en el uso del suelo, deforestación y emisiones de gases de efecto invernadero, que pueden alterar el balance energético de la Tierra y llevar a cambios en el sistema climático (IPCC, 2013).

Según un estudio de Cook et al. (2013), hay evidencia sólida de que el clima de la Tierra ha experimentado una variabilidad significativa en los últimos 2000 años. Los autores analizaron una variedad de procesos climáticos, como



anillos de árboles, núcleos de hielo y registros históricos, y encontraron que el período de 950 a 1250 d.C., conocido como la Anomalía Climática Medieval, fue más cálido que el clima actual en muchas regiones del mundo. También señalaron que la Pequeña Edad de Hielo, que ocurrió desde el siglo XVI hasta el XIX, se caracterizó por temperaturas más frías y patrones meteorológicos más variables en muchas partes del mundo.

### **2.2.6. Precipitaciones satelitales**

Los productos derivados de satélites representan estimaciones de la precipitación y poseen características que permiten su análisis, considerando variaciones tanto espaciales como temporales. Estos productos se basan en datos recopilados por sensores remotos ópticos y de microondas instalados en los satélites (Ibrahim et al., 2017). Sin embargo, es importante tener en cuenta que los productos satelitales presentan ciertos errores al intentar reproducir hidrogramas de caudales. Se reconoce que los valores de precipitación obtenidos a partir de los satélites son estimaciones que contienen errores inherentes desde su fuente de origen. Estos errores pueden estar relacionados con la discrepancia en los tiempos de revisita de los satélites en un punto determinado, así como con la falta de una relación directa entre las señales de los sensores y las tasas de precipitación. Además, también se deben considerar los efectos atmosféricos que alteran el campo de radiación medido por los sensores satelitales (Attogouinon et al., 2017).

#### **2.2.6.1. Terraclimate**

TerraClimate es un registro que abarca desde 1958 hasta 2019 de información acerca del clima y el balance hídrico climático en áreas terrestres de todo el mundo. Es muy útil para estudios ecológicos e hidrológicos a nivel global



que necesitan datos precisos y actualizados en cuanto a ubicación y tiempo. Los datos tienen una frecuencia mensual y una resolución espacial de aproximadamente 4 km (1/24 de grado). El período de datos cubierto es desde 1958 hasta 2020 (TerraClimate, 2021)

Se presenta TerraClimate, que es un conjunto de datos mensuales de alta resolución espacial (1/24°, ~4 km) sobre el clima y el balance hídrico climático para superficies terrestres globales desde 1958. TerraClimate utiliza una técnica de interpolación asistida por el clima para combinar normales climatológicas de alta resolución espacial del conjunto de datos WorldClim con datos variables en el tiempo de otras fuentes para producir un conjunto de datos mensual de precipitación, temperatura, velocidad del viento, presión de vapor y radiación solar. Además, TerraClimate produce conjuntos de datos de balance de agua superficial mensual utilizando un modelo de balance de agua que incorpora referencia de evapotranspiración, precipitación, temperatura y capacidad de agua del suelo extraíble de plantas interpoladas. Estos datos son de gran importancia para los estudios ecológicos e hidrológicos a nivel mundial que requieren alta resolución espacial y datos climáticos y de balance hídrico climático variables en el tiempo. La validación de TerraClimate muestra una notable mejora en el error absoluto medio general y una mayor precisión espacial en comparación con los conjuntos de datos de resolución más gruesa (Abatzoglou, et al., 2018).

#### **2.2.6.2. Producto grillado PISCO**

PISCO, es una base de datos de diversas variables climáticas dentro de ellas, precipitación diaria y mensual, los productos son de alta resolución espacial

5.5 km, los datos son de enero de 1981 a diciembre de 2016, elaborados por SENAMHI.

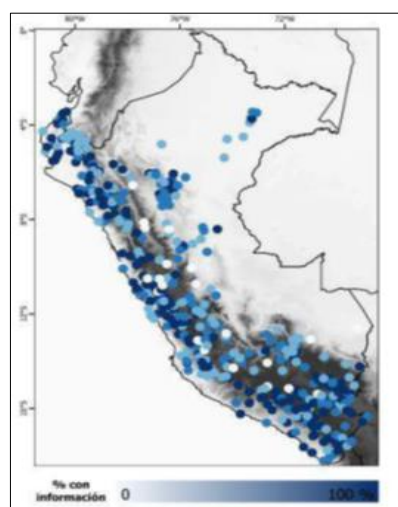
El producto PISCO utiliza varias fuentes de datos para su generación, incluyendo el producto CHIRPS, el producto TRMM-2A25 y la información observada de la red de estaciones pluviométricas del SENAMHI.

La utilización de múltiples fuentes de datos y una rigurosa selección y control de calidad de las estaciones meteorológicas utilizadas en la generación de PISCO, garantiza la fiabilidad de los datos y la precisión de las mediciones. Esto permite una mejor comprensión del comportamiento climático en el Perú y la toma de decisiones informadas en la gestión de recursos naturales y la adaptación al cambio climático.

La figura siguiente muestra la ubicación de las estaciones utilizadas en la generación del producto PISCO. Estos datos tienen una alta resolución espacial de 5.5 km y están disponibles desde enero de 1981 hasta diciembre de 2016.

## Figura 2

Base de datos de estaciones utilizadas para el producto PISCO



Nota: tomado de Dirección de Hidrografía e Investigación (SENAMHI, 2017).





### **2.2.6.3. Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS)**

Desde 1999, la “U.S. Geological Survey” (USGS) en colaboración con la Universidad de California en Santa Bárbara (UCSB), la “” U.S. Agency International Development (USAID), “National Aeronautics and Space Administration” (NASA) y la “National Oceanic and Atmospheric Administration” (NOAA) desarrollaron técnicas para obtener datos de precipitación grillados en áreas donde dichos datos no están disponibles. Los primeros estudios se centraron en combinar modelos de alta escala de precipitación inducida por el terreno con estaciones interpoladas. Esta información sirvió para varios propósitos de alerta temprana. Recientemente, el USGS y UCSB combinaron nuevas fuentes de observaciones satelitales, datos de precipitación promediados por estación y predictores de precipitación basados en altitud, latitud y longitud para crear un modelo de precipitación global de alta resolución ( $0,05^\circ$ , aproximadamente 5 km) (Funk, et al, 2014). Luego se realizó un procesamiento adicional para mezclar las observaciones de la estación meteorológica con sus estimaciones de precipitación con estimaciones satelitales para obtener un continuo desde 1981 hasta el presente, llamado “Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations” (CHIRPS), con una resolución temporal diaria y una escala espacial de  $0,05^\circ$ . y  $0,25.^\circ$  en todo el mundo.

### **2.2.6.4. Precipitación**

La precipitación es el componente principal del ciclo hidrológico y se refiere al agua en forma líquida o sólida que llega a la superficie terrestre. Este fenómeno es producido por la condensación, sublimación o una combinación de



ambas, y suele estar vinculado a los movimientos verticales del aire. Los tipos más comunes de precipitación son la lluvia, la nieve y el granizo, junto con sus diversas variaciones.

Mishra & Singh (2011), afirman que "la precipitación es el componente más importante del ciclo hidrológico y juega un papel crucial en la regulación del clima, la hidrología y la ecología".

#### **2.2.6.5. Medición de la precipitación**

Los mapas que representan las lluvias en un continente, nación o área específica señalan la cantidad de agua, en milímetros, que ha caído durante un año. La cantidad de precipitación diaria se expresa en litros por metro cuadrado. A primera vista, puede parecer incongruente comparar milímetros con litros, dado que el primero es una medida de longitud y el segundo es una medida de volumen (Torres, 2001).

#### **2.2.6.6. Temperatura**

La temperatura es la medida del calor que se encuentra en el aire, agua y suelo, y es causada por la radiación solar. La variabilidad de la temperatura es influenciada por varios factores, como la hora local, la estación del año, la ubicación geográfica del lugar, la cercanía o lejanía de cuerpos de agua y la composición del suelo.

Según Quereda (2008), menciona que la temperatura es el factor más importante que influye en el clima. En la naturaleza, todo está regulado por la temperatura. La temperatura es la causa principal de la circulación atmosférica y, por lo tanto, es el verdadero impulsor del sistema climático. Además de ser una



fuerza motriz, la temperatura es el factor más sensible del clima. Es un factor fundamental para el mundo vegetal, ya que la energía fotosintética se basa en la temperatura y se puede afirmar que es la fuente de toda la vida en la superficie terrestre.

#### **2.2.6.7. Medición de temperatura**

Según Quereda (2008), los observatorios meteorológicos utilizan comúnmente el termómetro de mercurio para medir la temperatura. Este instrumento consiste en un capilar lleno de mercurio, el cual se dilata al aumentar la temperatura y fluye de manera continua a través del capilar. La temperatura se lee directamente en la escala grabada en el tubo termométrico en grados centígrados, con la escala dividida en medios grados o décimas de grado. Sin embargo, en lugares muy fríos donde la temperatura es inferior a 25°C, se sustituye el mercurio por alcohol, que tiene un punto de solidificación más bajo.

#### **2.2.6.8. Escalas de temperatura**

La temperatura se mide en unidades de grados Celsius (°C), Fahrenheit (°F) o Kelvin (K). La escala Celsius es la más comúnmente utilizada en todo el mundo, mientras que la escala Fahrenheit se utiliza principalmente en los Estados Unidos. La escala Kelvin es utilizada en la ciencia y la ingeniería, ya que se relaciona directamente con la energía térmica del cuerpo o sistema en cuestión (Serway & Jewett, 2018).

#### **2.2.6.9. Variaciones de temperatura**

Fices (2010), la cantidad de energía solar que recibe una región determinada del planeta varía de acuerdo con la hora del día, la estación del año



y la latitud. Estas diferencias en la radiación solar son las responsables de las variaciones en la temperatura. Además, la temperatura puede verse afectada por la presencia de diferentes tipos de superficies y la altitud a la que se encuentra una región. Algunos de los factores que influyen en la temperatura son la variación diurna, la distribución latitudinal, la variación estacional, los tipos de superficie terrestre y la variación con la altitud.

#### **2.2.6.10. Temperatura máxima**

La temperatura máxima se refiere a la temperatura más alta alcanzada en un lugar específico durante un periodo de tiempo determinado, y se mide en grados Celsius o Fahrenheit (SENAMHI, 2021)..

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú define la temperatura máxima como la temperatura más alta alcanzada durante un periodo de tiempo determinado en una ubicación específica. Esta medición se realiza utilizando termómetros y se expresa en grados Celsius o Fahrenheit, dependiendo de la escala utilizada en el país (SENAMHI, 2021).

#### **2.2.6.11. Temperatura mínima**

La temperatura mínima se define como la temperatura más baja registrada en un lugar específico durante un periodo de tiempo determinado, y se mide en grados Celsius o Fahrenheit.

La temperatura mínima, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), se refiere a la temperatura más baja registrada durante un periodo de tiempo específico en una ubicación determinada. Al igual que la temperatura máxima, se mide utilizando termómetros y se expresa en



grados Celsius o Fahrenheit, según la escala utilizada en el país (SENAMHI, 2021).

#### **2.2.6.12. Temperatura media**

La temperatura media se refiere al promedio de las temperaturas máximas y mínimas registradas en un lugar y periodo de tiempo específicos, y se mide en grados Celsius o Fahrenheit.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) define la temperatura media como el promedio de las temperaturas máximas y mínimas registradas en un lugar y periodo de tiempo específicos. Se obtiene sumando la temperatura máxima y mínima de cada día y dividiéndolas entre dos, y se expresa en grados Celsius o Fahrenheit, dependiendo de la escala utilizada en el país (SENAMHI, 2021).

#### **2.2.7. Uso de suelo**

El análisis de cómo ha evolucionado el uso del suelo resulta esencial para determinar si el medio ambiente está sufriendo cambios provocados por factores desencadenantes, como la actividad humana, las variaciones demográficas y el cambio climático. Además, permite evaluar los posibles impactos que dichos cambios puedan tener sobre los ecosistemas y el medio ambiente.

El uso del suelo se define como la finalidad a la que se destina el terreno, es decir, cómo se modifica y emplea por parte de los seres humanos para llevar a cabo sus actividades. Por otro lado, el término "cobertura del suelo" hace referencia a la capa superficial observable en el suelo, incluyendo la vegetación, el agua, las construcciones y otros elementos (Yonaba et al., 2021).



En Colombia IDEAM (2010), Perú MINAM (2016), se ha adoptado la metodología CORINE Land Cover para la elaboración de la leyenda nacional de cobertura de suelo, la cual incluye diversas categorías de uso del suelo y cobertura vegetal.

#### **2.2.7.1. Área urbana**

Se entiende por tejido urbano al área geográfica que abarca los territorios urbanizados y los espacios verdes y redes de comunicación asociados con ellos. Esto incluye la infraestructura urbana y demás elementos que dan forma al entorno urbano (IDEAM, 2010).

#### **2.2.7.2. Cuerpos de agua**

Los cuerpos de agua dulce son extensiones permanentes, intermitentes o estacionales de agua, que incluyen una amplia variedad de formas como lagos, lagunas, ciénagas, depósitos y estanques naturales o artificiales. También se consideran cuerpos de agua dulce los embalses y las corrientes de agua en movimiento, como ríos y canales (IDEAM, 2010).

#### **2.2.7.3. Zona Agrícola**

“Las unidades de cobertura agrícola se refieren a las áreas de tierra destinadas a la producción agrícola, donde se aplican diversas prácticas de manejo, como la selección del cultivo, siembra, fertilización, riego y otras técnicas para mejorar la producción agrícola” (Salas et al., 2014)



#### **2.2.7.4. Bosque**

Esta cobertura abarca áreas naturales o seminaturales que están dominadas por especies arbóreas nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes que tienen un tronco principal y una copa más o menos definida.

Según la FAO (2001), “este tipo de cobertura incluye tanto los bosques naturales como las plantaciones forestales”.

#### **2.2.7.5. Cobertura vegetal**

Se puede definir la cobertura vegetal como la flora natural que cubre la superficie terrestre y se compone de diversas especies vegetales que sustentan una amplia variedad de fauna (MINAM, 2016). La variedad de flora presente en un ecosistema está influenciada por factores como las características ambientales, climáticas y fisiográficas del lugar (Cuesta et al., 2012). El cambio de cobertura vegetal se refiere al proceso mediante el cual una clase de cobertura vegetal experimenta una transformación o alteración hacia otra clase, ya sea a lo largo del tiempo o debido a la actividad humana y/o perturbaciones ambientales (Alcántara, 2014).

#### **2.2.7.6. Cambios de cobertura y uso del suelo (CCUS)**

Los CCUS son el resultado de complejas interacciones entre las actividades humanas y el medio ambiente natural. A través de estas interacciones, se puede producir una disminución o aumento en una determinada clase de cobertura o uso del suelo (Rojas et al., 2019).

### 2.2.8. Normalized Difference Water Index (NDWI)

En el artículo describe el Índice de Agua Normalizada de Diferencia (NDWI), un nuevo método para analizar datos de teledetección y evaluar los recursos hídricos. “El NDWI utiliza la radiación infrarroja cercana reflejada y la luz verde visible para resaltar la presencia de características de agua abierta mientras elimina las características del suelo y la vegetación terrestre” (McFeeters, 1996).

Mediante la aplicación del índice NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado), es posible detectar áreas de agua y zonas con alta humedad en imágenes satelitales. Esto permite utilizar el índice como herramienta para evaluar el nivel de estrés hídrico en la vegetación, la saturación de humedad en el suelo o delimitar de manera precisa cuerpos de agua como lagos y embalses.

El índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) es un indicador que se utiliza para medir la cantidad de agua presente en la vegetación o el suelo. Este índice se calcula a partir de imágenes adquiridas por sensores satelitales y de las bandas espectrales. El NDWI se ha convertido en una herramienta muy útil para la monitorización de recursos hídricos en todo el mundo, ya que permite evaluar los cambios en la humedad del suelo, la distribución del agua y la salud de la vegetación, lo que a su vez ayuda a los gestores de recursos naturales y agricultores a tomar decisiones informadas.

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

Donde:

Green: Reflectancia de la Banda Verde (Banda 2 del L7, L5 y 3 del L8)





NIR: Reflectancia de la banda del infrarrojo cercano (Banda 4 del L7, L5 y 5 del L8)

### **2.2.9. Reducción de escala (Downscaling)**

La técnica del Downscaling es utilizada para obtener información detallada de una zona específica de interés a partir de datos de baja resolución. Esta técnica puede aplicarse para variables climáticas como la temperatura y la precipitación. De acuerdo con Von Storch (1993), el Downscaling implica la conversión precisa de información disponible a grandes escalas a una escala local, lo que permite obtener resultados más precisos.

Según Fower, et al., (2007), varios estudios utilizan los métodos de downscaling estadístico y dinámico para predecir el cambio climático. En este trabajo en particular, se utilizó el método estadístico de downscaling.

Utilizando el método estadístico, se llevaron a cabo diversos estudios en diferentes lugares. Por ejemplo, Godmundsson (2012), realizó un estudio en Noruega donde utilizaron transformaciones estadísticas para procesar los datos. Para ello, emplearon datos de 82 estaciones de precipitación y concluyeron que, aunque el método de transformaciones no paramétricas es efectivo para corregir sesgos en los datos de GCM, no existe una técnica confiable para predecir el cambio climático, ya que diferentes técnicas pueden dar resultados distintos. Varios autores también han investigado diferentes métodos de procesamiento con el objetivo de estimar datos confiables de precipitación observada, que son dados por los modelos de RCM.



### **2.2.10. Métodos de downscaling**

No es apropiado utilizar los datos crudos para entender los procesos de variabilidad climática, ya que estos no representan adecuadamente las variables climáticas. Por lo tanto, se requiere la reducción de escala de los GCM. Basándonos en la revisión de referencias bibliográficas, se conocen dos métodos de downscaling: el estadístico y el dinámico. En este trabajo en particular, se utilizó el método estadístico de downscaling.

El método de downscaling estadístico se basa en la forma de las variables empíricas de un modelo a gran escala, denominado "predictor", que son datos provenientes de los modelos de circulación global (GCM), y otras variables locales observadas en la ubicación de interés, denominadas "predictores", en este caso la precipitación. Estos datos se ajustan a una base de datos observados y luego se proyectan localmente para su posterior proyección a futuro en los modelos GCM. Sin embargo, esta técnica tiene una limitación importante, ya que la proyección debe ser estacional (Wilby, 2014).

### **2.2.11. Percepción remota**

Debido a la variabilidad espacial y temporal del índice de agua, es importante estudiar su seguimiento en zonas con una dinámica estacional variable. Para obtener cartografía del índice de agua, se suele tomar datos de campo de diferentes variables y modelarlos mediante métodos de interpolación, lo que resulta costoso y difícil de obtener en toda la zona de estudio. Sin embargo, la teledetección satelital con alta resolución temporal y espacial permite observar la zona cubierta de cuerpos de agua y su variación temporal de manera más precisa y económica, especialmente en zonas de difícil acceso. El único modelo



ampliamente utilizado que permite introducir datos de percepción remota es el SRM, que calcula la fusión de índice de agua a partir de la superficie cubierta de agua. Una cartografía periódica de la cubierta de agua puede mejorar la precisión de los modelos de fusión si están recalibrados adecuadamente. Además, los cuerpos de agua tienen propiedades físicas distintivas que permiten investigar un amplio rango del espectro electromagnético para obtener más información sobre ella, como el uso de longitudes de onda del espectro visible para obtener mapas de porcentaje de cuenca cubierta de agua.

### **2.2.12. Teledetección**

La Teledetección es un método que permite recoger información valiosa sobre un objeto, área o fenómeno mediante el análisis e interpretación de datos de imágenes, sin que el equipo que adquiere las imágenes tenga contacto físico con lo que se está estudiando. La Teledetección espacial, una variante de esta técnica, posibilita la captura de imágenes de la superficie de la Tierra, los océanos y la atmósfera utilizando sensores ubicados en plataformas espaciales. Dado que no hay contacto directo con el objeto de estudio, es necesario un flujo de información entre el sensor y el objeto, conocido como radiación electromagnética, que puede ser emitida por el objeto mismo o provenir de otra fuente y ser reflejada por él. (Chuvienco, 1995).

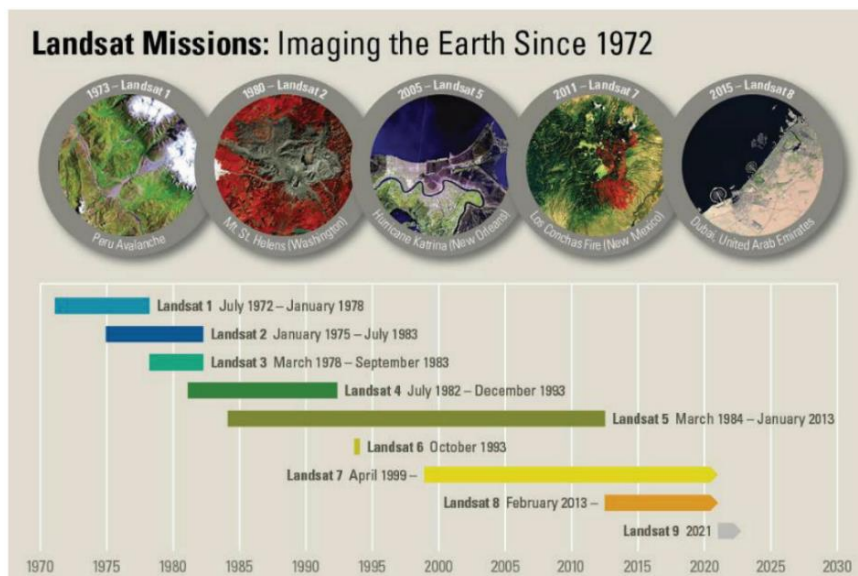
### **2.2.13. Programa Landsat**

Landsat forma parte de la flota de satélites de observación de la Tierra de la NASA desde 1972. A lo largo de estos años, se han logrado avances significativos en la adquisición de datos de la superficie terrestre, lo que ha permitido crear diversos productos que amplían la recopilación de bandas. Estas

bandas representan diferentes rangos de la radiación electromagnética, como se muestra en la figura N°3.

### Figura 3

Cronología de las misiones Landsat



Nota: Esta figura muestra la cronología de las misiones Landsat (Wang, 2020)

#### 2.2.14. Imágenes satelitales Landsat 5

Desarrollado por la NASA, Landsat 5 se lanzó el 1 de marzo de 1984 desde la Base de la Fuerza Aérea de Vandenberg, California, y al igual que Landsat 4, llevaba instrumentos Multispectral Scanner (MSS) y Thematic Mapper (TM). Landsat 5 proporcionó datos de imágenes de la Tierra durante casi 29 años, estableciendo el récord mundial Guinness para el "satélite de observación de la Tierra de mayor servicio", antes de que fuera dado de baja el 5 de junio de 2013. Se entiende que este satélite sobrevivió a su diseño de tres años (USGS, 2023).

Según USGS (2023), menciona las características del sensor Landsat 5 lo siguiente:



- Banda 1 Azul visible (0,45 - 0,52  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 2 Verde visible (0,52 - 0,60  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 3 Rojo visible (0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 4 Infrarrojo cercano (0,76 - 0,90  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 5 Infrarrojo cercano (1,55 - 1,75  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 6 Térmica (10,40 - 12,50  $\mu\text{m}$ ) 120 m
- Banda 7 Infrarrojo medio (2,08 - 2,35  $\mu\text{m}$ ) 30 m

Intervalo de muestreo terrestre (tamaño de píxel): 30 m reflectante, 120 m térmico.

#### **2.2.15. Imágenes satelitales Landsat 7**

Landsat 7 se lanzó desde la Base de la Fuerza Aérea de Vandenberg, California, el 15 de abril de 1999, en un cohete Delta II. El satélite lleva un sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Este instrumento se mejoró con respecto a los modelos de instrumentos anteriores. Las características clave de Landsat 7 incluyen una banda pancromática con una resolución espacial de 15 m, un calibrador solar de apertura completa integrado, una calibración radiométrica absoluta del cinco por ciento y un canal infrarrojo térmico con una resolución espacial cuatro veces mayor que Thematic Mapper (TM). Desde junio de 2003, el sensor ha estado recopilando y entregando datos con brechas de datos debido a una falla del corrector de línea de exploración SLC (USGS, 2023).

En octubre de 2008, el USGS publicó todos los datos de Landsat 7 en todo el mundo de forma gratuita; la descarga de datos aumentó sesenta veces.



Aproximadamente cuatro meses después, todos los datos de Landsat estuvieron disponibles de forma gratuita (USGS, 2023).

### **2.2.15.1. Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)**

Landsat 7 incluye el sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), que es una versión mejorada de los instrumentos Landsat 4 y Landsat 5 Thematic Mapper. Los productos Landsat 7 se entregan como imágenes de 8 bits con 256 tonos de gris (USGS, 2023).

De acuerdo USGS (2023), El ETM+ contiene ocho bandas espectrales, incluida una la pancromática y una banda térmica:

- Banda 1 Azul (0,45 - 0,52  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 2 Verde (0,52 - 0,60  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 3 Roja (0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 4 Infrarrojo cercano (0,77 - 0,90  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 5 Infrarrojos de onda corta (1,55 - 1,75  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 6 Térmica (10,40 - 12,50  $\mu\text{m}$ ) 60 m Baja Ganancia / Alta Ganancia
- Banda 7 Infrarrojo medio (2,08 - 2,35  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 8 Pancromática (PAN) (0,52 - 0,90  $\mu\text{m}$ ) 15 m .



### 2.2.16. Imágenes satelitales Landsat 8

“Landsat 8 se lanzó el 11 de febrero de 2013 desde la Base de la Fuerza Aérea de Vandenberg, California, en un cohete Atlas V. El satélite lleva un Instrumento Operational Land Imager (OLI) y el sensor infrarrojo térmico TIRS” (USGS, 2023).

OLI mide en las porciones visible, infrarroja cercano e infrarroja de onda corta (VNIR, NIR y SWIR) del espectro. TIRS medirá la temperatura de la superficie de la Tierra en dos bandas térmicas utilizando una nueva técnica que utiliza la física cuántica para detectar el calor. Las imágenes de Landsat 8 tienen una resolución espacial pancromática de 15 metros y multiespectral de 30 metros en una franja de 185 km (115 millas) (USGS, 2023).

Según USGS (2023), las características de Landsat 8 son :

- Aerosol Costero Banda 1 (0,43 - 0,45  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 2 Azul (0,450 - 0,51  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 3 Verde (0,53 - 0,59  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 4 Roja (0,64 - 0,67  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 5 Infrarrojo cercano (0,85 - 0,88  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 6 SWIR 1 (1,57 - 1,65  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 7 SWIR 2 (2,11 - 2,29  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 8 Pancromática (PAN) (0,50 - 0,68  $\mu\text{m}$ ) 15 m
- Banda 9 Cirro (1,36 - 1,38  $\mu\text{m}$ ) 30 m



OLI adquiere datos con precisión radiométrica mejorada en un rango dinámico de 12 bits, lo que mejora la relación señal-ruido general. Esto equivale a 4096 niveles de gris potenciales, en comparación con solo 256 niveles de gris en un dispositivo Landsat 1-7 de 8 bits. La relación señal-ruido mejorada permite una mejor caracterización de la condición de la cobertura terrestre (USGS, 2023).

Los datos de 12 bits se escalan a enteros de 16 bits y se entregan en productos de datos de Nivel 1. Los productos se escalan a 55 000 niveles de gris y se pueden volver a escalar a la reflectancia y/o radiancia atmosférica superior (TOA) utilizando factores de cambio de escala radiométricos proporcionados en el archivo de metadatos del producto (MTL) (USGS, 2023).

### **2.2.17. Google Earth Engine**

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma global para analizar datos ambientales. Según la compañía, reúne más de 40 años de imágenes satelitales pasadas y presentes y proporciona las herramientas y el poder de cómputo necesarios para analizar y explorar vastos depósitos de datos, incluidas imágenes de varios sensores y satélites integrados. Las aplicaciones actuales incluyen la detección de la deforestación, la clasificación de la cubierta terrestre y los cambios en la cubierta terrestre, la estimación de la biomasa forestal y el carbono, y el mapeo global de áreas sin caminos y cubierta de nieve (GOOGLE, 2023).

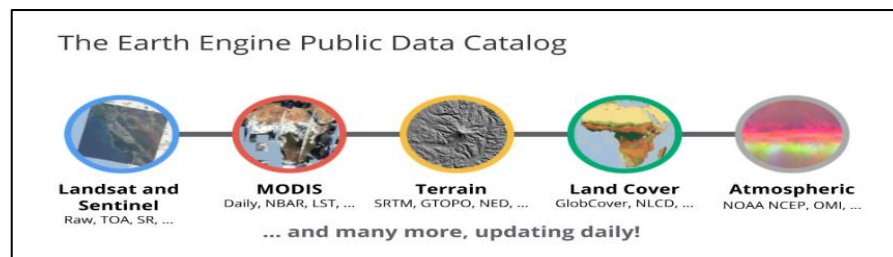
El Catálogo de datos públicos de GEE es una colección (organizada y seleccionada) de múltiples petabytes de conjuntos de datos geoespaciales ampliamente utilizados. La mayor parte del catálogo consiste en imágenes de



sensores remotos de observación de la Tierra, incluidos, entre otros, todo el archivo Landsat, Sentinel-1 y Sentinel-2, MODIS, pero también incluye proyecciones climáticas, datos de cobertura terrestre, etc. Conjuntos de datos geofísicos y socioeconómicos (GOOGLE, 2023).

#### Figura 4

Catálogo de datos públicos Google Earth Engine



Nota: Esta figura muestra el catálogo de datos públicos en Google Earth Engine

<https://geohackweek.github.io/GoogleEarthEngine/01-introduction/>

#### 2.2.18. Matriz de confusión

La fase de muestreo genera una lista de puntos de prueba, para los cuales se dispone tanto de su cobertura real como de la deducida por la clasificación. Estos datos se utilizan para crear una matriz de confusión, que representa los conflictos que surgen entre las diferentes categorías. La matriz es bidimensional, con las clases de referencia en las filas y las categorías deducidas de la clasificación en las columnas. Cada una de ellas tiene el mismo número y significado, por lo que la matriz es cuadrada, con una dimensión de  $n \times n$ , donde  $n$  es el número de categorías (Chuvieco, 1995).

**Figura 5**

Matriz de confusión

	REFERENCIAS RESULTADOS						
	Clase	Bosque	No bosque	Deforestación	Total	Exactitud Usuario	Error Comisión
Resultados de Clasificación	Bosque	A1	A2	A3	(A1+B1+C1)=R	EU1	EC1
	No bosque	B1	B2	B3	(A2+B2+C2)=S	EU2	EC2
	Deforestación	C1	C2	C3	(A3+B3+C3)=T	EU3	EC3
	Total	(A1+B1+C1)=R	(A2+B2+C2)=S	(A3+B3+C3)=T	M		
	Exactitud Usuario	EP1	EP2	EP3			
	Error Comisión	EO1	EO2	EO3			

Nota: En esta figura se muestra Protocolo Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación.

### 2.2.18.1. Las métricas para evaluar la precisión a nivel de clases

“Son un conjunto de medidas que ayudan a establecer la probabilidad de que una clase de referencia haya sido correctamente clasificada en el mapa y refleje efectivamente dicha clase en la realidad” (Llactayo et al., 2013).

- Exactitud del usuario: es la proporción de una clase que ha sido correctamente clasificada respecto al total asignado como esa clase. La fórmula sería: Exactitud del Usuario = número de coincidencias / total.

$$\text{Por ejemplo: } EU1 = \frac{A1}{R}$$

- Exactitud del productor: es el porcentaje de elementos correctamente clasificados para cada clase en las columnas. Indica hasta qué punto una clase dada ha sido correctamente clasificada. La fórmula sería: Exactitud del Productor = número de coincidencias / total.

$$\text{Por ejemplo: } EP1 = \frac{A1}{R}$$

## 2.2.18.2. Índice de Kappa

### Métrica para evaluar la precisión del mapa índice de Kappa

El índice Kappa es una medida que representa la proporción de concordancias en un mapa obtenido, eliminando los aciertos que suceden por azar. Este índice compara la precisión conseguida mediante la clasificación por medio de un software, y la precisión de alcanzar una clasificación precisa con un método visual, ya sea en el terreno o usando imágenes de alta resolución (Llactayo et al., 2013).

$$K = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e}$$

$P_0$  = Número de aciertos/ Número total de clases

$$P_0 = \frac{A1 + B2 + C3}{M}$$

$P_e$  = Calculo generado desde la matriz de confusión

$$P_e = (EP1 * EU1) + (EP2 * EU2) + (EP3 * EU3)$$

### Tabla1

Valoración del coeficiente kappa

Coeficiente de Kappa (K)	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0.01 – 0.20	Leve
0.21 – 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Considerable
0.81 – 1.00	Casi Perfecta

Nota: Se muestra la tabla de valoración del coeficiente de kappa (Landis y Koch, 1977).

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

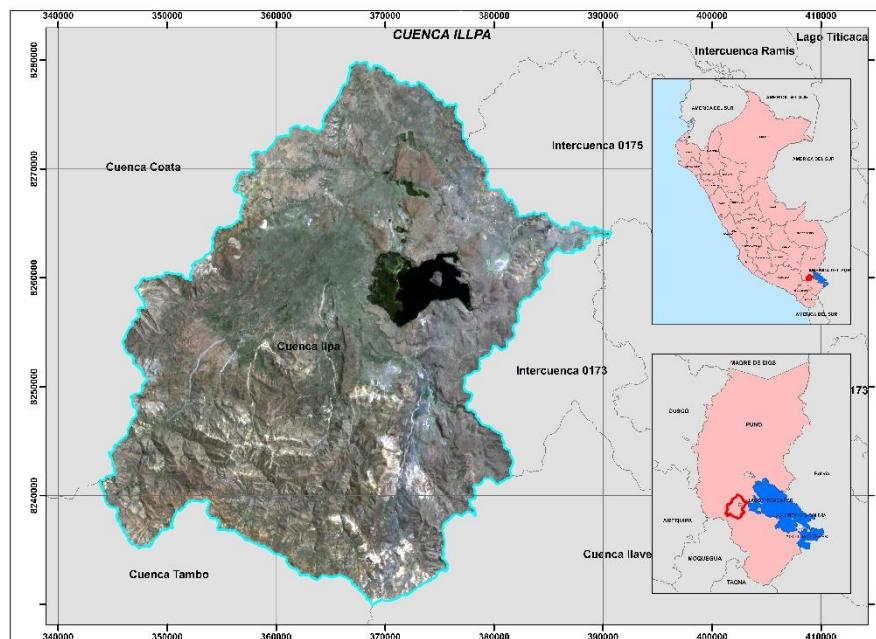
La Cuenca Ilpa se encuentra en el cuadrángulo 32-V, Zona 19 S, cuadrícula L, hemisferio sur, en el departamento de Puno.

#### 3.2. UBICACIÓN GEOGRAFICA

La cuenca Ilpa abarca las coordenadas geográficas desde una latitud sur de  $16^{\circ}0'22.59''$  S hasta  $15^{\circ}33'20.01''$  S, y en términos de longitud, se extiende desde  $70^{\circ}27'32.5''$  W hasta  $70^{\circ}1'10.58''$  W. La altitud media aproximada es de 4377.500 metros sobre el nivel del mar.

#### Figura 6

Localización geográfica de la cuenca Ilpa



Nota: Se muestra la cuenca Ilpa, creado mediante el DECRETO SUPREMO N° 021-2021-MIDAGRI (<https://snirh.ana.gob.pe/observatoriosnirh/,2023>).



### **3.3. UBICACIÓN POLÍTICA**

- Departamento: Puno
- Provincia: Puno
- Provincia: San Roman
- Distrito: Mañazo, Vilque, Tiquillaca, Cabana, Atuncolla y Paucarcolla.

### **3.4. EXTENSIÓN SUPERFICIAL**

La zona de estudio para este proyecto de investigación tiene una extensión superficial total de 1255.57 Km<sup>2</sup> y perímetro de 198.00Km.

### **3.5. MATERIALES E INSTRUMENTOS**

#### **3.5.1. Materiales**

- Imágenes satelitales del sensor Landsat
- Memoria XX TB marca AZUS
- Hojas bond Stanford A4
- Libreta topográfica
- Lápices

#### **3.5.2. Equipos**

- Laptop LENOVO TM LEGION Y720 INTEL CORE I7, 16 GB RAM  
15.6”
- Impresora Epson L210



### **3.5.3. Software**

- Google Earth Engine
- Microsoft Excel 2019
- Microsoft Office 2019
- SSPS Statistics versión (prueba gratuita)
- R y Rstudio

## **3.6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

### **3.6.1. Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo correlacional aplicando la teledetección en el alcance del índice de agua (cuerpos de agua) y análisis multitemporal.

## **3.7. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Dado que objetivo del estudio será de determinar el área del espejo de agua en la cuenca Ilpa, y su comportamiento con las variabilidades climática, donde se recurrió a un diseño no experimental que se aplicará de manera longitudinal.

### **3.7.1. Enfoque de investigación**

El presente trabajo será diseñado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, puesto que este es el mejor se adapta a las características y necesidades de la investigación.



## **3.8. MÉTODOS ESTADÍSTICOS**

### **3.8.1. Estadística de prueba**

Para este proyecto se considera el estadístico de prueba de Pearson para aquellas variables paramétricas (distribución normal), y para aquellas variables que resulten no paramétricas (distribución no normal) se aplica el estadístico de prueba de Spearman.

### **3.8.2. Error de muestra y nivel de confianza**

Para este proyecto se considera un error de muestra 0.05 o 5% con un nivel de confianza de 0.95 o 95%.

### **3.8.3. Población**

En la presente investigación se considera como población la cuenca Ilpa.

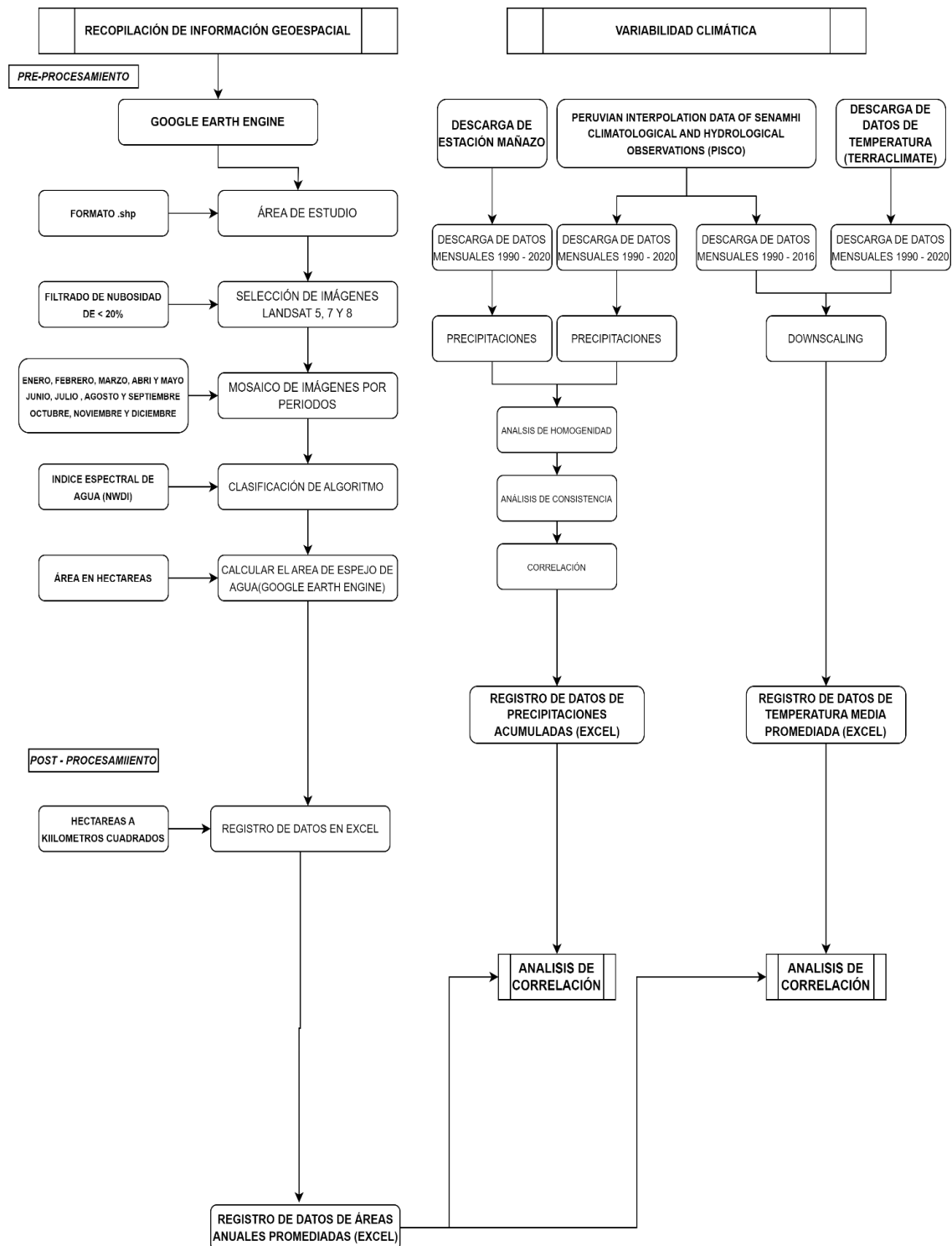
### **3.8.4. Muestra**

Área del espejo de agua, precipitaciones y la temperatura media promediada.

### 3.9. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Figura 7

Diagrama de flujo “Metodología de trabajo”



Nota: En la figura se muestra la metodología de trabajo realizado para la recolección de los datos.



### 3.9.1. Planeamiento del proyecto de investigación

**Figura 8**

Planeamiento del proyecto de investigación



Nota: En la figura se muestra planeamiento del proyecto de investigación

### **3.10. PROCESO METODOLÓGICO**

Para este proyecto de investigación se empleó los siguientes procesos como se pueden apreciar a continuación:

#### **3.10.1. Recolección de datos de áreas de espejo de agua en la cuenca Ilppa**

##### **3.10.1.1. Procesamiento en Google Earth Engine**

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma de análisis de datos ambientales globales que agrega más de 40 años de imágenes globales de una variedad de sensores satelitales, incluidas imágenes históricas y actuales, y proporciona las herramientas y la computación necesarias para analizar y explorar conjuntos de datos masivos en la escala de petabytes. escala de potencia (Gorelick, et al, 2017).

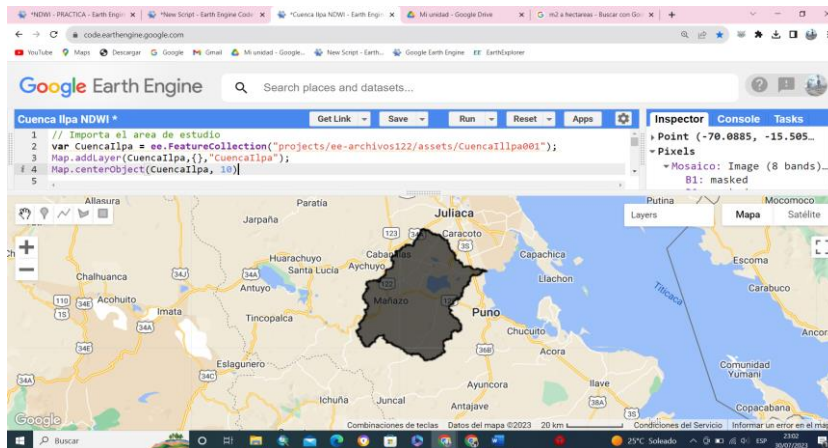
El proceso de clasificación de índice de agua de diferencia normalizada – Normalized difference wáter indez (NDWI) comprende el entrenamiento de puntos de índice de agua. A partir de esto se realizó la selección de criterios para clasificar el espejo de agua. Estos procesos se desarrollaron en código de Google Earth Engine, haciendo uso de los recursos que esta herramienta dispone como las colecciones de imágenes satelitales de acceso libre y de diferentes fuentes.

Para desarrollar el análisis multitemporal de la cuenca Ilpa se hizo uso de colecciones de imágenes Landsat 5, Landosat 7 y Landsat 8 con baja cobertura de nubes y establecidas en un periodo de época seca según la información meteorológica que se encuentre de la zona. El espejo de agua de la cuenca Ilppa se clasificó mediante criterios de respuesta espectral, haciendo uso de índices normalizados. Cada punto de entrenamiento en el modelo recopila la información

resultante de los criterios de clasificación establecidos para poder asignar un promedio general.

### Figura 9

#### Google Earth Engine API

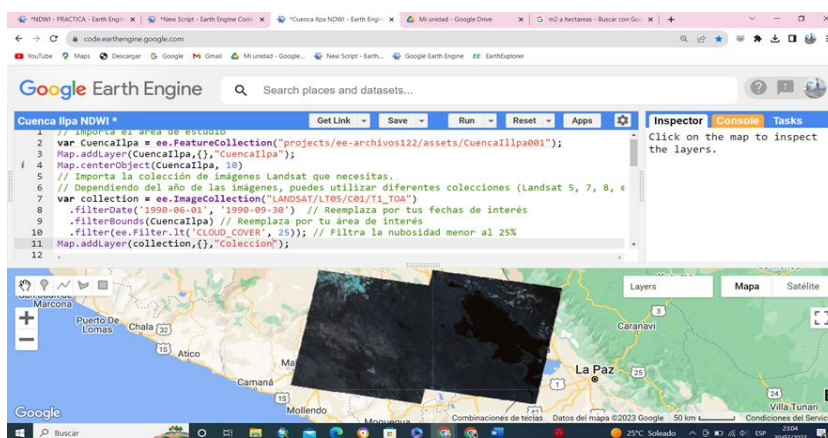


Nota: Esta figura ilustra el área de estudio correspondiente a la cuenca Iipa, visualizada mediante la plataforma GEE (<https://code.earthengine.google.com>, 2023).

Como primer paso del proceso, llevamos a cabo la importación del área de estudio en formato SHP (Shapefile) a la plataforma de Google Earth Engine.

### Figura 10

#### Google Earth Engine API



Nota: Esta figura presenta la colección de imágenes satelitales obtenidas de Landsat (<https://code.earthengine.google.com>, 2023).

Se creó una colección de mosaicos de imágenes por periodos de pixel mediana en los años de 1990 -2020, el primer periodo fue entre los meses de enero a mayo, segundo periodo entre los meses de junio a septiembre y tercer periodo entre los meses de octubre y diciembre, de las imágenes de satélite Landsat según la tabla N°1.

**Tabla 1**

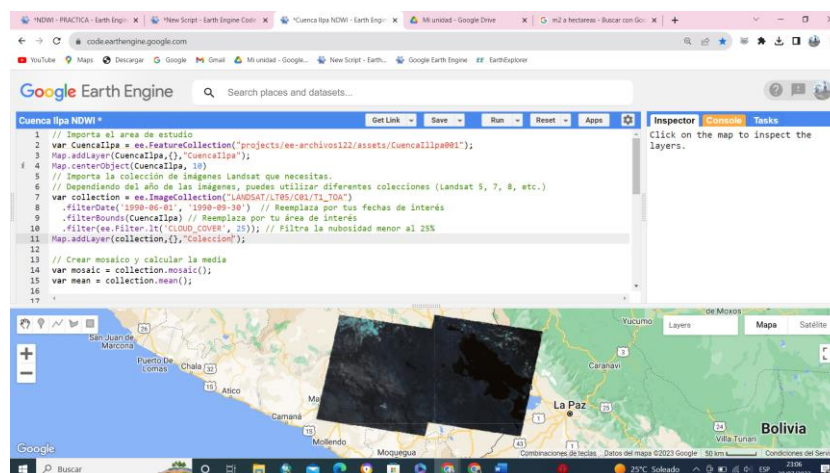
Colecciones de imágenes Landsat

Sensor	ID Colección en GEE
Landsat 5 TM	LANDSAT/LT05/C01/T1_TOA
Landsat 7 ETM +	LANDSAT/LE07/C01/T1_TOA
Landsat 8 OLI	LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA

Nota: Esta tabla muestra la colección de imágenes Landsat utilizadas para la información de áreas de espejo de agua.

**Figura 11**

Google Erth Engine API



Nota: La figura ilustra el proceso de ensamblado de un mosaico a partir de las imágenes disponibles, seguido del cálculo de la media para cada pixel (<https://code.earthengine.google>, 2023).

Durante el proceso, se han establecido períodos específicos para recopilar información de cuerpos de agua, como se detalla en la tabla N°2. La utilización

de esta herramienta ha sido esencial, ya que nos ha permitido implementar una metodología precisa, garantizando así la adquisición de datos de calidad y relevancia para nuestro estudio.

**Tabla 2**

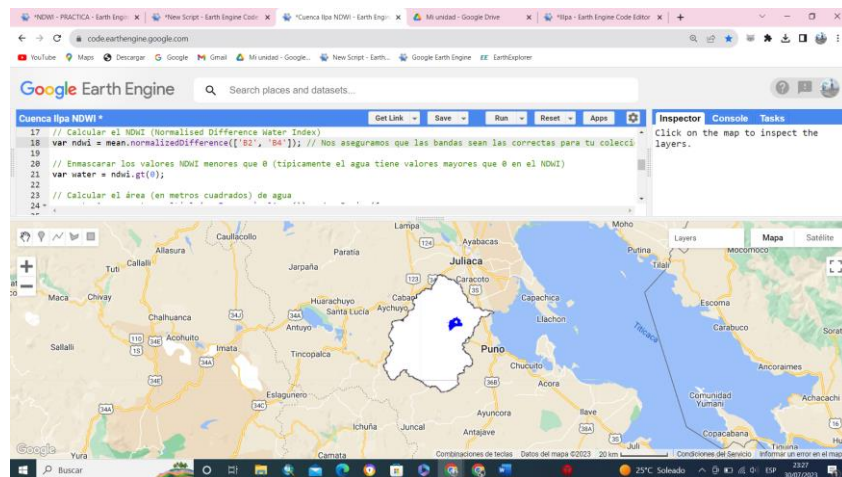
Clasificación por periodos

Meses	Periodos
Enero – Mayo	I
Abril – Septiembre	II
Octubre - Diciembre	III

Nota: Esta tabla representa la clasificación por periodos para la obtención de datos.

**Figura 12**

Google Erth Engine API



Nota: La figura ilustra el cálculo del Índice de Diferencia Normalizada de Agua (<https://code.earthengine.google>, 2023).

Durante el proceso para la recolección de áreas de espejo de agua, como lagos y lagunas, hemos utilizado el NDWI (Normalized Difference Water Index). El NDWI es un índice que se basa en el cálculo de la diferencia normalizada entre

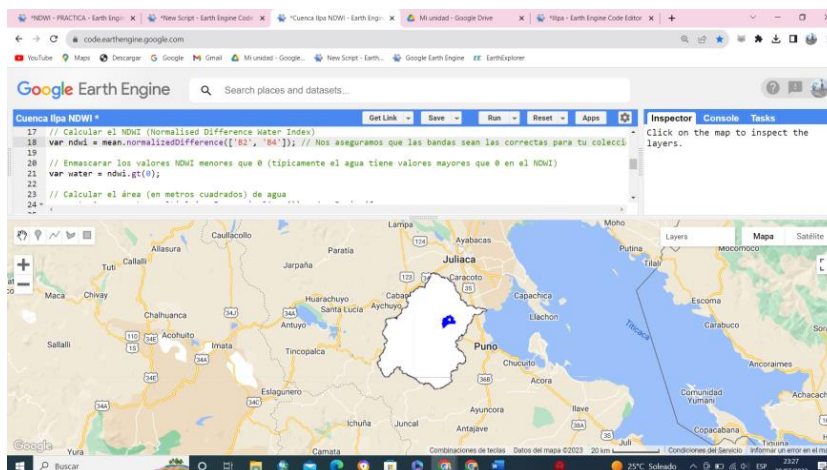
la reflectividad en el infrarrojo cercano y el verde, utilizando imágenes de satélite Landsat.

El NDWI se utiliza para identificar la presencia de agua en las imágenes, lo que permite la detección de cambios en la cobertura de lagunas. El estudio utiliza un valor de  $NDWI > 0.2$  como criterio para identificar la presencia de lagunas en las imágenes de los sensores TM y OLI de Landsat (Turpo Cayo & Chaves, 2017).

En este artículo describe el Índice de Agua Normalizada de Diferencia (NDWI), un nuevo método para analizar datos de teledetección y evaluar los recursos hídricos. El NDWI utiliza la radiación infrarroja cercana reflejada y la luz verde visible para resaltar la presencia de características de agua abierta mientras elimina las características del suelo y la vegetación terrestre (McFEETERS, 1996).

### Figura 13

#### Google Earth Engine API

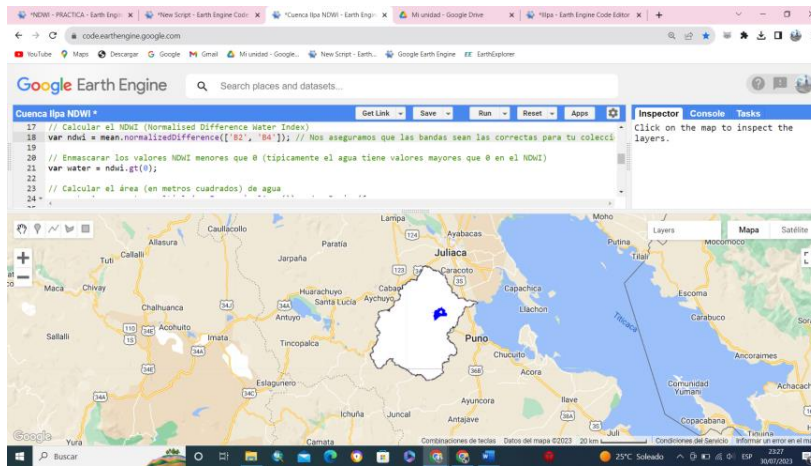


Nota: Esta figura muestra el cálculo del área correspondiente al espejo de agua (<https://code.earthengine.google>, 2023).



## Figura 14

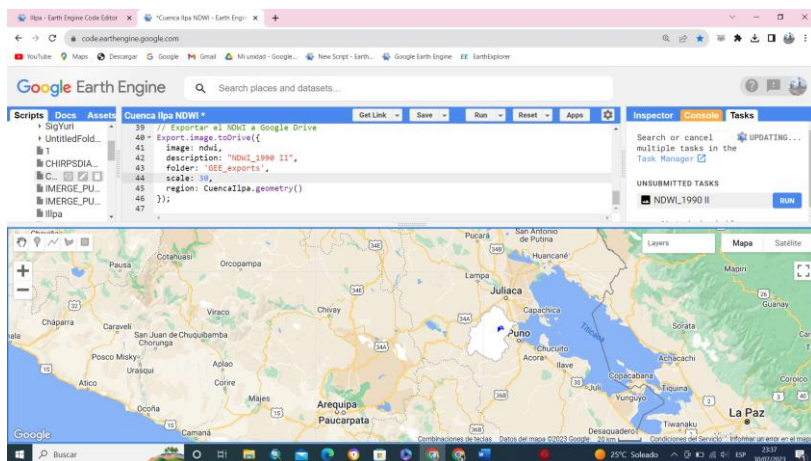
### Google Erth Engine API



Nota: Esta figura presenta el mapa de visualización del Índice de Diferencia Normalizada de Agua (<https://code.earthengine.google.com>, 2023).

## Figura 15

### Google Erth Engine API



Nota: La figura expone el proceso de exportación del raster de Índice de Diferencia Normalizada de Agua al Google Drive (<https://code.earthengine.google.com>, 2023).

A continuación, se muestra la tabla N°3 la información de áreas de espejo de agua, considerando que cada año se realizó la clasificación por periodos como se muestra en la tabla N°2.

**Tabla 3**

Área de espejo de agua en la cuenca Ilpa (km<sup>2</sup>)

<b>Área de espejo de agua en la cuenca Ilpa - (Km<sup>2</sup>)</b>				
<b>Año</b>	<b>Ene - May</b>	<b>Jun - Sep</b>	<b>Oct - Dic</b>	<b>Promedio del área de espejo de agua</b>
1990	21.19	21.09	27.85	23.38
1991	31.25	23.74	19.68	24.89
1992	18.86	19.13	19.22	19.07
1993	24.81	20.19	19.21	21.40
1994	40.36	39.44	30.89	36.89
1995	32.51	21.57	19.76	24.61
1996	31.75	27.09	23.39	27.41
1997	21.19	38.00	26.90	27.37
1998	24.33	23.78	21.73	23.28
1999	33.94	27.49	22.68	28.04
2000	30.17	22.98	21.59	24.91
2001	49.44	32.32	25.57	35.78
2002	36.87	28.25	22.59	29.24
2003	26.21	24.14	21.55	23.96
2004	25.16	23.24	21.56	23.32
2005	27.86	24.29	21.29	24.48
2006	34.39	24.07	20.24	26.23
2007	30.86	23.91	21.66	25.48
2008	26.68	21.73	21.42	23.27
2009	26.86	21.91	20.97	23.25
2010	31.01	25.94	21.42	26.12
2011	32.36	25.81	22.08	26.75
2012	44.97	24.77	20.74	30.16
2013	24.54	20.63	19.98	21.72
2014	20.54	20.38	20.01	20.31
2015	34.09	28.29	22.87	28.41
2016	22.25	21.10	20.15	21.17
2017	34.14	31.12	24.18	29.81
2018	31.06	24.67	21.70	25.81
2019	29.58	24.24	22.30	25.37
2020	23.88	22.54	21.61	22.68

Nota: Esta tabla muestra la información de los datos de área de espejo de agua en la cuenca Ilpa de los años 1990 hasta 2020.



### 3.10.2. Validación de espejo de agua en la cuenca Ilpa

La clasificación supervisada de los cuerpos de agua en la cuenca Ilpa se llevó a cabo a través de la plataforma de Google Earth Engine. Este proceso, se desarrolló teniendo en cuenta los periodos definidos en la Tabla N°2, se ejecutó en segmentos temporales predefinidos. En cada uno de estos periodos, se sometieron a un análisis de tres imágenes satelitales CERBS-4A del año 2020 como se muestra en las tablas mostradas. Para garantizar la veracidad de estos análisis, se seleccionaron más de 250 puntos de referencia distribuidos a lo largo de la cuenca para la validación de los resultados. A cada uno de estos se le aplicó el procedimiento de la matriz de confusión y se calculó el índice de Kappa. Esta metodología no solo permitió un análisis en profundidad y la evolución de las áreas de espejo de agua en la cuenca, sino que también proporcionó un marco cuantitativo sólido para evaluar la precisión de los resultados obtenidos.

#### Tabla 4

Matriz de confusión para el periodo I - 2020

N°1	Clases	Superficie terrestre	Cuerpo de agua	Total	Precisión	Precisión %
1	Superficie terrestre	244	1	245	0.996	100%
2	Cuerpo de agua	3	11	14	0.786	79%
Total		247	12	259	0.985	98%

Nota: Esta tabla muestra la matriz de confusión para el periodo I - 2020.

### Tabla 5

Coeficiente kappa periodo I - 2020

Índice de Kappa	Fuerza de Concordancia
0.8380744	Casi perfecta

Nota: Esta tabla muestra el coeficiente de kappa para el periodo I - 2020.

### Tabla 6

Matriz de confusión para el periodo II - 2020

Nº1	Clases	Superficie terrestre	Cuerpo de agua	Total	Precisión	Precisión %
1	Superficie terrestre	246	0	246	1.000	100%
2	Cuerpo de agua	7	10	17	0.588	59%
Total		253	10	263	0.973	97%

Nota: Esta tabla muestra para la matriz de confusión para periodo II - 2020.

### Tabla 7

Coeficiente kappa para el periodo II - 2020

Índice de Kappa	Fuerza de Concordancia
0.727703	Considerable

Nota: Esta tabla muestra el coeficiente de kappa para el periodo II - 2020.

### Tabla 8

Matriz de confusión para el periodo III - 2020

Nº1	Clases	Superficie terrestre	Cuerpo de agua	Total	Precisión	Precisión %
1	Superficie terrestre	245	3	248	0.988	99%
2	Cuerpo de agua	0	10	10	1.000	100%
Total		245	13	258	0.988	99%

Nota: Esta tabla muestra para la matriz de confusión para periodo III - 2020.



### Tabla 9

Coeficiente kappa periodo III - 2020

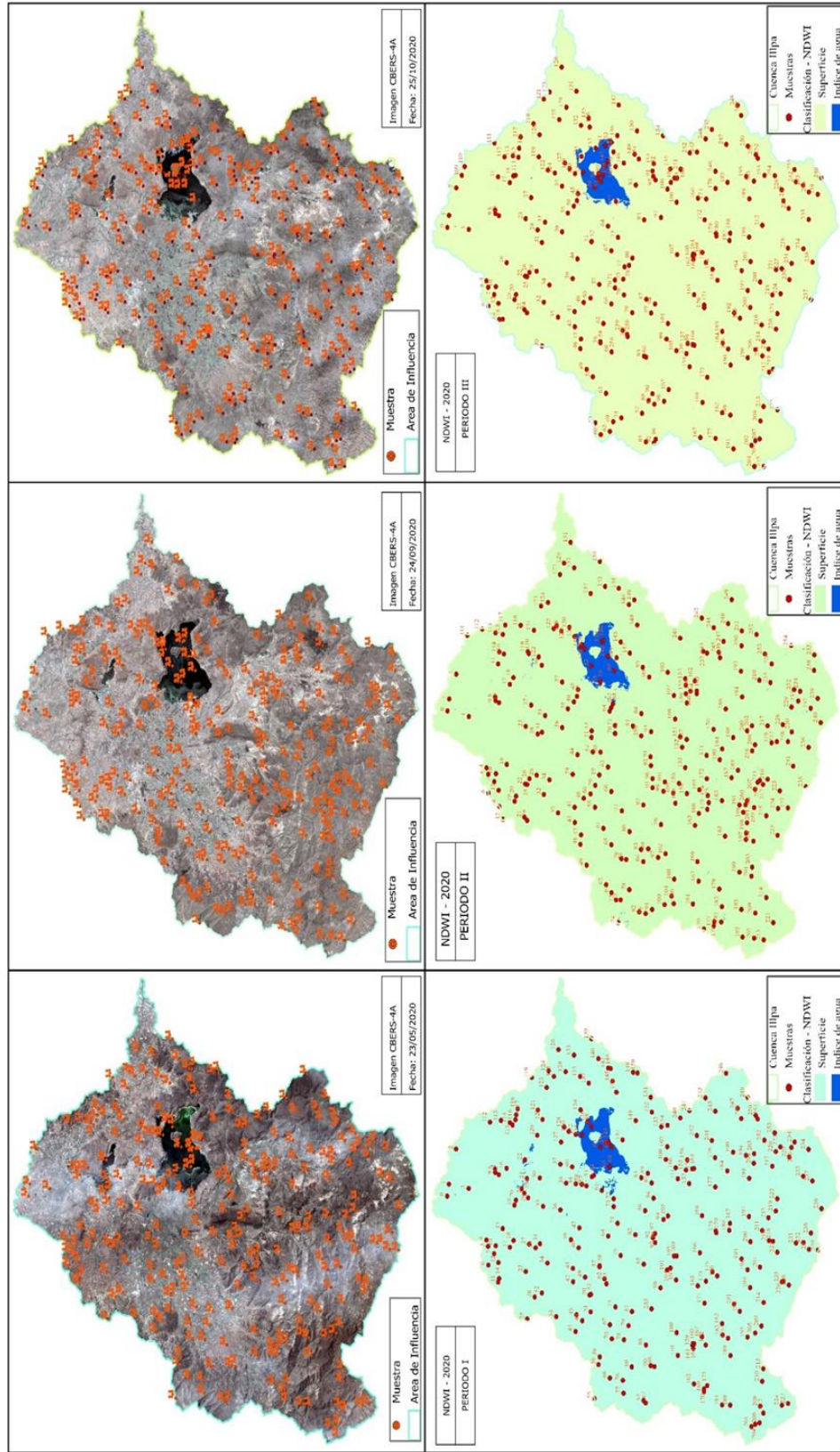
Índice de Kappa	Fuerza de Concordancia
0.8635883	Casi perfecta

Nota: Esta tabla muestra el coeficiente de kappa para el periodo III - 2020.

De acuerdo con los datos presentados en las tablas, se observa una notable precisión en la clasificación realizada mediante Google Earth Engine durante distintos periodos del año. Para esta validación se analizó con las imágenes satelitales de CBERS-4A del año 2020. En el periodo I, que abarca de enero a mayo, el coeficiente Kappa alcanza un valor de 0.84, lo que indica una casi perfecta exactitud en la clasificación. En el periodo II, que comprende de junio a septiembre, aunque el coeficiente Kappa disminuye a 0.73, todavía se considera un nivel de exactitud considerable. Por último, en el periodo III, de octubre a diciembre, se registra un coeficiente Kappa de 0.86, lo que se traduce en una clasificación prácticamente casi perfecta. Estos hallazgos evidencian la eficacia y precisión de Google Earth Engine en la clasificación de datos a lo largo de diversos periodos anuales.

**Figura 16**

Puntos de muestreo



Nota: Esta figura muestra los puntos de muestreo para la validación de datos



### **3.10.3. Recolección de información de datos para la variabilidad climática**

#### **3.10.3.1. Precipitaciones**

En este estudio, la información requerida se recopiló información de PISCO versión 1.1 (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations) de la cuenca Ilpa de los periodos de registro desde 1981 – 2016, el cual es recomendado por el servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Así mismo para completar la información faltante hasta el año 2020, se utilizaron los datos PISCOp\_h, (“High-resolution gridded hourly precipitation dataset for Peru”) recientes publicados por el mismo SENAMHI.

Para la validación de la información obtenida se recopiló información de la estación Mañano que se ubica en la cuenca Ilpa, donde se analizaron el análisis de homogeneidad y análisis consistencia.

Según SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú), sobre el uso del producto de precipitación grillado PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations) en estudios, investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico. La metodología utilizada para generar PISCO se describe en detalle en la nota técnica e incluye el control de calidad de la información pluviométrica, el análisis exploratorio de la información satelital y la mezcla de datos basada en técnicas geoestadísticas y determinísticas. Los resultados del estudio muestran que PISCO tiene diversas aplicaciones, incluyendo el monitoreo de sequías, el mapeo de umbrales de precipitación extrema, la observación de inundaciones, el monitoreo decadal de precipitaciones y el modelamiento hidrológico. El uso de los productos de PISCO es



recomendable para diversas aplicaciones, pero es importante tener en cuenta las limitaciones y recomendaciones para su uso que se mencionan en la nota técnica.

### **Precipitación anual acumulada**

En esta investigación, se llevó a cabo un análisis detallado de los datos de precipitaciones en la producción de pisco grillado. Se recopilaron y analizaron datos mensuales de precipitaciones en un período de 31 años, desde 1990 hasta 2020, con el fin de evaluar la relación entre las condiciones climáticas y la calidad del producto final. Este enfoque a largo plazo permitió obtener una visión más completa y precisa de los efectos de las precipitaciones en la producción de pisco grillado.

## Datos de precipitaciones

**Tabla 10**

Datos de precipitaciones mensuales acumuladas 1990 - 2020

Mes	Datos Producto PISCO - Precipitaciones (mm) 1990 – 2020												Precipitación anual acumulada
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
1990	119.13	41.09	34.14	21.65	6.04	41.79	0.07	13.61	3.79	70.31	111.71	106.35	569.70
1991	97.07	96.15	124.76	35.66	7.27	30.31	0.33	0.79	10.65	21.57	40.09	69.10	533.74
1992	84.47	84.56	21.91	17.62	0.09	3.80	2.32	39.08	0.49	31.73	43.28	80.09	409.44
1993	142.46	49.91	92.83	51.59	3.17	0.71	0.06	28.09	11.47	60.58	85.05	139.96	665.88
1994	132.08	145.60	105.14	86.22	3.17	0.60	0.18	0.37	6.11	5.91	73.68	109.39	668.44
1995	85.29	98.02	96.71	5.61	1.35	0.17	0.28	1.00	14.45	8.29	41.19	96.38	448.73
1996	176.12	118.29	49.12	30.41	3.27	0.17	1.28	20.70	3.86	10.78	85.43	140.51	639.95
1997	140.02	186.30	112.01	58.88	2.55	0.19	0.05	27.34	58.24	23.87	91.81	57.81	759.07
1998	139.97	111.42	80.52	21.23	0.09	1.30	0.05	2.45	1.22	27.10	66.39	39.18	490.93
1999	96.49	152.92	137.68	77.49	7.95	0.24	0.13	4.32	18.72	81.01	10.71	98.85	686.50
2000	121.09	191.21	82.20	19.51	2.40	0.99	0.61	9.70	10.57	75.07	8.93	104.95	627.24
2001	244.31	201.43	123.15	56.19	10.36	0.96	1.35	13.71	6.97	44.06	41.78	74.05	818.33
2002	69.18	169.64	115.26	74.96	22.13	7.20	16.92	12.06	12.23	71.86	75.37	112.67	759.48
2003	133.80	94.79	110.08	23.25	14.50	3.43	0.21	3.46	22.67	10.53	24.23	127.24	568.17



Datos Producto PISCO - Precipitaciones (mm) 1990 – 2020

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Precipitación anual acumulada
2004	163.09	117.63	75.98	30.98	1.59	0.95	9.31	29.66	19.97	3.62	23.63	51.88	528.29
2005	68.01	193.64	68.45	38.11	0.26	0.20	0.04	0.41	9.26	27.85	74.70	111.11	592.03
2006	197.42	75.59	100.79	31.49	0.61	1.07	0.05	2.66	25.92	27.43	72.67	94.77	630.48
2007	74.17	91.10	195.35	55.31	4.80	0.13	2.16	0.60	26.94	34.47	74.93	92.31	652.27
2008	170.12	87.26	63.80	1.09	0.94	0.56	0.07	1.83	1.77	36.46	12.71	171.45	548.07
2009	85.93	127.71	96.20	33.80	1.63	0.20	3.09	0.37	7.04	14.94	110.00	108.51	589.42
2010	105.55	149.07	52.77	19.59	15.55	0.30	0.17	1.21	0.92	23.33	26.01	140.49	534.97
2011	73.00	179.53	87.82	36.17	4.78	0.13	4.54	0.41	12.17	15.62	75.83	200.32	690.32
2012	130.50	231.64	140.00	51.71	0.45	0.31	0.03	4.73	8.05	5.10	50.91	190.44	813.87
2013	165.41	159.44	73.95	3.06	9.68	11.42	8.96	6.93	0.34	38.15	54.35	137.26	668.94
2014	133.86	66.61	46.67	41.07	1.60	0.24	1.14	31.95	31.70	48.62	33.54	44.61	481.61
2015	111.46	107.83	102.39	129.70	2.14	0.66	4.57	10.68	35.38	46.79	46.81	73.04	671.44
2016	48.87	170.44	25.33	68.54	5.22	2.03	2.98	6.71	9.71	52.51	21.16	70.49	484.00
2017	167.40	116.14	101.77	32.34	19.72	4.50	3.87	2.19	45.90	53.18	60.68	107.94	715.63
2018	134.36	140.07	110.39	33.26	13.60	12.32	24.41	2.47	1.81	46.26	45.57	109.34	673.84
2019	109.69	152.24	58.97	46.72	25.19	3.88	4.89	2.81	23.50	38.91	94.63	113.52	674.96
2020	90.32	173.37	107.27	13.26	14.97	1.11	0.34	2.52	50.34	46.88	11.82	145.98	658.18

Nota: Esta tabla muestra información de las precipitaciones mensuales y anual en la cuenca Iipa entre los años 1990 – 2020.





### 3.10.3.2. Temperatura media promediada

En este estudio, se llevó a cabo un análisis de los datos de temperatura máxima y mínima del producto Terraclimate en un período comprendido entre 1981 y 2020. Con el objetivo de mejorar la resolución y reducir el sesgo en los datos, se aplicó el método de downscaling. Para ello, se utilizó información de temperatura máxima y mínima del producto grillado Pisco correspondiente al período de 1981 a 2016, ya que estos datos presentan una menor resolución en comparación con los datos del producto Terraclimate. Como resultado, se obtuvieron datos de temperatura media, los cuales se utilizaron para evaluar la influencia de las temperaturas medias en el espejo de agua. El objetivo de esta investigación fue comprender cómo los cambios en la temperatura pueden afectar el comportamiento y las condiciones del espejo de agua en cuestión. Al comprender mejor estos cambios de temperatura y su influencia, se podrán tomar decisiones más fundamentadas en cuanto a la gestión y conservación adecuada de los recursos hídricos en el área de estudio.

**Tabla 11**

Datos de temperatura media promediada 1990 - 2020

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Temperatura media promediada(C°)
1990	9.91	10.14	9.42	8.93	6.88	4.94	4.25	5.83	7.85	9.52	9.93	10.52	8.18
1991	9.94	9.77	9.68	8.59	6.75	5.93	5.14	5.68	8.13	8.79	9.79	10.60	8.23
1992	10.53	10.56	10.54	9.79	8.06	6.40	4.92	5.98	7.35	9.19	9.71	10.44	8.62
1993	9.71	10.28	9.61	9.55	7.97	6.95	5.30	6.55	7.82	9.76	9.93	10.44	8.66
1994	10.06	10.01	10.36	9.55	8.03	6.76	5.02	6.49	8.22	9.85	10.70	11.13	8.85
1995	10.95	10.52	9.62	9.27	6.70	5.86	5.51	6.44	8.12	10.08	9.95	9.98	8.58
1996	9.41	9.83	9.40	9.01	6.96	5.46	4.88	5.97	7.33	9.37	8.99	9.45	8.00
1997	9.45	9.60	9.47	8.85	8.48	7.15	7.19	5.54	8.17	10.44	10.47	11.69	8.87
1998	11.94	11.48	11.04	10.60	9.04	6.03	6.90	6.49	7.23	9.33	9.78	10.93	9.23
1999	9.94	9.60	9.45	8.04	6.08	4.90	5.41	5.93	7.55	8.70	9.33	10.30	7.94
2000	9.41	9.44	9.23	9.98	6.92	5.31	5.03	6.57	7.94	8.89	10.41	10.58	8.31
2001	9.26	9.90	9.31	9.04	5.83	5.52	5.04	6.17	7.83	9.02	9.82	10.51	8.10
2002	9.89	9.75	9.94	9.15	6.81	5.61	4.72	6.36	7.82	9.32	9.98	10.92	8.36
2003	10.53	10.78	10.09	7.09	6.88	5.16	5.43	4.91	6.85	9.31	10.40	10.74	8.18
2004	10.19	9.88	10.44	9.43	6.28	4.85	4.55	6.56	7.93	10.26	10.86	11.34	8.54
2005	10.70	9.95	9.91	9.57	8.15	5.05	4.29	6.72	7.12	8.48	8.78	9.25	8.16



Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Temperatura media promediada(C°)
2006	10.06	10.11	10.31	9.06	7.38	6.42	5.98	5.95	7.57	8.66	9.88	10.80	8.52
2007	10.78	10.07	9.76	8.42	5.99	5.31	4.89	5.25	7.12	8.46	9.21	9.50	7.90
2008	9.27	9.51	9.17	7.17	5.04	4.93	4.54	6.03	7.25	9.67	10.41	10.32	7.77
2009	9.99	10.02	9.78	9.25	7.12	5.51	5.45	6.03	7.42	9.91	11.20	11.00	8.56
2010	10.53	11.24	10.46	10.61	7.98	6.23	4.47	5.31	9.12	8.77	9.60	10.08	8.70
2011	10.13	9.50	8.92	9.46	7.05	6.66	5.97	6.02	7.74	8.49	10.21	10.02	8.35
2012	9.59	9.40	9.85	9.25	6.24	5.28	5.24	5.70	7.95	9.86	10.46	10.31	8.26
2013	9.91	9.99	9.65	7.14	7.09	5.30	5.41	5.36	7.45	9.05	10.06	10.38	8.07
2014	9.72	9.94	9.48	9.46	7.25	6.87	5.82	6.51	8.82	9.58	10.86	10.27	8.71
2015	9.58	10.23	10.19	9.86	7.54	6.99	6.21	7.10	9.14	9.54	10.23	11.01	8.97
2016	11.57	11.57	11.31	10.48	8.44	7.04	6.97	7.56	9.27	9.75	9.77	11.30	9.58
2017	10.80	11.28	10.63	9.83	7.98	6.73	6.18	7.60	9.58	11.44	12.21	11.66	9.66
2018	9.58	9.99	10.00	9.68	6.75	-1.89	5.54	5.32	7.98	11.05	10.21	10.60	7.90
2019	11.47	11.20	11.10	10.83	9.32	7.70	6.94	7.77	9.57	10.61	11.40	11.82	9.98
2020	11.28	11.33	10.95	9.81	8.56	7.44	6.50	8.05	8.41	9.02	13.06	11.29	9.64

Nota: Esta tabla muestra la información de temperatura media promediada entre los años 1990 – 2020.

### 3.10.4. Validación por el método estadístico para datos de variabilidad climática

Precipitación mensual acumulada Estación Mañazo vs Precipitación mensual acumulada del producto grillado PISCO 2017 – 2020.

**Tabla 12**

Precipitación mensual acumulada Estación Mañazo vs Precipitación mensual acumulada Producto PISCO 2017 - 2020

N°	Año	Mes	Precipitación mensual del producto grillado PISCO 2017 – 2020(mm)	Precipitación acumulada producto grillado PISCO 2017 – 2020(mm)	Precipitación mensual de la estación Mañazo(mm)	Precipitación acumulada de la estación Mañazo(mm)
1	2017	Enero	182.60	182.60	179.10	179.10
2	2017	Febrero	128.90	311.50	131.80	310.90
3	2017	Marzo	105.90	417.40	107.20	418.10
4	2017	Abril	33.10	450.50	31.50	449.60
5	2017	Mayo	15.70	466.20	14.40	464.00
6	2017	Junio	7.10	473.30	10.85	474.85
7	2017	Julio	6.10	479.40	6.10	480.95
8	2017	Agosto	0.00	479.40	0.40	481.35
9	2017	Setiembre	44.70	524.10	41.60	522.95
10	2017	Octubre	55.50	579.60	54.40	577.35
11	2017	Noviembre	77.90	657.50	81.90	659.25
12	2017	Diciembre	96.90	754.40	88.70	747.95
13	2018	Enero	162.50	916.90	148.40	896.35
14	2018	Febrero	148.30	1065.20	134.60	1030.95
15	2018	Marzo	118.70	1183.90	118.30	1149.25
16	2018	Abril	37.80	1221.70	40.60	1189.85
17	2018	Mayo	3.60	1225.30	0.00	1189.85
18	2018	Junio	14.10	1239.40	14.00	1203.85
19	2018	Julio	23.20	1262.60	22.90	1226.75
20	2018	Agosto	0.10	1262.70	1.40	1228.15
21	2018	Setiembre	0.00	1262.70	0.00	1228.15

N°	Año	Mes	Precipitación mensual del producto grillado PISCO 2017 – 2020(mm)	Precipitación acumulada producto grillado PISCO 2017 – 2020(mm)	Precipitación mensual de la estación Mañazo(mm)	Precipitación acumulada de la estación Mañazo(mm)
22	2018	Octubre	42.40	1305.10	49.60	1277.75
23	2018	Noviembre	39.20	1344.30	53.80	1331.55
24	2018	Diciembre	98.10	1442.40	96.30	1427.85
25	2019	Enero	129.30	1571.70	122.70	1550.55
26	2019	Febrero	181.00	1752.70	178.40	1728.95
27	2019	Marzo	77.20	1829.90	52.70	1781.65
28	2019	Abril	37.30	1867.20	35.10	1816.75
29	2019	Mayo	24.90	1892.10	23.60	1840.35
30	2019	Junio	6.70	1898.80	7.70	1848.05
31	2019	Julio	2.00	1900.80	1.50	1849.55
32	2019	Agosto	2.40	1903.20	0.00	1849.55
33	2019	Setiembre	25.20	1928.40	26.80	1876.35
34	2019	Octubre	32.80	1961.20	32.10	1908.45
35	2019	Noviembre	116.10	2077.30	117.60	2026.05
36	2019	Diciembre	130.70	2208.00	126.20	2152.25
37	2020	Enero	88.40	2296.40	78.30	2230.55
38	2020	Febrero	167.50	2463.90	168.80	2399.35
39	2020	Marzo	121.20	2585.10	48.64	2447.99
40	2020	Abril	13.30	2598.40	35.73	2483.72
41	2020	Mayo	14.00	2612.40	12.67	2496.39
42	2020	Junio	1.20	2613.60	0.00	2496.39
43	2020	Julio	0.10	2613.70	0.00	2496.39
44	2020	Agosto	0.50	2614.20	0.00	2496.39
45	2020	Setiembre	57.50	2671.70	61.10	2557.49
46	2020	Octubre	58.30	2730.00	61.40	2618.89
47	2020	Noviembre	8.30	2738.30	2.40	2621.29
48	2020	Diciembre	147.40	2885.70	140.95	2762.24

Nota: Esta tabla muestra información de precipitaciones de la estación Mañazo y precipitaciones del producto PISCOh mensuales.



### **3.10.5. El ritual de la significancia estadística para la validación**

#### **Precipitación mensual acumulada Estación Mañazo vs Precipitación mensual acumulada del producto grillado PISCOh 2017 - 2020**

##### **Plantear Hipótesis**

Ho: No existe correlación entre la precipitación mensual acumulada (mm) estación Mañazo y la precipitación mensual acumulada (mm) del producto grillado PISCO 2017 – 2020.

Hi: Existe correlación entre la precipitación mensual acumulada (mm) estación Mañazo y la precipitación mensual acumulada (mm) del producto grillado PISCO 2017 – 2020.

##### **Establecer el nivel de significancia**

Nivel de significancia (alfa)  $\alpha = 5\% = 0.05$

##### **Estadística de prueba**

Correlación de Spearman

##### **Valor de p = 0% = 0.000**

Lectura del p valor

Con una probabilidad de error del 0.000% Existe correlación entre la precipitación mensual acumulada (mm) estación Mañazo 2017 – 2020 y la precipitación mensual acumulada (mm) del producto grillado PISCO 2017 – 2020.

## Toma de decisiones

Si existe correlación entre la precipitación mensual acumulada (mm) de la estación Mañazo 2017 – 2020 y la precipitación mensual acumulada (mm) del producto grillado PISCO 2017 – 2020.

## Interpretación de correlación de Spearman (Rho)

La correlación de Spearman es de 0.976 entre las variables " precipitación mensual acumulada (mm) de la estación Mañazo 2017 – 2020" y " precipitación mensual acumulada (mm) del producto grillado PISCO 2017 – 2020." indica una correlación positiva perfecta entre ellas.

## Figura 17

Prueba de normalidad en SPSS

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ppt_PISCO	,168	48	,002	,875	48	,000
Ppt_EstMañazo	,148	48	,010	,882	48	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Esta figura muestra la prueba de normalidad para datos de Precipitación mensual acumulada Estación Mañazo vs Precipitación mensual acumulada del producto grillado PISCO 2017 – 2020.

En la variable Ppp\_Pisco el valor estadístico de Shapiro Wilk es 0.875 con 48 grados de libertad con una significancia de 0.000 lo que muestra la distribución de datos es no normal, ya que la significancia es menor que 0.005. Por otra parte, la variable Ppt\_Mañazo tiene un valor estadístico de 0.882 con 48 grados de

libertad con una significancia de 0.000 lo que muestra la distribución de datos es no normal, ya que la significancia es menor que 0.005. Por lo tanto, al tener las dos variables no normales, se utilizará la prueba no paramétrica Spearman.

### Figura 18

Grado de correlación Rho de Spearman en SPSS

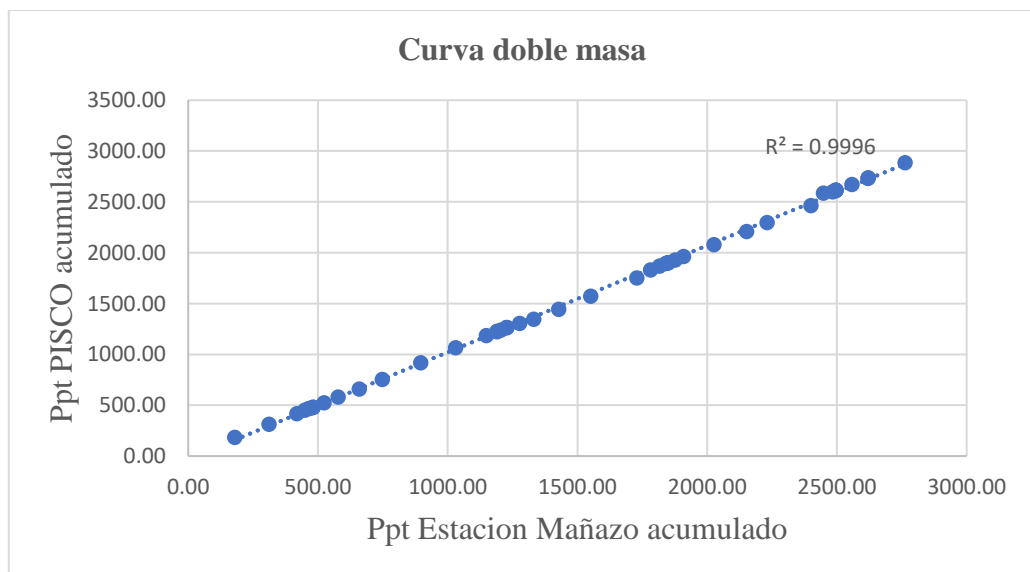
Correlaciones			Ppt_PISCO	Ppt_EstMañazo
Rho de Spearman	Ppt_PISCO	Coefficiente de correlación	1,000	,976**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	48	48
	Ppt_EstMañazo	Coefficiente de correlación	,976**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	48	48

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

Nota: Esta figura muestra el grado de correlación para datos de Precipitación mensual acumulada Estación Mañazo vs Precipitación mensual acumulada del producto grillado PISCO 2017 – 2020.

### Figura 19

Curva doble masa



Nota: La figura muestra en análisis de curva de doble masa de la precipitación PISCOh y las precipitaciones de la estación Mañazo acumulado.





## **3.11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

### **3.11.1. Nivel de alcance correlacional**

El nivel de alcance correlacional se refiere a un tipo de investigación que se centra en analizar la relación o correlación entre dos o más variables, sin establecer una relación causal entre ellas.

### **3.11.2. Nivel de significancia**

Es una medida exacta de la existencia o no de correlación entre variables, el nivel de significancia varía en 0 - 1 si es mayor a 0.05 significa que no existe relación entre las variables.

### **3.11.3. Prueba de Normalidad**

La prueba de normalidad es un análisis estadístico que evalúa si una muestra de datos sigue una distribución normal o gaussiana. Esta prueba es útil para determinar si se puede utilizar una prueba estadística paramétrica o no paramétrica. Las pruebas más comunes para evaluar la normalidad son la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de Shapiro-Wilk.

El uso de la prueba de Shapiro-Wilk es eficaz para evaluar la normalidad en conjuntos de datos con un tamaño de muestra menor a 50 observaciones. Sin embargo, para muestras de mayor magnitud, la prueba de Kolmogorov-Smirnov tiene un rendimiento equiparable a otras pruebas de normalidad.



### **3.11.4. Correlación de Pearson (Prueba estadística paramétrica)**

Es un prueba de hipótesis que se aplica generalmente en la tesis de nivel o alcance correlacional, sirve para determinar si existe o no la relación entre dos variables.

#### **3.11.4.1. Coeficiente de “r” Pearson**

El coeficiente de Pearson es un valor que oscila entre -1 y 1 donde un valor de 1 indica una correlación positiva perfecta, un valor de -1 indica una correlación negativa perfecta y un valor de 0 indica que no hay correlación entre las dos variables.

### **3.11.5. Correlación de Spearman (Prueba estadística no paramétrica)**

La correlación de Spearman es una medida estadística que evalúa la relación entre dos variables ordinales o y otra cuantitativa o en su efecto dos variables cuantitativas Esta medida indica la fuerza y dirección de la relación entre las variables mediante un coeficiente que oscila entre -1 y 1 Es una herramienta útil para evaluar la relación entre variables que no tienen una distribución normal.

#### **3.11.5.1. Coeficiente de “Rho” de Spearman**

El coeficiente de Pearson es un valor que oscila entre -1 y 1 donde un valor de 1 indica una correlación positiva perfecta, un valor de -1 indica una correlación negativa perfecta y un valor de 0 indica que no hay correlación entre las dos variables.



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS

Con el objetivo de estudiar el área de espejo de agua en la cuenca Ilpa, hemos utilizado una variedad de técnicas avanzadas, como el procesamiento de imágenes de satélite, trabajo de gabinete, y el uso de la plataforma de Google Earth Engine. Estos métodos nos han permitido llevar a cabo un análisis exhaustivo del espejo de agua en la zona de estudio, utilizando un Sistema de Información Geográfica y Teledetección espacial.

Además de analizar las áreas de espejo de agua, también hemos investigado las precipitaciones y la temperatura media promediada en la cuenca Ilpa. Nuestro análisis ha revelado patrones y tendencias en la distribución de las precipitaciones y la temperatura media promediada, lo que nos ha permitido comprender mejor los factores que influyen en el espejo de agua como lagos y lagunas en la zona. Hemos identificado áreas con mayor y menor cantidad de precipitaciones, y hemos analizado cómo esto afecta la disponibilidad de agua en la cuenca. Asimismo, hemos evaluado las variaciones en la temperatura en diferentes áreas de la cuenca.

La integración de todos los resultados obtenidos a lo largo del proceso nos ha permitido obtener una comprensión más completa del espejo de agua en la cuenca Ilpa, y ha proporcionado información valiosa para los estudios de hidrología y la planificación del uso del agua en la zona. Nuestro análisis ha permitido identificar las áreas con mayor presencia de agua, así como los factores que influyen en el aumento o disminución de los niveles de agua. Estos resultados pueden ser útiles para la toma de decisiones en materia



de gestión de recursos hídricos y para la prevención de desastres naturales relacionados con el agua.

**Tabla 13**

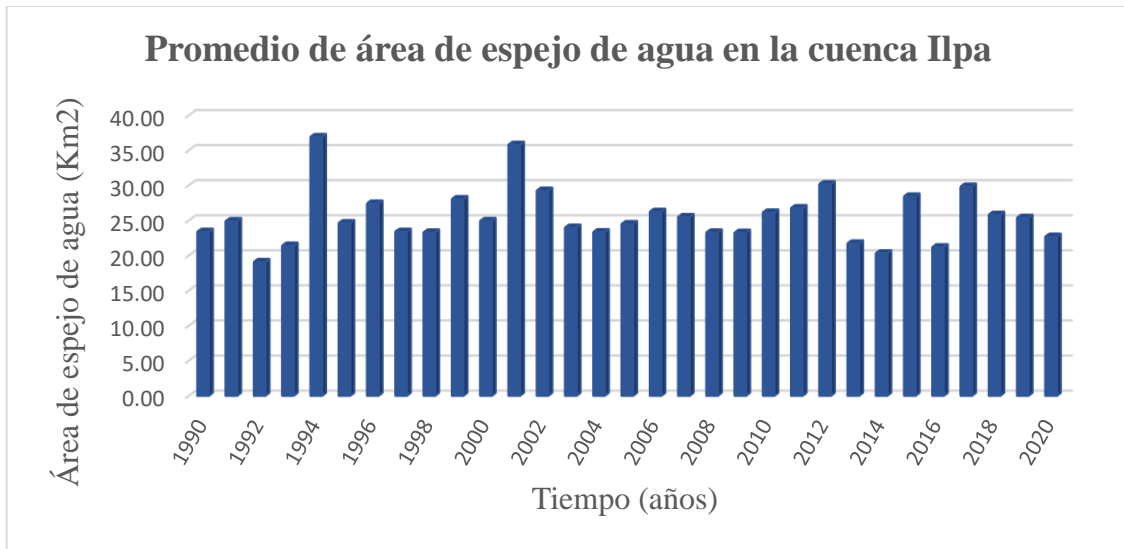
Información de área de espejo de agua 1990- 2020

Año	Área del espejo de agua (Km <sup>2</sup> )	Porcentaje de área de espejo de agua
1990	23.38	1.86%
1991	24.89	1.98%
1992	19.07	1.52%
1993	21.40	1.70%
1994	36.89	2.94%
1995	24.61	1.96%
1996	27.41	2.18%
1997	23.38	1.86%
1998	23.28	1.85%
1999	28.04	2.23%
2000	24.91	1.98%
2001	35.78	2.85%
2002	29.24	2.33%
2003	23.96	1.91%
2004	23.32	1.86%
2005	24.48	1.95%
2006	26.23	2.09%
2007	25.48	2.03%
2008	23.27	1.85%
2009	23.25	1.85%
2010	26.12	2.08%
2011	26.75	2.13%
2012	30.16	2.40%
2013	21.72	1.73%
2014	20.31	1.62%
2015	28.41	2.26%
2016	21.17	1.69%
2017	29.81	2.37%
2018	25.81	2.06%
2019	25.37	2.02%
2020	22.68	1.81%

Nota: La tabla muestra la información de áreas de espejo de agua en la cuenca Ippa, entre los años de 1990 – 2020.

**Figura 20**

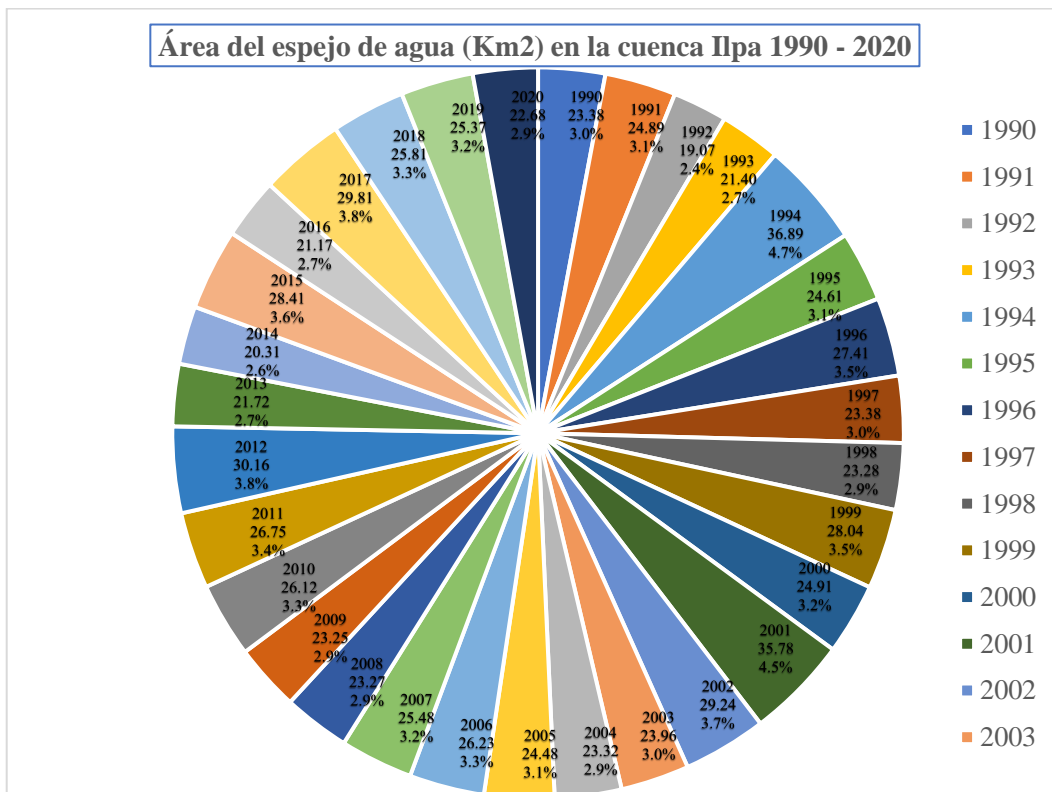
Promedio de área de espejo de agua en la cuenca Ilpa



Nota: La figura muestra la información de promedio área de espejo de agua en la Cuenca Ilpa entre los años 1990 – 2020.

**Figura 21**

Promedio de áreas de espejo de agua en la Cuenca Ilpa



Nota: La figura muestra la información de promedio área de espejo de agua en la Cuenca Ilpa entre los años 1990 – 2020.



**Tabla 14**

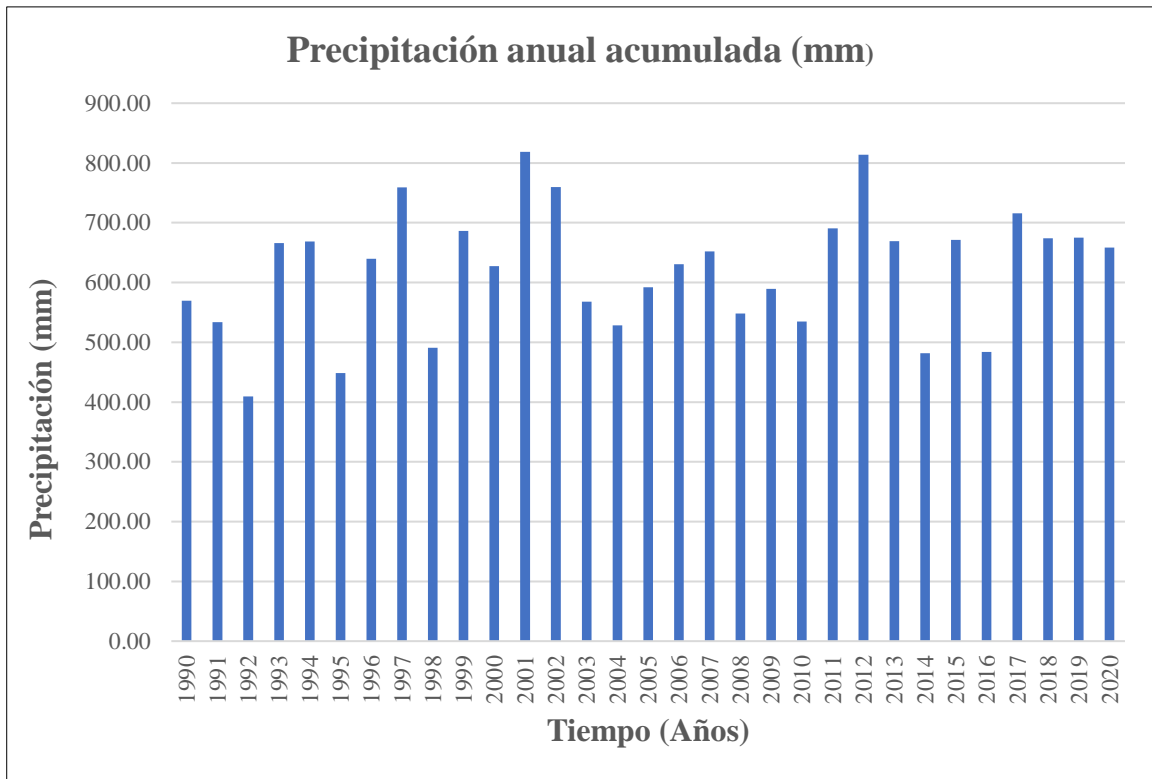
Datos de precipitación anual acumulada

Año	Precipitación anual acumulada (mm)
1990	569.70
1991	533.74
1992	409.44
1993	665.88
1994	668.44
1995	448.73
1996	639.95
1997	759.07
1998	490.93
1999	686.50
2000	627.24
2001	818.33
2002	759.48
2003	568.17
2004	528.29
2005	592.03
2006	630.48
2007	652.27
2008	548.07
2009	589.42
2010	534.97
2011	690.32
2012	813.87
2013	668.94
2014	481.61
2015	671.44
2016	484.00
2017	715.63
2018	673.84
2019	674.96
2020	658.18

Nota: Esta tabla muestra información de precipitaciones anuales acumuladas en la cuenca  
Ilpa.

**Figura 22**

Precipitación anual acumulada



Nota: Esta figura muestra la cifra de precipitaciones anuales acumuladas en la cuenca Ilpa en los años 1990 hasta 2020.



**Tabla 15**

Datos de temperatura promediada (°C)

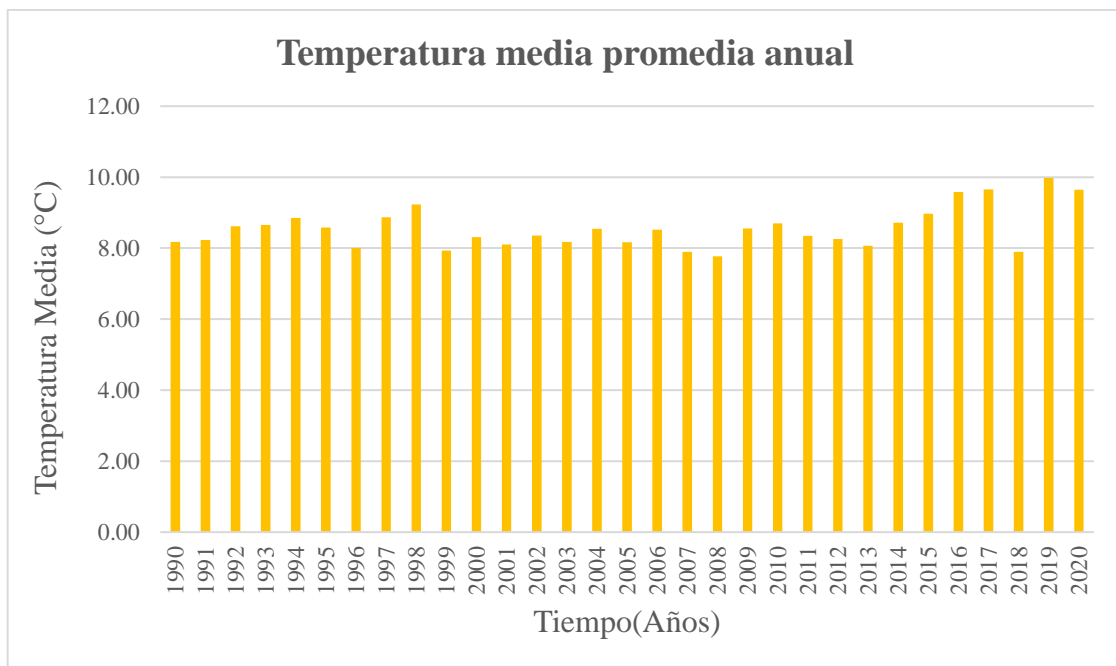
Año	Temperatura media promedia (°C)
1990	8.18
1991	8.23
1992	8.62
1993	8.66
1994	8.85
1995	8.58
1996	8.00
1997	8.87
1998	9.23
1999	7.94
2000	8.31
2001	8.10
2002	8.36
2003	8.18
2004	8.54
2005	8.16
2006	8.52
2007	7.90
2008	7.77
2009	8.56
2010	8.70
2011	8.35
2012	8.26
2013	8.07
2014	8.71
2015	8.97
2016	9.58
2017	9.66
2018	7.90
2019	9.98
2020	9.64

Nota: La tabla muestra la información de temperatura media promediada en la cuenca Ilpa, entre los años 1990 – 2020.



**Figura 23**

Datos de temperatura promediada



Nota: La figura muestra la cifra de temperatura media promediada en la cuenca Ilpa entre los años 1990 - 2020.

#### 4.1.1. Prueba de normalidad en los datos recopilados

Dado que el tamaño de la muestra es de 31 observaciones por variable, es apropiado aplicar la prueba de Shapiro-Wilk para analizar la normalidad de la distribución de los datos. Esta prueba es particularmente útil en este caso debido a su alta potencia estadística para muestras de tamaño reducido. La aplicación de la prueba de Shapiro-Wilk nos permitirá determinar si los datos recolectados para cada una de las tres variables siguen una distribución normal. Este análisis es crucial para informar decisiones subsecuentes sobre el tipo de pruebas estadísticas y modelos que serán más adecuados para el análisis de estos datos.



**Tabla 16**

Prueba de normalidad

	Prueba de normalidad					
	Kolmogorov - Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Área de espejo de agua	0.137	31	0.147	0.91	31	0.013
Precipitación anual acumulada	0.105	31	0.200	0.975	31	0.665

Nota: Esta esta muestra la prueba de normalidad para la información de área de espejo de agua y precipitación anual acumulada.

**Tabla 17**

Prueba de normalidad

	Prueba de normalidad					
	Kolmogorov - Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Área de espejo de agua	0.137	31	0.147	0.910	31	0.013
Precipitación anual acumulada	0.135	31	0.156	0.915	31	0.017

Nota: Esta esta muestra la prueba de normalidad para la información de área de espejo de agua y temperatura media promediada.

Refiriéndonos a las tablas N° 16 y 17, se muestran los resultados de la prueba de normalidad para tres conjuntos de datos: área de espejo de agua, precipitaciones y temperatura media promediada. Los valores de significancia obtenidos en la prueba de Shapiro-Wilk para estos conjuntos de datos fueron 0.013, 0.665 y 0.017, respectivamente.

Dado que un valor de significancia menor a 0.05 indica que podemos rechazar la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal, los



conjuntos de datos del área de espejo de agua y la temperatura media promediada no parecen seguir una distribución normal. Solo el conjunto de datos de precipitaciones, con un valor de significancia de 0.665, podría considerarse normalmente distribuido.

Por lo tanto, dada la evidencia de que al menos algunos de los conjuntos de datos no siguen una distribución normal, es apropiado utilizar métodos de análisis no paramétricos para el análisis estadístico posterior. En este caso, se utilizará la prueba de correlación de Spearman, que no asume una distribución normal de los datos y es especialmente útil para entender las relaciones entre variables medidos en una escala ordinal o cuando las relaciones pueden no ser lineales.

#### **4.1.2. El ritual de la significancia estadística para el objetivo específico N°1 Área de espejo de agua (Km<sup>2</sup>) vs Precipitación anual acumulada (mm)**

##### **Plantear Hipótesis**

Ho: No existe correlación entre el área del espejo de agua y la precipitación anual acumulada(mm).

Hi: Existe correlación entre el área del espejo de agua y la precipitación anual acumulada (mm).

##### **Establecer el nivel de significancia**

Nivel de significancia (alfa)  $\alpha = 5\% = 0.05$

##### **Estadística de prueba**

Correlación de Spearman

**Valor de p = 0% = 0.000064**

Lectura del p valor

Con una probabilidad de error del 0.0064% existe correlación entre el área del espejo de agua y la precipitación anual acumulada.

### Toma de decisiones

Si existe correlación entre el área del espejo de agua y la precipitación anual acumulada.

### Interpretación

En la cuenca Ilpa, si existe la correlación entre el área del espejo de agua y la precipitación anual acumulada.

### Interpretación de correlación de Spearman (Rho)

La correlación de Spearman es de 0.655 entre las variables "Área de espejo de agua" y "la precipitación anual acumulada 1990 – 2020." indica una correlación positiva considerable entre ellas.

### Tabla 18

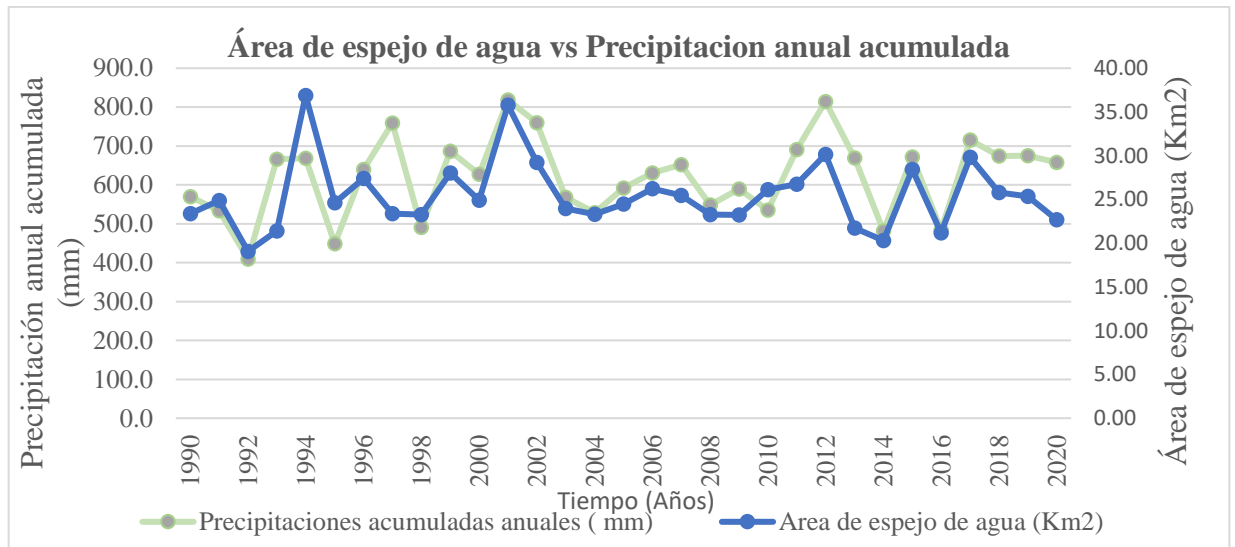
Correlación de Rho de Spearman Área de espejo de agua vs Precipitación anual acumulada

			Área de espejo de agua	Precipitación anual acumulada
Rho de Spearman	Área de espejo de agua	Coefficiente de correlación	1	0.655
		sig. (bilateral)		0.000064
		N	31	31
Rho de Spearman	Precipitación anual acumulada	Coefficiente de correlación	0.655	1
		sig. (bilateral)	0.000064	
		N	31	31

Nota: Se muestra en la tabla la correlación de Rho de Spearman para las variables del áreas de espejo de agua y Precipitación anual acumulada.

**Figura 24**

Área de espejo de agua (Km<sup>2</sup>) vs Precipitación anual acumulada (mm)



Nota: En la figura se muestra el grafico de líneas de las variables del área de espejo de agua y precipitación anual acumulada.

#### 4.1.3. El ritual de la significancia estadística para el objetivo específico N°2

Área de espejo de agua (Km<sup>2</sup>) vs Temperatura media promediada (°C)

##### Plantear Hipótesis

Ho: No existe correlación entre el área del espejo de agua y la temperatura media promediada

Hi: Existe correlación entre el área del espejo de agua y la temperatura media promediada

##### Establecer el nivel de significancia

Nivel de significancia (alfa)  $\alpha = 5\% = 0.05$

##### Seleccionar estadística de prueba

Correlación de Spearman



Valor de  $p = 38.5\% = 0,385$

### Toma de decisiones

No existe correlación entre el área del espejo de agua y la temperatura media promediada para el nivel de significación de 5%.

### Interpretación

En la cuenca Ilpa ubicado en los distritos de Mañazo, Vilque, Tiquillaca, Atuncolla, Cabana y Atuncolla, Provincia de Puno y San Roman en el departamento de Puno, no existe correlación esperada entre el área del espejo de agua y la temperatura media promediada.

**Tabla 19**

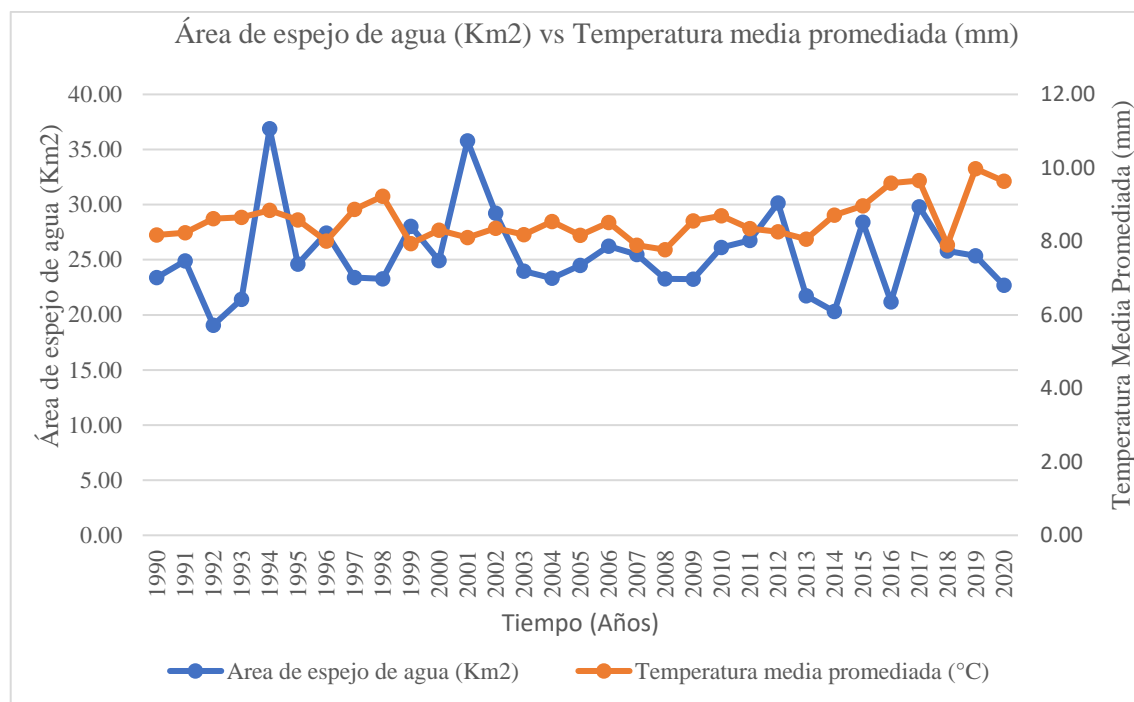
Correlación de Rho de Spearman Área de espejo de agua vs Temperatura media promediada

			Área de espejo de agua	Temperatura media promediada
Rho de Spearman	Área de espejo de agua	Coefficiente de correlación sig. (bilateral)	1	-0.162
		N	31	31
	Temperatura media promediada	Coefficiente de correlación sig. (bilateral)	-0.162	1
		N	31	31

Nota: Se muestra en la tabla la correlación de Rho de Spearman para las variables del área de espejo de agua y Temperatura media promediada.

**Figura 25**

Área de espejo de agua vs Temperatura media promediada



Nota: En la figura se muestra el grafico de líneas de las variables del área de espejo de agua y temperatura media promediada.

#### 4.2. DISCUSIÓN

En el marco de esta investigación, se buscó establecer la relación entre el área de espejo de agua y la variabilidad climática en la cuenca Ilpa. Los resultados obtenidos evidencian una correlación directa y notable entre el área de espejo de agua y la precipitación anual acumulada en dicha cuenca. Este hallazgo respalda las observaciones del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), que ha documentado una disminución en el volumen de agua en ríos y lagos, atribuible a la reducción de las precipitaciones en la costa y sierra del país.

En su tesis, Mamani (2021) observó una relación significativa ( $p < 0.05$ , según Pearson) entre la extensión de las áreas de los cuerpos de agua y los acumulados anuales



de precipitación en la laguna Paucarani, Tacna. Los resultados de la presente investigación también respaldan estos hallazgos, ya que encontramos una correlación positiva significativa ( $p < 0.05$ ) entre el área de espejo de agua y la precipitación acumulada en la cuenca Ilpa. La correlación de Rho de Spearman obtenida fue de 0.655, lo que indica una correlación positiva considerable entre ambas variables.

Por otro lado, nuestra investigación no encontró una correlación significativa entre el área del espejo de agua y la temperatura media promediada. Este resultado parece contradecir la tesis de Gutiérrez (2018), quien identificó una relación significativa entre la extensión superficial de los bofedales y la temperatura máxima. Sin embargo, es importante destacar que la aparente discrepancia puede ser el resultado de las diferencias en las variables analizadas en cada estudio. En este sentido, es crucial considerar la especificidad de las variables y su posible impacto en los resultados, lo que subraya la necesidad de futuras investigaciones para aclarar estas relaciones.





## V. CONCLUSIONES

En conclusión, al analizar el área del espejo de agua y la variabilidad climática no existe correlación entre las variables, ya que los hallazgos de esta investigación subrayan que la precipitación anual acumulada ejerce un efecto directo y considerable sobre el área de espejo de agua en la cuenca Ilpa. Sin embargo, respecto a la temperatura media promediada, su influencia sobre el área de espejo de agua no se percibe como significativa. Esta investigación ha demostrado la eficacia de la de la plataforma de Google Earth Engine y las técnicas estadísticas para estudiar la correlación entre la variabilidad climática y el área de espejo de agua en la cuenca Ilpa. Los resultados proporcionan una base importante para la comprensión de cómo el cambio climático puede afectar a los recursos hídricos en la región, y podrían ser útiles para la gestión futura de estos recursos y la adaptación al cambio climático.

El objetivo específico 1 de esta investigación, se concluye que existe correlación entre el área de espejo de agua y la precipitación anual acumulada en la cuenca Ilpa, ubicado en los distritos de Mañazo, Vilque, Tiquillaca, Atuncolla, Cabana y Atuncolla, Provincia de Puno y San Roman, departamento de Puno, durante un periodo de treinta y uno años. Los resultados obtenidos demostraron un valor P de 0.000064. Asimismo, el valor de rho de Spearman de 0.655, que indica una correlación positiva considerable.

El objetivo específico 2 de esta investigación, se concluye que no existe correlación entre el área de espejo de agua y la temperatura media promediada en la cuenca Ilpa, ubicado en los distritos de Mañazo, Vilque, Tiquillaca, Atuncolla, Cabana y Atuncolla, Provincia de Puno y San Roman, departamento de Puno, durante un periodo de treinta y uno años. Tras realizar las pruebas, se obtuvo un valor p de 0.385.



## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda considerar más variables relevantes, como la humedad del suelo, la radiación solar y los patrones de viento, se obtendrá una comprensión más completa de los factores que afectan la variabilidad climática en el área de estudio. Esto permitirá un análisis más robusto, la detección de posibles tendencias ocultas y una base sólida para generar recomendaciones y estrategias efectivas frente al cambio climático en la región.

Para obtener resultados de calidad y analizar de manera exhaustiva los factores climáticos, se recomienda trabajar con un período de tiempo de al menos 30 años. Al extender el período de análisis, se logra una visión más completa de la variabilidad climática y sus posibles tendencias en la cuenca de estudio.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abatzoglou, J., Dobrowski, S., & Parks, S. (2018). TerraClimate, un conjunto de datos globales de alta resolución sobre el clima mensual y el balance hídrico climático de 1958 a 2015. doi: <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>
- Alcántara , G. H. (2014). Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra. Gobierno Regional de Cajamarca. Obtenido de [https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/EE\\_CUT\\_primera\\_version\\_julio\\_2014.pdf](https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/EE_CUT_primera_version_julio_2014.pdf)
- Ashok, A., Ponnamma , R., & Jayakumar , K. V. (2021). Monitoring of dynamic wetland changes using NDVI and NDWI based landsat imagery. ScienceDirect, 23. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100547>
- Aybar, C., Lavado, C., Huerta, A., & Fernandez, C. (2017). Uso de Producto Grillado “PISCO” de precipitación en Estudios. Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico.
- Barboso Castillo, E., Turpo Cayo, E. Y., Almeida, C., Salas Lopez, R., Rojas Briceño, N. B., Lopez, S., . . . Villar, R. (2020). Monitoring Wildfires in the Northeastern Peruvian Amazon Using Landsat-8 and Sentinel-2 Imagery in the GEE Platform. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9. doi:10.3390/ijgi9100564
- Castañeda, E. (2020). Evaluación de la vulnerabilidad de la disponibilidad de agua superficial en la cuenca del rio La Leche, Lambayeque - Perú (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de teledetección espacial. Madrid: Ediciones RIALP. S, A.
- CMNUCC. (2013). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.



- Cook, E. R., & et al. (2013). European summer temperatures since Roman times. Environmental Research Letters.
- Donia, N. (2019). NDWI based change detection analysis of Qarun Lake Coastal Area, El-Fayoum, Egypt. Remote Sensing and Geo Informatics, 121-124.
- FAO. (2001). Global Forest Resources Assessment 2000 Main Report. Obtenido de <https://www.fao.org/3/Y1997E/Y1997E00.htm>
- Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). Diseño Hidrológico (Segunda edición digital ed.).
- Fices. (2010). Observación Meteorológica. San Luis Argentina: Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ingeniería y Ciencias económicas.
- Fower, H., Blenkinsop, & Tebaldi. (2007). Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling.
- Funk, C. C., Peterson, P. J., Landsfeld, M. F., Pedreros, D. H., Verdin, J. P., Rowland, J. D., . . . Verdin, A. P. (2014). A quasi-global precipitation time series for drought monitoring. U.S. Geological Survey Data Series.
- Godmundsson, J. B. (2012). Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical Transformations - a comparison of methods.
- GOOGLE, E. S. (2023). Google Earth Engine. Obtenido de <https://geohackweek.github.io/GoogleEarthEngine/01-introduction/>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Gutiérrez Quenta, Y. (2018). Determinación de la dinámica espacial de bofedales mediante imágenes satelitales landsat frente a escenarios del cambio climático



- en la cuenca del rio Coata durante el periodo de 1984 - 2016 (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Atiplano.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación. 6 edición. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- IDEAM. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1: 100 000. Instituto de Hidrología. Instituto de Hidrología. Obtenido de [http://siatac.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a](http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a)
- IPCC. (2013). Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013: The Physical Science Basis.
- IPCC. (2013). Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climatico. Obtenido de [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_SPANISH.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf)
- Li, Z., Yang, K., & Zhou, L. (2021). Advances in research on the hydrological cycle and its changes in the Tibetan Plateau. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1-20. doi:doi: 10.1007/s00376-020-0040-1
- Llactayo, W., Salcedo , K., & Victoria, E. (2013). Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación. Lima: Burcon Impresores y Derivados SAC. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2013/10/Protocolo-Validacion-Mapa-Deforestacion.pdf>
- Mamani Vargas, A. J. (2021). Determinación de la relacion entre los Indices de Vegetacion y el Cambio Climatico, Haciendo una evaluación Multitemporal de



- Imágenes Landsat Durante el periodo 1972 - 2018, en la Laguna Paucarani-Tacna. Universidad Privada de Tacna. Obtenido de <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1925>
- Mazzarino, M., & Finn, J. (s.f.). An NDVI Analysis of Vegetation Trends in an Andean watershed. págs. 623-640. doi:<https://doi.org/10.1007/s11273-016-9492-0>
- MINAM. (2016). Procedimiento técnico y metodológico para la elaboración del “estudio especializado de análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra. Obtenido de <http://geoservidor.minam.gob.pe/intro/monitoreo/cobertura-v->
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2011). Precipitation modeling. A review. Atmospheric Research, 208 - 231. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.10.004>
- Pijanowski, B. C., Brown, D. G., Shellito, B. A., & Manik, G. A. (2002). Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a Land Transformation Model. Environment and Urban Systems, 553-375. doi:[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(01\)00015-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00015-1)
- Quereda, J. (2008). Curso de Climatología General. España: Universitas.
- Rifat Ahmed, K., & Akter, S. (2017). Analysis of landcover change in southwest Bengal delta due to floods by NDVI, NDWI and K-means cluster with landsat multi-spectral surface reflectance satellite data. ScienceDirect, 168-181. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.08.010>
- Rojas, N. B., Barboza, E., Maricielo, J. L., Oliva, S. M., & Salas, R. (2019). Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG. Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles, 1-34. Obtenido de <https://doi.org/10.21138/bage.2538a>



- Salas, R., Barboza, E., & Oliva, S. M. (2014). Dinámica multitemporal de índices de deforestación en el distrito de Florida, departamento de Amazonas, Perú. INDES, 18-27. doi:<https://doi.org/10.25127/indes.201401.00>
- Sardar, P., & Samadder, S. R. (2021). Understanding the dynamics of landscape of greater Sundarban area using multi-layer perceptron Markov chain and landscape statistics approach. *Ecological Indicators*, 121. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106914>
- Sarp, G., & Ozcelik, M. (2017). Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey. *ScienceDirect*, 11, 381-391. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2016.04.005>
- SENAMHI. (2019). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=sequias>
- SENAMHI. (2021). Clima y Tiempo. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=clima-y-tiempo-conceptos>
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). Física para ciencias e ingeniería. Cengage Learning.
- SPDA. (2020). Humedales: 20 años después de la firma del Convenio Ramsar. Lima: Sociedad Peruana de Derecho Ambiental. Obtenido de <https://www.actualidadambiental.pe/?p=57175>
- TerraClimate. (2021). TerraClimate Monthly Climate and Climatic Water Balance Global Gridded Data v1.04. Earth Engine Data Catalog. Obtenido de [https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/IDAHO\\_EPSCOR\\_TERRACLIMATE](https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/IDAHO_EPSCOR_TERRACLIMATE)
- Torres, E. (2001). Agro meteorología. México: Trillas.



- Turpo Cayo, E. Y., Villar, R., Arnaldo, R., Cáceres, S., & Flores, M. (2019). MAPEO MULTITEMPORAL DE CUERPOS DE AGUA Y ÁREA URBANAS EN LOS ANDES. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/333703621\\_MAPEO\\_MULTITEMPORAL\\_DE\\_CUERPOS\\_DE\\_AGUA\\_Y\\_AREA\\_URBANAS\\_EN\\_LOS\\_ANDES\\_DEL\\_PERU\\_USANDO\\_IMAGENES\\_LANDSAT\\_EN\\_LA\\_PLATAFORMA\\_GOOGLE\\_EARTH\\_ENGINE\\_PERIODO\\_1984-2018](https://www.researchgate.net/publication/333703621_MAPEO_MULTITEMPORAL_DE_CUERPOS_DE_AGUA_Y_AREA_URBANAS_EN_LOS_ANDES_DEL_PERU_USANDO_IMAGENES_LANDSAT_EN_LA_PLATAFORMA_GOOGLE_EARTH_ENGINE_PERIODO_1984-2018)
- Turpo Cayo, E., & Chaves, J. M. (2017). Google Earth Engine como herramienta de detección de cambios espaciales e multitemporales: Caso glaciar Quelccaya, Perú. Universidade Estadual de Feira de Santana.
- USGS. (2023). United States Geological Survey. Obtenido de United States Geological Survey: <https://www.usgs.gov/>
- Vasquez, V., & al, e. (2016). Manejo y gestión de cuencas hidrográficas. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Villón, M. (2020). Hidrología. Lima: Villón.
- Von Storch, H. Z. (1993). Downscaling of Global Climate Change.
- Wang Chi, I. (Julio de 2020). Estudio de los Algoritmos de Fusión de Reflectancias Superficiales a partir de Imágenes de Satélite. (E. informáticos, Ed.) Universidad Politécnica de Madrid.
- Wilby, R. L. (2014). Downscaling. Oxford Research Encyclopedia of Climate Science. doi:10.1093/acrefore/9780190228620.013.319
- Yonaba, R., Koita, M., Mounirou, L. A., Tazen, F., Queloz, P., Biaou, A. C., . . . Yacouba, H. (2021). Spatial and transient modelling of land use/land cover dynamics in a Sahelian landscape under semi-arid climate in northern Burkina Faso. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105305>





## ANEXOS

**Anexo 1.** Datos de Temperatura mínima y máxima del producto Terraclimate

Año	Temperatura mínima											
	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	3.15	3.93	3.10	-0.67	-3.85	-5.91	-5.95	-4.57	-1.72	-0.21	1.35	4.05
1982	3.12	4.06	2.77	1.04	-3.73	-5.42	-5.30	-4.22	-0.45	0.86	1.86	3.93
1983	5.10	5.17	4.49	3.39	-1.27	-4.32	-3.13	-2.34	-0.15	0.38	0.80	3.22
1984	2.33	3.68	4.00	1.74	-2.11	-3.72	-5.32	-3.78	-1.16	2.00	1.39	3.86
1985	2.28	4.05	4.23	2.30	-1.77	-2.32	-5.57	-4.20	-0.18	0.47	0.41	3.01
1986	3.28	3.47	3.43	2.01	-3.10	-5.10	-5.87	-3.67	-0.58	0.19	1.39	3.59
1987	5.05	4.44	4.40	2.68	-2.43	-3.09	-3.86	-2.02	-0.03	2.06	3.45	4.59
1988	4.16	4.06	4.14	2.62	-0.77	-5.53	-5.80	-3.60	-0.02	0.46	1.12	3.15
1989	2.60	3.72	4.00	2.47	-3.20	-3.48	-5.08	-3.41	-1.40	0.04	0.68	3.42
1990	3.61	3.70	2.87	2.22	-1.67	-3.41	-5.76	-4.38	-1.18	1.43	2.68	3.86
1991	3.63	3.57	3.77	1.40	-2.37	-3.67	-4.99	-4.71	-0.18	-0.14	1.82	3.26
1992	4.45	4.36	4.92	2.36	-0.86	-2.71	-5.18	-3.72	-1.56	0.63	1.48	3.73
1993	3.87	3.93	3.78	2.57	-0.44	-2.90	-4.90	-3.44	-0.61	1.43	1.89	3.63
1994	3.63	4.29	4.11	2.42	-0.61	-3.08	-4.99	-4.07	-0.70	0.69	2.47	4.19
1995	4.80	4.93	4.08	2.34	-2.24	-3.89	-4.51	-3.07	0.09	2.14	2.10	3.51
1996	3.19	4.42	3.53	1.83	-1.23	-3.48	-4.94	-3.58	-0.60	0.73	1.32	2.78
1997	3.91	4.53	3.85	1.18	0.27	-2.58	-1.97	-4.24	0.34	2.10	3.50	5.14
1998	5.67	6.07	5.19	3.20	1.14	-3.84	-2.17	-3.15	-1.09	1.25	2.29	4.71
1999	3.87	4.90	4.30	0.06	-2.93	-5.21	-3.96	-3.78	-0.57	0.33	1.68	4.10



Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2000	3.80	4.39	3.76	2.80	-1.88	-3.83	-4.50	-2.67	0.21	1.04	3.30	4.46
2001	3.74	4.69	3.82	1.91	-2.89	-3.72	-4.97	-3.41	-0.38	0.63	2.82	4.49
2002	3.83	4.91	4.96	2.53	-1.60	-3.23	-4.63	-3.06	-0.31	0.83	2.14	4.21
2003	4.55	5.01	4.74	-1.40	-1.62	-4.97	-4.58	-4.96	-1.27	0.53	2.21	4.26
2004	4.49	4.31	4.73	2.22	-2.67	-4.86	-4.60	-3.02	-0.28	2.75	4.07	4.76
2005	4.76	5.26	3.98	2.92	1.44	-4.90	-5.14	-3.05	-0.71	0.38	1.23	3.32
2006	4.64	5.20	4.80	1.74	-0.56	-2.84	-4.27	-3.29	-0.85	0.39	2.64	4.45
2007	4.68	4.54	4.61	0.88	-2.46	-4.09	-4.58	-5.53	-2.29	0.11	2.17	3.01
2008	4.05	3.95	3.19	-1.56	-4.28	-4.78	-5.65	-4.45	-1.55	1.68	2.75	4.01
2009	3.98	5.08	4.49	2.22	-1.57	-3.85	-4.06	-4.53	-2.20	1.21	3.83	4.86
2010	4.76	5.71	4.78	3.74	0.49	-2.98	-5.67	-5.16	0.70	0.21	0.93	3.05
2011	4.35	4.64	3.35	2.30	-1.36	-1.83	-2.81	-3.21	-0.10	-0.46	3.08	3.68
2012	4.05	4.53	4.66	2.37	-2.74	-4.11	-4.53	-4.38	-1.19	1.30	3.22	4.30
2013	4.39	4.81	3.92	-2.00	-1.12	-3.80	-4.10	-4.48	-0.86	1.41	2.59	4.21
2014	4.26	4.36	3.53	2.80	-0.91	-1.49	-3.56	-2.76	0.41	1.45	3.65	4.55
2015	4.48	4.95	4.98	3.16	-0.23	-2.22	-2.96	-2.44	1.50	1.19	1.89	3.17
2016	5.22	5.58	5.08	3.71	-0.08	-2.58	-2.77	-2.13	0.86	1.04	1.56	4.50
2017	4.49	5.32	4.88	2.77	-0.80	-3.06	-3.78	-2.09	1.17	3.14	4.53	5.08
2018	3.68	4.68	4.61	2.31	-1.65	-3.78	-3.85	-4.10	-0.57	3.18	2.72	4.26
2019	5.20	5.22	5.02	3.84	1.21	-1.71	-2.80	-1.86	1.17	2.08	3.50	5.22
2020	5.23	5.49	5.02	2.76	0.38	-1.91	-3.21	-1.42	-0.04	0.41	5.62	4.68



Temperatura Máxima

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	15.07	14.82	15.65	16.02	15.89	15.22	15.50	15.22	15.36	17.24	17.83	17.78
1982	16.37	17.39	15.46	15.78	16.45	15.13	15.55	16.69	16.40	17.63	17.71	18.18
1983	18.24	17.86	18.20	17.82	16.39	15.70	16.98	17.15	16.90	18.48	19.23	18.08
1984	14.17	14.19	14.81	15.41	16.19	15.00	15.04	16.80	17.09	17.93	16.45	17.12
1985	15.56	14.92	16.66	14.71	15.39	15.74	14.94	16.74	15.68	18.98	15.84	15.91
1986	16.43	14.55	15.04	15.42	15.27	15.61	14.50	16.35	16.03	18.39	18.58	16.75
1987	16.66	17.78	17.12	16.88	15.56	15.44	15.06	17.55	17.63	18.43	17.83	18.32
1988	16.34	16.98	14.54	15.13	15.65	14.80	14.88	17.19	17.05	18.78	18.62	17.06
1989	15.86	15.49	15.84	14.89	15.11	15.07	14.70	16.07	15.68	17.72	17.56	17.30
1990	16.21	16.59	15.97	15.64	15.42	13.29	14.26	16.03	16.87	17.61	17.18	17.18
1991	16.25	15.97	15.58	15.77	15.87	15.52	15.27	16.07	16.44	17.72	17.76	17.95
1992	16.61	16.76	16.15	17.21	16.97	15.52	15.02	15.67	16.26	17.76	17.93	17.15
1993	15.55	16.64	15.45	16.52	16.38	16.80	15.50	16.54	16.25	18.09	17.97	17.24
1994	16.48	15.73	16.60	16.69	16.66	16.61	15.03	17.06	17.14	19.01	18.92	18.07
1995	17.11	16.12	15.16	16.19	15.64	15.61	15.54	15.94	16.15	18.01	17.81	16.45
1996	15.63	15.24	15.27	16.18	15.15	14.39	14.71	15.52	15.26	18.01	16.66	16.12
1997	14.99	14.67	15.08	16.52	16.69	16.88	16.35	15.31	16.00	18.78	17.45	18.23
1998	18.22	16.89	16.89	17.99	16.95	15.89	15.97	16.13	15.54	17.41	17.26	17.15
1999	16.01	14.30	14.61	16.02	15.08	15.01	14.77	15.64	15.66	17.06	16.98	16.50
2000	15.02	14.49	14.69	17.16	15.72	14.45	14.56	15.82	15.67	16.74	17.52	16.69



Año	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2001	14.77	15.11	14.79	16.16	14.56	14.75	15.04	15.75	16.04	17.41	16.81	16.53
2002	15.96	14.58	14.92	15.78	15.22	14.45	14.07	15.79	15.94	17.81	17.82	17.64
2003	16.50	16.55	15.43	15.59	15.38	15.29	15.44	14.77	14.96	18.09	18.58	17.22
2004	15.88	15.44	16.14	16.63	15.22	14.56	13.70	16.13	16.14	17.76	17.64	17.91
2005	16.63	14.65	15.84	16.22	14.86	15.00	13.72	16.48	14.94	16.57	16.32	15.18
2006	15.48	15.02	15.82	16.39	15.33	15.67	16.23	15.20	15.99	16.93	17.12	17.14
2007	16.89	15.59	14.92	15.95	14.44	14.71	14.35	16.02	16.53	16.81	16.26	15.99
2008	14.48	15.06	15.14	15.89	14.35	14.64	14.73	16.51	16.05	17.65	18.07	16.62
2009	15.99	14.95	15.07	16.28	15.81	14.88	14.96	16.60	17.03	18.61	18.57	17.13
2010	16.29	16.76	16.14	17.48	15.47	15.44	14.61	15.78	17.53	17.33	18.28	17.10
2011	15.91	14.37	14.49	16.63	15.45	15.15	14.76	15.25	15.57	17.44	17.33	16.37
2012	15.13	14.26	15.04	16.13	15.22	14.66	15.00	15.78	17.08	18.43	17.71	16.31
2013	15.42	15.18	15.38	16.28	15.31	14.41	14.91	15.19	15.76	16.69	17.52	16.55
2014	15.18	15.52	15.42	16.11	15.40	15.22	15.21	15.78	17.23	17.72	18.07	15.99
2015	14.67	15.52	15.40	16.55	15.31	16.20	15.37	16.64	16.77	17.88	18.58	18.85
2016	17.91	17.56	17.54	17.25	16.97	16.65	16.71	17.26	17.67	18.46	17.97	18.10
2017	17.11	17.24	16.37	16.89	16.75	16.51	16.13	17.28	17.98	19.75	19.89	18.23
2018	15.48	15.30	15.39	17.05	15.14	0.00	14.93	14.74	16.52	18.91	17.71	16.94
2019	17.74	17.18	17.19	17.82	17.42	17.12	16.67	17.40	17.97	19.14	19.30	18.41
2020	17.33	17.16	16.89	16.85	16.74	16.80	16.22	17.51	16.86	17.63	20.49	17.91

**Anexo 2. Datos de temperatura máxima y mínima producto PISCO V 1.1 1981 - 2016**

Año	Temperatura Máxima											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	15.27	14.80	15.42	15.05	15.41	14.92	15.22	14.67	15.63	16.67	17.81	17.08
1982	15.02	15.99	15.14	15.40	15.28	14.88	15.65	15.78	15.87	16.66	17.39	17.91
1983	18.08	17.13	17.73	17.26	16.88	15.76	16.44	16.74	16.87	17.72	18.43	17.11
1984	14.20	14.29	14.79	15.57	15.78	14.71	15.00	15.44	16.66	16.46	16.58	16.11
1985	14.97	14.41	15.65	14.81	15.09	13.95	14.28	16.09	16.20	17.63	15.84	15.59
1986	15.17	14.17	14.58	15.07	14.49	15.02	13.81	15.52	16.24	17.26	17.53	16.28
1987	15.43	16.76	16.53	16.67	16.13	15.15	15.52	16.98	17.92	17.93	17.97	18.22
1988	15.89	16.61	15.32	15.41	15.42	15.03	15.20	17.22	17.20	17.84	18.07	16.58
1989	15.06	14.50	14.35	14.88	15.02	14.70	14.45	15.27	17.01	17.45	17.37	17.69
1990	15.55	15.93	16.19	16.23	15.82	13.62	14.37	15.47	16.92	16.98	17.18	16.55
1991	16.25	16.37	15.45	15.64	15.84	14.76	14.99	16.34	16.34	17.44	17.29	17.14
1992	15.53	16.01	16.55	17.12	16.97	15.05	14.65	14.56	16.70	16.85	17.08	16.94
1993	14.90	15.46	14.46	15.42	15.33	15.01	15.20	15.12	16.46	16.92	17.25	16.88
1994	15.45	15.20	15.15	15.21	15.44	14.57	15.25	16.23	16.94	17.82	17.57	17.14
1995	16.52	16.45	15.07	16.34	16.16	15.22	15.76	17.28	17.23	18.46	17.80	16.48
1996	15.51	15.06	15.92	15.64	15.33	14.71	14.73	15.61	17.12	18.09	16.77	16.44
1997	14.66	14.41	14.61	14.71	15.13	14.92	15.87	15.01	16.77	17.98	17.64	18.85



Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1998	17.72	18.07	17.80	17.92	17.19	15.65	16.13	17.12	18.04	17.88	17.65	17.91
1999	16.18	14.58	14.50	14.90	15.22	14.96	14.77	16.12	16.63	16.28	17.83	17.58
2000	15.02	14.56	14.92	16.22	16.13	14.59	14.39	15.78	17.46	16.28	18.61	16.52
2001	14.22	14.65	14.67	15.42	15.11	14.75	14.51	15.29	17.01	17.61	18.46	17.31
2002	16.63	14.98	15.39	14.93	15.27	14.88	13.29	15.45	16.62	16.79	17.50	17.18
2003	16.21	16.36	15.25	15.84	15.47	15.03	15.08	15.54	16.28	18.02	18.59	18.09
2004	15.13	15.93	16.63	16.39	15.81	14.45	14.41	15.04	16.69	18.09	18.62	18.22
2005	16.68	15.61	16.67	16.65	16.39	15.51	15.79	16.51	16.64	17.11	17.73	17.32
2006	15.11	16.37	16.04	15.79	15.78	15.30	15.62	16.60	17.42	18.00	17.72	17.88
2007	17.23	16.62	15.39	16.00	15.74	15.95	14.79	16.80	16.22	17.82	17.70	17.23
2008	15.17	15.99	15.65	16.46	15.59	15.68	15.54	16.66	17.86	17.72	18.92	16.66
2009	16.31	15.87	15.94	16.18	16.19	15.71	15.37	16.71	17.89	18.88	18.28	17.83
2010	16.64	17.13	17.20	17.41	16.60	16.67	16.47	17.55	18.59	18.43	19.23	17.10
2011	16.76	14.70	15.15	16.14	16.14	15.74	15.21	16.80	17.00	17.92	19.05	16.93
2012	15.56	14.80	15.58	15.47	15.89	15.43	15.82	16.56	17.76	18.39	18.63	16.50
2013	15.89	15.78	16.46	16.72	16.15	14.77	15.22	16.02	17.78	17.72	18.57	16.80
2014	15.99	16.59	16.89	16.66	16.39	16.91	15.52	16.03	16.48	17.43	18.58	17.92
2015	15.51	15.98	16.00	15.30	15.88	16.61	15.99	16.63	17.83	18.07	18.95	18.25
2016	18.27	17.15	18.20	16.97	16.94	16.05	16.21	17.07	18.30	17.71	18.57	18.22

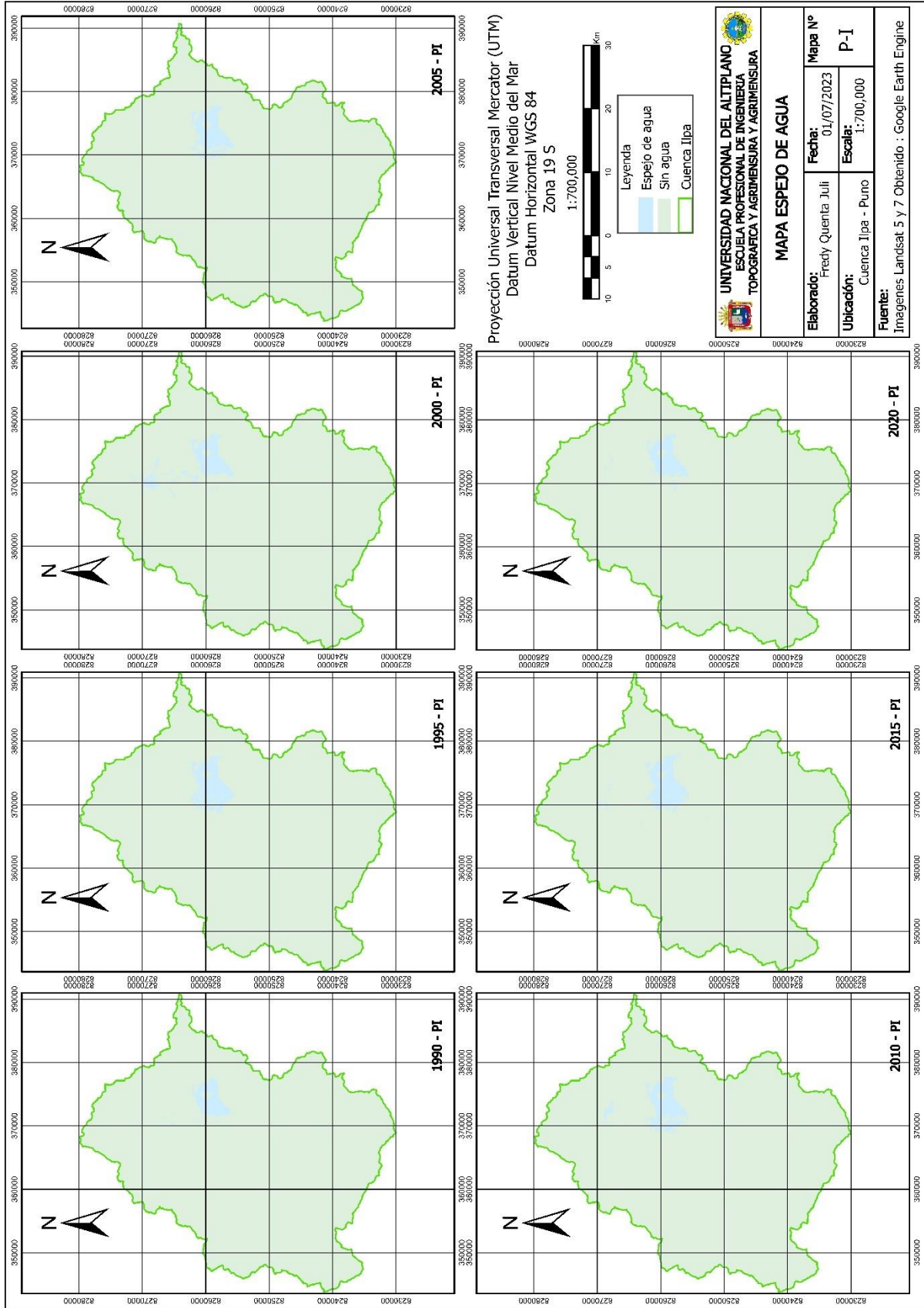
Temperatura mínima

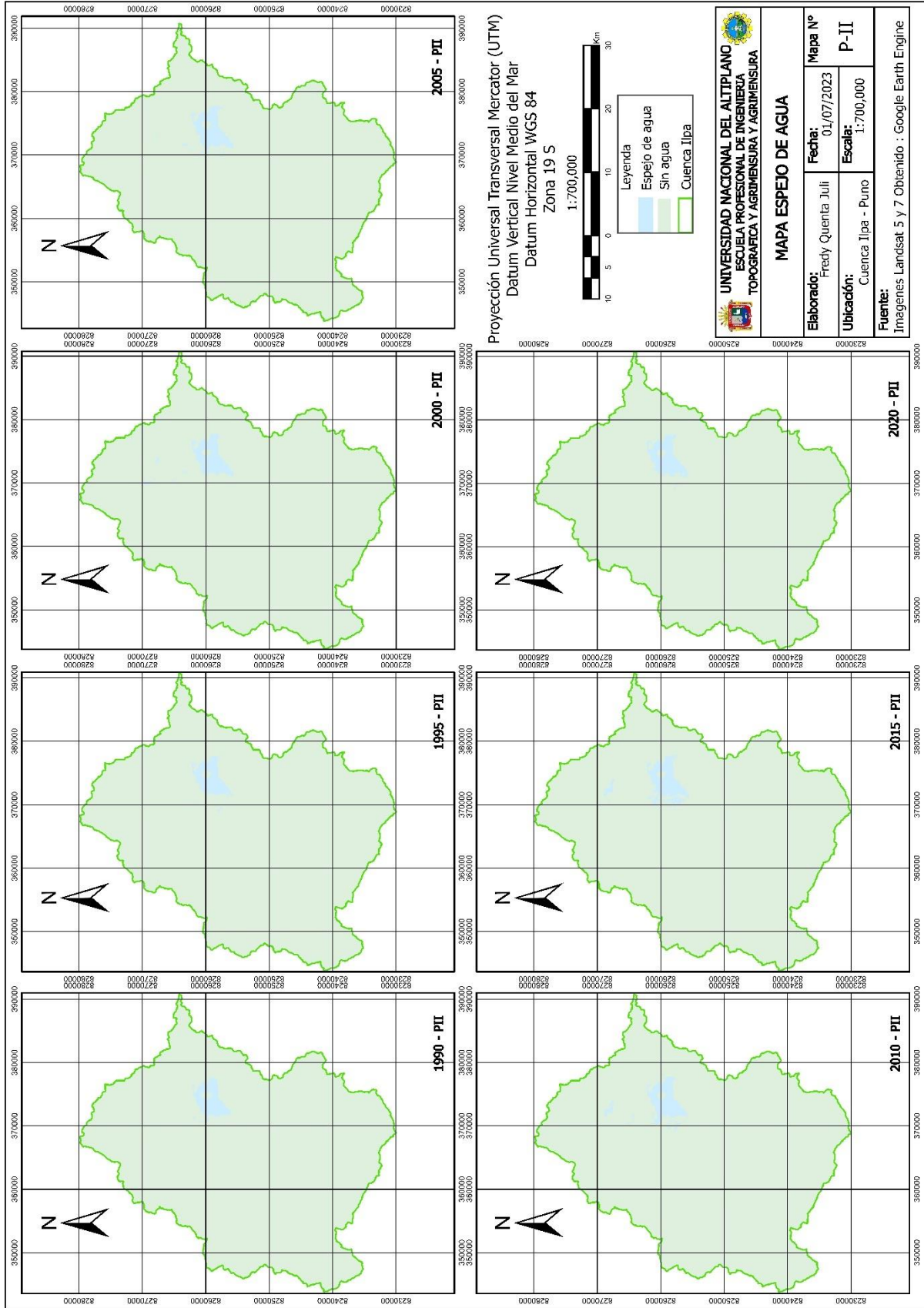
Año	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	4.49	4.73	3.77	1.32	-2.44	-5.92	-5.22	-2.66	-1.37	0.93	2.6	4.29
1982	4.71	4.22	3.75	1.14	-4.27	-5.23	-4.59	-3.53	-0.42	1.39	3.83	3.05
1983	4.06	4.28	3.98	2.84	-1.68	-3.69	-3.78	-1.49	-0.19	0.1	0.32	3.36
1984	4.54	4.86	4.88	2.39	-1.28	-2.63	-4.69	-3.57	-2.53	2.72	3.57	3.56
1985	3.73	4.53	4.04	3.19	-0.23	-1.91	-5.65	-3.05	-0.04	-0.46	2.15	3.95
1986	4.49	4.38	4.46	2.77	-2.75	-4.38	-5.53	-3.44	-0.69	-0.36	1.88	4.39
1987	5.23	3.84	3.49	1.47	-1.61	-3.72	-4.1	-3.58	-1.25	0.64	3.45	3.3
1988	5.22	3.92	4.74	3.18	-0.55	-4.99	-4.95	-3.85	-0.23	0.2	0.97	3.25
1989	3.93	4.2	3.92	2.53	-1.31	-2.84	-4.53	-3.32	-1.11	0.71	0.83	2.28
1990	4.21	2.75	2.47	0.97	-1.7	-2.57	-5.08	-3.8	-2.45	1.75	3.5	3.86
1991	4.08	4.1	4.39	1.76	-2.3	-5.15	-5.67	-4.25	-1.29	0.39	1.41	2.33
1992	3.74	3.22	2.25	0.31	-2.67	-3.15	-4.86	-3.71	-2.38	0.46	1.21	3.19
1993	4.05	3.12	3.71	2.57	-1.41	-5.17	-4.52	-3.47	-1.05	1.45	3.16	4.57
1994	4.4	4.66	3.78	2.92	-1.61	-4.92	-5.16	-4.1	-0.58	0.2	2.78	4.05
1995	4.5	3.5	4.5	1.21	-3.06	-5.01	-4.97	-3.59	-0.63	0.04	1.86	2.56
1996	3.84	4.59	3.42	2.3	-1.21	-4.85	-5.57	-2.17	-1.69	0.38	2	3.89
1997	4.8	4.46	3.77	0.98	-2.09	-5.42	-4.48	-2.05	0.95	1.42	3.21	4.36

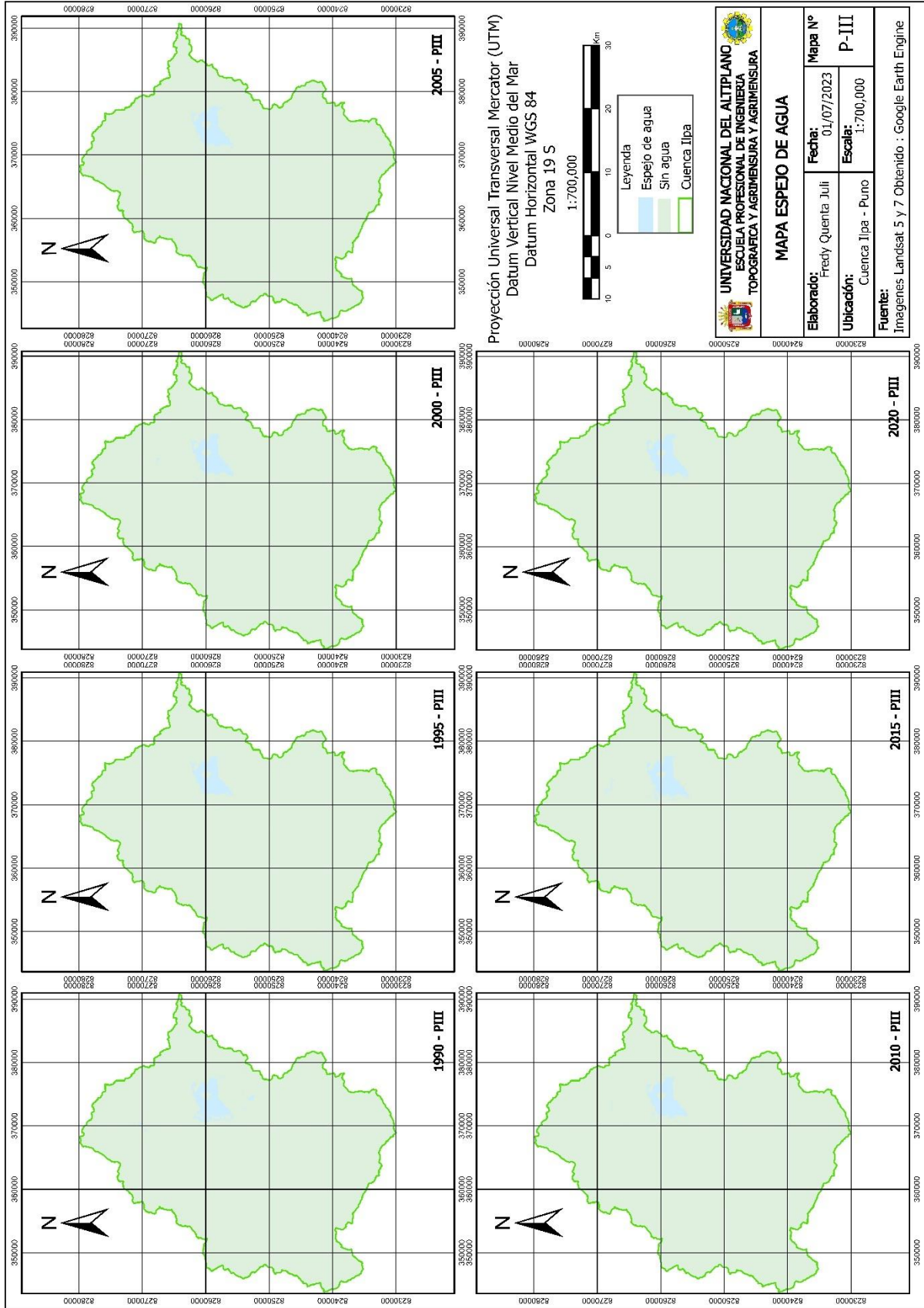




Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1998	6.07	5.79	5.07	2.37	-3.01	-2.78	-4.35	-2.75	-2.01	1.26	2.14	3.31
1999	3.94	5.14	5.19	2.76	-1.21	-4.97	-4.1	-3.11	-1.31	1.64	0.39	3.03
2000	4.9	4.68	4.1	1.83	-1.56	-4.01	-4.86	-2.31	-1.33	1.54	0.54	3.17
2001	4.8	5.18	4.96	2.78	-0.76	-3.02	-4.24	-3.23	-0.1	1.35	2.45	3.17
2002	3.61	5.2	4.92	3.35	0.04	-2.34	-3.07	-2.46	0.1	2.31	2.82	3.99
2003	4.76	4.94	4.73	1.97	-0.86	-4.95	-4.58	-3.39	-1.65	0.02	1.4	3.72
2004	4.94	4.3	4.21	2.3	-3.31	-4.48	-3.86	-1.91	-0.09	1.08	2.1	3.67
2005	4.45	4.76	4	2.18	-2.87	-5.95	-4.38	-4.62	-1.17	1.12	2.07	4.03
2006	4.54	4.44	4.98	2.25	-3.35	-3.44	-5.51	-2.14	-1.44	1.48	3.3	3.76
2007	4.69	4.45	4.77	2.83	-0.66	-3.25	-4.06	-3.12	0.84	0.69	1.19	2.96
2008	5.08	3.62	3.08	-0.04	-4.28	-4.58	-5.88	-4.48	-2.43	1.32	1.9	3.59
2009	3.92	4.54	3.66	1.48	-1.96	-5.82	-4.2	-5.35	-0.83	0.69	4.07	4.15
2010	5.1	5.59	4.55	2.34	-0.89	-2.75	-5.74	-3.84	-1.46	0.61	0.46	3.69
2011	4.05	5.07	4.28	1.98	-1.57	-3.86	-3.83	-2.87	-0.16	0.41	2.21	3.51
2012	4.2	4.42	4.08	3.2	-2.35	-4.07	-5.09	-4.53	-1.19	1.3	2.71	4.91
2013	4.49	4.98	4.15	0.44	-0.48	-2.79	-2.97	-3.21	-2.05	1.44	2.15	4.31
2014	4.35	3.67	3.39	2.37	-1.93	-3.64	-3.73	-2.22	1.39	1.82	2.09	3.7
2015	4.01	4.61	4.67	3.86	-0.64	-3.07	-4.57	-3.07	-0.02	0.86	2.64	3.15
2016	3.87	5.62	3.78	2.62	-2.46	-4.22	-3.72	-2.98	-1.48	1.23	0.82	3.64









## Procedimiento metodológico mediante el editor de código de GEE landsat 5

```
// Importa el area de estudio

var          CuencaIlla           =          ee.FeatureCollection("projects/ee-
archivos122/assets/CuencaIlla001");

// Importa la colección de imágenes Landsat que necesitas.

// Dependiendo del año de las imágenes, puedes utilizar diferentes colecciones (Landsat
5, 7, 8, etc.)

var collection = ee.ImageCollection("LANDSAT/LT05/C01/T1_TOA")

    .filterDate('1990-06-01', '1990-09-30') // Reemplaza por tus fechas de interés

    .filterBounds(CuencaIlla) // Reemplaza por tu área de interés

    .filter(ee.Filter.lt('CLOUD_COVER', 25)); // Filtra la nubosidad menor al 25%

// Crear mosaico y calcular la media

var mosaic = collection.mosaic();

var mean = collection.mean();

// Calcular el NDWI (Normalised Difference Water Index)

var ndwi = mean.normalizedDifference(['B2', 'B4']); // Nos aseguramos que las bandas
sean las correctas para tu colección de Landsat.

// Enmascarar los valores NDWI menores que 0 (típicamente el agua tiene valores
mayores que 0 en el NDWI)

var water = ndwi.gt(0);

// Calcular el área (en metros cuadrados) de agua

var waterArea = water.multiply(ee.Image.pixelArea()).reduceRegion({

    reducer: ee.Reducer.sum(),

    geometry: CuencaIlla, // Reemplaza el área de interés

    scale: 30, // Asegúrate de que esta escala sea correcta para tu análisis
```



```
maxPixels: 1e9

});

// Calcular el área (en hectareas) de agua

var waterAreaHa = ee.Number(waterArea.get('nd')).divide(10000);

print('Area de agua (ha):', waterAreaHa);

// Añadir las imágenes al mapa para visualización

Map.addLayer(mosaic.clip(CuencaIipa), {bands: ['B5', 'B3', 'B2'], min: 0, max: 3000},
'Mosaico'); // RGB

Map.addLayer(mean.clip(CuencaIipa), {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min: 0, max: 3000},
'Media'); // RGB

Map.addLayer(ndwi.clip(CuencaIipa), {min: -1, max: 1, palette: ['white', 'blue']},
'NDWI'); // NDWI

Map.addLayer(water.clip(CuencaIipa), {palette: ['white', 'blue']}, 'Agua'); // Agua

// Exportar el NDWI como una imagen de raster al Google Drive

// Exportar el NDWI a Google Drive

Export.image.toDrive({

  image: ndwi,

  description: "NDWI_1990 II",

  folder: 'GEE_exports',

  scale: 30,

  region: CuencaIipa.geometry()

});
```





### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo FREDY QUENTA JULI,  
identificado con DNI 70930069 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AERIMENSURA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ ESPACIO-TEMPORAL DEL AREA DE ESPEJO DE AGUA Y  
VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA CUENCA ILPA, DETERMINADOS  
MEDIANTE LA PLATAFORMA DE GEE ENTRE LOS AÑOS 1990-2020 ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 04 de agosto del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo FREDY QUENTA JWH,  
identificado con DNI 90930069 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIHENSURA,  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ ESPACIO-TEMPORAL DEL ÁREA DE ESPEJO DE AGUA  
Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA CUENCA ILPA, DETERMINADOS  
MEDIANTE LA PLATAFORMA DE GEE ENTRE LOS AÑOS 1990-2020 ”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 04 de agosto del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella