



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
VOCACIÓN POR LA EXCELENCIA

FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
SEDE CONCEPCIÓN

**“Análisis de la influencia del fenómeno de El Niño en las precipitaciones y
el nivel del lago Huillinco para el periodo noviembre 2018 – junio 2022”**

Memoria para Optar el Título de Ingeniero Civil

Profesor Guía: MSc. Patricio Ignacio Fuentes Aguilera

Alumno: Felipe Reinaldo Contreras Depaoli

Concepción, abril, 2025



©Felipe Reinaldo Contreras Depaoli.

Se autoriza la reproducción parcial o total de esta obra, con fines académicos, por cualquier forma, medio o procedimiento siempre y cuando se incluya cita bibliográfica del documento.

CALIFICACIÓN DE LA MEMORIA.

En Concepción, el de de, los abajo firmantes dejan constancia que el alumno Felipe Reinaldo Contreras Depaoli de la carrera Ingeniería Civil ha aprobado la memoria para optar al título de Ingeniero Civil con una nota de _____.

Profesor MSc. Patricio Fuentes Aguilera

Profesor MSc. Javiera Padilla Reyes

AGRADECIMIENTOS.

Quiero dejar plasmado mi más sincero agradecimiento a cada una de las personas que estuvieron presentes o fueron aporte de alguna manera en el proceso de realización de este trabajo de investigación.

En primer lugar, agradezco a mi profesor guía, Don Patricio Fuentes Aguilera, por su apoyo, paciencia y profundos conocimientos los cuales me entrego de la mejor manera posible. Su trato cercano fue clave en momentos en que las cosas se pusieron difíciles.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Sebastián, por entregarme las bases necesarias para el desarrollo de esta investigación.

Le doy las gracias a mis padres, Juan Contreras Salinas y Patricia Depaoli Campos, por su amor incondicional y apoyo en cualquier circunstancia. Sin los valores entregados por ellos no habría llegado hasta este punto.

Doy las gracias a mis abuelos Juan, Enrique, Matilde y María Rosa, por su amor, apoyo y por inculcarme el valor del esfuerzo y hacer las cosas con pasión y dedicación.

A mis hermanas Patricia y Katherina, por su amor, apoyo y confianza como hermanos.

A mi sobrina Josefa, por darme esa última dosis de motivación que necesite estos últimos años de la carrera profesional.

A mis amigos Álvaro, Stanley, Matías, Agustín, Daniza y Constanza, por su compañía, ayuda y palabras de ánimo durante el desarrollo de este proyecto y la culminación de nuestra formación como ingenieros civiles.



Índice

Índice de figuras	VII
Capítulo 1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.2 OBJETIVOS.	14
1.2.1 Objetivo general.	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
Capítulo 2 METODOLOGÍA.....	15
2.1 Caracterización de la cuenca	15
2.2 Obtención de datos meteorológicos.	17
2.2.1.- Estimación de datos de precipitaciones incompletos.	18
2.3 MÉTODOS DE INTERPOLACION DE DATOS	19
2.3.1.- Método de interpolación inverso a la distancia.....	19
2.4.- Obtención de datos de altimetría lago Huillinco mediante ALTIS	21
2.5 Fenómeno de El niño y su variación durante el periodo de estudio	23
2.5.1.- Índice Niño Oceánico.	24
Capítulo 3 RESULTADOS	25
3.1.- Rellenado de datos de precipitación.....	25
3.2.- Datos de precipitación	27
3.3.- Datos de altimetría obtenidos.....	29
3.4.- Variación en la intensidad del fenómeno de El Niño periodo Enero 2014- Junio 2022.	31
Capítulo 4 ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	33
4.1. Relación entre ENSO y las precipitaciones registradas.....	34
4.2.-Relacion entre las precipitaciones registradas y el nivel del lago.....	35
4.3.- Relación entre ENSO y el nivel del lago Huillinco.	36



Capítulo 5 VALIDACION DE LOS RESULTADOS.....	37
5.1.- Coeficiente de correlación de Spearman.....	37
5.1.1.- Correlación Spearman entre los datos de ENSO y el nivel del lago Huillinco.....	38
5.1.2.- Correlación de Spearman entre los datos de ENSO y las precipitaciones para la cuenca del lago Huillinco.....	40
5.1.3.- Correlación de Spearman entre los datos de precipitación y nivel del lago Huillinco.....	42
Capítulo 6 CONCLUSIONES.....	44
1) Influencia de ENSO en las precipitaciones.....	44
2) Relación entre las precipitaciones y el nivel del lago Huillinco:	44
3) Relación entre ENSO y el nivel del lago Huillinco:	45
4) Validez del uso de altimetría satelital:.....	45
Capítulo 7 REFERENCIAS	46
Capítulo 8 ANEXOS.....	48

Índice de figuras

Figura 1.-Ubicación de la cuenca Lago Huillinco. Fuente: Elaboración propia.	15
Figura 2.-Corrección Datos ALTiS. Fuente: Elaboración propia.....	22
Figura 3.- Zonas de estudio Fenómeno del Niño. Fuente: Ministerio del Ambiente del Perú	23
Figura 4.-Umbrales Fenómeno del Niño/a. Fuente: NOAA.....	24
Figura 5.-Gráfico de dispersión de datos de precipitación estaciones Castro-Cucao. Fuente: Elaboración propia.....	25
Figura 6.-Gráfico de dispersión datos de precipitación estaciones Chonchi -Cucao. Fuente: Elaboración propia.....	25
Figura 7.-Grafico de dispersión datos de precipitación estaciones Castro -Chonchi. Fuente: Elaboración propia.....	26
Figura 8.-Grafico de dispersión datos de precipitación estaciones Cucao-Chonchi. Fuente: Elaboración propia.....	26
Figura 9.- Grafico de dispersión datos de precipitación estaciones Cucao-Castro. Fuente: Elaboración propia.....	26
Figura 10.- Gráfico de dispersión datos de precipitación estaciones Chonchi-Castro. Fuente: Elaboración propia	26
Figura 11.-Precipitaciones cuenca lago Huillinco periodo enero 2014-junio 2022. Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos desde Sistema Hidrométrico en línea, DGA.	27
Figura 12.-Series temporales entregadas por ALTis. Fuente: Elaboración Propia	29
Figura 13.-Variación nivel lago Huillinco, periodo noviembre 2018-junio 2022.Fuente: Elaboración propia.....	30
Figura 14.-Oscilación temperatura media del océano zona 3.4 para periodo nov 2018 jun 2022	32
Figura 15.- Precipitaciones, nivel del agua y oscilación ENSO para la cuenca del lago Huillinco durante el periodo nov 2018 - jun 2022. Fuente: Elaboración propia.	33



Figura 16.-Oscilación ENSO y precipitaciones registradas en la cuenca del lago Huillinco para el periodo nov 2018 – jun 2022.Fuente: elaboración propia con datos obtenidos desde NOAA y sistema hidrométrico DGA.	34
Figura 17.- Nivel de la superficie del agua y precipitaciones registradas en la cuenca del lago Huillinco para el periodo nov 2018 – jun 2022.Fuente: elaboración propia con datos obtenidos mediante altimetría satelital y sistema hidrométrico DGA.	35
Figura 18.-Nivel de la superficie del agua y oscilación de ENSO en la cuenca del lago Huillinco para el periodo nov 2018 – jun 2022.Fuente: elaboración propia con datos obtenidos mediante altimetría satelital y desde NOAA.	36

Índice de tablas.

Tabla 1.- Propiedades estaciones meteorológicas Cucao, Chonchi y Castro 2.	
Fuente: Elaboración propia.....	17
Tabla 2.- Distancias al centroide, factor w y porcentaje de aporte al cálculo de precipitaciones de las estaciones meteorológicas. Fuente: Elaboración propia	20
Tabla 3.-Precipitaciones máximas y mínimas para la cuenca del lago Huillinco para el periodo ene 14-jun 22	28
Tabla 4.-Niveles máximos y mínimos del lago Huillinco para el periodo noviembre 2018-junio 2022, Fuente: Elaboración propia	30
Tabla 5.- Variación ENSO y su denominación para el periodo noviembre 2018-junio 2022. Fuente: Elaboracion propia con datos de NOAA.....	31
Tabla 6.- Datos utilizados para correlación de Spearman entre la anomalía de ENSO y el nivel del lago Huillinco para el periodo noviembre 2018 – junio 2022. Fuente: Elaboración propia.....	38
Tabla 7.- Datos utilizados para correlación Spearman entre la oscilación de ENSO y las precipitaciones en la cuenca del lago Huillinco para el periodo noviembre 2018-junio 2022. Fuente: Elaboración propia.....	40
Tabla 8.- Datos utilizados para correlación Spearman entre las precipitaciones y el nivel del agua en la cuenca del lago Huillinco para el periodo noviembre 2018-junio 2022. Fuente: Elaboración propia	42
Tabla 9.- Datos de precipitaciones completados estaciones Cucao, Chonchi y Castro 2 para el periodo enero 2014- junio 2022. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos desde sistema hidrométrico DGA.	48
Tabla 10.-Precipitaciones en el centroide del lago Huillinco para el periodo enero 2014-junio 2022. Fuente: Elaboración propia	51
Tabla 11.- Nivel lago Huillinco periodo noviembre 2018-junio 2022. Fuente elaboración propia con datos obtenidos mediante altimetría satelital.	54
Tabla 12.- Anomalía ENSO zona 3.4 y su denominación periodo enero 2014-junio 2022. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos desde NOAA.....	56
Tabla 13.- Datos de precipitación, anomalía y nivel del lago para el periodo noviembre 2018- junio 2022 utilizados para el análisis. Fuente: Elaboración	



propia con datos obtenidos de Sistema Hidrométrico DGA, NOAA y altimetría
respectivamente..... 59

RESUMEN.

En el presente trabajo se muestra el análisis del impacto que tiene el fenómeno de El Niño para la dinámica hidrológica (precipitaciones y variación de nivel del agua) de la cuenca del lago Huillinco, ubicado en el sur de Chile.

Para el análisis se calculó las precipitaciones en la cuenca a partir de tres estaciones cercanas (Cucao, Chonchi y Castro) mediante el método de interpolación inverso a la distancia.

Al no haber disponibles datos de nivel del lago Huillinco, se procedió a obtenerlos a través de altimetría satelital, mediante el software ALTiS.

Los datos de variación de la intensidad del fenómeno de El Niño se obtuvieron desde NOAA.

Finalmente, se validó los datos de nivel obtenidos mediante coeficiente de correlación de Spearman, obteniendo como resultado una correlación neutra entre la oscilación de ENSO y las precipitaciones registradas ($r=0.0061$) así también una relación neutra entre las precipitaciones y el nivel del lago Huillinco ($r=-0.0052$). Por otro lado, se observó una relación inversa de carácter fuerte entre la oscilación de ENSO y el nivel del lago Huillinco ($r=0.86$).

ABSTRACT.

This study analyzes the impact of the El Niño phenomenon on the hydrological dynamics of the Huillinco Lake basin, located in southern Chile, focusing on precipitation and water level variations.

Precipitation in the basin was estimated using data from three nearby stations (Cucao, Chonchi, and Castro) through the inverse distance weighting (IDW) interpolation method.

Since direct water level data for Huillinco Lake were unavailable, these were obtained via satellite altimetry using the ALTiS software. The indices of ENSO intensity variation were sourced from NOAA records.



Finally, the obtained lake level data were validated using Spearman's correlation coefficient.

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN.

1.1 INTRODUCCIÓN.

El fenómeno de El Niño, de acuerdo con lo que postula Maturana (Maturana et al., 2004.) es una oscilación climática la cual consiste en una variación anómala en las temperaturas de las aguas superficiales del océano Pacífico ecuatorial, la cual tiene impactos significativos en los patrones climáticos a nivel mundial. Este evento natural es conocido por generar alteraciones extremas en las precipitaciones, lo que puede derivar en inundaciones, sequías, y otros eventos climáticos severos. En el contexto actual de cambio climático, la frecuencia e intensidad de este fenómeno podrían estar siendo modificadas, incrementando su capacidad de alterar los sistemas naturales y humanos.

A nivel global, los efectos del fenómeno de El Niño se manifiestan en cambios extremos en los regímenes hidrológicos, la agricultura, y la biodiversidad. En Chile, país que abarca diversas zonas climáticas, este fenómeno tiene repercusiones notables en las precipitaciones, afectando desde la zona norte árida hasta los ecosistemas lacustres del sur. Particularmente en el sur de Chile, los sistemas lacustres como el lago Huillínco se ven influenciados por variaciones climáticas que afectan su nivel, un indicador crítico de la dinámica hídrica de la región.

La relación entre las precipitaciones y los niveles lacustres es clave para comprender cómo estos sistemas responden a los eventos extremos asociados al fenómeno de El Niño. En este contexto, monitorear y analizar los niveles del lago Huillínco adquiere especial relevancia para anticipar impactos en los ecosistemas locales, las actividades humanas y la gestión sostenible de los recursos hídricos.

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo analizar los efectos del fenómeno de El Niño en las precipitaciones y en el nivel del lago Huillínco, utilizando datos de altimetría obtenidos mediante el software AITiS. Este análisis busca no solo mejorar la comprensión científica sobre las relaciones entre eventos climáticos extremos y la hidrología de los lagos, sino también aportar

información clave para la toma de decisiones en un contexto de creciente incertidumbre climática.

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 Objetivo general.

Analizar los efectos del fenómeno de El Niño en las precipitaciones y el nivel de la superficie del agua para la cuenca del lago Huillínco, comprobando la relación entre datos de precipitaciones obtenidos de estaciones meteorológicas cercanas y datos de altimetría obtenidos mediante uso de software ALTiS.

1.2.2 Objetivos específicos.

- 1.- Caracterizar el fenómeno de El Niño (ENSO) y su impacto en las precipitaciones y sistemas lacustres en el sur de Chile, con énfasis en la cuenca del lago Huillínco
- 2.- Estimar datos de precipitación en la cuenca del lago Huillínco, a partir de datos obtenidos de estaciones meteorológicas cercanas.
- 3.- Procesar datos altimétricos del lago Huillínco obtenidos mediante el software ALTiS, identificando variaciones en el nivel en distintos periodos temporales.
- 4.- Evaluar la correlación entre los datos obtenidos de ENSO, precipitaciones y altimetría, utilizando coeficientes de correlación.
- 5.- Validar el uso de los valores de altimetría para estudiar el comportamiento hidrológico de la cuenca del lago Huillínco en ausencia de registros de precipitaciones y altimetría.

Capítulo 2 METODOLOGÍA

2.1 Caracterización de la cuenca

El estudio se centra en la cuenca del lago Huillinco, la cual se muestra en la Figura 1. Este lago se encuentra ubicado en la comuna de Chonchi en Isla Grande de Chiloé, Región de los Lagos, Chile. La cuenca cuenta con un área de 655 km² y tiene un perímetro de aproximadamente 251 km.

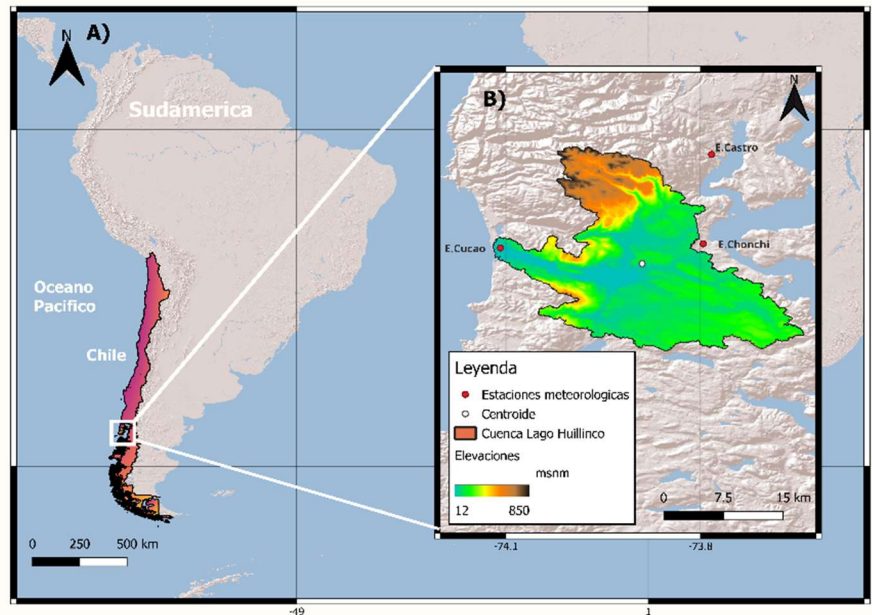


Figura 1.-Ubicación de la cuenca Lago Huillinco. Fuente: Elaboración propia.

En la zona, se tiene un clima templado lluvioso completamente húmedo con veranos calurosos (Kottek et al., 2006) debido a esto las temperaturas promedio oscilan entre los 5.9°C en el mes de julio (invierno) y los 11.2°C en el mes de Febrero (verano).

Por otra parte, las precipitaciones en la cuenca del lago Huillinco suelen estar presentes durante todo el año, solo con una disminución notoria durante los meses de la época estival, con unos acumulados máximos anuales del orden de los 1800 mm (Municipalidad de Chonchi, 2020).

Tanto en la cuenca como así en la totalidad de la isla de Chiloé, la vegetación presente consta en bosque siempreverde, el cual es de una estructura relativamente uniforme. Cabe destacar que al norte de la cuenca se encuentra el Parque Nacional Chiloé, que presenta una alta concentración de especies



nativas. El lago Huillinco por su lado, esta inserto en el santuario de la naturaleza del mismo nombre.

La población de la comuna de Chonchi, de acuerdo con el censo realizado el año 2017, es de alrededor de 13,000 personas

2.2 Obtención de datos meteorológicos.

Para el desarrollo de la presente investigación, se utilizarán los datos meteorológicos (cantidad de precipitación y temperatura promedio del aire) obtenidos desde las tres estaciones meteorológicas más cercanas a la cuenca del lago Huillinco, las cuales son: Castro 2, Chonchi y Cucao, cuales ubicaciones y propiedades más relevantes se ilustran en la Figura 1 y Tabla 1, respectivamente.

Tabla 1.- Propiedades estaciones meteorológicas Cucao, Chonchi y Castro 2. Fuente: Elaboración propia

Estación:	Cucao	Chonchi	Castro 2
Código BNA:	10906004-6	10901003-0	10901004-9
Cuenca:	ISLAS CHILOE Y CIRCUNDANTES	ISLAS CHILOE Y CIRCUNDANTES	ISLAS CHILOE Y CIRCUNDANTES
Subcuenca:	Isla Chiloé	Isla Chiloé	Isla Chiloé
Altitud (msnm):	12	30	20
Latitud S:	42° 37' 28"	42° 37' 05"	42° 28' 49"
Longitud W:	74° 06' 30"	73° 46' 20"	73° 46' 27"
UTM Norte (mts):	5280496	5280855	5296177
UTM Este (mts):	573110	600695	600760

Debido a la disponibilidad de data de altimetría, se consideró datos de precipitaciones a partir del mes de noviembre del año 2018 hasta Junio del 2022. Para el caso de que una estación no cuente con un dato en específico, se procedió a realizar el cálculo de estos valores mediante la utilización de gráficos de dispersión con todos los valores disponibles entre las otras dos estaciones (en caso de que ambas estaciones si tengan datos) y la estación a la cual se le debe añadir el dato faltante, y mediante la utilización de la línea de tendencia del gráfico, se estableció la relación entre las estaciones, utilizando para el cálculo de los datos faltantes la línea de tendencia que tenga un mayor factor R^2 y su respectiva ecuación.



2.2.1.- Estimación de datos de precipitaciones incompletos.

Los datos de precipitaciones de alguna estación meteorológica incompletos se debieron estimar mediante el análisis de relaciones lineales entre las estaciones que si tienen datos y la estación que requiere la estimación el cual se realizó mediante el uso de gráficos de dispersión, los cuales permitieron visualizar el grado de correlación entre los datos obtenidos en las estaciones meteorológicas.

Como criterio de ajuste se utilizó el factor R^2 , el cual es una herramienta estadística que indica la proporción de variabilidad de los datos de la estación a completar con respecto a la estación de referencia. A un mayor valor de R^2 , mayor grado de asociación lineal entre las estaciones.

En base a este criterio, para la estimación de los datos faltantes se utilizó una relación lineal dada por la estación con datos con el mayor coeficiente R^2 .

2.3 MÉTODOS DE INTERPOLACION DE DATOS

2.3.1.- Método de interpolación inverso a la distancia

2.3.1.1.- Creación de un punto representativo para toda la cuenca.

Es necesario vincular los datos obtenidos de cada una de las estaciones mencionadas. Por lo tanto, se creará un punto dentro de la cuenca mediante Google Earth, el cual será representativo para toda la cuenca, siendo el más adecuado para estos efectos el centroide de la cuenca el cual se muestra en la Figura 1

2.3.1.2.- Aplicación del método proporcional a la distancia.

El uso de este método se escogió debido a que no existen diferencias considerables en cuanto a los resultados obtenidos entre la aplicación de este método versus el uso de otros métodos más complejos, como por ejemplo el uso del método de los polígonos de Thiessen.

El método de interpolación proporcional a la distancia utiliza datos conocidos en un grupo de puntos cercanos al punto de interés del cual se desconocen datos. Estos datos se obtienen obteniendo un promedio ponderado de las precipitaciones, que se muestra en la Ecuación 1, el cual depende de un factor de peso (w), tal y como se muestra en la Ecuación 2:

$$P_{cuenca} = \frac{P1*w1+P2*w2+P3*w3}{w1+w2+w3} \quad (\text{Ec.1})$$

Con P como la cantidad de precipitación medida en la estación.

$$w = \frac{1}{\text{distancia estacion al centroide}} \quad (\text{Ec.2})$$

Las distancias de cada una de las estaciones meteorológicas al centroide y su respectivo factor w se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.- Distancias al centroide, factor w y porcentaje de aporte al cálculo de precipitaciones de las estaciones meteorológicas. Fuente: Elaboración propia

Estación	Cucao	Chonchi	Castro
Distancia a centroide, km	18.1	8.48	20.6
Peso w	0.00305241	0.01390619	0.00235649
% de Ponderación	15.8%	72.00%	12.20%

Una vez determinados los factores w para cada una de las estaciones meteorológicas, se procedió al cálculo de las precipitaciones para toda la cuenca del lago Huillinco, representadas en su centroide, para el periodo enero 2014-junio 2022 (el uso de estos se encuentra supeditado a la disponibilidad de datos tanto de ENSO como de altimetría por lo que se trabajara con un periodo de tiempo en el que se tenga datos de las tres variables mencionadas) las cuales se muestran en el capítulo de resultados.

2.4.- Obtención de datos de altimetría lago Huillinco mediante ALTIS

ALTis (Altimetry Time Series), es un software basado en Python especializado para procesar y analizar datos de altimetría obtenidos mediante radar. Éste se enfoca en la obtención de series temporales precisas de niveles de cuerpos de agua. Este software permite integrar datos de diversas misiones satelitales, entre las que se encuentran ERS-2, ENVISAT y SWOT, y la que se utilizará para los estudios de la cuenca del lago Huillinco, Sentinel-3A. Los datos obtenidos por satélite son complementados con información auxiliar de ALTis, incluyendo correcciones de rango y parámetros de retrodispersión. Una de las cualidades más destacables de este software es su capacidad para minimizar errores mediante análisis estadísticos avanzados, garantizando mayor exactitud y confiabilidad en sus estimaciones.

El procedimiento paso a paso para la obtención de datos a través de ALTis se detalla a continuación, de acuerdo con (Fuentes-Aguilera et al., 2024)

- 1) Leer datos de altimetría de la misión(es) satelital(es) a utilizar.
- 2) Mostrar las diferentes variables contenidas en los Registros de datos Geofísicos (GDR) de cada misión, incluyendo:
 - La altura del satélite en su órbita (H)
 - El alcance del radar (RO)
 - Las diferentes correcciones aplicadas a RO(ΣR);
 - h , que se calcula automáticamente al leer los datos como

$$h = H - RO - \Sigma R$$

así como varias otras variables, como los coeficientes de retrodispersión y la intensidad máxima del pulso en las diferentes frecuencias de microondas; las temperaturas de brillo en las diferentes frecuencias medidas por el radiómetro a bordo de la plataforma satelital; y el índice normalizado definido por el Centro de Topografía de los Océanos y la Hidrosfera(o CTOH por sus siglas en francés) para ayudar con el análisis estadístico, con la imagen Landsat True-Color suministrada por Global

Imagery Browse Services (GIBS de las observaciones de la Tierra de la NASA) como fondo.

- 3) Seleccionar manualmente los datos inválidos para posteriormente eliminarlos delineándolos con tecnología del clic, como se muestra en la Figura 3.

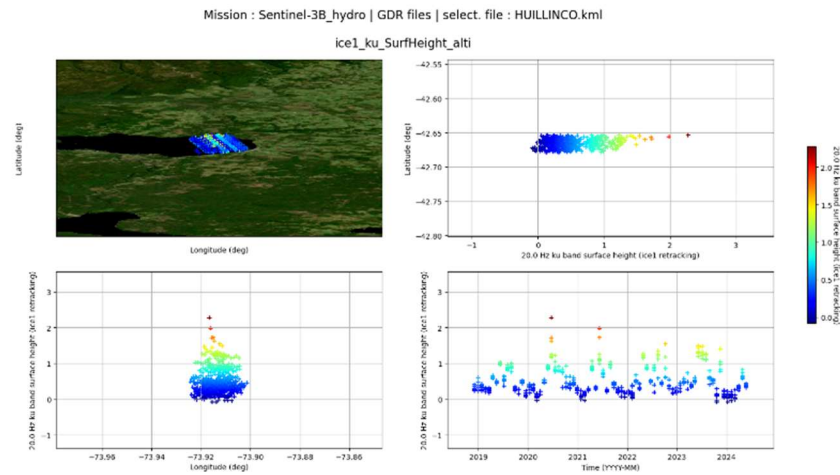


Figura 2.-Corrección Datos AlTiS. Fuente: Elaboración propia

- 4) Generar la serie temporal de niveles de agua, calculando la media, la mediana y la desviación estándar asociada a cada uno de los ciclos de tiempo.
- 5) Validación de los niveles de agua del lago en base a la altimetría.

2.5 Fenómeno de El niño y su variación durante el periodo de estudio

El fenómeno de El Niño, u oscilación del sur (ENSO en inglés), según la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA), corresponde a la fase cálida de un patrón natural del clima en todo el pacífico tropical. Esta fase cálida, ocurre de manera irregular aproximadamente cada 7 años, provocando cambios predecibles en la temperatura del agua en el océano, lo cual se traduce en mayores precipitaciones en las costas del océano pacifico que presentan un tipo de clima mediterráneo. En el caso de la cuenca del lago Huillinco, esta se encuentra al límite sur de esta zona, por lo cual se pueden notar los efectos de la intensidad del fenómeno del niño.

La medición de la intensidad de esta oscilación se divide en 3 grandes áreas, dentro del océano, las que se muestran en la Figura 3, que se denominan como:

- Niño 1+ 2: Corresponde a la zona extrema occidental del pacifico(0-10S,90W-80W)
- Niño 4: Corresponde a la zona centro tropical del pacifico (5N-5S,160E-150W).
- Niño 3.4: Corresponde a la zona tropical centro occidental del pacifico(5N-5S,170-120W).

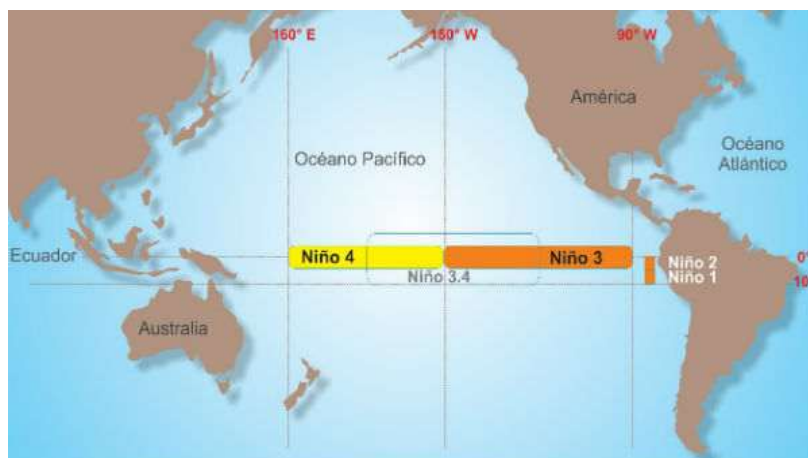


Figura 3.- Zonas de estudio Fenómeno del Niño. Fuente: Ministerio del Ambiente del Perú

Para los estudios realizados se utilizará la zona 3.4 debido a que, por su ubicación y tamaño, sus efectos serán evidentes sobre las costas de Chile, esto debido a que esta zona se ubica frente a las costas de Perú, cuyas aguas son transportadas por la corriente de Humboldt, la cual tiene una fuerte influencia sobre el clima para las costas de Chile

2.5.1.- Índice Niño Oceánico.

La intensidad de este fenómeno se puede visualizar de acuerdo con su anomalía (llamado también índice niño oceánico), cuyos datos son proporcionados por NOAA. Este parámetro analiza la variación de la temperatura media del agua en el océano en un determinado periodo de tiempo (mensual, trimestral, anual, etc.). Este parámetro permite caracterizar el fenómeno del niño en 9 tipos:

- Variación de $+2.0^{\circ}\text{C}$ $\rightarrow$ Niño muy fuerte
- Variación entre $+1.5^{\circ}\text{C}$ y $+2.0^{\circ}\text{C}$ $\rightarrow$ Niño fuerte
- Variación entre $+1.0^{\circ}\text{C}$ y $+1.5^{\circ}\text{C}$ $\rightarrow$ Niño moderado
- Variación entre $+0.5^{\circ}\text{C}$ y $+1.0^{\circ}\text{C}$ $\rightarrow$ Niño débil
- Variación entre -0.5°C y $+0.5^{\circ}\text{C}$ $\rightarrow$ Niño Neutro
- Variación entre -0.5°C y -1.0°C $\rightarrow$ Niña débil
- Variación entre -1.0°C y -1.5°C $\rightarrow$ Niña moderada
- Variación entre -1.5°C y -2.0°C $\rightarrow$ Niña fuerte
- Variación de más de -2.0°C $\rightarrow$ Niña muy fuerte
- Estos umbrales se muestran en la Figura 4.

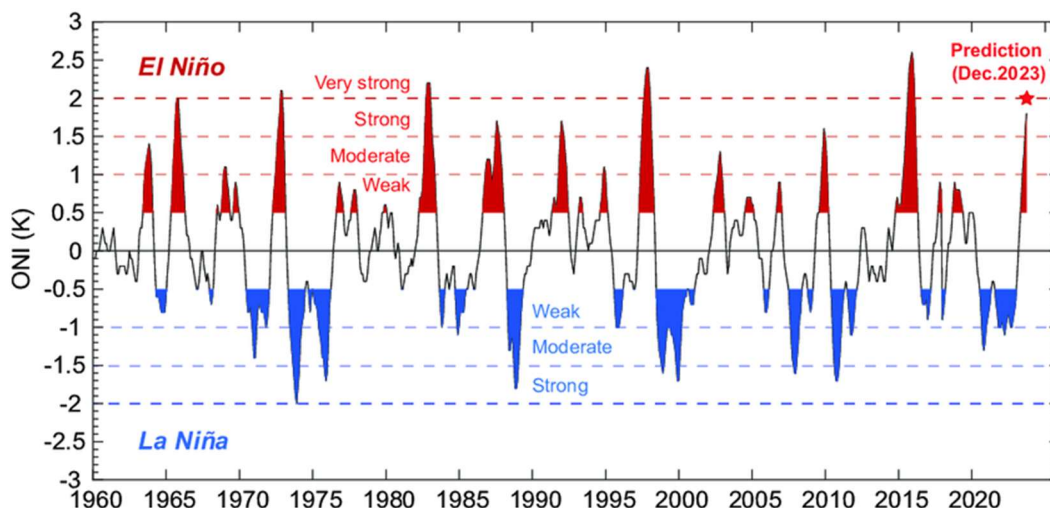


Figura 4.-Umbrales Fenómeno del Niño/a. Fuente: NOAA

Capítulo 3 RESULTADOS

3.1.- Rellenado de datos de precipitación.

Para la estación Cucao, se estableció las relaciones con las estaciones restantes (Chonchi y Castro 2) teniendo como resultados los gráficos de dispersión mostrados en las Figuras 5 y 6, los cuales muestran las siguientes relaciones:

- Entre Chonchi y Cucao se tiene una relación $\text{Cucao} = 2.778 * \text{Chonchi}$, con un factor $R^2 = 0.6088$.
- Entre Castro y Cucao se tiene una relación $\text{Cucao} = 1.3363 * \text{Castro}$, con un factor $R^2 = 0.8739$.

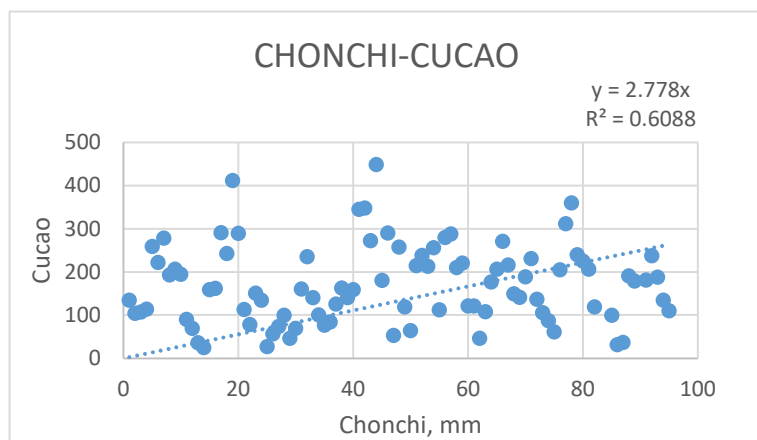


Figura 5-Gráfico de dispersión datos de precipitación estaciones Chonchi - Cucao. Fuente: Elaboración propia

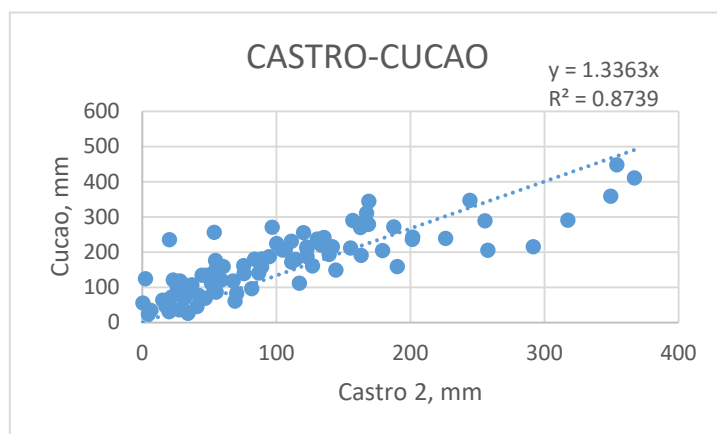


Figura 6.-Gráfico de dispersión de datos de precipitación estaciones Castro- Cucao. Fuente: Elaboración propia

Para la estación Chonchi, se estableció las relaciones con las estaciones restantes (Cucao y Castro) teniendo como resultados los gráficos de dispersión mostrados en las Figuras 7 y 8, los cuales muestran las siguientes relaciones:

- Entre Cucao y Chonchi se tiene una relación $\text{Chonchi} = 0.5686 * \text{Cucao}$, con un factor $R^2 = 0.9066$.
- Entre Castro y Chonchi se tiene una relación $\text{Chonchi} = 0.8112 * \text{Castro}$, con un factor $R^2 = 0.9098$.

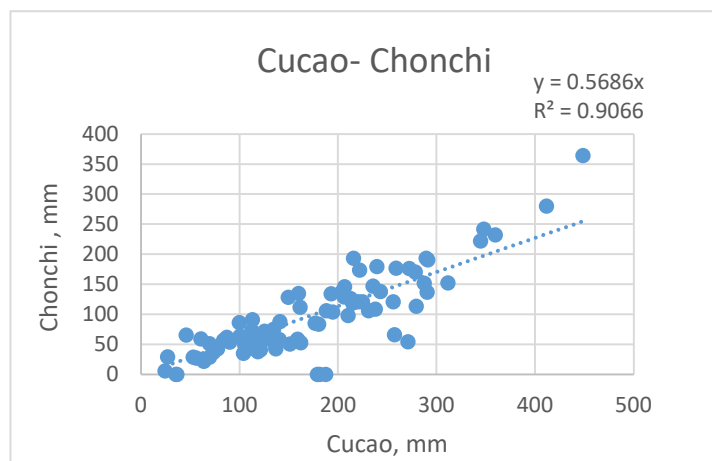


Figura 7.-Grafico de dispersión datos de precipitación estaciones Cucao- Chonchi. Fuente: Elaboración propia

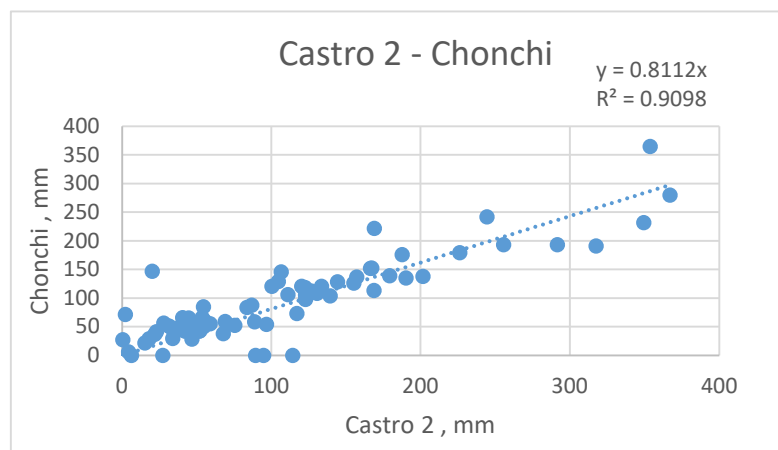


Figura 8.-Grafico de dispersión datos de precipitación estaciones Castro - Chonchi. Fuente: Elaboración propia

Para la estación Castro, se estableció las relaciones con las estaciones restantes (Cucao y Chonchi) teniendo como resultados los gráficos de dispersión mostrados en las Figuras 9 y 10, los cuales muestran las siguientes relaciones:

- Entre Chonchi y Castro se tiene una relación $\text{Castro} = 1.7323 \cdot \text{Chonchi}$, con un factor $R^2 = 0.5154$.
- Entre Cucao y Castro se tiene una relación $\text{Castro} = 0.654 \cdot \text{Cucao}$, con un factor $R^2 = 0.8739$.

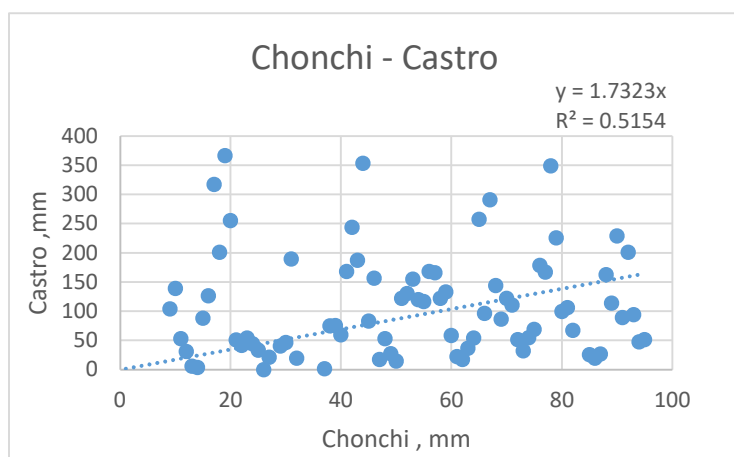


Figura 9.- Gráfico de dispersión datos de precipitación estaciones Chonchi-Castro. Fuente: Elaboración propia

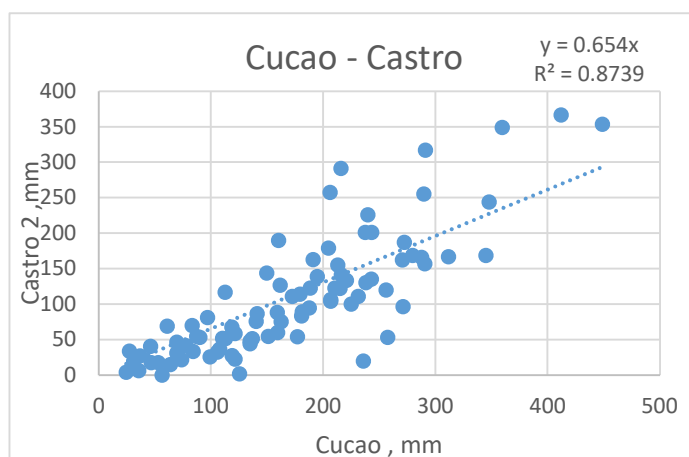


Figura 10.- Grafico de dispersión datos de precipitación estaciones Cucao-Castro. Fuente: Elaboración propia

La Tabla con todos los datos de precipitación obtenidos y calculados se adjunta en el apartado de anexos.

3.2.- Datos de precipitación

Una vez completado el proceso de relleno de datos faltantes para cada una de las estaciones meteorológicas se realizará la interpolación de los datos utilizando.

Para lo anterior, se utilizará el método proporcional al inverso de la distancia con respecto al centroide de la cuenca, que será representativo para toda a superficie de la cuenca del lago Huillinco.

Se obtuvieron datos de precipitaciones acumuladas mensuales desde enero de 2014 hasta junio de 2022, los cuales se muestran en la Figura 11.

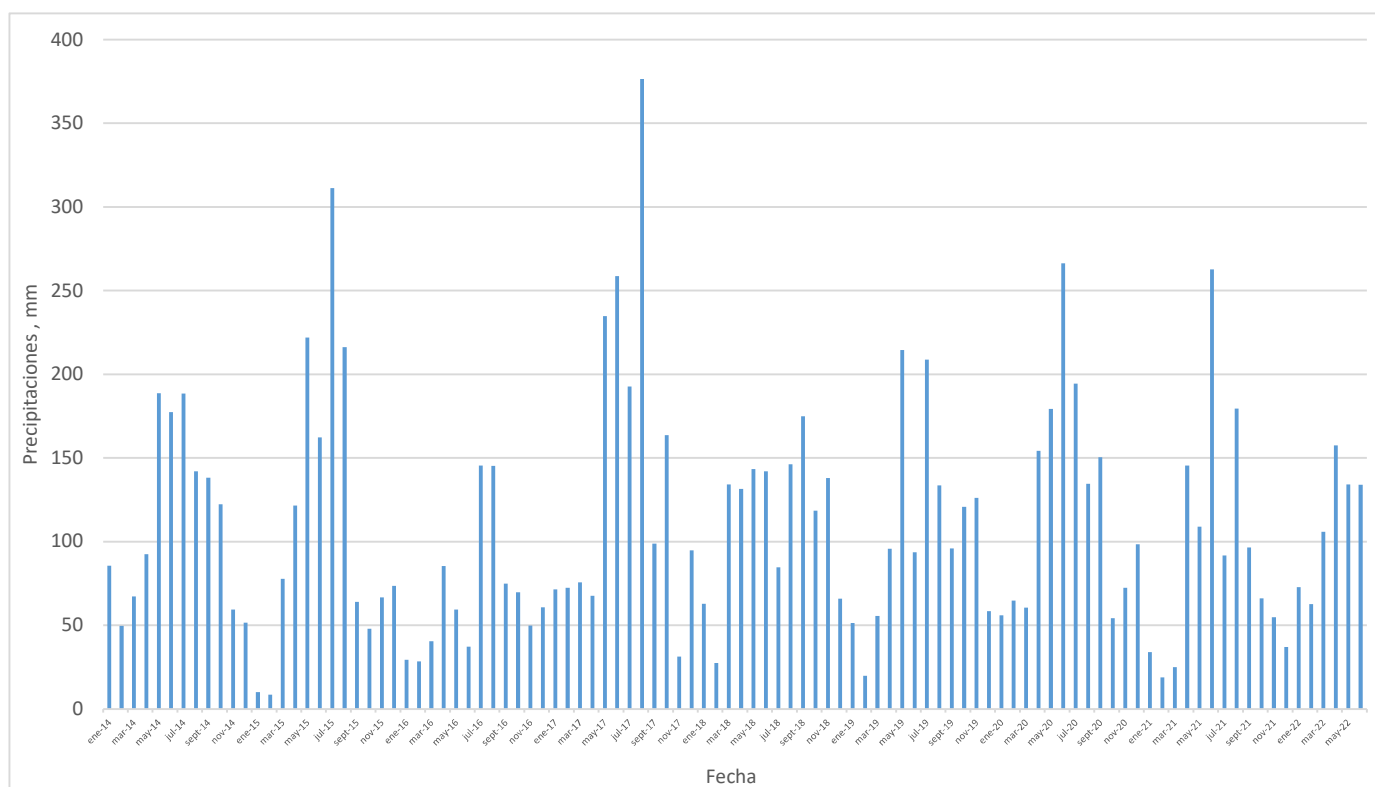


Figura 5.-Precipitaciones cuenca lago Huillinco periodo enero 2014-junio 2022. Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos desde Sistema Hidrométrico en línea, DGA.

Llevando a cabo el análisis de los datos obtenidos, se puede observar que las precipitaciones en la zona responden a la estación del año en que se produzcan, registrándose los mínimos en los periodos de primavera/verano (entre noviembre y abril), mientras que los máximos se registraron en periodo de otoño/invierno (entre mayo y octubre).

Para la cuenca del lago Huillinco, durante el periodo de estudio (enero 2014 – junio 2022), se tienen unas precipitaciones promedio de 106.72 mm, con una desviación estándar de 68.55 mm, lo cual indica una dispersión moderada de los datos.

El mes más seco durante los meses analizados corresponde al mes de febrero de 2015 con 8.5 mm caídos.

Por otro lado, el mes más lluvioso corresponde al mes de agosto del año 2017 con unas precipitaciones registradas de 376.39 mm.

El detalle de los datos más relevantes de los datos obtenidos se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3.-Precipitaciones máximas y mínimas para la cuenca del lago Huillinco para el periodo ene 14-jun 22

<i>Año</i>	<i>Máximo, mm</i>	<i>Mínimo, mm</i>	<i>Desv estándar, mm</i>	<i>Media armónica, mm</i>	<i>Precipitación promedio, mm</i>	<i>Mediana, mm</i>	<i>Coficiente de asimetría</i>	<i>Rango, mm</i>
2014	188.65	49.75	53.10	90.64	113.58	107.37	0.256	138.90
2015	311.33	8.50	94.09	37.31	115.18	75.69	0.897	302.83
2016	145.52	28.44	39.93	52.83	68.89	60.12	1.216	117.08
2017	376.39	31.22	102.77	87.90	114.14	132.85	1.154	345.16
2018	174.96	27.56	43.67	87.90	114.14	132.85	-0.774	147.40
2019	214.50	19.77	57.46	70.65	106.18	95.83	0.679	194.73
2020	266.39	54.22	67.67	94.27	123.81	116.54	0.777	212.17
2021	262.67	18.88	72.74	52.29	93.39	78.95	1.257	243.80
2022	157.48	62.70	37.54	99.32	111.15	119.92	0.456	94.78

3.3.- Datos de altimetría obtenidos

Debido a la poca disponibilidad de datos geofísicos en zona de estudio, se obtuvieron datos de altimetría del lago Huillinco a partir del mes de noviembre del año 2018, hasta junio del año 2022.

Una vez llevados a cabo los pasos mencionados en 2.4, el software entrega las gráficas correspondientes a la serie temporal corregida, la cual se muestra en la Figura 12.

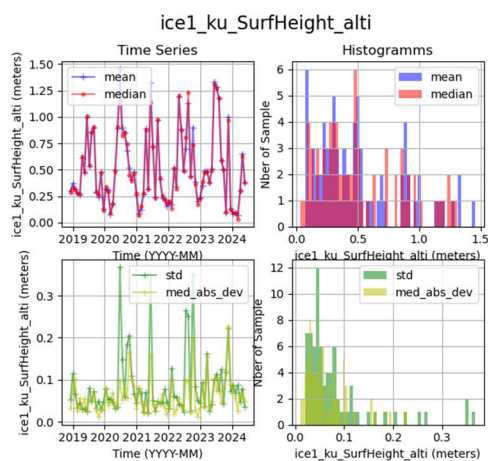


Figura 6.-Series temporales entregadas por AITs.
Fuente: Elaboración Propia

Al analizar los datos, se aprecia claramente como el nivel del lago alcanza sus niveles más altos en los meses de clima más lluvioso (junio -agosto), y sus valores mínimos durante los meses de abril de cada uno de los años estudiados, lo cual coincide con el final del ciclo de año hidrológico, el cual inicia en mayo y finaliza en abril.

Cabe señalar, que debido a que el lago se encuentra prácticamente a nivel del mar, tiene una variación de la altura del agua de unos pocos metros, al contrario de como sucede en lagos que se ubican a mayor altitud, los cuales funcionan como si fueran un reservorio de agua. Esto se evidencia en lo poco sostenidas que son las alzas en el nivel del agua, llegando a sus máximos y en muy poco tiempo baja rápidamente.

La gráfica de las alturas obtenidas se muestran en la Figura 13.

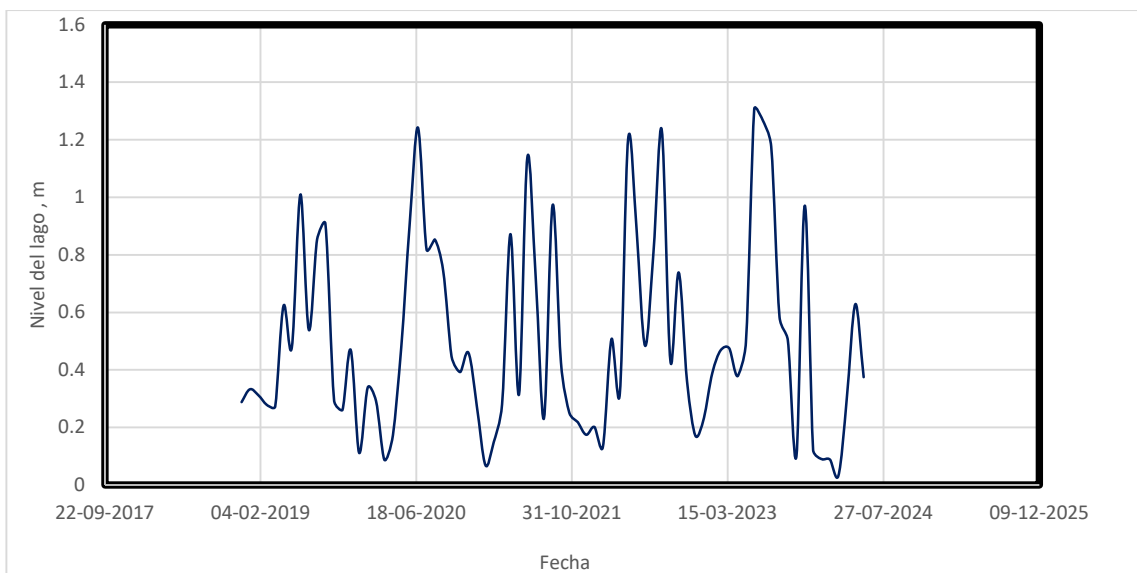


Figura 7.-Variación nivel lago Huillinco, periodo noviembre 2018-junio 2022. Fuente: Elaboración propia

El detalle de los valores más importantes se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4.-Niveles máximos y mínimos del lago Huillinco para el periodo noviembre 2018-junio 2022, Fuente: Elaboración propia

Año	Máximo, m	Mínimo, m	Desv estándar, m	Nivel prom, m	Mediana, m
2018	0.333	0.288	0.03	0.31	0.31
2019	1.011	0.273	0.27	0.53	0.47
2020	1.244	0.088	0.37	0.54	0.46
2021	1.139	0.069	0.35	0.49	0.35
2022	0.426	0.273	0.10	0.23	0.21

3.4.- Variación en la intensidad del fenómeno de El Niño periodo Enero 2014-Junio 2022.

Observando la gráfica de los datos de oscilación de ENSO en la zona 3.4, la cual se muestra en la Figura 14, se puede apreciar que, desde el mes de agosto de 2020 hasta el final del periodo de estudio, se evidencia la presencia exclusiva de la Niña, la cual varía entre moderada y débil, además de un periodo neutro de aproximadamente 3 meses entre mayo y agosto de 2021. Los valores de oscilación y la intensidad del fenómeno se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5.- Variación ENSO y su denominación para el periodo noviembre 2018- junio 2022. Fuente: Elaboración propia con datos de NOAA

Fecha	Anomalía, °C	Tipo de niño
nov-18	0.90	Niño débil
dic-18	0.89	Niño débil
ene-19	0.65	Niño débil
feb-19	0.71	Niño débil
mar-19	0.81	Niño débil
abr-19	0.62	Niño débil
may-19	0.55	Niño débil
jun-19	0.45	Neutro
jul-19	0.35	Neutro
ago-19	0.04	Neutro
sept-19	0.03	Neutro
oct-19	0.48	Neutro
nov-19	0.52	Niño débil
dic-19	0.52	Niño débil
ene-20	0.60	Niño débil
feb-20	0.37	Neutro
mar-20	0.48	Neutro
abr-20	0.36	Neutro
may-20	-0.27	Neutro
jun-20	-0.34	Neutro
jul-20	-0.30	Neutro
ago-20	-0.59	Niña débil
sept-20	-0.83	Niña débil
oct-20	-1.26	Niña moderada
nov-20	-1.42	Niña moderada
dic-20	-1.15	Niña moderada

ene-21	-1.00	Niña moderada
feb-21	-1.00	Niña moderada
mar-21	-0.80	Niña débil
abr-21	-0.72	Niña débil
may-21	-0.46	Neutro
jun-21	-0.28	Neutro
jul-21	-0.39	Neutro
ago-21	-0.53	Niña débil
sept-21	-0.55	Niña débil
oct-21	-0.94	Niña débil
nov-21	-0.94	Niña débil
dic-21	-1.06	Niña moderada
ene-22	-0.94	Niña débil
feb-22	-0.89	Niña débil
mar-22	-0.97	Niña débil
abr-22	-1.11	Niña moderada
may-22	-1.11	Niña moderada
jun-22	-0.75	Niña débil

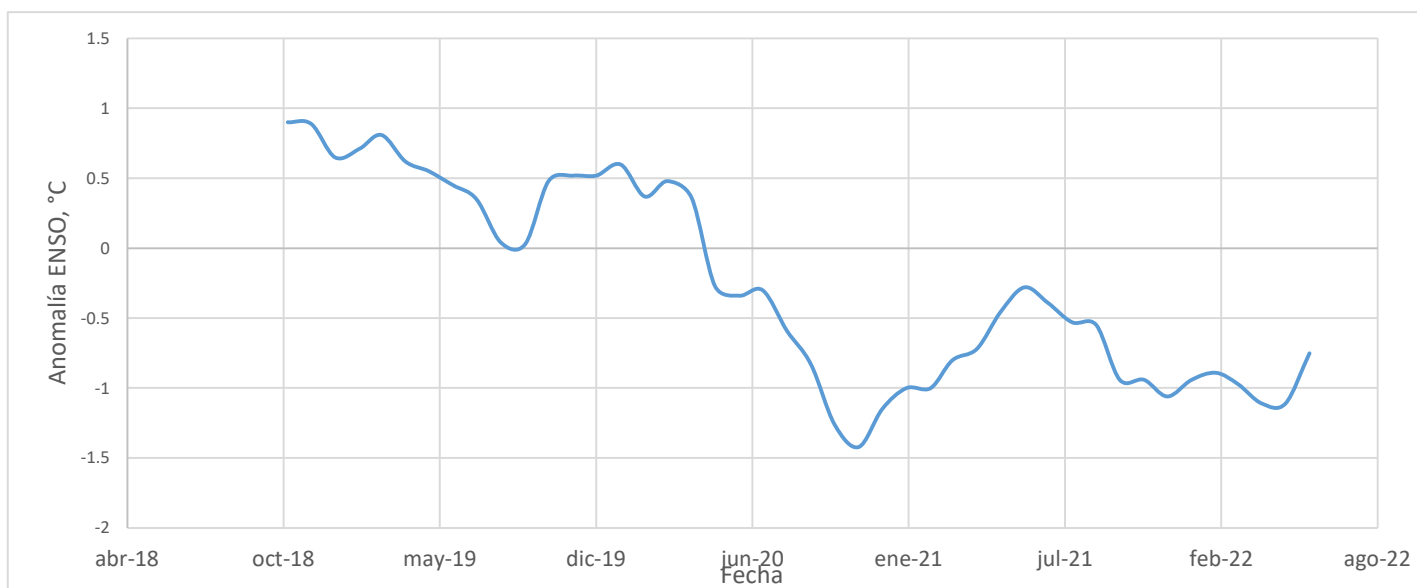


Figura 8.-Oscilación temperatura media del océano zona 3.4 para periodo nov 2018 jun 2022

Capítulo 4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Tal como se mencionó en la sección 3.2, el análisis de los datos estuvo supeditado a la disponibilidad de datos de altimetría, por ende, el periodo donde se buscó establecer relaciones entre los factores estudiados (ENSO, precipitaciones y altimetría) corresponde a noviembre 2018 hasta junio 2022. Para poder tener una visión global de las oscilaciones de los datos, se confecciono un gráfico combinado de estos, el cual se muestra en la Figura 15.

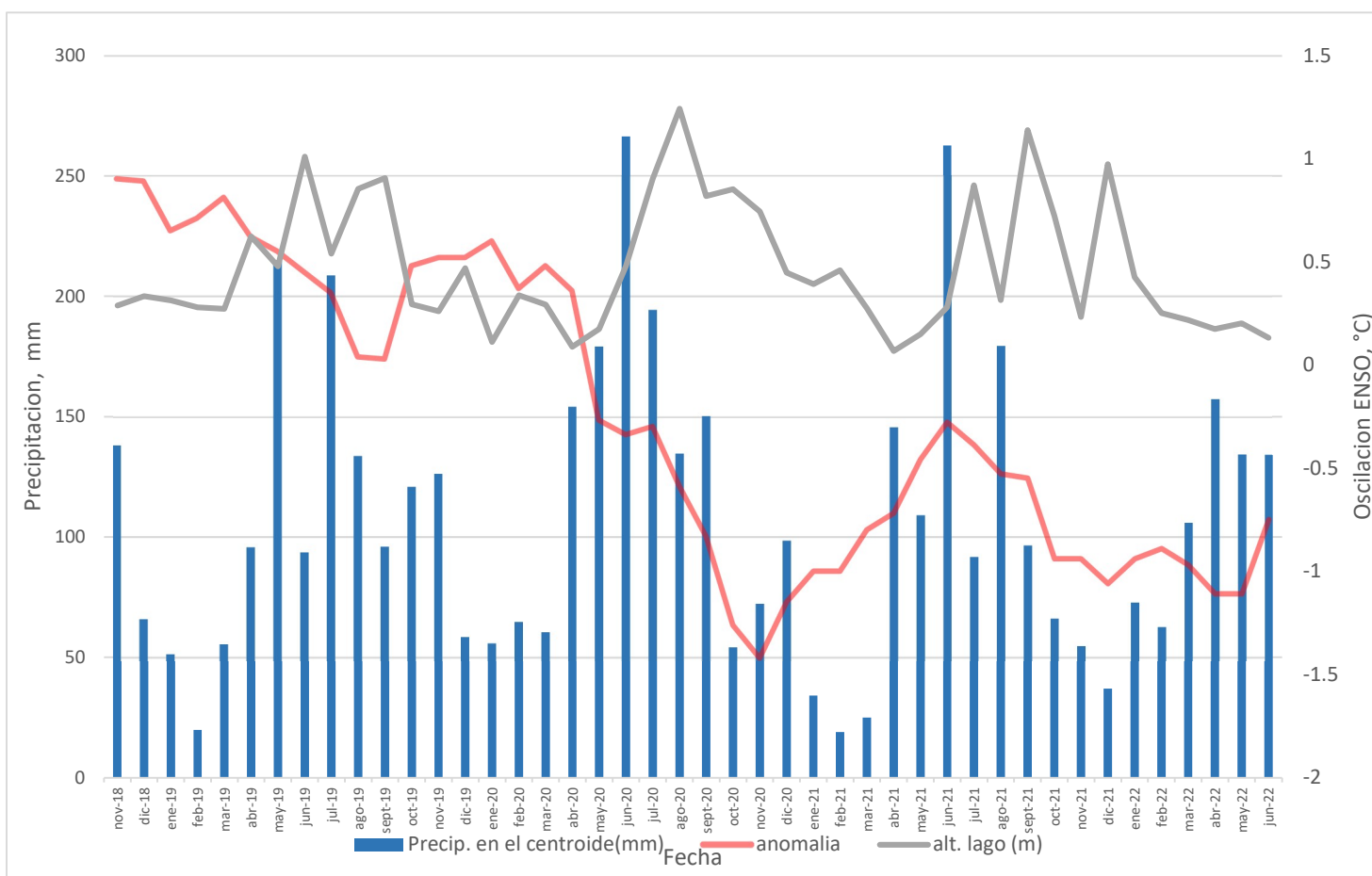


Figura 9.- Precipitaciones, nivel del agua y oscilación ENSO para la cuenca del lago Huillínco durante el periodo nov 2018 - jun 2022. Fuente: Elaboración propia.

4.1. Relación entre ENSO y las precipitaciones registradas.

Analizando las gráficas de oscilación del fenómeno de El Niño (Figura 14) y de las precipitaciones registradas en la cuenca del lago Huillínco (Figura 11), las cuales se muestran combinadas en la Figura 16, se puede observar que:

- 1) Existe una relación directa entre los descensos de las temperaturas medias de las aguas oceánicas y un descenso de las precipitaciones luego de un delta de tiempo. Esto se puede evidenciar de manera clara en el periodo noviembre 2020 - abril 2021 donde el marcado descenso de las temperaturas se tradujo en el verano más seco de todo el periodo de estudio.
- 2) Si bien ante un leve aumento de las temperaturas las precipitaciones aumentan, no alcanzan los valores máximos que se registran en periodos de presencia de un Niño moderado (aproximadamente 260 mm en mayo 2020 vs 376 mm en el año 2017).

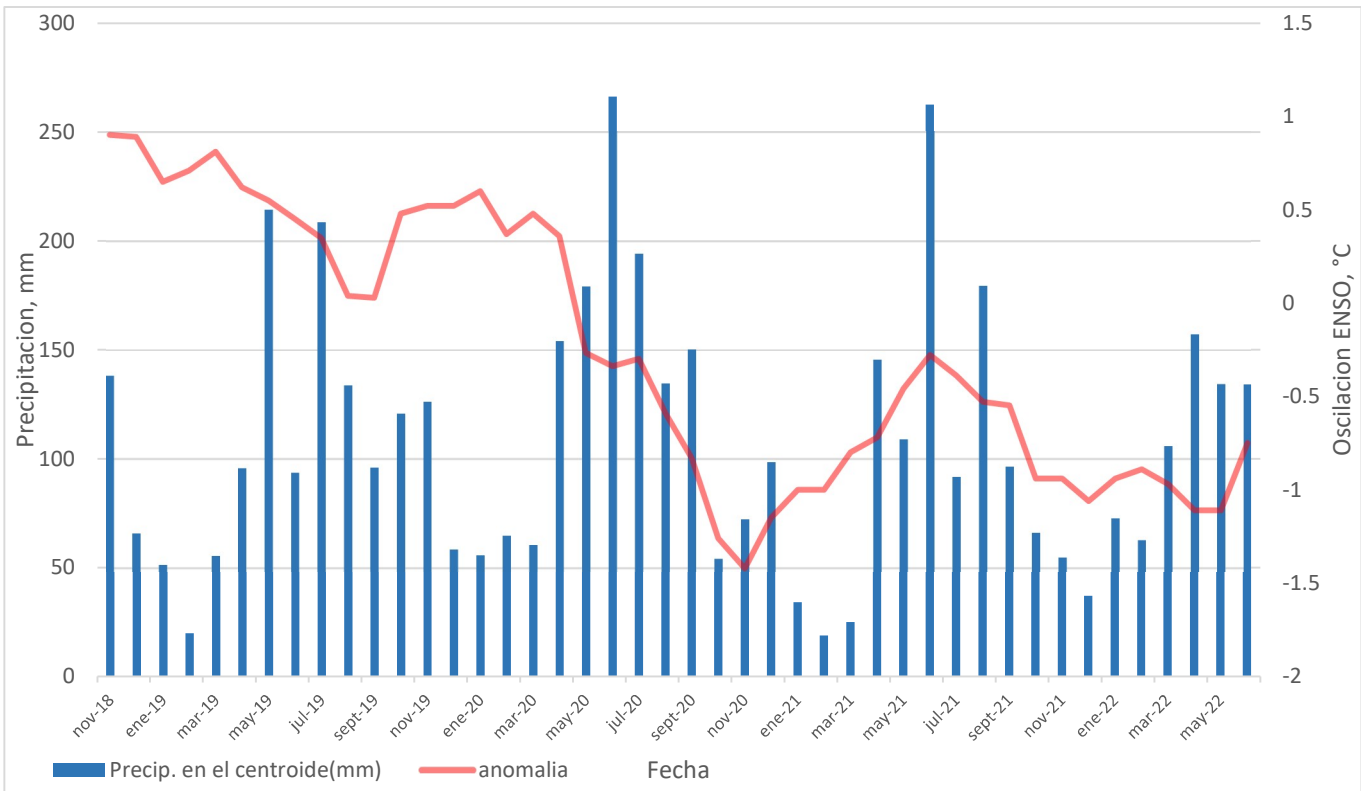


Figura 10.-Oscilación ENSO y precipitaciones registradas en la cuenca del lago Huillínco para el periodo nov 2018 – jun 2022.Fuente: elaboración propia con datos obtenidos desde NOAA y sistema hidrométrico DGA.

4.2.-Relacion entre las precipitaciones registradas y el nivel del lago.

Analizando las gráficas de las precipitaciones registradas en la cuenca del lago Huillinco (Figura 11) y el nivel del lago (Figura 13), las cuales se muestran combinadas en la Figura 17, se puede observar que:

- 1) Se logra apreciar un comportamiento consecuente con el transcurrir del año hidrológico para la zona, registrándose los mínimos niveles del agua durante los meses de febrero, marzo y abril
- 2) Se puede ver una relación directa entre ambas variables (aumentan las precipitaciones y luego el nivel del lago) pero a diferencia del caso anterior, el impacto en la oscilación de las precipitaciones es un poco más inmediato, siendo en el tiempo en que influyen las precipitaciones en el nivel del lago Huillinco de aproximadamente un mes.

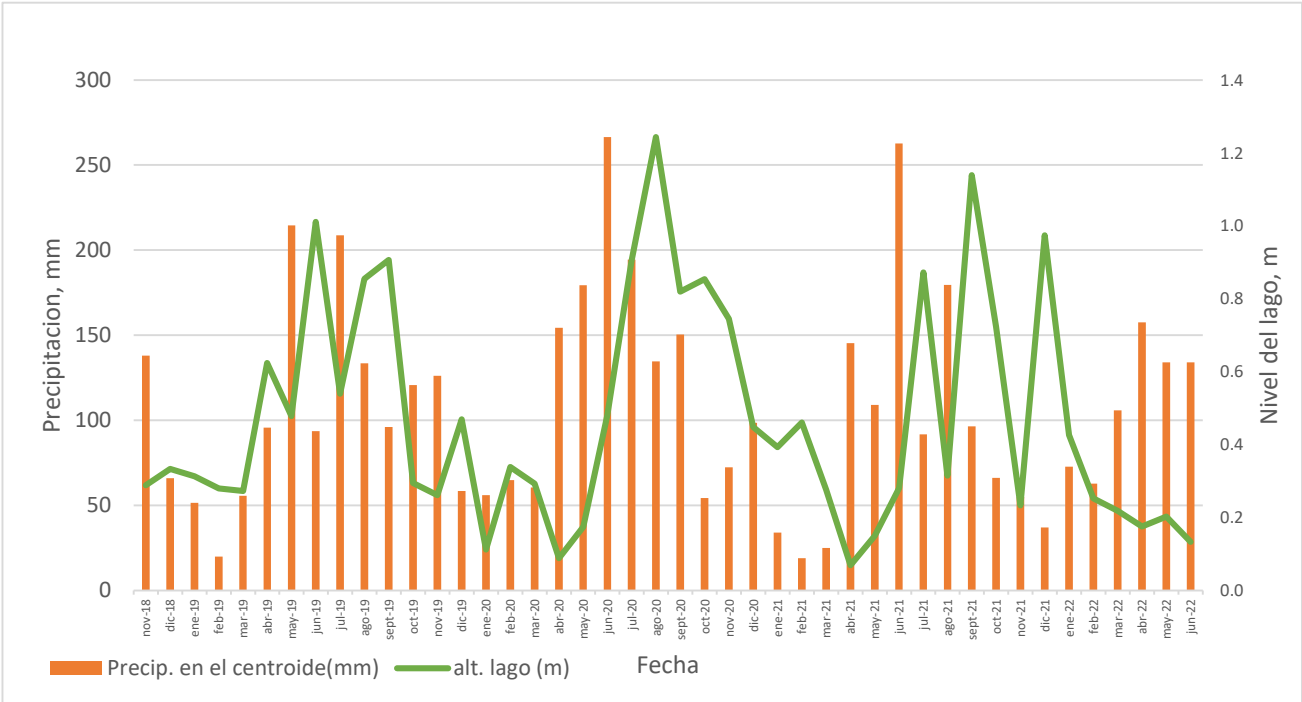


Figura 11.- Nivel de la superficie del agua y precipitaciones registradas en la cuenca del lago Huillinco para el periodo nov 2018 – jun 2022.Fuente: elaboración propia con datos obtenidos mediante altimetría satelital y sistema hidrométrico DGA.

4.3.- Relación entre ENSO y el nivel del lago Huillinco.

Analizando las gráficas de la oscilación de ENSO (Figura 14) y el nivel del lago (Figura 13), las cuales se muestran combinadas en la Figura 18, se puede observar que:

- 1) Existe una relación inversa entre las variables.
- 2) Esta relación inversa no es inmediata, se pueden evidenciar los efectos de ENSO en el nivel del lago luego de varios meses.

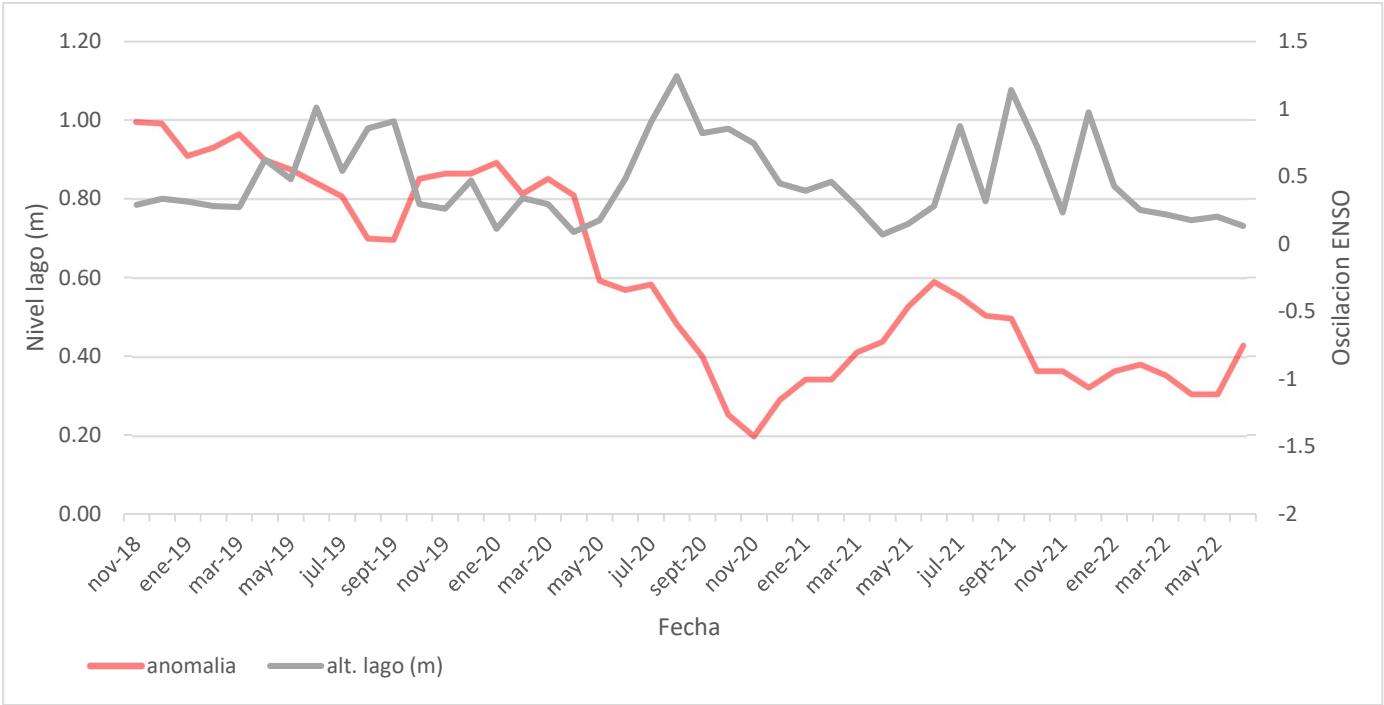


Figura 12.-Nivel de la superficie del agua y oscilación de ENSO en la cuenca del lago Huillinco para el periodo nov 2018 – jun 2022.Fuente: elaboración propia con datos obtenidos mediante altimetría satelital y desde NOAA.

Capítulo 5 VALIDACION DE LOS RESULTADOS.

Para garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos en el análisis de las relaciones entre cada uno de los datos (ENSO, precipitaciones y nivel del lago), se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman, el cual es un método no paramétrico. Este parámetro es adecuado para evaluar la relación entre dos variables ordinales o continuas cuando no se puede asumir una distribución normal de los datos, o cuando no son relaciones lineales como es el caso de los datos analizados.

5.1.- Coeficiente de correlación de Spearman.

El coeficiente de correlación de Spearman (r), según (Sánchez-Villegas et al., 2020) es un método estadístico paramétrico el cual mide la intensidad y dirección de la asociación monotónica entre dos variables, asignando valores entre -1 y 1.

La correlación entre los datos medidos mediante r dependerá del valor obtenido y será:

- $r = 0$: No existe correlación, de haber valores cercanos a 0 (tanto positivos como negativos), se considera una relación neutra.
- $r > 0$: al aumentar una de las variables, la otra aumenta (relación directa).
- $r < 0$: Al aumentar una de las variables, la otra disminuye (relación indirecta o inversa).
- $r < 0.3$: relación moderada.
- $r < 0.70$: relación fuerte.

El coeficiente r estará dado por la ecuación 3:

$$r = \frac{SP_{xy}}{\sqrt{SXx} * SCy} \quad (\text{Ec 3}).$$

Con:

- SP_{xy} : suma de los productos X e Y
- SCx : suma de los cuadrados de los valores de X
- SCy : suma de los cuadrados de los valores de Y

5.1.1.- Correlación Spearman entre los datos de ENSO y el nivel del lago Huillinco.

Se calculó el coeficiente de correlación de Spearman con los datos mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6.- Datos utilizados para correlación de Spearman entre la anomalía de ENSO y el nivel del lago Huillinco para el periodo noviembre 2018 – junio 2022. Fuente: Elaboración propia

Fecha	Anomalía ENSO, °C	Nivel lago, m
nov-18	0.9	0.28820
dic-18	0.89	0.33343
ene-19	0.65	0.31318
feb-19	0.71	0.27929
mar-19	0.81	0.27274
abr-19	0.62	0.62329
may-19	0.55	0.47836
jun-19	0.45	1.01051
jul-19	0.35	0.53951
ago-19	0.04	0.85476
sept-19	0.03	0.90678
oct-19	0.48	0.29485
nov-19	0.52	0.26082
dic-19	0.52	0.46957
ene-20	0.6	0.11237
feb-20	0.37	0.33839
mar-20	0.48	0.29319
abr-20	0.36	0.08817
may-20	-0.27	0.17416
jun-20	-0.34	0.47997
jul-20	-0.3	0.90423
ago-20	-0.59	1.24355
sept-20	-0.83	0.81934
oct-20	-1.26	0.85350
nov-20	-1.42	0.74499
dic-20	-1.15	0.44801
ene-21	-1	0.39304
feb-21	-1	0.46031
mar-21	-0.8	0.27575
abr-21	-0.72	0.06907
may-21	-0.46	0.14959
jun-21	-0.28	0.28028
jul-21	-0.39	0.87232
ago-21	-0.53	0.31487
sept-21	-0.55	1.13933

oct-21	-0.94	0.72299
nov-21	-0.94	0.23288
dic-21	-1.06	0.97424
ene-22	-0.94	0.42611
feb-22	-0.89	0.25220
mar-22	-0.97	0.21802
abr-22	-1.11	0.17497
may-22	-1.11	0.20210
jun-22	-0.75	0.13277

Con estos datos se obtuvo un $r = -0.86$, lo cual indica una correlación inversa de carácter fuerte ($r < -0.70$).

5.1.2.- Correlación de Spearman entre los datos de ENSO y las precipitaciones para la cuenca del lago Huillinco.

Se llevo a cabo el cálculo del coeficiente de correlación de Spearman con los datos que se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7.- Datos utilizados para correlación Spearman entre la oscilación de ENSO y las precipitaciones en la cuenca del lago Huillinco para el periodo noviembre 2018-junio 2022. Fuente: Elaboración propia

Fecha	Anomalía ENSO, °C	Precipitación, mm
nov-18	0.9	137.98
dic-18	0.89	65.90
ene-19	0.65	51.39
feb-19	0.71	19.77
mar-19	0.81	55.53
abr-19	0.62	95.72
may-19	0.55	214.50
jun-19	0.45	93.65
jul-19	0.35	208.69
ago-19	0.04	133.55
sept-19	0.03	95.94
oct-19	0.48	120.74
nov-19	0.52	126.18
dic-19	0.52	58.45
ene-20	0.60	55.92
feb-20	0.37	64.76
mar-20	0.48	60.55
abr-20	0.36	154.35
may-20	-0.27	179.28
jun-20	-0.34	266.39
jul-20	-0.30	194.38
ago-20	-0.59	134.56
sept-20	-0.83	150.49
oct-20	-1.26	54.22
nov-20	-1.42	72.35
dic-20	-1.15	98.53
ene-21	-1.00	34.03
feb-21	-1.00	18.88
mar-21	-0.80	24.99
abr-21	-0.72	145.41
may-21	-0.46	108.95

jun-21	-0.28	262.67
jul-21	-0.39	91.76
ago-21	-0.53	179.56
sept-21	-0.55	96.49
oct-21	-0.94	66.15
nov-21	-0.94	54.80
dic-21	-1.06	36.98
ene-22	-0.94	72.75
feb-22	-0.89	62.70
mar-22	-0.97	105.83
abr-22	-1.11	157.48
may-22	-1.11	134.13
jun-22	-0.75	134.02

Con estos datos se obtuvo un coeficiente $r= 0.061$, por lo tanto, se trata de una relación neutra (r muy cercano a 0).

5.1.3.- Correlación de Spearman entre los datos de precipitación y nivel del lago Huillinco.

Se llevo a cabo el cálculo del coeficiente de correlación de Spearman con los datos que se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8.- Datos utilizados para correlación Spearman entre las precipitaciones y el nivel del agua en la cuenca del lago Huillinco para el periodo noviembre 2018-junio 2022. Fuente: Elaboración propia

Fecha	Precipitación, mm	Nivel lago, m
nov-18	137.98	0.28820
dic-18	65.90	0.33343
ene-19	51.39	0.31318
feb-19	19.77	0.27929
mar-19	55.53	0.27274
abr-19	95.72	0.62329
may-19	214.50	0.47836
jun-19	93.65	1.01051
jul-19	208.69	0.53951
ago-19	133.55	0.85476
sept-19	95.94	0.90678
oct-19	120.74	0.29485
nov-19	126.18	0.26082
dic-19	58.45	0.46957
ene-20	55.92	0.11237
feb-20	64.76	0.33839
mar-20	60.55	0.29319
abr-20	154.35	0.08817
may-20	179.28	0.17416
jun-20	266.39	0.47997
jul-20	194.38	0.90423
ago-20	134.56	1.24355
sept-20	150.49	0.81934
oct-20	54.22	0.85350
nov-20	72.35	0.74499
dic-20	98.53	0.44801
ene-21	34.03	0.39304
feb-21	18.88	0.46031
mar-21	24.99	0.27575
abr-21	145.41	0.06907

may-21	108.95	0.14959
jun-21	262.67	0.28028
jul-21	91.76	0.87232
ago-21	179.56	0.31487
sept-21	96.49	1.13933
oct-21	66.15	0.72299
nov-21	54.80	0.23288
dic-21	36.98	0.97424
ene-22	72.75	0.42611
feb-22	62.70	0.25220
mar-22	105.83	0.21802
abr-22	157.48	0.17497
may-22	134.13	0.20210
jun-22	134.02	0.13277

Con estos datos se obtuvo un coeficiente de correlación de Spearman $r = -0.052$ lo cual indica que es una relación neutra (r muy cercano a 0).

Capítulo 6 CONCLUSIONES.

En el presente estudio se analizó la influencia del fenómeno de El Niño (ENSO) en las precipitaciones y consiguiente nivel del lago Huillinco, ubicado en la región de los lagos, Chile, durante el periodo noviembre 2018-junio 2022. Para ello, se procesaron datos de precipitación obtenidos desde 3 estaciones meteorológicas cercanas con el fin de estimar las cantidades precipitadas en el lago mediante el método de interpolación proporcional a la distancia.

Posterior a la estimación de las precipitaciones en la cuenca del lago se procedió a obtener los datos de nivel del lago Huillinco mediante altimetría satelital, mediante el software AITiS.

A continuación, se procedió a obtener datos correspondientes a la oscilación de ENSO para el periodo de estudio.

Una vez obtenidas todas las variables a estudiar se realizó el análisis de la correlación entre cada una de las variables (precipitaciones, nivel del lago Huillinco y oscilación de ENSO) mediante el uso del coeficiente de correlación de Spearman.

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguiente:

- 1) **Influencia de ENSO en las precipitaciones:** Se identificó que la relación entre la anomalía de ENSO y las precipitaciones es neutra, con un coeficiente de correlación de Spearman $r=0.0061$. Esto significa que el fenómeno de EL Niño no genera un impacto inmediato en las precipitaciones, tal como se evidencia en las gráficas, las cuales muestran un desfase de aproximadamente 3 meses en un impacto en las precipitaciones en la cuenca del lago Huillinco.
- 2) **Relación entre las precipitaciones y el nivel del lago Huillinco:** El análisis mostró que la correlación entre ambas variables también es neutra ($r=-0.0052$). Aunque después de los periodos de mayores precipitaciones se logra visualizar un alza en el nivel del lago, los valores de correlación de Spearman sugieren que otros factores pueden estar

influyendo en las fluctuaciones del nivel del agua, como pueden ser la morfología de la cuenca y los procesos de escorrentía.

- 3) **Relación entre ENSO y el nivel del lago Huillinco:** Se encontró un factor de correlación de Spearman que indica una correlación inversa fuerte ($r=0.86$) entre la oscilación de ENSO y el nivel del lago. Esto indica que la disminución de la temperatura media de la superficie del océano (entiéndase como fase de La Niña) tiende a coincidir con los niveles más altos del lago Huillinco, pero con unos meses de desfase.
- 4) **Validez del uso de altimetría satelital:** Los datos del lago Huillinco obtenidos mediante el software AITiS permitieron realizar un estudio detallado de sus variaciones en el tiempo, demostrando que la altimetría satelital es una herramienta útil en la caracterización hidrológica de cuerpos de agua sin registros in situ de su nivel.

En conclusión, el fenómeno de El Niño no mostró una correlación clara con las precipitaciones en la cuenca del lago Huillinco, pero si se evidenció una relación de carácter inverso con el nivel del lago. Esto pone de manifiesto la complejidad de la interacción ENSO y los sistemas lacustres en el sur de Chile, evidenciando la necesidad de estudios adicionales que integren más variedad de variables hidrológicas y climáticas para comprender la respuesta de la cuenca del lago Huillinco a las variaciones de ENSO.

Capítulo 7 REFERENCIAS

- Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K. E., Boyer, T., Mann, M. E., Zhu, J., Wang, F., Yu, F., Locarnini, R., Fasullo, J., Zheng, F., Li, Y., Zhang, B., Wan, L., Chen, X., Wang, D., Feng, L., Song, X., Liu, Y., ... Lu, Y. (2024). New Record Ocean Temperatures and Related Climate Indicators in 2023. *Advances in Atmospheric Sciences*, 41(6), 1068–1082. <https://doi.org/10.1007/s00376-024-3378-5>
- Frappart, F., Blarel, F., Fayad, I., Bergé-Nguyen, M., Crétaux, J. F., Shu, S., Schregenerberger, J., & Baghdadi, N. (2021). Evaluation of the performances of radar and lidar altimetry missions for water level retrievals in mountainous environment: The case of the swiss lakes. *Remote Sensing*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/rs13112196>
- Fuentes-Aguilera, P., Rodríguez-López, L., Bourrel, L., & Frappart, F. (2024). Recovery of Time Series of Water Volume in Lake Ranco (South Chile) through Satellite Altimetry and Its Relationship with Climatic Phenomena. *Water (Switzerland)*, 16(14). <https://doi.org/10.3390/w16141997>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Lu, G. Y., & Wong, D. W. (2008). An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers and Geosciences*, 34(9), 1044–1055. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.07.010>
- Maturana, J., Bello, M., & Manley, M. (2004). *Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. History and description of “El Niño, Southern Oscillation” phenomenon.*
- Sánchez-Villegas, A., Martín-Calvo, N., Gil-Conesa, M., & Martínez-González, M. Á. (2020). Correlación y regresión lineal simple. In M. Á. Martínez-González, A. Sánchez-Villegas, E. Toledo Atucha, & J. Faulin Fajardo (Eds.),



Bioestadística amigable (4.^a edición, pp. 281–323). <https://doi.org/https://dx-doi-org.bdigitaluss.remotexs.co/10.1016/B978-84-9113-407-7.00010-7>

(Cheng et al., 2024; Frappart et al., 2021; Fuentes-Aguilera et al., 2024; Lu & Wong, 2008)

Capítulo 8 ANEXOS

Tabla 9.- Datos de precipitaciones completados estaciones Cucao, Chonchi y Castro 2 para el periodo enero 2014- junio 2022. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos desde sistema hidrométrico DGA.

Fecha	CUCAO (mm)	CHONCHI (mm)	CASTRO 2 (mm)
ene-14	134.5	74.70	86.75
feb-14	104	34.90	67.08
mar-14	106.9	58.40	68.95
abr-14	113.3	91.10	73.08
may-14	258.9	176.90	166.99
jun-14	222	173.30	143.19
jul-14	278.3	170.20	179.50
ago-14	193	133.90	124.49
sept-14	206.5	128.80	104.50
oct-14	194.5	103.60	139.30
nov-14	90	53.70	53.40
dic-14	69.5	51.00	31.30
ene-15	35.5	5.11	6.30
feb-15	24.5	5.70	4.30
mar-15	159	58.20	88.80
abr-15	161.5	111.90	126.90
may-15	291	190.70	317.30
jun-15	243	138.00	201.40
jul-15	411.7	279.90	366.80
ago-15	289.5	193.40	255.50
sept-15	112.7	55.50	51.50
oct-15	77.8	42.50	41.90
nov-15	151	50.30	54.70
dic-15	134.7	65.00	44.50
ene-16	27.1	29.20	33.90
feb-16	56.2	27.10	0.40
mar-16	73.6	36.40	21.90
abr-16	99.7	86.00	64.31
may-16	46	65.50	40.60
jun-16	69.5	28.50	46.80
jul-16	160	134.80	190.00
ago-16	235.5	146.70	20.20
sept-16	140.3	58.00	90.49
oct-16	100.5	63.80	64.82
nov-16	76.2	44.20	49.15
dic-16	84	56.90	54.18
ene-17	125.4	71.50	2.20
feb-17	162.3	52.30	75.50
mar-17	140	61.49	75.80

abr-17	159.2	48.83	60.20
may-17	344.7	221.70	168.80
jun-17	347.8	241.60	244.30
jul-17	272.2	176.00	187.50
ago-17	448.5	364.40	353.70
sept-17	180.5	83.50	83.60
oct-17	290.3	136.90	157.00
nov-17	53	28.70	17.90
dic-17	257.3	66.00	53.50
ene-18	118.8	56.40	27.90
feb-18	63.8	21.70	15.20
mar-18	214.8	118.40	122.50
abr-18	237.9	108.40	130.50
may-18	212.7	126.20	155.20
jun-18	255.9	120.70	120.20
jul-18	112.5	73.00	117.10
ago-18	279.5	113.10	168.70
sept-18	287.6	151.70	166.30
oct-18	210.3	97.70	122.70
nov-18	220.6	120.60	133.50
dic-18	121.4	54.90	58.90
ene-19	121.2	40.90	22.90
feb-19	46.5	14.28	17.60
mar-19	107.5	47.30	36.80
abr-19	176.9	84.90	54.40
may-19	206	209.05	257.70
jun-19	271	54.20	96.70
jul-19	215.8	193.10	291.50
ago-19	149.6	128.20	144.30
sept-19	141.1	87.60	86.70
oct-19	188.2	105.60	122.70
nov-19	231.1	105.70	111.10
dic-19	136.8	42.40	51.70
ene-20	105.5	49.00	32.50
feb-20	87.2	61.50	54.90
mar-20	61	59.00	69.10
abr-20	204.7	139.10	179.10
may-20	311.5	152.30	167.20
jun-20	359.5	231.90	349.30
jul-20	239.5	179.10	226.10
ago-20	224.7	120.60	100.20
sept-20	206.7	145.60	106.50
oct-20	118.6	37.80	67.70
nov-20	146.6784	52.80	91.47
dic-20	199.7382	71.90	124.55



ene-21	99.2	21.09	26.00
feb-21	31	16.06	19.80
mar-21	36.6	22.06	27.20
abr-21	191	132.39	163.20
may-21	179.2	92.64	114.20
jun-21	637.2732	186.09	229.40
jul-21	181.2	72.52	89.40
ago-21	237.3	163.21	201.20
sept-21	187.5	76.82	94.70
oct-21	134.7	54.20	47.90
nov-21	110.2	43.10	52.10
dic-21	83.9	27.26	33.60
ene-22	96.7	66.03	81.40
feb-22	83.1	56.95	70.20
mar-22	172.4	90.29	111.30
abr-22	270.5	131.82	162.50
may-22	216.1	114.87	141.60
jun-22	242.7	109.92	135.50

Tabla 10.-Precipitaciones en el centroide del lago Huillinco para el periodo enero 2014-junio 2022. Fuente:
Elaboración propia

Fecha	Precipitaciones en el centroide(mm)
ene-14	85.62
feb-14	49.75
mar-14	67.35
abr-14	92.41
may-14	188.65
jun-14	177.32
jul-14	188.42
ago-14	142.09
sept-14	138.11
oct-14	122.32
nov-14	59.40
dic-14	51.52
ene-15	10.06
feb-15	8.50
mar-15	77.86
abr-15	121.57
may-15	222.00
jun-15	162.33
jul-15	311.33
ago-15	216.16
sept-15	64.05
oct-15	48.01
nov-15	66.75
dic-15	73.51
ene-16	29.44
feb-16	28.44
mar-16	40.51
abr-16	85.52
may-16	59.38
jun-16	37.21
jul-16	145.52
ago-16	145.30
sept-16	74.97
oct-16	69.72
nov-16	49.86
dic-16	60.85
ene-17	71.56
feb-17	72.51
mar-17	75.64
abr-17	67.66



may-17	234.68
jun-17	258.71
jul-17	192.61
ago-17	376.39
sept-17	98.84
oct-17	163.59
nov-17	31.22
dic-17	94.71
ene-18	62.78
feb-18	27.56
mar-18	134.13
abr-18	131.56
may-18	143.41
jun-18	142.00
jul-18	84.62
ago-18	146.18
sept-18	174.96
oct-18	118.54
nov-18	137.98
dic-18	65.90
ene-19	51.39
feb-19	19.77
mar-19	55.53
abr-19	95.72
may-19	214.50
jun-19	93.65
jul-19	208.69
ago-19	133.55
sept-19	95.94
oct-19	120.74
nov-19	126.18
dic-19	58.45
ene-20	55.92
feb-20	64.76
mar-20	60.55
abr-20	154.35
may-20	179.28
jun-20	266.39
jul-20	194.38
ago-20	134.56
sept-20	150.49
oct-20	54.22
nov-20	72.35
dic-20	98.53
ene-21	34.03



feb-21	18.88
mar-21	24.99
abr-21	145.41
may-21	108.95
jun-21	262.67
jul-21	91.76
ago-21	179.56
sept-21	96.49
oct-21	66.15
nov-21	54.80
dic-21	36.98
ene-22	72.75
feb-22	62.70
mar-22	105.83
abr-22	157.48
may-22	134.13
jun-22	134.02

Tabla 11.- Nivel lago Huillinco periodo noviembre 2018-junio 2022. Fuente elaboración propia con datos obtenidos mediante altimetría satelital.

date	nivel lago (metros)
04-12-2018	0.288199905
31-12-2018	0.333431044
27-01-2019	0.313175695
23-02-2019	0.279291263
22-03-2019	0.272738427
18-04-2019	0.623294656
15-05-2019	0.478357828
11-06-2019	1.010512415
08-07-2019	0.539510012
04-08-2019	0.854756594
31-08-2019	0.906775527
27-09-2019	0.294845184
24-10-2019	0.260822967
20-11-2019	0.469570427
17-12-2019	0.112373938
13-01-2020	0.338391923
09-02-2020	0.293187839
07-03-2020	0.088168621
03-04-2020	0.174155634
30-04-2020	0.479974587
27-05-2020	0.904234136
23-06-2020	1.243554364
20-07-2020	0.819342406
16-08-2020	0.853497716
12-09-2020	0.744990352
09-10-2020	0.448013872
05-11-2020	0.393037462
02-12-2020	0.460309898
29-12-2020	0.275747035
25-01-2021	0.069067061
21-02-2021	0.14959018
20-03-2021	0.280278338
16-04-2021	0.872320606
13-05-2021	0.314874578
09-06-2021	1.139329728
06-07-2021	0.722990275
02-08-2021	0.232882289
29-08-2021	0.974235135
25-09-2021	0.426114311
22-10-2021	0.252204097



18-11-2021	0.218016106
15-12-2021	0.174971368
11-01-2022	0.202104661
07-02-2022	0.132765666
06-03-2022	0.50762602
02-04-2022	0.318579164
29-04-2022	1.204026484
26-05-2022	0.87774828
22-06-2022	0.484619325
19-07-2022	0.808555479
15-08-2022	1.234068817
11-09-2022	0.431691202
08-10-2022	0.739095689
04-11-2022	0.360422104
01-12-2022	0.172049334
28-12-2022	0.234253931
24-01-2023	0.389317839
20-02-2023	0.468315285
19-03-2023	0.475532532
15-04-2023	0.378676584
12-05-2023	0.496871412
08-06-2023	1.307234938
05-07-2023	1.267964067
01-08-2023	1.177457874
28-08-2023	0.58476592
24-09-2023	0.503426599
21-10-2023	0.101568784
17-11-2023	0.97151011
14-12-2023	0.121842227
10-01-2024	0.090113347
06-02-2024	0.088556963
04-03-2024	0.032346578
31-03-2024	0.298287759
27-04-2024	0.629200588
24-05-2024	0.374885791

Tabla 12.- Anomalía ENSO zona 3.4 y su denominación periodo enero 2014-junio 2022. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos desde NOAA

Fecha	Anomalía ENSO 3.4 (°C)	Tipo de niño/a
ene-14	-0.49	neutro
feb-14	-0.62	neutro
mar-14	-0.28	neutro
abr-14	0.08	neutro
may-14	0.32	neutro
jun-14	0.23	neutro
jul-14	-0.06	neutro
ago-14	-0.03	neutro
sept-14	0.29	neutro
oct-14	0.44	neutro
nov-14	0.75	niño débil
dic-14	0.71	niño débil
ene-15	0.51	niño débil
feb-15	0.42	neutro
mar-15	0.47	neutro
abr-15	0.7	niño
may-15	0.92	niño débil
jun-15	1.18	niño moderado
jul-15	1.46	niño moderado
ago-15	1.93	niño fuerte
sept-15	2.21	niño muy fuerte
oct-15	2.36	niño muy fuerte
nov-15	2.72	niño muy fuerte
dic-15	2.66	niño muy fuerte
ene-16	2.57	niño muy fuerte
feb-16	2.26	niño muy fuerte
mar-16	1.62	niño fuerte
abr-16	0.91	niño débil
may-16	0.3	neutro
jun-16	-0.03	neutro
jul-16	-0.48	neutro
ago-16	-0.58	niña débil
sept-16	-0.58	niña débil
oct-16	-0.74	niña débil
nov-16	-0.76	niña débil
dic-16	-0.5	niña débil
ene-17	-0.43	neutro
feb-17	-0.08	neutro
mar-17	0.03	neutro
abr-17	0.22	neutro

may-17	0.37	neutro
jun-17	0.34	neutro
jul-17	0.25	neutro
ago-17	-0.16	neutro
sept-17	-0.43	neutro
oct-17	-0.56	niña débil
nov-17	-0.97	niña débil
dic-17	-0.98	niña débil
ene-18	-0.98	niña débil
feb-18	-0.78	niña débil
mar-18	-0.8	niña débil
abr-18	-0.51	niña débil
may-18	-0.2	neutro
jun-18	0.04	neutro
jul-18	0.12	neutro
ago-18	0.09	neutro
sept-18	0.47	neutro
oct-18	0.9	niño débil
nov-18	0.9	niño débil
dic-18	0.89	niño débil
ene-19	0.65	niño débil
feb-19	0.71	niño débil
mar-19	0.81	niño débil
abr-19	0.62	niño débil
may-19	0.55	niño débil
jun-19	0.45	neutro
jul-19	0.35	neutro
ago-19	0.04	neutro
sept-19	0.03	neutro
oct-19	0.48	neutro
nov-19	0.52	niño débil
dic-19	0.52	niño débil
ene-20	0.6	niño débil
feb-20	0.37	neutro
mar-20	0.48	neutro
abr-20	0.36	neutro
may-20	-0.27	neutro
jun-20	-0.34	neutro
jul-20	-0.3	neutro
ago-20	-0.59	niña débil
sept-20	-0.83	niña débil
oct-20	-1.26	niña moderada
nov-20	-1.42	niña moderada
dic-20	-1.15	niña moderada
ene-21	-1	niña moderada

feb-21	-1	niña moderada
mar-21	-0.8	niña débil
abr-21	-0.72	niña débil
may-21	-0.46	neutro
jun-21	-0.28	neutro
jul-21	-0.39	neutro
ago-21	-0.53	niña débil
sept-21	-0.55	niña débil
oct-21	-0.94	niña débil
nov-21	-0.94	niña débil
dic-21	-1.06	niña moderada
ene-22	-0.94	niña débil
feb-22	-0.89	niña débil
mar-22	-0.97	niña débil
abr-22	-1.11	niña moderada
may-22	-1.11	niña moderada
jun-22	-0.75	niña débil

Tabla 13.- Datos de precipitación, anomalía y nivel del lago para el periodo noviembre 2018- junio 2022 utilizados para el análisis. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Sistema Hidrométrico DGA, NOAA y altimetría respectivamente.

Fecha	Precipitaciones. en el centroide(mm)	anomalía(°C)	nivel lago (m)
nov-18	137.98	0.9	0.288
dic-18	65.90	0.89	0.333
ene-19	51.39	0.65	0.313
feb-19	19.77	0.71	0.279
mar-19	55.53	0.81	0.273
abr-19	95.72	0.62	0.623
may-19	214.50	0.55	0.478
jun-19	93.65	0.45	1.011
jul-19	208.69	0.35	0.540
ago-19	133.55	0.04	0.855
sept-19	95.94	0.03	0.907
oct-19	120.74	0.48	0.295
nov-19	126.18	0.52	0.261
dic-19	58.45	0.52	0.470
ene-20	55.92	0.6	0.112
feb-20	64.76	0.37	0.338
mar-20	60.55	0.48	0.293
abr-20	154.35	0.36	0.088
may-20	179.28	-0.27	0.174
jun-20	266.39	-0.34	0.480
jul-20	194.38	-0.3	0.904
ago-20	134.56	-0.59	1.244
sept-20	150.49	-0.83	0.819
oct-20	54.22	-1.26	0.853
nov-20	72.35	-1.42	0.745

dic-20	98.53	-1.15	0.448
ene-21	34.03	-1	0.393
feb-21	18.88	-1	0.460
mar-21	24.99	-0.8	0.276
abr-21	145.41	-0.72	0.069
may-21	108.95	-0.46	0.150
jun-21	262.67	-0.28	0.280
jul-21	91.76	-0.39	0.872
ago-21	179.56	-0.53	0.315
sept-21	96.49	-0.55	1.139
oct-21	66.15	-0.94	0.723
nov-21	54.80	-0.94	0.233
dic-21	36.98	-1.06	0.974
ene-22	72.75	-0.94	0.426
feb-22	62.70	-0.89	0.252
mar-22	105.83	-0.97	0.218
abr-22	157.48	-1.11	0.175
may-22	134.13	-1.11	0.202
jun-22	134.02	-0.75	0.133