

“RELACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y LA  
TEMPERATURA SOBRE LA SUPERFICIE DEL  
LAGO CHINCHAYCOCHA EN EL PERIODO 1986-  
2016”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniera Ambiental**

**Autora:**

Xiomara Geraldine Garcia More

**Asesor:**

Mg. Ing. Elifio Gustavo Castillo Gomero

<https://orcid.org/0000-0002-5474545X>

Lima - Perú

## JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	<b>Margeo Javier Chumán López</b>	<b>45997406</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>Hanniel Josué Torres Joaquín</b>	<b>45772010</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>Carlos Alberto Alva Huapaya</b>	<b>06672420</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## DEDICATORIA

A mi Madre Jualiana More Vega por ser el gran humano sin igual , que siempre me dio su apoyo perenne , siendo mi sosten y pilar principal de mi vida.

A mi Familia , por su apoyo y motivación constante. Por inculcarme los valores necesarios y sobre todo brindarme estudios para ser una gran profesional, base a mis esfuerzos realizados.

A mi pareja por estar siempre a mi lado, dándome consejos y estimulando mis mejores habilidades para poder concluir con mi proyecto.

A mi trabajo que siempre me brindo las facilidades y comprensión.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi padre Manuel Garcia Ocaña, por bendecirme desde el cielo.

A mi docente Gustavo Castillo, por su gran apoyo en todo momento durante mi proyecto , brindándome una asesoría ejemplar para que de este modo mi proyecto de tesis se pueda concluir con satisfacción.

A Dios por nunca desampararme y darme un hogar lleno de amor y sabiduría

## Tabla de contenido

JURADO CALIFICADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE ECUACIONES	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
<b>1.1.    Realidad problemática</b>	<b>11</b>
<b>1.2.    Antecedentes</b>	<b>13</b>
<b>1.3.    Bases teoricas</b>	<b>17</b>
<b>1.4.    Justificación</b>	<b>21</b>
<b>1.5.    Formulación del problema</b>	<b>21</b>
1.5.1. Problema General	21
1.5.2. Problemas Específicos	21
<b>1.6.    Objetivos</b>	<b>22</b>
1.6.1. Objetivo General	22
1.6.2. Objetivos Específicos	22
<b>1.7.    Hipótesis</b>	<b>22</b>
1.7.1. Hipótesis General	22
1.7.1. Hipótesis Específicos	22
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	23
CAPÍTULO III: RESULTADOS	30
<b>3.1.    Dinamica temporal del lago Chinchaycocha en el periodo 1986-2016</b>	<b>31</b>
<b>3.2.    Análisis espacial del lago Chinchaycocha en el periodo 1986-2016</b>	<b>32</b>
<b>3.3.    Variación interanual de las precipitaciones y las temperaturas areales</b>	<b>33</b>
3.4.1 Variación interanual de la precipitación areal	33
3.4.2 Variación interanual de la temperatura areal	34
<b>3.4.    Correlación de la precipitación, temperatura y la superficie del lago Chinchaycocha</b>	<b>34</b>

<b>3.5. Análisis de regresión lineal para estimación futura</b>	<b>36</b>
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN	38
CAPITULO V: CONCLUSIONES	42
REFERENCIAS	43
ANEXOS	49

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Imágenes Satelitales usadas para el estudio .....	25
<b>Tabla 2.</b> Datos generales de las variables de estudio .....	30
Tabla 3. Distribución de normalidad .....	35
Tabla 4. Grado de correlación y significancia bilateral.....	35
Tabla 5. Estadísticas de la regresión.....	36
Tabla 6. Análisis de Varianza .....	36
Tabla 7. Coeficientes de regresion Lineal.....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de los procedimientos.....	29
Figura 2. Ubicación geográfica del lago Chinchaycocha .....	24
Figura 3. Tasa de cambio anual de la superficie del lago Chinchaycocha.....	31
Figura 4. Análisis espacial del lago Chinchaycocha .....	32
Figura 5. Variación interanual de la precipitación areal en el periodo de estudio .....	33
Figura 6. Variación interanual de temperatura areal en el periodo de estudio .....	34
Figura 7. Modelo de regresión de superficie lagunar .....	37



## ÍNDICE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo para el NDWI.....	26
Ecuación 2. Tasa anual de cambio.....	27
Ecuación 3. Cálculo de polígonos de Thiessen .....	27

## RESUMEN

La pérdida hídrica de los lagos está provocando déficit en los territorios y los ecosistemas, la importancia de estas fuentes son los almacenamientos durante un periodo anual. Los lagos están siendo afectados por las variaciones climáticas, pues un descenso de la precipitación provoca una menor entrada hídrica y un incremento en la temperatura provoca mayor evaporación. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo: determinar la relación de la precipitación y la temperatura en el lago Chinchaycocha durante el periodo 1986-2016. La metodología de la investigación es de tipo descriptivo correlacional, con alcance longitudinal. Asimismo, se consideró el uso de imágenes Landsat y el índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) para determinar las superficies temporales del lago Chinchaycocha, asimismo, se utilizó la información climática histórica de la plataforma del SENAMHI, para adquirir los datos de precipitación y temperatura. Los resultados demostraron una relación directa de 61.9% entre la precipitación/lago y una relación inversa de 27.6% con la temperatura/lago. Asimismo, se demuestra que la pérdida superficial durante el periodo de análisis es alrededor de 5%. Finalmente, se concluye que la precipitación es la variable con mayor relación en los cambios superficiales del lago Chinchaycocha; además, no se evidenció cambios significativos en la superficie lagunar debido a que la dimensión del lago es alta alrededor de 137 km<sup>2</sup>.

**PALABRAS CLAVES:** Cobertura de lagos, NDWI, temperatura y precipitación

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

A nivel mundial, los lagos constituyen el 67% del agua dulce superficial y la mayoría se encuentran ubicadas en zonas de alta latitud y en el hemisferio norte (Sorrel et al., 2006). Lopez (2016), indica que a pesar de la amplia ubicuidad y la superficie que ocupan en todo el mundo, estos están en constante pérdida volumétrica. Un claro ejemplo de ello es el lago Mar de Aral de Asia, que presentó una disminución del 95% en 60 años. La reducción de la superficie de los lagos no es solo un problema en sí misma, sino que acarrea otras consecuencias en forma directa o indirecta que afectan al ser humano (CEPAL, 2017).

Entre las consecuencias generadas por la pérdida de superficie de los lagos se encuentra el incremento de las concentraciones de las sales que afectan su valor como servicio ecosistémico, la disminución de los niveles de agua como recurso que afecta la economía y los medios de vida e incluso la generación de un conflicto social por la disponibilidad de agua destinado a la actividad agrícola, minera o industrial (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, 2018). A pesar de los efectos de la pérdida de superficie de los lagos, la mayor preocupación es que dicha pérdida sea de manera permanente (Caballero et al., 2013), por lo tanto, la identificación de los factores que provocan la pérdida de superficie de los lagos es de vital importancia.

Los factores involucrados en la pérdida de superficie de los lagos son la evolución de la geodinámica del suelo que modifica la estructura de la superficie, la temperatura que intensifica la evaporación, la precipitación que por medio de su disminución provoca un descenso en los niveles de agua y la actividad antrópica que explota el recurso (Ibarra et al., 2017).

En el Perú, esta situación no es ajena para los 12 201 lagos y lagunas que se encuentran distribuidos en las vertientes del Pacífico, del atlántico y del Titicaca (INISTERIO DE AGRICULTURA-MINAGRI, 2011), pues, se ha podido evidenciar disminución superficial en los lagos y lagunas (MINAM, 2016), un claro ejemplo es el lago San Francisco de Huancavelica, el cual presento una reducción perimétrica de 40 m (Ministerio de Economía y Finanzas, 2019). Los factores más reconocidos frente a este descenso son la variabilidad de las precipitaciones (Vargas, 2009), y el incremento de las temperaturas máximas y mínimas (Chirinos, 2021).

Asimismo, el Gobierno Regional de Puno (2016), indica que los lagos ubicados a más de 4500 msnm ya perciben el impacto de la variabilidad climática; es necesario complementar que la presencia de la actividad humana, provoca disminución en los niveles de agua (CORREO, 2016). Las consecuencias que se han podido percibir en el territorio peruano son el incremento de la conductividad eléctrica del agua (MINAM, 2021), descensos de la actividad turística y disminución de especies biológicas (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

El lago Chinchaycocha se encuentra amenazada por la variabilidad climática, debido a que se encuentra en la zona alto andina (Gobierno Regional de Junin, 2014), también se ha podido presenciar reducción en los niveles agua de 13 420 psnm a 13 410 psnm, descenso que llegar a intensificarse en épocas de estiaje (Consejo Nacional del Ambiente, 2006). La reducción de la superficie del lago Chinchaycocha puede afectar los niveles de agua del río Mantaro y modificar la vida ecosistémica (Ministerio de Energía y Minas, 1997). La importancia de este lago radica en su capacidad de almacenar agua, que es de alimento para la cuenca del Mantaro (Asociación Ecosistemas Andinos, 2010).

## 1.2. Antecedentes

Castañeda (2014), desarrollo un estudio con el fin de conocer los cambios temporales de la laguna Sonso, mediante la aplicación de imágenes satelitales. Para ello se dio uso del índice de agua NDWI (índice diferencial de agua normalizado) el periodo de análisis abarca 23 años. Los resultados demostraron descenso superficial de la laguna a una razón de 28%; sin embargo, en el año 2011 se evidenció un ligero incremento del 8%, esto a causa de favores climáticos. Se concluye que el análisis temporal de la laguna mediante imágenes satelitales es favorable para la toma de decisiones y evaluaciones sobre la realidad temporal.

Garay y Agüero (2017), desarrollo un estudio con el fin evaluar los cambios multi-temporales del espejo de agua del Dique de Anzulon. Para ello dieron uso de las imágenes satelitales del sensor Landsat, luego se aplicó los tratamientos digitales, para la mejora en la identificación de los cambios; asimismo, el periodo de análisis abarca desde el año 1990 hasta el 2015. Los resultados obtenidos demostraron una superficie lagunar de, 46962 hectáreas para el año 2011, una superficie 26,7 hectáreas para el año 2007. Finalmente, se reflejó un descenso promedio de 35%.

Ordúz (2018), desarrollo un estudio que tuvo como objetivo identificar los cambios temporales del espejo de agua del lago Tota, departamento de Boyaca. Para ello, aplicaron el uso de imágenes satelitales de tipo Landsat 5 y 7, asimismo, el análisis se desarrolló durante el periodo 1989-2018. También se incluyó el empleo del índice de agua NDWI para la delimitación del espejo de agua. Los resultados reflejaron una disminución superficial de 2.65% durante el periodo de estudio, de forma acumulada representa una pérdida de 1.5 km<sup>2</sup>.

Gonzales (2015), realizo un estudio con el fin de evaluar los cambios multi-temporales del espejo de agua de la laguna Fúquene que se encuentra localizada en el departamento de Cundinamarca. Para ello, se consideró un análisis temporal de 30 años (1985 a 2015) y el

uso de imágenes satelitales Landsat, así como también el uso del índice de agua NDWI. Por otro lado, se consideró los elementos climáticos, precipitación, temperatura y evaporación, para determinar la relación sobre los cambios del espejo de agua. Los resultados demostraron una disminución superficial de 1001 hectáreas durante el periodo 1985 al 2000; es decir, un descenso de 53.7% y del año 2000 al 2015 una pérdida de 392 ha equivalente al 45.4%. Asimismo, se pudo reflejar que la variable climática de mayor relación es la precipitación, con una asociación del 60%.

Chambe et al. (2021), desarrollaron un estudio con el fin de evaluar los cambios superficiales del espejo de agua de la laguna Suches durante el periodo 1975 a 2020. Para ello dieron uso del Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) aplicado a las imágenes satelitales; asimismo, se consideró el uso de los programas Arcgis y ENVI. Los resultados demostraron una reducción del 23.75% de la superficie de la laguna Suches, todo ello durante el 1975 a 2020. Por otro lado, es posible establecer una relación causal con el cambio climático, debido a la variabilidad de los elementos atmosféricos.

Berteaux et al. (2016), encontraron que las precipitaciones se relacionan en un 63% con los cambios superficiales de los lagos de Cotacotani y Chungará. Del mismo modo, Martínez & Pinto (2018), encontraron que las bajas precipitaciones se relacionan en 48.51% de los cambios superficiales de la laguna de Suesca. Esto también fue reflejado por Aliaga et al. (2014), donde evidenciaron que las precipitaciones anuales inferiores a los 200 mm provocaron la desaparición de 50% de lagunas temporales de la cuenca Colorado y una reducción superficial de 0.28% de las lagunas permanentes.

Estos mismos resultados fueron evidenciados en las lagunas Sayhuacocha, Raurac, Ampatococha y Tutayoc de Huancavelica, donde las bajas precipitaciones provocaron una reducción de 17 a 21% de las superficies de las lagunas (Rondón & Vergara, 2012). De igual

forma, Bohn (2007), resalto que la magnitud pluviométrica, presenta una relación directa sobre los cambios espaciales de los lagos, más aún si estas precipitaciones descienden.

Aliaga et al. (2016), estudiaron la dinámica temporal de las lagunas de la región Pampeana de Argentina, tuvieron como objetivo el estudio morfométrico de 6 lagunas con diferentes entradas pluviométricas. Para ello, dieron uso de las imágenes satelitales Landsat con el fin de cuantificar la superficie del espejo de agua de las lagunas durante el periodo 2010 – 2015. Asimismo, para la identificación de los cuerpos lagunares se aplicó el índice de agua NDWI, el cual permite identificar las superficies lagunares mediante su comportamiento espectral. Por otro lado, para el análisis climático se dio uso del Índice Estandarizado de Precipitación, el cual brinda información espacio temporal de la precipitación en los años de análisis. Los resultados demostraron reducción de las superficies lagunares con magnitudes 1 a 2 km<sup>2</sup>. Asimismo, se evidenció gran pérdida superficial en la Laguna Picasa con una reducción del 50%. Finalmente, el análisis de correlación indica que la precipitación muestra gran relación sobre los cambios de la superficie lagunar, sobre todo en periodo húmedo, con una magnitud de correlación de 70%.

Franco & Chambe (2021), estudiaron los cambios superficiales de la laguna Suches de la provincia de Tacna. Para ello, dieron uso de las imágenes Landsat con una temporalidad de estudio de 1975 a 2020, asimismo se aplicó el índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) con el fin de identificar de forma remota las superficies de la laguna Suches. Los resultados demostraron que la laguna tuvo una reducción acumulada de 822.082 ha. Asimismo, el análisis de correlación temporal evidencio que a medida que incremento los tiempos están dan respuesta en un 39% en los cambios de la superficie lagunar.

Pérez & Garcia (2015), estudiaron los cambios temporales de la laguna Gallocanta ubicada en Madrid, España. Para ello, dieron uso de las imágenes Landsar con una periodicidad de

análisis desde 1987 hasta 2011. Asimismo, se aplicó el índice de identificación de agua NDWI, el cual permitió su cuantificación superficial. Por otro lado, usaron la información climática de precipitación del registro temporal pluviométrico de la zona. Los resultados evidenciaron una reducción superficial de la laguna del 4 % durante el periodo de estudio. Esta baja reducción se debe a que el comportamiento pluviométrico inicio con reducción en los primeros años 1987-2003, seguido a ese periodo se presentó un incremento en las precipitaciones, lo que conllevó a la recuperabilidad hídrica de la laguna en estudio. Finalmente, el análisis estadístico de correlación demostró una asociación del 80% entre las precipitaciones la superficie lagunar.

Martínez et al. (2018), estudiaron la pérdida superficial de la Laguna de Suesca mediante imágenes satelitales, que se encuentra localizada en Bogotá, Colombia. Para ello usaron las imágenes Landsat con una temporalidad de análisis de 1987 hasta el 2016. Para la identificación superficial aplicaron el índice de agua NDWI. Los resultados evidenciaron una pérdida superficial del 48% durante el primer periodo 1987-2001; y en el segundo periodo se evidenció 2001-2016, se evidenció un incremento de la superficie lagunar de 10.1%, esto se debió a la variabilidad de las precipitaciones, pues en la segunda fase las precipitaciones mostraron ritmos de incrementos. Es así que el análisis estadístico demostró una correlación del 75% entre las precipitaciones y los cambios temporales de la superficie lagunar.

Castillo & Rodríguez (2017), realizaron un estudio con el fin de conocer los cambios temporales del espejo de agua de la laguna Fuquene que se encuentra ubicado en Colombia. El estudio se llevó a cabo durante el periodo 1984 hasta 2003. Para la identificación de la superficie lagunar de forma remota se aplicó el índice de agua NDWI con las imágenes Landsat. Los resultados evidenciaron una reducción del espejo de agua desde 19.8 km<sup>2</sup> del año 1984 hasta 4.2 km<sup>2</sup> del año 2003.



Piccolo et al. (2020), estudiaron la relación de la variabilidad climática sobre los cambios temporales de las lagunas de la Región Pampeana, Argentina. Para ello dieron uso de las imágenes Landsat durante un análisis temporal de 1960 hasta 2010. Los datos climáticos fueron adquiridos de la base de datos meteorológica de Argentina. Los resultados demostraron una disminución superficial acumulada de 5257.39 km<sup>2</sup>. Los datos de correlación indican que la precipitación es el agente de mayor relación en los cambios superficiales de las lagunas, en comparación con la temperatura, pues logran alcanzar magnitudes estadísticas de 60% y 30% respectivamente.

González (2021), realizó un análisis temporal de los lagos de Michoacán, México durante el periodo 1993-2019. Para ello, dio uso de las imágenes satelitales Landsat con el fin de identificar la superficie de las lagunas en los años de estudio. Por otro lado, se determinó los elementos climáticos temporales de temperatura y evaporación, con la finalidad de buscar el grado de relación de estas sobre los cambios lagunares. Los resultados demostraron una pérdida de 85.8% y el análisis estadístico de correlación demostró que la evaporación refleja como factor de mayor relación sobre los cambios de las superficies lagunares, con una magnitud de asociación del 70%.

### **1.3. Bases teóricas**

#### **Lago:**

El lago Chinchaycocha que es la unidad abordada en esta investigación y se define como una masa hídrica situada en una depresión topográfica (Moreno, 2020), donde su principal beneficio es almacenar agua para proveer durante la temporalidad del año a las poblaciones rurales con el fin de satisfacer sus actividades agropecuarias, asimismo, son de vigor para los ecosistemas colindantes (Bravo et al., 2008).

**Teledetección:**

El método que permite identificar las unidades superficiales hídricas como los lagos, es la teledetección, es el proceso que nos permite obtener información espacial de un territorio sin tener el contacto directo de su medición, y esto es debido, a la presencia electromagnética presente en el medio natural (interacción energética) (Chuvienco, 2002). Esa interacción entre energía, superficie y sensor es registrada en imágenes satelitales, el cual almacena la información en píxel (Labrador y Évora, 2012).

El comportamiento del agua en el espectro visible tienen por característica absorber o transmitir la mayor parte de la radiación visible que reciben, siendo mayor absorbancia cuanto mayor sea la longitud de onda. La variabilidad del Agua es mejor detectable en las longitudes de onda más cortas (azul y verde), que hemos de relacionar con su profundidad, contenido de materiales en suspensión (Clorofila, Arcillas y nutrientes); y su rugosidad de la superficie (Chuvienco, 2001).

**Índice De Agua De Diferencia Normalizada (NDWI):**

Con relación a ello, el índice de agua NDWI permite la identificación superficial de superficies hídrica y distingue de una tonalidad azul en comparación a otros ecosistemas. Para su determinación se utiliza las bandas espectrales NIR- Near InfraRed (o infrarrojo cercano) y la banda SWIR- Short Wavelength InfraRed (infrarrojo corto) (Di Gregorio y Jansen, 2005). Para la mejora de la identificación superficial, se complementa el uso de la **clasificación supervisada**, proceso que mediante unidades de entrenamiento o referencia corrige la identificación de superficies del NDWI (INEGI, 2014). Este proceso mejora la identificación superficial del lago en estudio.

### **Sistema de información geográfica:**

Se entiende por sistema de información geográfica, es un sistema compuesto por distintas fases en donde se manipulan y desarrollan los datos geo-espaciales, para ello es indispensable las herramientas informáticas como Arcgis, Qgis, Envi, entre otros (Mello y Camacho, 2007). Cada uno de los programas muestran características peculiares, pues Arcgis, permite la manipulación de datos vectoriales y raster, así como las lecturas de múltiples formatos espaciales (Yepes y Gasca 2013). Estos programas fueron necesarios para la corrección de las imágenes satelitales descargadas y para el post-procesamiento de las mismas, así como la extracción de información geoespacial.

### **Elementos Climaticos:**

Los cambios en su superficie del lago pueden ser asociados por **la precipitación**, que es descrita como formación líquida proveniente del proceso de condensación atmosférica y que es precipitado en la superficie terrestre para continuar el ciclo hidrológico (Fundación Aquae, 2020); y **la temperatura**, que es definida como indicador del grado de calor que presenta el aire (Polanco, 2017), calor que es generado por la energía cinética de las moléculas del aire (Agustín, 2015).

Las variaciones interanuales de temperatura y precipitación en varios sistemas hídricos del Hemisferio Norte están influenciadas por las masas de aire que se originan en el Océano Pacífico. Además, el cambio climático también está influenciado por cambios en las conexiones atmósfera-océano, tales como: Oscilación Decadal del Pacífico, El Niño y La Niña, sistemas que asocian en la ocurrencia de sequías e inundaciones. En general, se piensa que estos mecanismos de forzamiento sincronizan los cambios en las propiedades físicas y químicas de los lagos (Pham et al., 2008).

Para conocer el análisis de los elementos climáticos a nivel de superficie, es necesario la aplicación de técnicas de interpolación espacial como los **polígonos de Thiessen** que son dirigidos a terrenos planos (Buzai, 2016). El polígono de Thiessen es uno de los métodos de interpolación más simples basados en la distancia euclidiana y es especialmente útil cuando los datos son cualitativos. Se crean conectando los puntos entre sí y dibujando la bisectriz perpendicular del segmento de conexión. Las intersecciones de estas bisectrices perpendiculares definen un conjunto de polígonos en el espacio 2D alrededor de un conjunto de puntos de control, de modo que el perímetro del polígono generado es equidistante de los puntos vecinos (Castro, 2018). En Arcgis este proceso se da mediante el ArcToolbox, seguido de Analysis Tools, luego Proximity y por último Create Thiessen Polygons (Pizarro et al., 2003).

#### **Análisis estadísticos:**

Los análisis estadísticos permiten evaluar el comportamiento de unas variables, así como su distribución y asociación (Porrás, 2016). La **prueba de normalidad de Shapiro Willk** permite conocer el comportamiento de normalidad de una variable, pues este estadístico permite conocer el campo paramétrico y no paramétrico de correspondencia; así mismo, Shapiro es aplicado para variables con tamaño muestral menor a 50 unidades (Romero, 2016).

Para la determinación de la asociación estadística, existe la prueba **correlacional de Pearson** y Spearman, el uso de cada uno está en función a si las variables en estudio siguen una prueba paramétrica o no paramétrica (Triola, 2018), ambos estadísticos indican un grado de correlación de -1 hasta +1, donde valores próximos a la unidad indicaran una asociación alta y próximo a 0 una relación baja y no significativa, por otro lado, el valor positivo indicara una relación directa proporcional y el signo negativo una relación inversa (Hanke et al., 2014).

## **1.4. Justificación**

Por todo ello, el presente trabajo **se justifica** a nivel ambiental porque los resultados, permitirá que el gobierno regional de Junín, aborde medidas de conservación y prevención del lago de manera, más aun sabiendo que es una fuente hídrica principal del río Mantaro. Por otra parte, la investigación permitirá que los líderes del estado aborden proyectos de adaptación y mitigación, ya que, el ODS N.º 6, indica que se debe proteger las fuentes de agua, en este caso el lago Chinchaycocha. Finalmente, se justifica a nivel social, puesto que la desembocadura de agua del lago Chinchaycocha hacia río Mantaro, es suministro para la población y las actividades agrícolas (Comisión de Pueblos Andinos, Amazónicos y Afroperuanos, Ambiente y Ecología, 2009).

Por otro lado, la aplicación de la metodología de la presente investigación será de guía para estudios futuros relacionados a los cambios superficiales de los lagos mediante la aplicación de imágenes Landsat.

## **1.5. Formulación del problema**

### **1.5.1. Problema General**

- ¿Cuál es la relación de la precipitación y la temperatura sobre la superficie del lago chinchaycocha en el periodo 1986-2016?

### **1.5.2. Problemas Específicos**

- ¿Cuál es la dinámica espacio-temporal del lago Chinchaycocha durante el periodo 1986 - 2016?
- ¿Qué relación existe entre la precipitación y la superficie del lago chinchaycocha en el período 1986-2016?
- ¿Qué relación existe entre la temperatura y la superficie del lago chinchaycocha en el período 1986-2016?

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General**

- Determinar la relación de la precipitación y temperatura sobre la superficie del lago chinchaycocha en el período 1986-2016.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la dinámica espacio-temporal de la superficie del lago Chinchaycocha en el período 1986-2016
- Determinar la relación de la precipitación sobre la superficie del lago Chinchaycocha durante el periodo 1986 – 2016.
- Determinar la relación de la temperatura sobre la superficie del lago Chinchaycocha durante el periodo 1986 – 2016.

## **1.7. Hipótesis**

### **1.7.1. Hipótesis General**

- La precipitación y temperatura se relacionan significativamente con la superficie del lago Chinchaycocha en el período 1986-2016.

### **1.7.1. Hipótesis Específicos**

- La dinámica espacio-temporal del lago Chinchaycocha es descendiente durante el periodo 1986 - 2016?
- Existe una correlación significativa positiva entre la precipitación y la superficie del lago Chinchaycocha durante el periodo 1986 – 2016.
- Existe una correlación significativa negativa entre la precipitación y la superficie del lago Chinchaycocha durante el periodo 1986 – 2016.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### Tipo de investigación

El enfoque de la investigación es de tipo mixto: cualitativo y cuantitativo (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014), puesto que el tema de investigación tuvo los sustentos teóricos, considerando así; la interpretación de los cambios superficiales del lago Chinchaycocha, y la determinación el grado de relación de la precipitación y la temperatura sobre la superficie del lago Chinchaycocha, el cual permitió responder la pregunta de investigación.

Dado que objetivo del estudio fue analizar la relación de la precipitación y la temperatura sobre la superficie del Lago Chinchaycocha, se recurrió a un diseño no experimental longitudinal, porque, no se manipuló las variables, por el contrario, se describió los cambios superficiales del lago en un periodo de análisis de 30 años (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

### Población y Muestra

**La población** es el conjunto total del elemento en estudio (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014), por ello la investigación presenta como población toda la superficie del lago Chinchaycocha, que abarca aproximadamente 530 km<sup>2</sup>. Se considero como población directamente al Lago Chinchaycocha, pues es la única dentro del territorio peruano con dicha dimensión amplia y que su formación es de clase endorreica, que a diferencia de otras lagunillas de formación graciara. **El muestreo aplicado es de tipo no probabilístico**, el cual permite coger la muestra más factible y a conveniencia del investigador (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014), con relación a ello, la muestra de la investigación resulta ser toda la superficie del lago Chinchaycocha; porque, es la forma más adecuada de medir los

cambios superficiales del lago. En la figura 1, se observa el plano de ubicación del Lago Chinchaycocha.

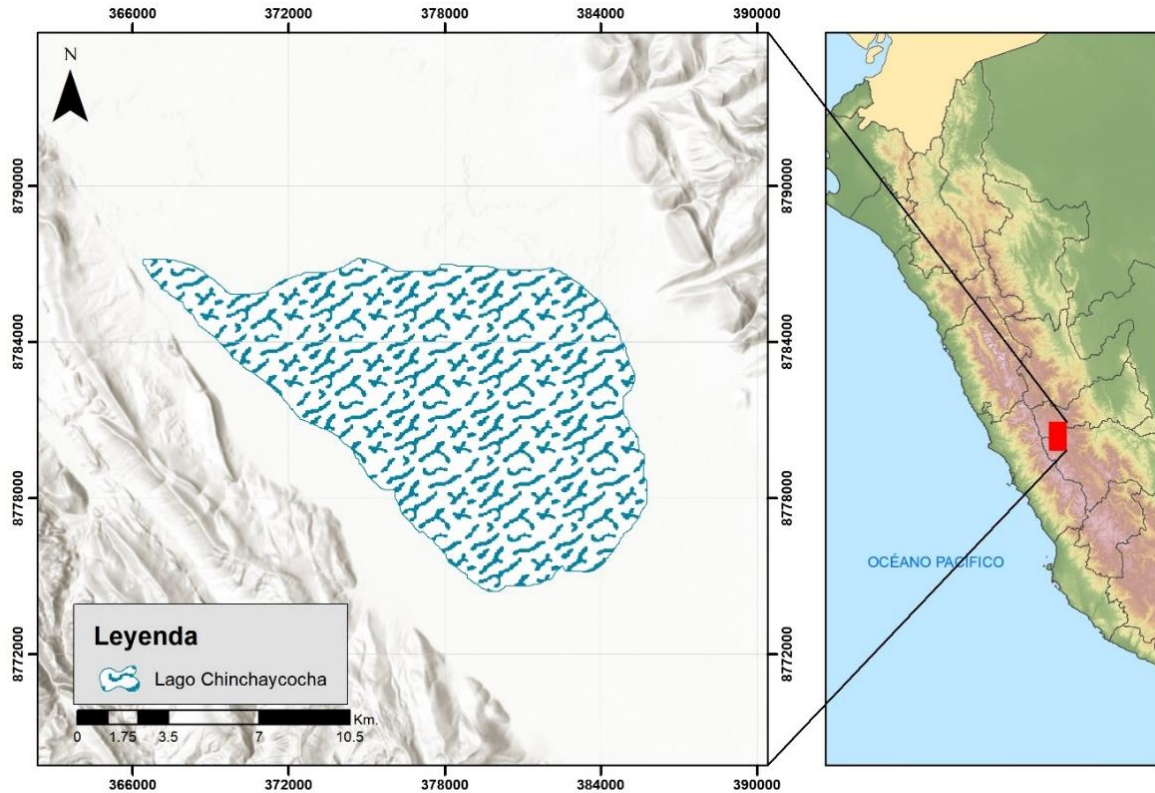


Figura 1. Ubicación geográfica del lago Chinchaycocha

### Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La **técnica** empleada para la obtención de la magnitud de la superficie del lago Chinchaycocha en los años de estudio, es la observación directa no experimental (teleobservación). Que se trabajó mediante el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI), ya que es el medio para identificar y obtener los datos superficiales del lago (Earth Observing System, 2021). Para ello, se contó como soportes a los softwares Arcgis, Envi y Qgis, medios que permitieron medir y extraer la información geo espacial.

Por otra parte, para la obtención de los valores de temperatura y precipitación superficial, se aplicó de igual manera la observación directa no experimental, pues se extrajo los valores



climáticos mediante procesamiento de Polígonos de Thiessen, medio óptimo para relieves planos o de baja de pendiente, como es la zona del lago Chinchaycocha (Sánchez, 2007). Los **instrumentos** utilizados para las técnicas mencionadas son fichas de registros de observación, una parte para almacenamiento de datos climáticos (ver anexo 1) y otro para el almacenamiento de información de superficie temporal del lago Chichaycocha (ver anexo 2). Estos instrumentos fueron tomados de Ccallata (2020), el cual muestra instrumentos ya validados.

### Procedimientos

Para el análisis espacial se determinó la superficie del lago Chinchaycocha expresada en km<sup>2</sup>, se utilizó las imágenes del satélite Landsat en su versión 5,7 y 8, debido, que es el satélite de acceso libre y de mayores datos temporales (USGS, 2021), la descarga de las imágenes se permitió mediante la página oficial del Servicio Geológico de Estados Unidos USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). En la tabla 1, se visualiza las escenas de imágenes Landsat utilizadas para el presente estudio.

**Tabla 1.** Imágenes Satelitales usadas para el estudio

Año	ID de las imágenes	% de nubosidad por escena total	% de nubosidad Lago Chinchaycocha
1986	LT05_L2SP_007068_19860809_20200918_02_T1	17	
1988	LT05_L2SP_007068_19880729_20200917_02_T1	12	
1990	LT05_L2SP_007068_19900804_20200916_02_T1	20	
1992	LT05_L2SP_007068_19920724_20200914_02_T1	12	
1994	LT05_L2SP_007068_19940714_20200913_02_T1	23	
1996	LT05_L2SP_007068_19960719_20200911_02_T1	26	
1998	LT05_L2SP_007068_19980709_20200908_02_T1	27	
2000	LT05_L2SP_007068_20000730_20200906_02_T1	31	El area de estudio no presento % de nubosidad
2002	LT05_L2SP_007068_20020715_20200905_02_T1	16	
2004	LT05_L2SP_007068_20040826_20200903_02_T1	11	
2006	LT05_L2SP_007068_20060731_20200831_02_T1	29	
2008	LT05_L2SP_007068_20080720_20200829_02_T1	11	
2010	LT05_L2SP_007068_20100811_20200823_02_T1	26	
2012	LE07_L2SP_007067_20120808_20200908_02_T1	12	
2014	LC08_L2SP_007068_20140822_20200911_02_T1	27	

Las imágenes descargadas tuvieron un proceso de tratamiento digital, los cuales fueron la corrección radiométrica, el cual está basada en la corrección de los valores de reflectancia de las imágenes (Moran, 2014); y la corrección atmosférica, permitió eliminar los valores de interferencia que provenían de los aerosoles atmosféricos, estos procesos fueron llevados a cabo en el software ENVI 5.3 (Moran, 2014). Para las imágenes provenientes de Landsat 7 se consideró una corrección adicional, ya que, por errores del sensor, las imágenes presentaban valores nulos en varios fragmentos de las imágenes (Paz et al., 2018), para ello se aplicó el método de vecindad, el cual consiste en tomar los valores próximos y mediante un proceso de algoritmo determinar los valores nulos, este proceso fue realizado en el software QGis 3.16.2 (Agresta, 2015).

A las imágenes corregidas se le aplicó el índice NDWI, la cual está basada en una operación algebraica de las bandas infrarrojo cercano "NIR" e Infrarrojo de onda corta "SWIR" (Farias & Lagos, 2010), el cual permitió identificar a lago de manera apreciable, luego se procedió a digitalizar la superficie y determinar su área en km<sup>2</sup>, todo este proceso se llevó a cabo en el software ArcGIS 10.8, los resultados de superficie fueron almacenados en el registro de Excel.

*Ecuación 1.* Cálculo para el NDWI

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

Donde: NIR es infrarrojo cercano y SWIR es infrarrojo corto

La serie espacial de la superficie del lago fue proyectada en un mapa cartográfico, el cual permite identificar, de manera visual, los cambios del lago en el periodo de análisis (Lois, 2017).

Para el análisis temporal del lago se aplicó la tasa anual de cambio recomendado por la FAO (1996), el cual permite evidenciar los cambios ocurridos en relación con el año precedente, a aquellos valores negativos indicaran un descenso de la superficie del lago y valores positivos un aumento de esta (Onesimo, 2020).

*Ecuación 2. Tasa anual de cambio*

$$S = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{\frac{1}{t_2-t_1}} - 1$$

Donde:  $S_1$  y  $S_2$  son las áreas del lago en la fecha  $t_1$  y  $t_2$  respectivamente. Fuente (Ramírez et al., 2005)

Para la determinación de la precipitación y la temperatura superficial, se aplicó la técnica de polígonos de Thiessen, el cual permite obtener los valores de precipitación y temperatura por superficie (Sanchez, 2007). Valores que fueron obtenidos del producto grillado PISCO "Peruvian Interpolate data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations" elaborado por el SENAMHI, estos datos, ya presentan tratamiento y validación (Aybar et al., 2020), los datos de precipitación presentan una resolución de 5 km x 5 km (Aybar et al., 2017) y las temperaturas máximas y mínimas una resolución de 10 km x 10 km (SENAMHI, 2018). Para el análisis climático se consideró la época seca, puesto que las imágenes satelitales consideradas en el estudio provienen de esa temporada, donde no se evidencia cobertura de nubosidad densa. En esta ocasión abarca el periodo mensual mayo a noviembre.

*Ecuación 3. Cálculo de polígonos de Thiessen*

$$Pma = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * R_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Donde:  $Pma$  es la precipitación o temperatura media areal,  $A_i$  superficie ( $\text{km}^2$ ) y  $R_i$  es el valor de la precipitación o temperatura de la estación.

Los datos superficiales fueron determinados en el software ArcGis 10.8, donde los resultados de las temperaturas máximas y mínimas están expresados en °C/Km<sup>2</sup> y las precipitaciones en mm/km<sup>2</sup>, estos fueron almacenados en un registro de Excel.

### **Análisis de datos**

Para determinación de la relación de la precipitación y la temperatura sobre la superficie del lago Chinchaycocha, se utilizó la prueba estadística de correlación de Pearson, el cual permitió medir el grado de relación de las variables (Herrera & Chuvieco, 2014), la intensidad de la relación oscila de -1 a +1 (Diego & Lalinde, 2018), donde los valores próximos a la unidad significan un alto grado de relación. También, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks a los datos tabulados, precipitación, temperatura y superficie del lago, con la finalidad de determinar si corresponde una prueba paramétrica o no paramétrica. Para estos procesos fue necesario el uso del software SPSS v26.

Asimismo, se empleó la estadística descriptiva para proyectar la dinámica de la temperatura y precipitación superficial en el periodo de estudio, esto se llevó a cabo mediante gráficas lineales (Rendón-Macías et al., 2016), para ello, se utilizó el programa Microsoft Office Excel. Finalmente, se consideró el empleo de la cartografía como herramienta de complemento visual.

### **Consideraciones éticas**

La investigación utilizó los datos de las instituciones del SENAMHI y del USGS, por tanto, se respeta los derechos y usos de estos datos. También, se garantiza los resultados generados por esta investigación, ya que fueron desarrollados por softwares como ENVI, ArcGIS y QGIS. Finalmente, para aplicación del sistema de información geográfico se llevó una previa capacitación del manejo de los distintos programas espaciales, con el fin de mostrar una ética en el manejo de datos.

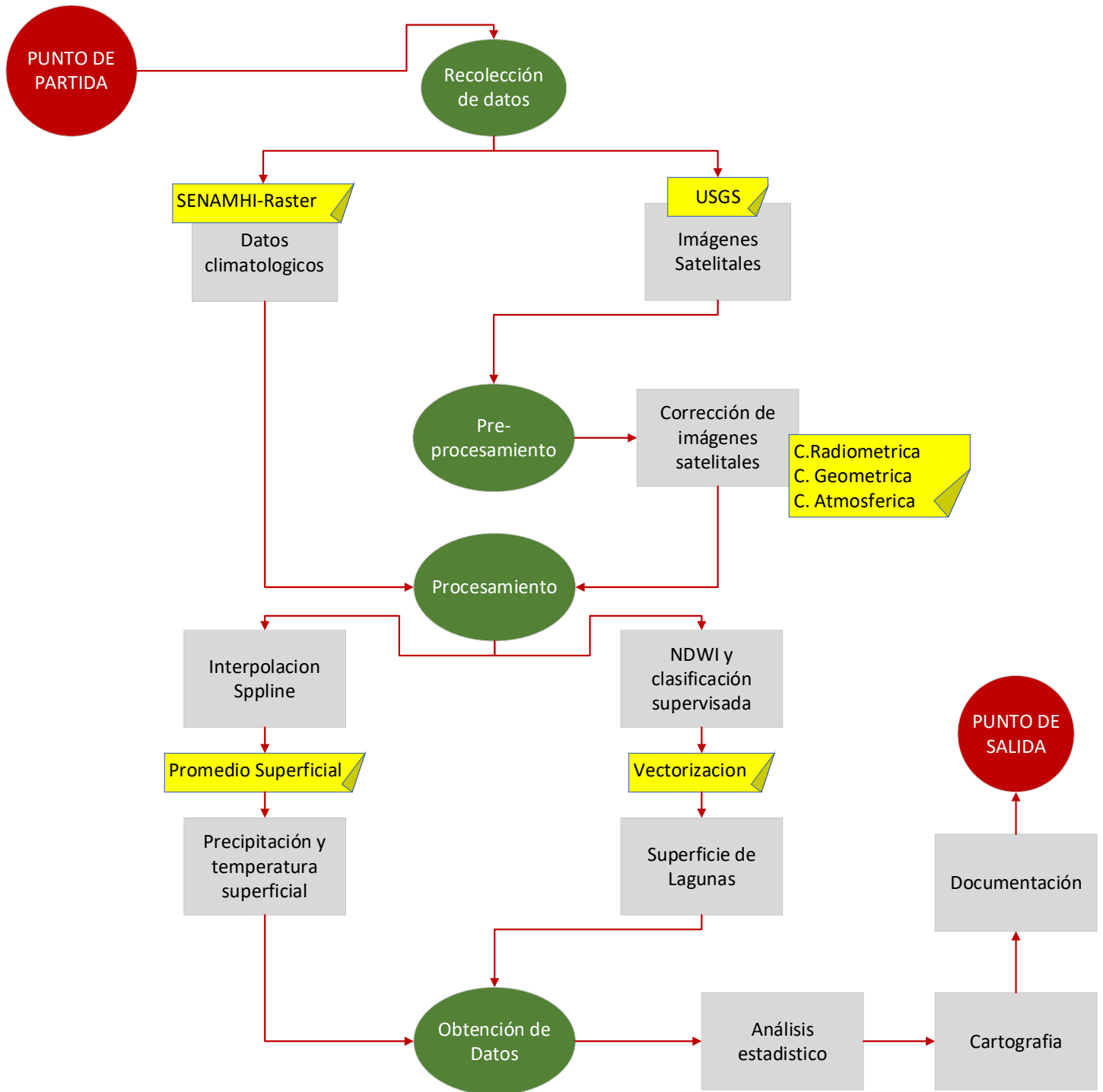


Figura 2. Diagrama de flujo de los procedimientos

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

En este capítulo se da a conocer los cambios superficiales del lago Chinchaycocha, que se determinó por aplicación del índice NDWI (Índice Diferencial Normalizado de Agua) y el proceso de digitalización, dicho cambio superficial se mostró mediante una gráfica de barras de tasa de cambio, y para el reconocimiento de los cambios espaciales se utilizó el sistema cartográfico. Además, se mostró mediante gráfico lineal la variabilidad de la precipitación y la temperatura. Finalmente, se da a conocer el grado de relación de la precipitación y la temperatura sobre los cambios superficiales del lago Chinchaycocha, todo ello mediante un análisis estadístico conocido como la prueba correlacional de Pearson. En la tabla 2, se visualiza los datos temporales de la superficie del lago, precipitación y temperatura.

**Tabla 2.** Datos generales de las variables de estudio

<b>Año</b>	<b>Precipitación areal (mm/km<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura media areal (mm/km<sup>2</sup>)</b>	<b>Superficie del lago (km<sup>2</sup>)</b>
<b>1986</b>	297.67	9.24	141.82
<b>1988</b>	301.33	9.75	141.26
<b>1990</b>	250.28	9.55	136.78
<b>1992</b>	245.98	9.76	135.66
<b>1994</b>	293.43	9.59	138.34
<b>1996</b>	248.26	9.51	136.88
<b>1998</b>	289.82	10.78	138.19
<b>2000</b>	303.50	9.62	137.65
<b>2002</b>	280.83	9.95	136.22
<b>2004</b>	221.58	9.80	134.93
<b>2006</b>	276.48	9.90	135.79
<b>2008</b>	246.17	9.48	135.11
<b>2010</b>	294.40	10.51	136.61
<b>2012</b>	319.90	9.95	137.90
<b>2014</b>	356.64	10.26	138.47
<b>2016</b>	259.41	10.77	134.44

Fuente: Propia

### 3.1. Dinámica temporal del lago Chinchaycocha en el periodo 1986-2016

El análisis temporal de la superficial del lago Chinchaycocha se desarrolló por medio de la tasa anual de cambio. En la figura 3 se observa la variación de la tasa de cambio de la superficie del lago, en ello se percibe valores significativos bajos en los años 1990 y 2016, esto indica disminución alta de la superficie del lago Chinchaycocha en los años mencionados, sin embargo, se evidenció un valor alto de incremento en el año 1994. La tendencia de la variación temporal de la superficie del lago Chinchaycocha es negativa, esto indica una pérdida de superficie del lago en todo el periodo de análisis (30 años).

Además, se puede observar que las tasas de incremento, se encuentra reduciendo con el traspaso del tiempo, esta reducción ha pasado 0.02% (año 1994) a 0.006% (año 2014).

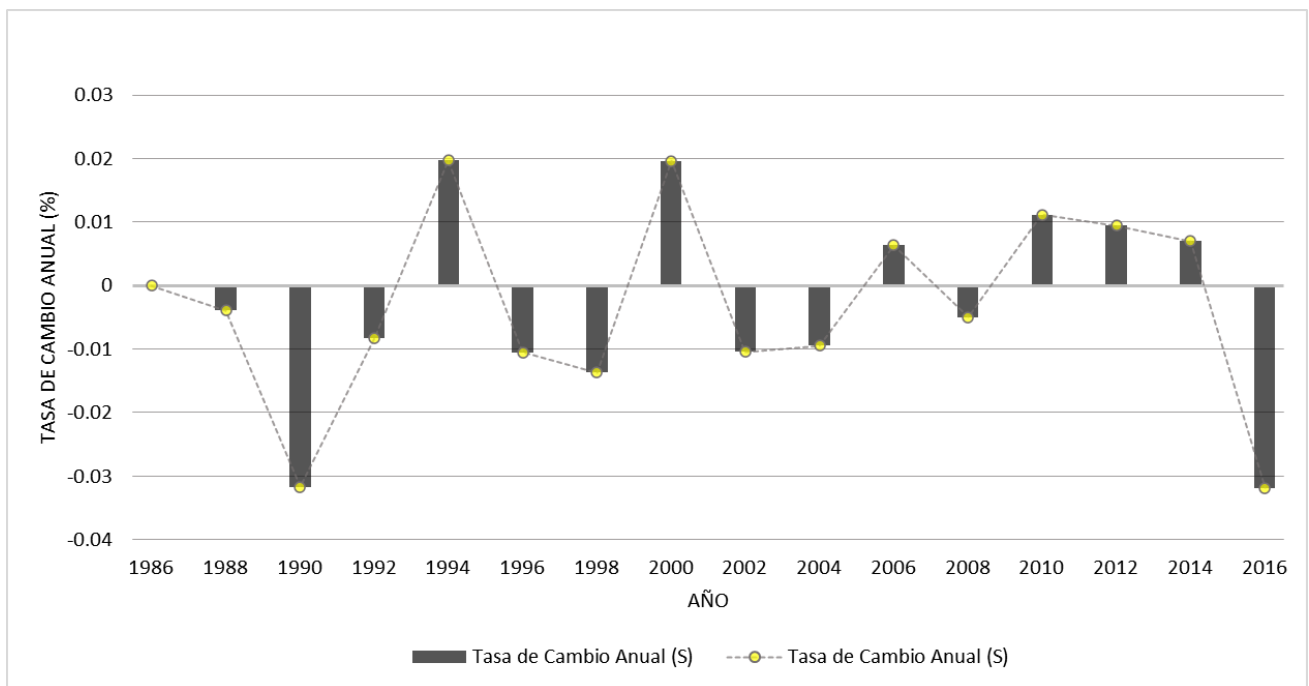


Figura 3. Tasa de cambio anual de la superficie del lago Chinchaycocha durante el periodo 1986-2016

### 3.2. Análisis espacial del lago Chinchaycocha en el periodo 1986-2016

El análisis espacial de lago Chinchaycocha está reflejado por un mosaico de imágenes cartográficas. Se evidencia que en el año 1992 se presentó pérdida superficial en el pico de lago, en el año 1998 se presentó un incremento en el pico y la zona sur, en el año 2010 se presentó incremento en el pico, pero un descenso en la periferia; finalmente, en el año 2016 se evidencia pérdidas en el pico y en gran parte de la periferia. En el año 1986 la superficie del lago era de 141.82 km<sup>2</sup> y en el año 2016 fue 134.42 km<sup>2</sup>. Sin embargo, estos valores fueron oscilando en distintas magnitudes.

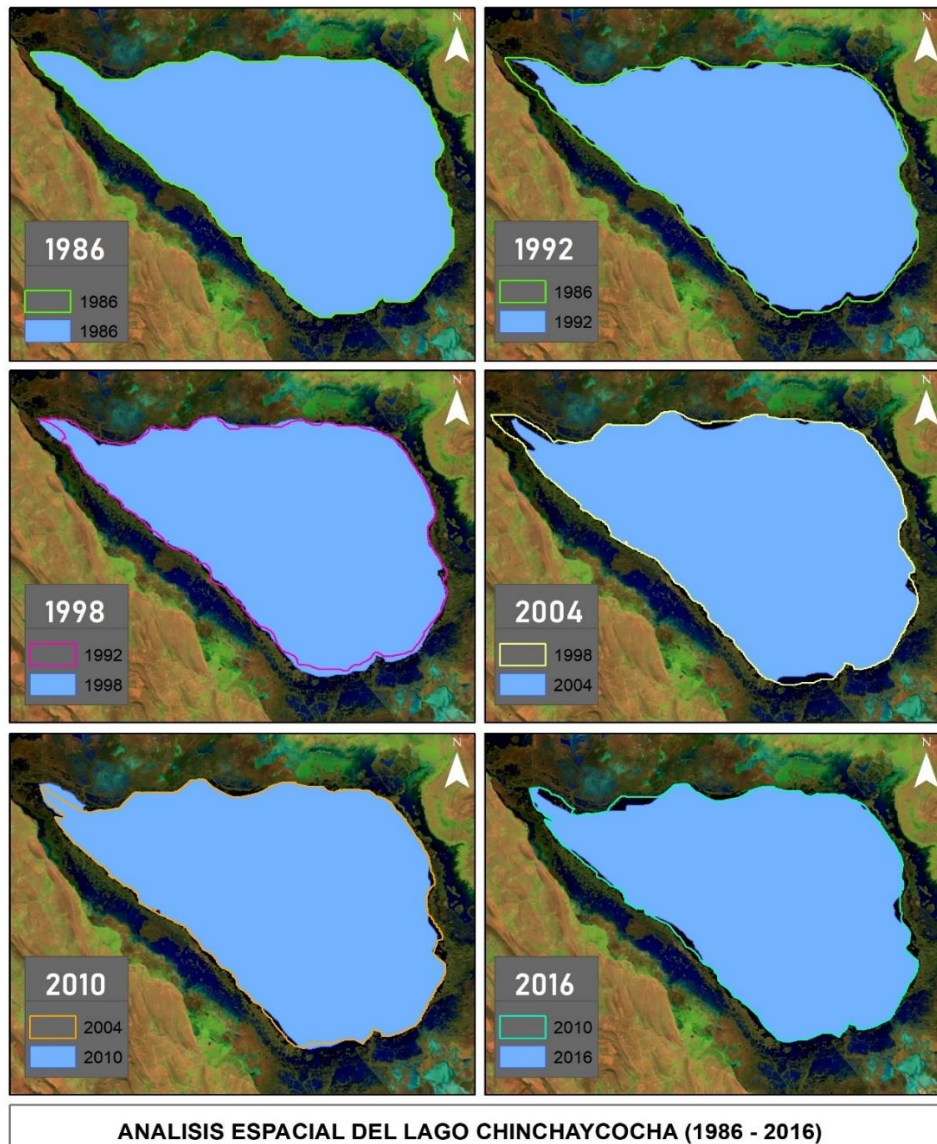


Figura 4. Análisis espacial del lago Chinchaycocha durante el periodo 1986-2016



### 3.3. Variación interanual de las precipitaciones y las temperaturas areales

Para el conocimiento de la variación de la precipitación y la temperatura en el periodo de análisis, se utilizó el diagrama lineal versus el tiempo, además se aplicó un rango para conocer valores normales, mediante la media y los valores permitidos con la desviación estándar.

#### 3.4.1 Variación interanual de la precipitación areal

En la figura 5, se aprecia la variación de la precipitación en los 30 años de estudio, se puede rescatar que, en el año 2004, se presentó un descenso significativo de la precipitación y en el año 2014 se presentó un incremento significativo. Según la tendencia lineal, la precipitación presentó un ligero aumento de 0.6836 mm/km<sup>2</sup>.

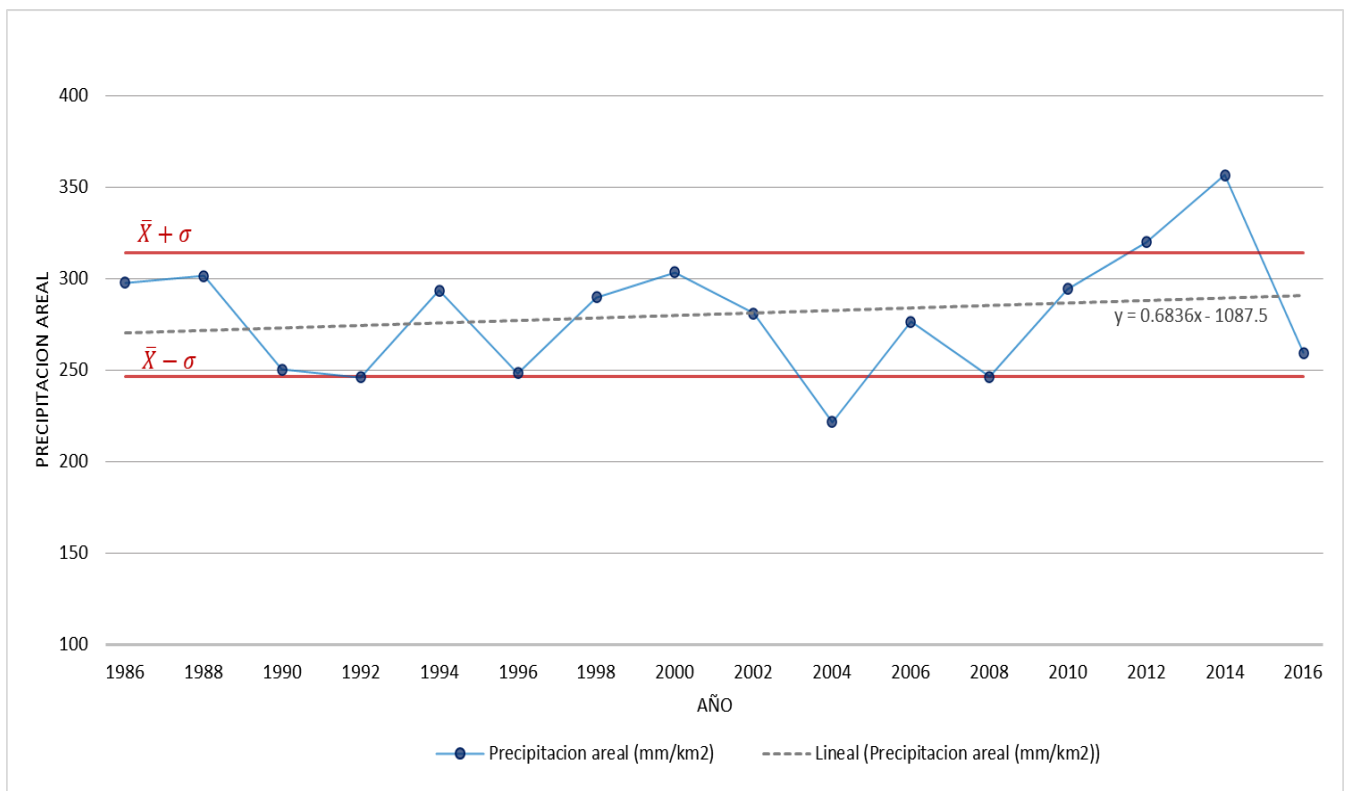


Figura 5. Variación interanual de la precipitación areal en el periodo de estudio durante el periodo 1986-2016

### 3.4.2 Variación interanual de la temperatura areal

En la figura 6, se aprecia la variación de la temperatura en los 30 años de estudio, se puede rescatar que en el año 1986 se presentó un descenso significativo de la temperatura y en los años 1988 y 2016 se presentó un incremento significativo. Según la tendencia lineal, la temperatura presentó un aumento significativo de  $0.028^{\circ}\text{C}/\text{km}^2$ .

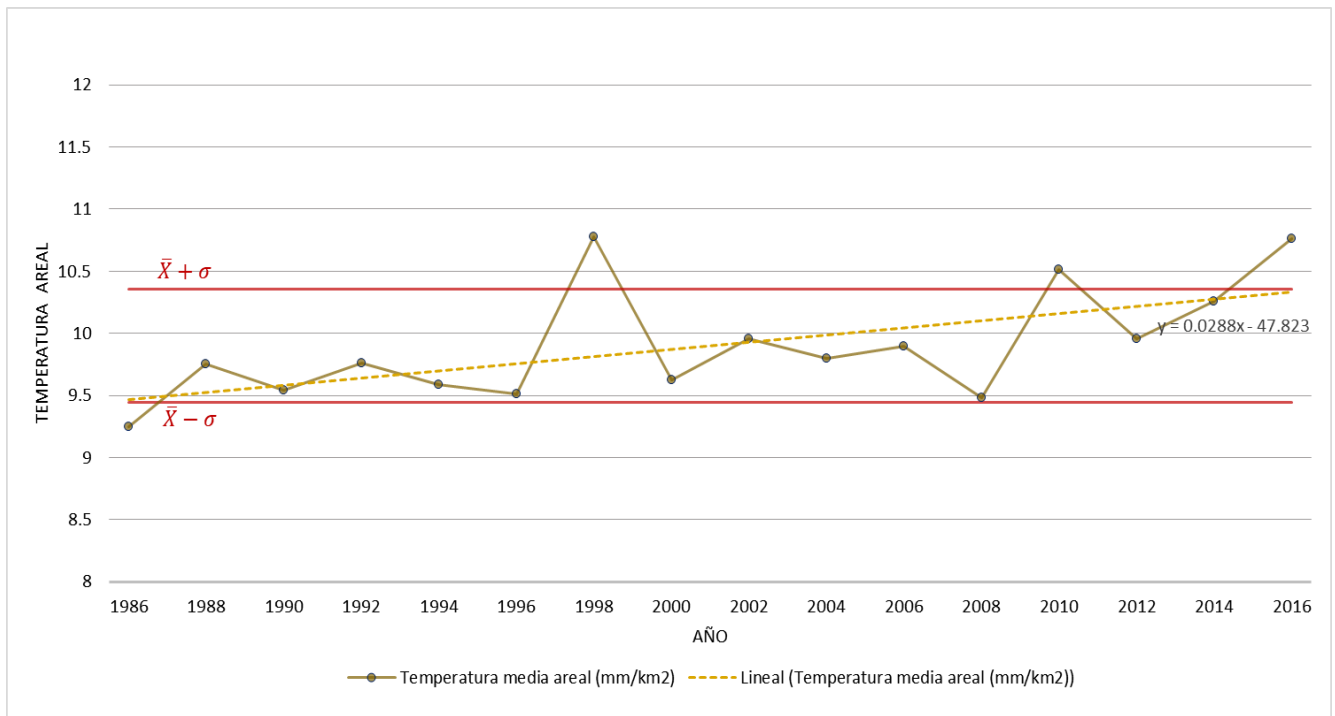


Figura 6. Variación interanual de temperatura areal en el periodo de estudio durante el periodo 1986-2016

### 3.4. Correlación de la precipitación, temperatura y la superficie del lago Chinchaycocha

Se utilizó la prueba correlacional de Pearson, debido a que los valores de la precipitación, temperatura y superficie del lago Chinchaycocha presentan un comportamiento normal, así fue demostrado en la prueba de normalidad de Shapiro Wilks con  $p\text{-value} > 0.05$  (ver tabla 3). Se aplicó Shapiro debido a que la muestra temporal de estudio es menor a 50.

El análisis de correlación de Pearson, que se visualiza en la tabla 4, indica una correlación significativa fuerte directa de 0.619 entre la precipitación y la superficie del lago

Chinchaycocha, con una significancia de  $0.01 < 0.05$ , esto indica que a medida que incrementa la precipitación mayor será la superficie de agua del lago Chinchaycocha. Por otro lado, se evidenció asociación muy baja e inversa entre la temperatura y la superficie del lago, de  $-0.276$ , esto indica que a medida que incrementa la temperatura, desciende la superficie lagunar; pero se evidenció con relación estadística no significativa, puesto que la sig. de  $0.301$  fue mayor a  $0.05$ .

*Tabla 3. Distribución de normalidad*

Variables	Prueba de normalidad Shapiro-Wilk	
	P-Value	Significado
Precipitación areal (mm/km <sup>2</sup> )	0.16	Distribución Normal
Temperatura media areal (mm/km <sup>2</sup> )	0.74	Distribución Normal
Superficie del lago (km <sup>2</sup> )	0.74	Distribución Normal

*Fuente: Propia*

*Tabla 4. Grado de correlación y significancia bilateral*

Variables	Superficie lagunar	Sig. bilateral
Precipitación	R= 0.619	0.010
Temperatura	R= -0.276	0.301

*Fuente: Propia*

### Contrastación de Hipótesis:

Por otro lado, la significancia bilateral que se evidencia en la tabla 2, demostró que la hipótesis con relación a la precipitación y la laguna evidencio un p-value de  $0.01$  que es menor a  $0.05$ ; esto significa, que se acepta la hipótesis nula ( $H_0 =$  Una relación significativa entre la precipitación y la superficie del lago):

- $H_0$ : Existe una relación significativa entre la precipitación y la superficie del lago.
- $H_1$ : No existe una relación significativa entre la precipitación y la superficie del lago.

Asimismo, la tabla 2 demostró que la hipótesis con relación a la temperatura y la laguna evidencio un p-value de 0.301 que es mayor a 0.05. Esto significa, que se acepta la hipótesis alterna ( $H_1 =$  No hay relación significativa entre la temperatura y la superficie del lago):

- $H_0$ : Existe una relación significativa entre la temperatura y la superficie del lago.
- $H_1$ : No existe una relación significativa entre la temperatura y la superficie del lago.

### 3.5. Análisis de regresión lineal para estimación futura

En la tabla 5, se evidencia los estadísticos de regresión, donde el coeficiente de determinación  $R^2$  es 0.31 y el  $R^2$  ajustado es 0.26. En el análisis de varianza de la tabla 5, se observa que el valor crítico de F es inferior a 0.05, ello indica que el modelo de regresión para posible estomación temporal es adecuado. Según los coeficientes de regresión (ver tabla 6), los p-values resultaron inferiores a 0.05, por tanto, los coeficientes son estadísticamente significativos (ver tabla 7).

Tabla 5. Estadísticas de la regresión

<b>Coefficiente de correlación múltiple</b>	0.55
<b>Coefficiente de determinación <math>R^2</math></b>	0.31
<b><math>R^2</math> ajustado</b>	0.26
<b>Error típico</b>	1.70
<b>Observaciones</b>	16

Fuente: Propia

Tabla 6. Análisis de Varianza

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Valor crítico de F</b>
<b>Regresión</b>	20.11	20.11	6.21	0.026
<b>Residuos</b>	45.33	3.24		
<b>Total</b>	65.44			

Fuente: Propia

Tabla 7. Coeficientes de regresion Lineal

	<b>Coeficientes</b>	<b>Probabilidad (p-value)</b>
<b>Intercepción</b>	380.57	0.0016

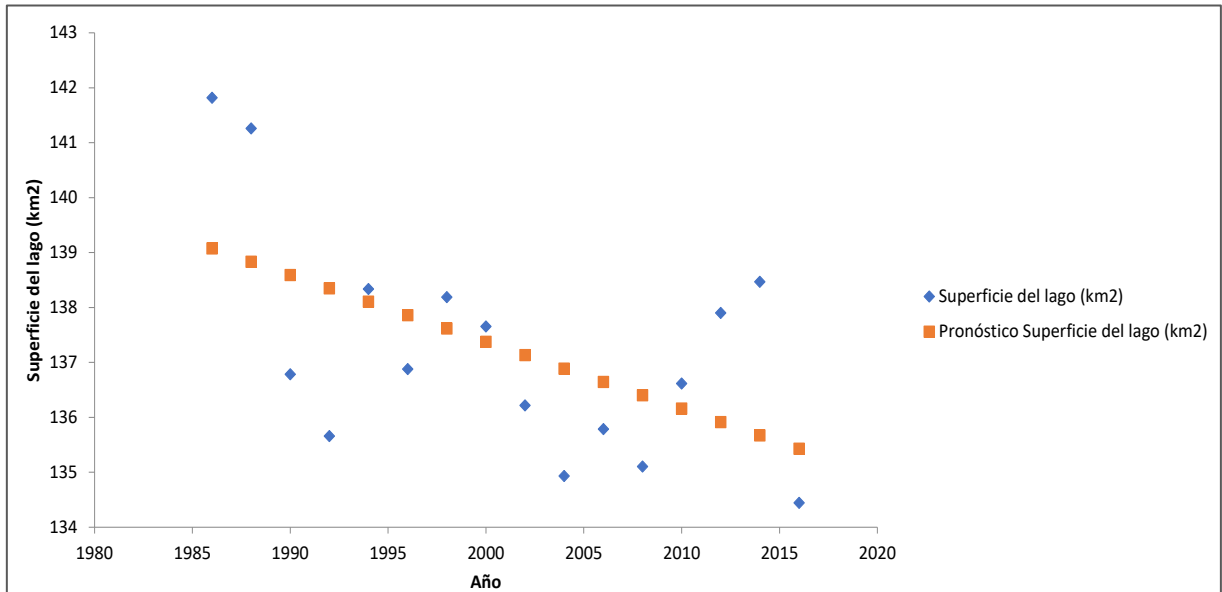
Año	-0.122	0.0258
-----	--------	--------

*Fuente: Propia*

La ecuación líneal de pronóstico resulta:

$$Y (\text{superficie lagunar}) = 380.57 - 0.122 * X(\text{tiempo})$$

En la figura 7, se observa la curva de regresión ajustada, se evidencia la recta lineal que se ajusta a la nube de puntos, el cual será de utilidad para el pronóstico temporal.



*Figura 7. Modelo de regresión de superficie lagunar durante el periodo 1986-2016*

Por tanto, el pronóstico de superficie lagunar para el año 2030 y 2040 son:

**Año 2030:**

$$Y (\text{superficie lagunar})_{2030} = 380.57 - 0.122 * 2030$$

$$Y (\text{superficie lagunar})_{2030} = 132.91 \text{ km}^2$$

$$\text{Superficie laguna para el año 2030} = 132.91 \text{ km}^2$$

**Año 2040:**

$$Y (\text{superficie lagunar})_{2040} = 380.57 - 0.122 * 2040$$

$$Y (\text{superficie lagunar})_{2040} = 131.69 \text{ km}^2$$

$$\text{Superficie laguna para el año 2040} = 131.69 \text{ km}^2$$

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

La relación alta de 61.9% que se evidencia entre la precipitación y la superficie de la laguna Chinchaycocha, mismo contexto fue reflejado por Cáceres (2019), donde evidencio que las precipitaciones se asocian en un 63% con los cambios superficiales de los lagos de Cotacotani y Chungará. Del mismo modo, Martínez & Pinto (2018), encontraron que las bajas precipitaciones se relacionan con la reducción de la laguna de Suesca. Esto también fue reflejado por Llanos et al. (2014), donde evidenciaron una relación del 79% entre la precipitación y la superficie del lago Colhue Huapi, misma situación fue visto por Bohn et al. (2011), donde la precipitación modifico la morfometría de las lagunas llanas del sudoeste de Buenos Aires con un grado de relacion del 76%.

La relación alta que se evidencia es debido a que el nivel de agua del lago está asociado directamente con la precipitación, pues los lagos y lagunas son considerados como reservorios naturales (Pérez, 2015). Cabe precisar que si las lluvias superan los 800 mm provoca aumentos significativos en el nivel de agua, lo que llevaría una permanencia de agua hasta los dos años siguientes (Rolan et al, 2016). Sin embargo, la investigación refleja que la precipitación no supera los 400 mm, por tanto, no se vio reflejado el comportamiento mencionado. Cabe mencionar que el lago Chinchaycocha presenta tributarios o esorrentías que alimentan al cuerpo hídrico, estos tributarios recolectan las aguas de la llovizna y alimentan con buena intensidad al lago (Aqira et al. 2014).

En la tasa de cambio de la superficie del lago Chinchaycocha, se observa que las tasas de incremento se van reduciendo en magnitud; en cambio, las tasas de descenso presentan ritmo constante, esto ha provocado que la superficie del lago presente una tendencia de descenso con una pérdida baja de 1.35 km<sup>2</sup>. Esta misma situación fue reflejado por Garcia (2013), donde las fases de incrementos de la superficie lagunar se encontraban en descenso, esto

indica que la recuperación de agua del lago se va reduciendo en magnitud con el transcurso de los años.

Cabe resaltar que la baja magnitud en la disminución de la superficie, se debe a que la profundidad del lago Chinchaycocha está presentando reducciones en su profundidad por el incremento de sedimentos que se intensifican en los periodos lluviosos, por tanto, se reduce el volumen del lago (Canchari, 2016). Además, el tamaño del lago es alrededor de 487.3 millones de metros cúbicos(MMC), considerándose como un cuerpo de agua de alta dimensión (Lucano et al. 2014), por ello para percibir cambios significativos en la morfometría de lagos de volúmenes altos, mayor tendrá que ser la salida de agua (Soto, 2016).

Los sedimentos se han incrementado por actividad ganadera y agrícola que se desarrolla en los alrededores del lago Chinchaycocha (Cordova et al. 2013), pues al degradar los suelos de la periferia del lago genera la facilidad de ser erosionadas por las lluvias y estas masas fluyan al lago incrementando el nivel sedimentos (Hoyo, 2015 y Berteaux et al., 2016). Asimismo, un estudio demostró que el lago Chinchaycocha presento un incremento de sedimentos en 50 cm en 70 años, estos sedimentos eran provenientes del río san juan que traía material particulado de las mineras ubicadas en zonas altas (Lavado, 2013; González et al. 2015 y Vergaray, 2017), por tanto, el lago presenta descensos volumétricos.

Otro factor que da significancia a la baja perdida de la superficie de agua del lago, es debido a que se ubica en un relieve plano, pues Vásquez et al. (2003), indica que en lugares planos los flujos de agua se aglomeran con mayor intensidad en el lago, situación que no es reflejado en lagos que se ubican en relieves montañosos, donde los flujos de agua presentan distintas direcciones.

También se ve involucrado en el lago un incremento de la eutrofización, así lo reflejo el plan maestro Regional de Junín (2012), donde indica que el lago presenta procesos de eutrofización, por el incremento de DBO y sulfatos, que fueron provocados por la contaminación de agua de los centros poblados ubicados al Este del lago, la eutrofización es más intenso en la época de estiaje (Huamán, 2016); por tanto, la presencia de este factor genera el incremento de sedimentos, debido a que la biomasa vegetal superficial no oxidante llega a descomponerse y sedimentarse (Rubio, 2014 y Ríos et al. 2017) y también la pérdida de especies acuática incrementan la sedimentación (Altamirano, 2015).

Los valores picos extremos de precipitación y temperatura evidenciados en las variaciones interanuales, fueron a causa de los fenómenos del pacífico como el niño y la niña, pues (Marroquín, 2016) demostró que estos fenómenos tienen alcance hasta la cuenca hidrográfica del Mantaro, donde se encuentra dentro de este territorio el lago Chinchaycocha.

La precipitación areal sobre el lago Chinchaycocha refleja un incremento promedio de 0.684 mm/año, sin embargo, se presentó un descenso significativo en el año 2004, que fue ocasionado por los eventos anómalos que se registraron desde el 2004-05, en donde se percibió altos descensos de la precipitación (Huamán, 2016).

Sin embargo, se evidenció un incremento significativo de la temperatura alrededor de 0.0288 °C/año en el lago Chinchaycocha, en ello se percibe un pico de descenso en el año 1986, y tres picos con valores altos en los años 1998, 2010 y 2016, estos valores extremos fueron ocasionados por el Niño y la niña, pues en el año 1986 se presentó la niña, provocando un descenso significativo de la temperatura en los Andes centrales del Perú, en 1998 y 2016 se presencié el Niño de tipo extraordinario, esto provoco un incremento de la temperatura y



finalmente en el año 2010 la presencia de un evento anómalo, con incrementos en la temperatura (Bernal et al. 2010).

Este incremento de la temperatura provoca una mayor evaporación del cuerpo hídrico (Tirado, 2016), pues según Barrientos (2017), la evaporación modifica los niveles de agua de un lago, por tanto, el incremento significativo de la temperatura genera mayor evaporación. Este contexto se evidencia en el año 1998 y 2016, donde presenta valores altos de temperatura a causa de los fenómenos climáticos mencionados, precisamente en esos se refleja descensos superficiales del lago Chinchaycocha. Esto explica por qué se presencia una relación media-baja (27.6%) entre los cambios de superficie del lago y la temperatura, debido a la evaporación (Ávila et al. 2014).

Por otra parte, la técnica de procesamiento de imágenes satelitales de Landsat utilizado en la investigación fue adecuado, pues Ramírez (2013), indica que el uso de estas imágenes Landsat son idóneas para identificar superficies superiores a 5 ha, y el lago Chinchaycocha tiene más de 10 000ha.

Las **limitaciones** involucradas en la investigación están referidas a la temporalidad del análisis, pues el producto grillado PISCO generado por el SENAMHI con información climática, solo muestra registro desde el año 1981 hasta el 2016. Asimismo, no se consideró un análisis de corroboración de campo, lo que permitiría mayor intensidad en los resultados.

Las **implicancias** de la investigación, con relación a los resultados, son favorables para posteriores estudios en manejo de recursos hídricos frente a la amenaza del cambio climático. Por otro lado, considerar en estudios posteriores la comparación de otras imágenes satelitales. Finalmente, considerar el uso de los datos climáticos generados por la NASA.

## CAPITULO V: CONCLUSIONES

- Se concluye que la temperatura tiene relación baja de 27.6% en los cambios superficiales del lago Chinchaycocha y la precipitación en un 61.9%, esto indica que la precipitación es el factor más asociado en los cambios presenciados.
- También, se evidenció valores bajos en la tasa de cambio en el año 1990 y 2016, y un valor alto en el año 1994, que fueron causados por fenómenos climáticos. También se evidencia reducción de las tasas de incremento de 0.02% a 0.006%. Asimismo, en el año 1986 la superficie del lago era de 141.82 km<sup>2</sup> y en el año 2016 fue 134.42 km<sup>2</sup>, esto representa una reducción de aproximadamente 5.2%
- Finalmente, la variación interanual de la precipitación del lago Chinchaycocha presenta un ligero incremento en el periodo de análisis (1986-2016). En cambio, variación interanual de la temperatura presenta un mayor incremento.
- Con relación al modelo de regresión lineal de pronóstico se tiene como escenario para el año 2030 una superficie lagunar de 132.91 km<sup>2</sup>. Y para el año 2040 una superficie de 131.69 km<sup>2</sup>.

## REFERENCIAS

- Agresta, A. (2015). Protocolo Metodológico para analisis de imagenes satelitales. Costa Rica. Obtenido de [http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/agresta\\_et\\_al.\\_2015.a\\_-\\_protocolo\\_metodol\\_gico\\_para\\_el\\_an\\_lisis\\_de\\_im\\_genes\\_de\\_sat\\_lite.pdf](http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/agresta_et_al._2015.a_-_protocolo_metodol_gico_para_el_an_lisis_de_im_genes_de_sat_lite.pdf)
- Aguntin, Domingo. (2015). apuntes de los temas de termodinamica. [https://oa.upm.es/38735/1/amd-apuntes-termodinamica-v3\\_0.pdf](https://oa.upm.es/38735/1/amd-apuntes-termodinamica-v3_0.pdf).
- Aliaga, Vanina & Ferrelli, Federico & Bohn, Vanesa & Piccolo, Maria. (2016). Utilización de imágenes satelitales para comprender la dinámica lagunar en la Región Pampeana. Revista de Teledetección. 133. 10.4995/raet.2016.5196.
- Asociación Ecosistemas Andinos.(2010). Plan de manejo con fines de conservación de las especies de aves amenazadas del lago Chinchaycocha: Zambullidor de Junín (*Podiceps taczanowskii*), Gallinetita de Junín (*Laterallus tucosii*) y Parihuana (*Phoenicopterus chilensis*), en el Ámbito de la Reserva Nacional de Junín. 132 páginas
- Aybar, C.; Lavado-Casimiro, W.; Huerta, A.; Fernández, C.; Vega, F.; Sabino, E. & Felipe-Obando, O. (2017). Uso del Producto Grillado "PISCO" de precipitación en Estudios, Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico. Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI-2017, Lima-Perú.
- Aybar, Carlos Fernández, Adrián Huerta, Waldo Lavado, Fiorella Vega & Oscar Felipe-Obando (2020) Construcción de un conjunto de datos de precipitaciones cuadriculadas de alta resolución para Perú desde 1981 hasta la actualidad, Hydrological Sciences Journal, 65:5, 770- 785, DOI: 10.1080/02626667.2019.1649411
- Berteaux, D., Gauthier, G., Domine, F., Ims, R. A., Lamoureux, S. F., Lévesque, E., & Yoccoz, N. (2016). Effects of changing permafrost and snow conditions on tundra wildlife: critical places and times. Arctic Science, 3(2), 65-90."
- Ccallata, Karen, I. (2020). Retroceso de la cobertura glaciar del nevado Salluyo de la cordillera Apolobamba y la relación de los elementos climáticos, en el período 1985-2020. Ucv.edu.pe. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12692/60169>
- Bravo E, M., F. García O., E. Ríos P., M. Mendoza C., G. Barrera C., E. López G., B.E. Serrato B. y T. Sánchez R. 2008. La Cuenca del Lago de Cuitzeo: Problemática, Perspectivas y Retos Hacia su Desarrollo Sostenible. Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología: 32.
- Buzai, G. (2016). Áreas de relación de los centros de atención primaria de salud (CAPS) en la ciudad de Luján mediante polígonos de Voronoi-Thiessen. Revista Investigaciones y ensayos geográficos. XIII(13), 11-25.
- Caballero, D., Félix, D., & Yaya, S. (2013). Estado de la situación y gestión ambiental en Perú. <https://www.usmp.edu.pe/contabilidadyeconomia/images/pdf/investigacion/Estado.pdf>

Castillo, I. M. & Rodríguez, M. A. (2017). Dinámica multitemporal de las coberturas y el espejo de agua en la laguna de Fúquene. *Mutis* 7(1),20-33, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1183>

Castro, L. (2018). Exclusión social, marginación y pobreza. *Tópicos vigentes*. México: Fontamara.

CEPAL. (2017). Daño y pérdida de biodiversidad | Static Page | Comisión Económica para América Latina y el Caribe. *Cepal.org*. <https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/perdida-biodiversidad>

Chirinos, R. (2021). Efectos económicos del cambio climático en el Perú. Retrieved March 18, 2022, from <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Documentos-de-Trabajo/2021/documento-de-trabajo-009-2021.pdf>

Chuvieco, E. (2001). *Fundamentos De Teledetección Espacial*. <https://doi.org/23.304-1995>

Chuvieco, E. 2002. *Fundamentos de Teledetección espacial*. España. RialpS.A. 457 p.

Comisión de Pueblos Andinos, Amazonicos y Afroperuanos, Ambiente y Ecología. (2009). MEMORIA DE LA GESTIÓN PARLAMENTARIA PERIODO LEGISLATIVO 2008- 2009. [https://www4.congreso.gob.pe/comisiones/2008/pueblos\\_andinos/MEMORIA-2008-2009-CPAAAAE.pdf](https://www4.congreso.gob.pe/comisiones/2008/pueblos_andinos/MEMORIA-2008-2009-CPAAAAE.pdf)

Consejo Nacional del Ambiente. (2006). Metodología para la elaboración de los informes GEO Ciudades Manual de Aplicación. <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/38939>

CORREO. (2016). Alarma por disminución de lagunas en Castrovirreyna. Obtenido de <https://diariocorreo.pe/peru/alarma-por-disminucion-de-lagunas-en-castrovirreyna-648370/>

Di Gregorio, A. Jansen, L. 1996. *Land Cover Classification System (Lccs): Classification Concepts and user manual*. África. ISBN. 79 p.

Diego, J., & Lalinde, H. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. [https://www.revistaavft.com/images/revistas/2018/avft\\_5\\_2018/25sobre\\_uso\\_adecuado\\_coeficiente.pdf](https://www.revistaavft.com/images/revistas/2018/avft_5_2018/25sobre_uso_adecuado_coeficiente.pdf)

EARTH OBSERVING SYSTEM.(2021). Índice De Agua De Diferencia Normalizada: Fórmula E Interpretación. <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndwi/#:~:text=El%20%C3%8Dndice%20de%20Agua%20de,%E2%80%9Cdestaquen%E2%80%9D%20en%20la%20imagen>.

FAO, 1996. *Forest Resources Assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Number 130, Rome.

Farias , M., & Lagos , M. (2010). Estimación de vegetación, humedad superficial y cuerpos de agua utilizando percepción remota: Salar Brinkerhoff, desierto de Atacama, Chile. doi:10.13140/RG.2.1.1390.1526

Franco, Marianela & Chambe, Jose. (2021). Análisis multitemporal de la laguna Suches y del vigor de la vegetación del bofedal de Huaytire, Tacna. *Ciencia & Desarrollo*. 20. 27-39. 10.33326/26176033.2021.1.1106.

Fundación Aquae. (2020). El ciclo del agua, un viaje con retorno - hidrosfera. *Fundacionaquae.org*.  
[https://www.fundacionaquae.org/wiki-explora/07\\_cicloagua/index.html](https://www.fundacionaquae.org/wiki-explora/07_cicloagua/index.html)

Gobierno Regional de Junín. (2014). ESTRATEGIA REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO DE JUNÍN. <https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/127/2017/02/Estrategia-Regional-de-Cambio-Clim%C3%A1tico-de-Jun%C3%ADn.pdf>

GOBIERNO REGIONAL DE PUNO. (2016). Estrategia Regional de Cambio Climático - Puno. GRUPO TÉCNICO REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO DE PUNO

Gonzales, Claudia Daniela. (2021). Analisis temporal de las lagunas de Michoacan mediante teledeteccion. Universidad Michoacan de San Nicolas de Hidalgo. Facultad de Biología. Maestra en Ciencias Biologicas.

Hanke, J., & Wichern, D. (2014). Business forecasting (9th ed.). Pearson. <https://www.amazon.com/-/es/JohnHanke/dp/0132301202>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación. Mexico: McGrawHill. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

Herrera, M. E., & Emilio Chuvieco Salinero. (2014). Estimación del contenido de agua a partir de mediciones hiperespectrales para cartografía del riesgo de incendio. *Cuadernos de Investigación Geográfica / Geographical Research Letters*, 40, 295–309. <https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4847436.pdf>

Ibarra, D., & Serrato, F. (2017). Comprendiendo el litoral: Dinámica y procesos. <https://www.age-geografia.es/site/wp-content/uploads/2017/12/IbarraBelmonte.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2014). Elementos de la percepción remota. México. 80p. Consultado 07 Jul. 2016. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/elementos.aspx>

Labrador, M. Évora, J. 2012. Satélites de teledetección para la gestión del territorio. España. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias. 66 p.

Lois, C. (2017). Los mapas y las geometrías del espacio. La imagen cartográfica como praxis de la espacialización del pensamiento. *Terra Brasilis (Nova Série)*. *Revista Da Rede Brasileira de História Da Geografia E Geografia Histórica*, 8. <https://doi.org/http://journals.openedition.org/terrabrasilis/2029>

López, Mario. (2016). Así se desecó el mar de Aral - Geografía Infinita. *Geografía Infinita*. <https://www.geografiainfinita.com/2016/05/la-historia-mas-triste-de-todos-los-mares-aral/>

Martínez Arévalo, D. A., & Pinto Murgas, D. M. (2018). Evaluación de la pérdida del espejo de agua en la Laguna de Suesca a través de imágenes satelitales. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/758](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/758)

Mello y Camacho. 2007. Metodología Corine Land Cover. Colombia. Ideam.4 p. Disponible <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>

MINISTERIO DE AGRICULTURA-MINAGRI.(2011).Diagnostico y Plan de Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca de Madre de Dios – Fase I. <https://www.midagri.gob.pe/portal/42-sector-agrario/recurso-agua/326-lagunas>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2019). Hidrografía. Drupal. <https://www.ana.gob.pe/2019/consejo-de-cuenca/mantaro/Hidrograf%C3%ADa>

Ministerio de Economía y Finanzas. (2019). Plan Nacional de INFRAESTRUCTURA para la COMPETITIVIDAD. [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_privada/planes/PNIC\\_2019.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_privada/planes/PNIC_2019.pdf)

Ministerio del Ambiente. (2016).El Perú y el Cambio Climático Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/Tercera-Comunicaci%C3%B3n.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2021). Informe nacional sobre el estado del ambiente 2014-2019. [https://sinia.minam.gob.pe/inea/wp-content/uploads/2021/07/INEA-2014-2019\\_red.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/inea/wp-content/uploads/2021/07/INEA-2014-2019_red.pdf)

Ministerio del medio ambiente. (2018).GUÍA DE APOYO DOCENTE EN BIODIVERSIDAD. [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-biodiversidad-docentes\\_web.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-biodiversidad-docentes_web.pdf)

Moran , A. (2014). Algoritmos para la corrección radiométrica de imágenes de la computación. Obtenido de <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/436/1/236291.pdf>

Moreno. (2020). Estudio sobre la definición de algunos términos geográficos , lago y laguna. Obtenido de [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/MORENO%201953.%20Lago%20y%20laguna.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MORENO%201953.%20Lago%20y%20laguna.pdf)

Onesimo, D. (2020). DINÁMICA MULTITEMPORAL DEL LAGO POMACOCAS Y DE LAS LAGUNAS BURLAN Y DE LOS CÓNDORES EN EL DEPARTAMENTO DE AMAZONAS (1988 – 2031). UNIVERSIDAD NACIONAL Y TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS .

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible consultado el 1 de mayo de 2018 en: <http://www.fao.org/sustainable-developmentgoals/goals/sdg-6/es/>

Paz Pellat, Oropeza, L., Benjamín Figueroa Sandoval, Mario Martínez Menez, Ortiz, C. A., & Adolfo Exebio García. (2018). Corrector atmosférico en imágenes Landsat. Terra Latinoamericana, 36(4), 309–321. <https://www.redalyc.org/journal/573/57359463002/html/>

Pérez González, M. E., & García Rodríguez, M. P. (2015). Fluctuaciones hídricas de la laguna de Gallocanta analizadas a partir de teledetección. *Ería*, 96(96), 97-106. <https://doi.org/10.17811/er.96.2015.97-106>

Pham, S. V., P. R. Leavitt, S. McGowan y P. Peres-Neto. 2008. Spatial variability of climate and land-use effects on lakes of the northern Great Plains. *Limnology and Oceanography* 53:728-742.

Piccolo, V. S. (2020). Variabilidad climática de la Región Pampeana y su efecto sobre las lagunas de la región. *Huellas*, 24(1), 243-249. Recuperado a partir de <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/huellas/article/view/4362>

Pizarro, R., Ramírez, C. y Flores, J. (2003). Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones areales anuales en períodos extremos. *Bosque (Valdivia)*, 24(3), 31-38. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002003000300003>

Polanco, A. (2017). Temperatura: definición, medición y escalas - Naturaleza y ecología. *Naturaleza Y Ecología*. <https://naturaleza.animalesbiologia.com/atmosfera/temperatura-definicion-medicion-escalas>

Porras, J. (2016). Comparación de pruebas de normalidad multivariada. *Anales Científicos*, 77(2), 141–146. <https://doi.org/10.21704/ac.v77i2.483>

Ramírez, M., Zubieta, R., Luna, L., López, C., & Exterior, C. (2005). Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Región Mariposa Monarca Informe Técnico Final Convenio KE31. Retrieved March 18, 2022, from [https://awsassets.panda.org/downloads/mmonarca\\_analisis\\_cambio\\_forestal.pdf](https://awsassets.panda.org/downloads/mmonarca_analisis_cambio_forestal.pdf)

Rendón-Macías ME, Villasís-Keever MÁ, Miranda-Navales MG. (2016). Estadística descriptiva. *Rev Alerg Mex*. 63(4):397-407

Romero, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista Enfermería Del Trabajo*, 6(3), 105–114. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5633043>

Sanchez, F. (2007). Calculo de precipitación Areal Mediante Sistemas de Información Geográfica.

SENAMHI. (2020). Senamhi.gob.pe. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru#:~:text=El%20Per%C3%BA%20posee%2038%20tipos,cual%20configura%20una%20fisiograf%C3%ADa%20compleja>.

SENAMHI.(2018). DETERMINACIÓN DE EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN A PARTIR DEL PISCO DIARIO. from <https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/955/Determinaci%C3%B3n-de-extremos-de-precipitaci%C3%B3n-a-partir-del-Pisco-diario.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado - SERNANP.(2019). Reserva Nacional de Junín. Www.gob.pe. <https://www.gob.pe/institucion/sernanp/informes-publicaciones/1718889-reserva-nacional-de-junin>
- Sorrel, P., Popescu, S.-M., Head, M.J., Suc J.P., Klotz, S., Oberhänsli, H.(2006).Hydrographic development of the Aral Sea during the last 2000 years based on aquantitative analysis of dinoflagellate cysts. *Palaeogeography, Palaeoclimatology,Palaeoecology* 234: 304–327.
- Triola, M. (2018). *Elementary Statistics* (13th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/store/p/elementarystatistics/P100002509154>
- USGS. (2021). Misiones por satélite Landsat. Obtenido de [https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)
- USGS. (2021). *Misiones por satélite Landsat*. Obtenido de [https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)
- Vargas, P. (2009). *El Cambio Climático y Sus Efectos en el Perú*. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Documentos-de-Trabajo/2009/Documento-de-Trabajo-14-2009.pdf>
- Yepes, M. Gasca, S. 2013. *Fundamentos físicos de la teledetección*. España:Universidad de Almería. 8 p.



## ANEXOS

### Anexo 1. Registro de elementos climaticos

INVESTIGADOR			
UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
COORDENADAS		ALTITUD	
PERIODO DE ANALISIS		1986 A 2016	
AÑO	PRECIPITACION AREAL milímetros por kilómetro cuadrado - (mm/km <sup>2</sup> )	TEMPERATURA PROMEDIO grados centígrados por kilómetro cuadrado - (°C/km <sup>2</sup> )	
1986			
1988			
1990			
1992			
1994			
1996			
1998			
2000			
2002			
2004			
2006			
2008			
2010			
2012			
2014			
2016			

### Anexo 2. Registro de superficie lagunar Chinchaycocha

INVESTIGADOR			
UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
COORDENADAS		ALTITUD	
PERIODO DE ANALISIS		1986 A 2016	
AÑO	SATELITE	FECHA ADQUIRIDA	SUPERFICIE DE LAGUNA Kilómetros cuadrados
1986			
1988			
1990			
1992			
1994			
1996			
1998			
2000			
2002			
2004			
2006			
2008			
2010			
2012			
2014			
2016			

Anexo 3. Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>Superficie Lagunas</b>	Son cuerpos de agua formados por precipitación o escorrentía pluvial en terrenos con depresiones (Morales, 2016)	Se determinará mediante geoprocesamiento espacial de imágenes landsat e índice de agua NDWI con ayuda de las herramientas ENVI 5.3, Qgis y Arcgis 10.x	análisis temporal	superficie	Línea de tendencia lineal	km <sup>2</sup>
					Tasa de cambio	%
				cartografía	Arcgis 10.x	-
<b>VARIABLES CLIMATICAS</b>	El clima es definido como la interrelación entre las variables climáticas (humedad, precipitación, temperatura, presión y viento) presentes en una unidad territorial, a un determinado tiempo (Villar, 2019).	Se determinará mediante geoestadística y promedio superficial de isolíneas, para ello se dio uso de programas de R y Rstudio y Arcgis.	Precipitación superficial	Geoestadística Spline	Isolíneas	mm/km <sup>2</sup>
			Temperatura promedio superficial	Geoestadística Spline	Isolíneas	Celsius (°C)/km <sup>2</sup>

Anexo 4. Matriz de consistencia

PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGIA	POBLACION Y MUESTRA
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>HIPOTESIS GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	En la investigación la variable dependiente es la <b>Superficie Lagunar</b> y las variables independientes son temperatura y precipitación	<b>Tipo de investigación:</b> No experimental - Descriptivo – Correlacional - longitudinal	<b>Población:</b>  Lago Chinchaycocha
¿Cuál es la relación de la precipitación y la temperatura sobre la superficie del lago Chinchaycocha en el periodo 1986-2016?	Existe una variabilidad superficial del lago Chinchaycocha y su relación con la precipitación y temperatura durante el periodo 1986 - 2016.	Determinar la relación de la precipitación y temperatura sobre la superficie del lago Chinchaycocha en el periodo 1986-2016.			
<b>problemas específicos</b>	<b>hipótesis específicas</b>	<b>objetivos específicos</b>		<b>Técnica:</b> procesamiento de imágenes digitales	<b>Tipo de Muestreo:</b> No probabilístico por conveniencia
<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cual es la dinámica espacio-temporal del lago Chinchaycocha durante el periodo 1986 - 2016?</li> <li>¿ Qué relación existe entre la precipitación y la superficie del lago Chinchaycocha en el periodo 1986-2016?</li> <li>¿ Qué relación existe entre la temperatura y la superficie del lago Chinchaycocha en el periodo 1986-2016?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La dinámica espacio-temporal del lago Chinchaycocha es descendiente durante el periodo 1986 - 2016?               <ul style="list-style-type: none"> <li>Existe una correlación significativa positiva entre la precipitación y la superficie del lago Chinchaycocha durante el periodo 1986 – 2016.</li> <li>Existe una correlación significativa negativa entre la precipitación y la superficie del lago Chinchaycocha durante el periodo 1986 – 2016.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la dinámica espacio-temporal de la superficie del lago Chinchaycocha en el período 1986-2016</li> <li>Correlacionar la relación de la precipitación sobre la superficie del lago Chinchaycocha durante el periodo 1986 – 2016.</li> <li>Correlacionar la relación de la temperatura sobre la superficie del lago Chinchaycocha durante el periodo 1986 – 2016.</li> </ul>			
				<b>Instrumento:</b> Ficha de registro de datos geoprocesados	<b>Muestra:</b> Lago Chinchaycocha
				<b>Método de análisis de datos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis correlacional</li> <li>Análisis descriptivo (gráficos lineales)</li> <li>Cartografía</li> </ul>	