

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EL NIÑO- OSCILACIÓN DEL SUR Y LA TEMPERATURA EN
LOS ANDES TROPICALES”**

AUTOR: Juan Neil Mendoza Nolorbe

ADMINISTRATIVO DE APOYO: Zoila María Pebes Paucar De Carmen

(PERIODO DE EJECUCIÓN: Del 01 de febrero del 2023 al 31 de enero del 2024)

(Resolución de aprobación N° 104-2023-R)

Callao, 2023

PERÚ

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mi esposa Violeta por haber sido una buena compañera, que Dios la te tenga en su gloria. A mis hijos Juan y Gabriela a los que amo mucho. A mis padres Salvit y Juan que siempre muestran interes en las actividades que realizo.

AGRADECIMIENTO

Se agradece al programa de la NASA – Earth Data, que a través de su plataforma web GIOVANNI se pueden descargar los datos de la temperatura del aire cercano a la superficie a diferentes altitudes geopotenciales, <https://giovanni.gsfc.nasa.gov>. A la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) por los datos del índice de El Niño 3.4. A las persona y científicos que hicieron posible la plataforma web Kaggle – Google LCC y a todos aquellos que producen conocimientos y lo ponen a disposición de la comunidad académica de modo gratuito. Finalmente, a la Universidad Nacional del Callao por el financiamiento del trabajo de investigación.

INFORMACIÓN BÁSICA

1. FACULTAD:
INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

2. UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:
INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

3. TITULO:
“EL NIÑO- OSCILACIÓN DEL SUR Y LA TEMPERATURA EN LOS ANDES TROPICALES”

4. AUTOR:
MG. JUAN NEIL MENDOZA NOLORBE
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6714-5640>
DNI: 25760992

5. LUGAR DE EJECUCIÓN: CALLAO

6. UNIDAD DE ANÁLISIS: PÍXELES IMÁGENES SATELITALES

7. TIPO/ENFOQUE/DISEÑO:
APLICADA/CUANTITATIVO/NO EXPERIMENTAL

8. TEMA OCDE: 1.05.10 INVESTIGACIÓN CLIMÁTICA

Índice

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO	4
Índice	6
Índice de figuras.....	8
Índice de cuadros.....	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1. Descripción de la realidad problemática	13
1.2. Formulación del problema	13
1.2.1. Pregunta general.....	13
1.2.1. Preguntas específicas.....	13
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. Objetivo General.....	14
1.3.2. Objetivos Específicos.....	14
1.4. Justificación	14
1.5. Limitantes de la investigación.....	15
II. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes.....	16
2.2. Bases teóricas.....	19
2.2. Marco Conceptual	21
2.3. Definición de términos básicos	22
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	23

3.1. Hipótesis.....	23
Hipotesis general	23
Hipótesis específicas	23
3.1.1. Operacionalización de variable.....	23
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO	24
4.1. Diseño metodológico.....	24
4.2. Método de investigación	24
4.3. Población y muestra.....	25
4.4. Lugar de estudio.....	26
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	31
4.6. Análisis y procesamiento de datos	31
V. RESULTADOS	32
5.1. Resultados descriptivos de las series de tiempo	32
5.2. Resultados de la tendencia de la temperatura AIRS	44
VI. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	50
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	50
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios	52
6.3. Responsabilidad Ética.....	52
VII. CONCLUSIONES	52
VIII. RECOMENDACIONES	53
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	54

Índice de figuras

Figura 1. Tres regiones de interes de los andes peruanos.....	26
Figura 2. Región 1- Parque Nacional Huascarán.....	27
Figura 3. Región 2- Cordillera de los Andes de Ayacucho y Huancavelica .	28
Figura 4. Región 3- Cordillera de los Andes de Cusco - Abancay	29
Figura 5. Región El Niño 3.4	30
Figura 6. Serie de tiempo de la temperatura del mar Niño 3.4	32
Figura 7. Anomalía de la temperatura del mar y El Niño – La Niña	33
Figura 8. . Temperatura AIRS de la Región 1	35
Figura 9. Anomalía de la Temperatura AIRS de la Región 1	36
Figura 10. Variación estacional de la Temperatura AIRS de la Región 1	37
Figura 11. Temperatura AIRS de la Región 2	38
Figura 12. Anomalía de la temperatura AIRS de la Región 2.....	39
Figura 13. Variación estacional de la temperatura AIRS - Región 2.....	40
Figura 14. Temperatura AIRS - Región 3.....	41
Figura 15. Anomalía de Temperatura AIRS - Región 3	42
Figura 16. Variación estacional de la temperatura AIRS - Región 3	43
Figura 17. Potencia espectral Temperatura diurna - 300hPa - Región 1.....	44
Figura 18. Tendencia Temperatura AIRS - Región 1.....	47
Figura 19. Tendencia Temperatura AIRS - Región 2.....	48
Figura 20. Tendencia Temperatura AIRS - Región 3.....	49

Índice de cuadros

Tabla 1. Resumen estadístico de la serie de tiempo de la región 1	34
Tabla 2. Resumen estadístico de la Temperatura AIRS -Región 2	38
Tabla 3. Resumen estadístico de la Temperatura AIRS -Región 3	41
Tabla 3. Tasa de variación Temperatura AIRS – Niño 2009/2010	45
Tabla 5. Tasa de variación Temperatura AIRS – Niño 2015/2016	45
Tabla 6. Tasa de variación Temperatura AIRS – Niña 2007/2008	46
Tabla 7. Tasa de variación Temperatura AIRS – Niña 2010/2011	46

RESUMEN

En el siguiente estudio se plantea relacionar los eventos de El Niño – La Niña ocurridos durante el periodo 09/2002 – 09/2023 con las variaciones de la temperatura del aire cercano a la superficie medidos por la sonda microonda infrarroja (AIRS) montados sobre el satélite AQUA, se hace un estudio para las temperaturas diurnas y nocturnas y para diferentes altitudes geopotenciales, 300hPa, 400hPa y 500hPa.

Se calcularon las anomalías de la temperatura del mar en la zona Niño3.4, para el periodo 09/2002 – 09/2023 , a una escala mensual y se identificaron cuatro eventos: La Niña 2007/2008, La Niña 2010/2011, El Niño 2009/2010 y El Niño 2015/2016.

Se analizó la variación estacional y la tendencia de los datos de temperatura del aire cercano a la superficie – AIRS, para diferentes alturas geopotencial 300hPa, 400hPa y 500hPa, sobre tres regiones de $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ sobre los andes tropicales peruanos. Los resultados muestran que existe una influencia muy marcada de los eventos El Niño – La Niña sobre la temperatura del aire, en gran medida sobre el aire a una altitud de 300hPa. Durante los eventos La Niña la temperatura del aire descendió en promedio a una tasa de $-0.0614^{\circ}\text{C}/\text{mes}$ y durante los eventos El Niño la temperatura del aire se incremento a una tasa promedio de $0.0509^{\circ}\text{C}/\text{mes}$

Palabras Claves: Temperatura del aire, Temperatura del mar, El Niño, AIRS

ABSTRACT

El Niño – La Niña events that occurred during period 09/2002 – 09/2023 is related with the temperature of the air near the surface measured by the infrared microwave probe (AIRS – AQUA), day and night temperatures and different geopotential altitudes, 300hPa, 400hPa and 500hPa.

Superficial sea temperature anomalies in the Niño3.4 zone were calculated, for the period 09/2002 – 09/2023, on a monthly scale and four events were identified: La Niña 2007/2008, La Niña 2010/2011, El Niño 2009/2010 and El Niño 2015/2016.

Seasonal variation and trend of near-surface air temperature data - AIRS, for different geopotential heights 300hPa, 400hPa and 500hPa, over three areas of $2^\circ \times 2^\circ$ over the Peruvian tropical Andes was analyzed. The results show that there is a very marked influence of El Niño – La Niña events on air temperature, largely on air at an altitude of 300hPa. During La Niña events the air temperature dropped at a rate of $-0.0614^\circ\text{C}/\text{month}$ and during El Niño events the air temperature increases at an average rate of $0.0509^\circ\text{C}/\text{month}$.

Key Words: Air temperature, Sea temperature, El Niño, AIRS

INTRODUCCIÓN

La temperatura es un indicador clave en los estudios del cambio climático, hacer un análisis de sus patrones de variación espacial y temporal podría ayudar como indicadores para la toma de decisiones de la población y de los gobiernos locales y regionales. Este trabajo intenta contribuir en encontrar esos indicadores o patrones en el tiempo desde un punto de vista estadístico, que contribuya a la sociedad.

El presente trabajo de investigación analiza la relación entre los eventos de El Niño – La Niña ocurridos durante el periodo 09/2002 – 09/2023 con las variaciones de la temperatura del aire cercano a la superficie medidos por la sonda microonda infrarroja (AIRS – AQUA), se hace un análisis de las variaciones temporales de las temperaturas diurnas y nocturnas y para diferentes altitudes geopotenciales, 300hPa, 400hPa y 500hPa. Se obtienen las tendencias para estimar la tasa de variación durante los eventos el Niño.

En el primer capítulo del informe se expresan la realidad problemática, se formulan los problemas de investigación, los objetivos y la justificación. En el segundo capítulo se revisa el marco teórico, expresando los antecedentes necesarios para la discusión de los resultados. En el tercer capítulo se expresa las hipótesis y las variables con las que se trabajará. En el cuarto capítulo se expresa la metodología empleada. En el quinto capítulo se muestran los resultados, en el capítulo seis se hace la discusión de los resultados en base a las referencias citadas, en el capítulo 7 se expresan las conclusiones, finalmente en el capítulo ocho se dan recomendaciones para seguir ampliando el tema.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La temperatura es un indicador clave del cambio climático, conocer su variación espacial y temporal permite comprender mejor los patrones de cambio y pronosticar eventos con graves repercusiones en la ecología y las condiciones socioeconómicas de una zona. En la actualidad no se conoce con precisión como los eventos El Niño – La Niña impactan sobre la temperatura del aire a diferentes altitudes sobre los andes tropicales peruanos.

1.2. Formulación del problema

De acuerdo a lo descrito en la realidad problemática se presenta a continuación las preguntas de investigación.

1.2.1. Pregunta general

- ¿Cuál es la relación de los eventos de El Niño – La Niña sobre la temperatura del aire cercano a la superficie en los andes tropicales peruanos, en el periodo 09/2002 – 09/2023?

1.2.1. Preguntas específicas

- ¿Cuáles son los eventos del El Niño que se pueden identificar con la anomalía de la temperatura del mar en la zona 3°4', en el periodo 09/2002 – 09/2023?
- ¿Cuáles son los patrones cíclicos y tendencia de la serie de tiempo de temperatura del aire cercano a la superficie en los andes tropicales peruanos, para diferentes altitudes?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Analizar la relación entre la serie de tiempo de las anomalías de la temperatura del aire cercano a la superficie en los andes tropicales peruanos y los eventos de El Niño – La Niña ocurridos en el periodo 09/2002 – 09/2023

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los eventos de El Niño – La Niña en la serie de tiempo de la anomalía de la temperatura superficial del mar en la región 3.4.
- Determinar los patrones cíclicos y tendencia de la serie de tiempo de temperatura del aire cercano a la superficie en los andes tropicales peruanos.

1.4. Justificación

La temperatura es un indicador clave en los estudios del cambio climático, hacer un análisis de sus patrones de variación espacial y temporal podría ayudar como indicadores para la toma de decisiones de la población y de los gobiernos locales y regionales, sobre todo prepararse para el impacto de desastres naturales, aunque en la mayoría de los casos es inevitable. Este trabajo intenta contribuir en encontrar esos indicadores o patrones en el tiempo desde un punto de vista estadístico, que contribuya a la sociedad.

1.5. Limitantes de la investigación

La presente investigación tiene un alcance sobre ciertas regiones de los andes tropicales, utilizando la temperatura del aire cercano a la superficie a diferentes altitudes en modo diurno y nocturno, con frecuencia mensual, en un periodo de 09/2002 a 09/2023, medidos por la sonda de microonda infrarroja montada en el satélite Aqua. Se utilizó específicamente la versión AIRS3STM v7.0. Por otro lado, se utilizó solo los datos de las anomalías de temperatura de la superficie del mar en las regiones 3.4. Los datos observan la fenomenología a una escala espacial de $1^\circ \times 1^\circ$, considerada una escala global, por lo que los fenómenos locales o puntuales a escalas de tiempo más pequeñas no son desarrollados. Los escasos y la dificultad del acceso a datos de estaciones en tierra, son una dificultad importante en el momento de hacer validaciones en caso de hacer análisis cuantitativos de alta precisión y de pronóstico. Existen variables que no han sido incorporadas en el trabajo como la velocidad del viento, la irradiación solar, la precipitación, entre otros; dejando el estudio abierto para una mayor comprensión de la fenomenología y el cambio climático sobre el Perú.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Internacionales:

Con datos históricos de la temperatura del aire cercano a la superficie, desde 1861 – 1997, a nivel global, a una resolución espacial de $1^\circ \times 1^\circ$ se calculó la climatología en base al periodo 1961 – 1990, obteniendo que la temperatura global promedio fue de 14.6° en el hemisferio norte y 13.4° en el hemisferio sur. La temperatura global se incrementó en 0.62° en el periodo de 1901 – 1997, siendo ligeramente mayor en el hemisferio sur que en el hemisferio norte. Los patrones de calentamiento en el hemisferio norte en los periodos de mayor calentamiento fueron en las estaciones de diciembre – enero – febrero y marzo – abril – mayo. En el periodo de 1950 – 1993 el calentamiento ocurrió con mayor fuerza durante la noche que durante el día. En una escala interanual la anomalías de temperatura media anual presentaron una desviación estándar de 0.05° , [1].

La temperatura del aire cercano a la superficie en el articulo es un indicador del cambio climático global y regional, aunque la temperatura del aire a nivel regional presente diferencias entre año y año, su magnitud, persistencia y patrones en el incremento de la temperatura son indicadores del cambio climático a nivel global. Existe una relación lineal entre el cambio de temperatura global y la declinación del área de hielo en el ártico, sugiriendo ser un forzante climático directo. De manera similar el enverdecimiento de la tundra ártica, especialmente en la costa y la pérdida de masa de los glaciares están relacionados con el incremento de temperatura [2] .

En la república Tunecina o Túnez se determinaron tendencias temporales y espaciales de seis series de tiempo para un periodo 2003 – 2021, encontrando variaciones similares, con tendencia a disminuir en enero y aumentar en julio. Las comparaciones entre los datos de la temperatura cercana a la superficie

medida por estaciones in situ y por satélite con la sonda infrarroja atmosférica (AIRS, Atmospheric InfraRed Sounder) mostraron una estrecha concordancia con coeficientes de correlación superiores a 0.940, [3].

En cinco zonas de Pakistán se evaluaron las tendencias de las temperaturas máximas y mínimas y se compararon los datos terrestres con datos satelitales de AIRS. Se utilizó la prueba de Mann Kendall para indicar las tendencias de temperatura en las cinco zonas y estaciones, para medir la magnitud de las tendencias se utilizó la pendiente de Sen para el período 1978 a 2016. Para la comparación entre los datos de estaciones in situ y de satélite se ha calculado la correlación y el error medio del sesgo. Los resultados muestran que los datos AIRS subestima los valores máximos y mínimos, el análisis de tendencia muestra un incremento en la temperatura máxima en $0.026\text{ }^{\circ}\text{C/año}$ con una tasa máxima de $0.05\text{ }^{\circ}\text{C/año}$ durante el pre-monsoón, el incremento de la temperatura mínima es $0.027\text{ }^{\circ}\text{C/año}$. [4]

En la ciudad de Israel se ha analizado la correlación entre los datos de la temperatura del aire cercano a la superficie (TA) medido por 39 estaciones meteorológicas y la temperatura de brillo (TB) medido por satélites en un período de 1984 – 2015. Se usaron modelos de regresión mixtos con pendientes aleatorias diarias para correlacionar los datos de TB del satélite Landsat con los datos de TA de estación, encontrando coeficientes de correlación del orden de 0.9, lo que posteriormente es usado para estimar el cambio temporal de la TA para julio-agosto en períodos 1984–1992, 1998–2003 y 2013–2015. La TA media para 1984-1992 es de $29.81\text{ }^{\circ}\text{C}$, con un ligero aumento a $30.19\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 1998-2003 y a $30.54\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 2013-2015, [5].

La conexión entre El Niño - Oscilación del Sur (ENSO) caracterizado por el Índice de Oscilación del Sur (SOD) y la temperatura global del aire (GAT) han sido estudiados a nivel global, para diferentes dominios de tiempo y frecuencia, utilizando modelos deterministas, se ha encontrado una correlación lineal entre SOI y GAT. La contribución de ENSO a la variación general del GAT es de 35% para frecuencias bajas, entre 0,1 y 0,2 ciclos/año y para frecuencias más altas la contribución disminuye a alrededor del 10%. Un cambio de unidad en SOI provoca un cambio de $0,13^{\circ}\text{C}$ en la temperatura global del aire, [6].

En siete regiones homogéneas de la India (Himalaya occidental, noroeste, centro-norte, noreste, costa este, costa oeste y península interior) se evaluaron las tendencias estacionales y anuales de la temperatura del aire cercano a la superficie durante tres períodos: 1901-2007, 1971-2007 y 1998. -2007, se observó una influencia significativa de los eventos de El Niño y la Oscilación del Sur en las anomalías de temperatura durante ciertas estaciones en toda la India, [7].

En América del Sur se investigaron los modos anómalos estacionales dominantes de la temperatura del aire en superficie durante el período 1951-2010. Se discutieron las características de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) y no ENSO de los modos anómalos de la temperatura del aire y las anomalías asociadas de precipitación y advección de temperatura. Los resultados de este trabajo indican estacionalidad y dependencias regionales de los mecanismos termodinámicos que causan las anomalías de la temperatura del aire cercano a la superficie asociadas con el ENSO, [8].

2.2. Bases teóricas

Temperatura del aire cercano a la superficie

La temperatura del aire cercano a la superficie está relacionado con la energía cinética molecular del aire que está sobre la superficie del suelo, esta temperatura se puede medir a diferentes altitudes usando sondas de microondas infrarrojas montadas sobre una plataforma satelital.

Sonda Microonda Infrarroja AIRS

La sonda microonda infrarroja del satélite Aqua administrada por la NASA, registra la energía infrarroja emitida desde la superficie y la atmósfera de la Tierra a diferentes alturas geopotenciales de modo diario. Con sus datos se pueden hacer perfiles tridimensionales de temperatura y vapor de agua a través de la columna atmosférica. Muchos centros de predicción meteorológica alrededor del mundo utilizan los datos de AIRS para realizar pronósticos. También se utilizan para evaluar la capacidad de los modelos climáticos. Los datos de AIRS están mejorando los pronósticos meteorológicos y avanzando en nuestra comprensión del clima de la Tierra.

Eventos El Niño – La Niña

Aproximadamente cada tres a siete años, las aguas superficiales del Océano Pacífico Tropical se vuelven extremadamente cálidas lo que provoca cambios en la ecología local y regional y está claramente vinculado con patrones climáticos globales anormales. Históricamente, "El Niño" fue el término que le dieron los pobladores del Norte del Perú a la aparición de agua inusualmente cálida frente a la costa cerca de la época navideña, en la actualidad se reconoce que esos cambios son mucho más amplios y ocurren en toda la cuenca del Pacífico.

Las condiciones oceánicas y atmosféricas en el Pacífico Tropical fluctúan de manera algo irregular entre fases cálidas de El Niño y fases frías a las que se

denominan La Niña. Se han hecho registros de estos eventos que pueden durar cerca de un año.

El fenómeno de El Niño está vinculado a importantes cambios en la atmósfera conocidos como Oscilación del Sur (OS). La comunidad científica llaman a todo el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). Durante El Niño, se desarrollan en ciertos lugares fuertes precipitaciones e inundaciones y en otros lugares se desarrollan condiciones más secas o incluso sequías. Las regiones que típicamente son secas durante los eventos de El Niño tienden a volverse excesivamente húmedas durante los eventos de La Niña, y viceversa.

2.2. Marco Conceptual

La principal variable en este trabajo de investigación es la temperatura, considerada una variable física de los cuerpos o sistemas físicos relacionada con la energía cinética de los constituyentes de la materia o de los sistemas. Sin embargo de acuerdo a su tipo de medición da origen a diferentes tipos de temperatura que es necesario conceptualizarlo.

Temperatura

La temperatura es una cantidad física escalar esta relacionada con la sensación de caliente o frío, termómetro. Esta relacionada con la energía cinética que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida que sea mayor la energía cinética de un sistema, se observa que este se encuentra a mayor temperatura.

Temperatura atmosférica

La temperatura atmosférica se refiere a la temperatura del aire en un lugar o altura determinada. Esta temperatura constituye una de las medidas meteorológicas más importante con respecto al clima de un lugar.

Temperatura máxima

Es el mayor valor que registra la temperatura en un intervalo de tiempo, así por ejemplo la mayor temperatura del aire alcanzada en un día es denominada máxima diaria, en un mes se denomina máxima mensual y en un año se denomina máxima anual. También puede referirse a la temperatura máxima registrada en un lugar durante mucho tiempo (máxima absoluta).

2.3. Definición de términos básicos

Temperatura del aire cercano a la superficie

Es la temperatura del aire medido a diferentes altitudes, se puede medir tanto de día como de noche. Cuando se mide con el sensor AIRS se le llama temperatura AIRS.

Anomalía de temperatura

En este trabajo la anomalía de la temperatura hace referencia la resta de la temperatura respecto a un valor promedio de toda la serie de tiempo o de algún periodo determinado

Temperatura de la superficie del mar

Es la temperatura en la superficie del agua de mar, las medidas realizadas por satélites registra la temperatura de la superficie a una profundidad de 1mm aproximadamente.

Tasa de variación

Es el cambio que ocurre de un valor en un intervalo de tiempo. En el presente trabajo se hará mención a la tasa de variación de la temperatura en un mes, cuando la tasa es positiva esta relacionado con un incremento, mientras que para tasas de variación negativas están relacionadas con una disminución o descenso de la temperatura.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Hipotesis general

- Existe una relación entre la temperatura del aire cercano a la superficie y los eventos El Niño – La Niña en la región 3.4.

Hipótesis específicas

- Existe una patron estacional de la temperatura del aire cercano a la superficie, con valores máximos y mínimos que pueden estimarse, en el periodo de estudio.
- La anomalía de la temperatura del mar en la región 3.4, sigue un patrón ciclico, con tendenciad que permiteen identificar eventos fuertes y moderados de El Niño – La Niña, que afectan el clima en los andes tropicales peruanos.

3.1.1. Operacionalización de variable

Variable Independiente (X)

La variable independiente es la anomalía de temperatura de la superficie del mar en la región 3.4 o el índice de Niño 34, que permite identificar diferentes eventos moderados y fuerte de El Niño – La Niña

X = índice de Niño 34 (en °C)

Variable Dependiente (Y)

La variable dependiente es la temperatura del aire cercano a la superficie en tres regiones de los andes tropicales peruanos.

Y = temperatura del aire cercano a la superficie (en °C)

Las variables X e Y se miden en una frecuencia mensual desde el 09/2009 al 09/2023 y se busca establecer relaciones entres estas variables.

X --> Y

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

La siguiente investigación es del tipo básica porque su propósito es comprender y ampliar nuestros conocimientos sobre el fenómeno de El Niño y la temperatura AIRS sobre los andes tropicales. El nivel de investigación es de nivel descriptivo por que se describe las tendencias de los valores máximos y mínimos de la temperatura del aire cercano a la superficie para diferentes altitudes geopotenciales (500 hPa, 400 hPa y 300 hPa). La investigación también es relacional, pues busca encontrar una relación entre el fenómeno de El Niño y la variabilidad temporal de la temperatura AIRS. La investigación tiene un diseño no experimental pues se utilizan los datos satelitales registrados en el periodo de 09/2009 – 09/2023, y no se hace manipulación de las variables estudiadas.

4.2. Método de investigación

La metodología empleada comprende:

1. Se acopió información en la literatura científica pertinente para el marco teórico, marco metodológico y construcción de los resultados obtenidos en el trabajo.
2. Se descargaron los datos de la temperatura cercana a la superficie medidos por el sensor AIRS para tres regiones andinas, para tres alturas geopotenciales de 500hPa, 400hPa y 300hPa. Los datos son de frecuencia mensual comprendidos entre 09/2009 – 09/2023, tanto diurnos como nocturnos. Estos fueron descargados de la plataforma web Giovanni administrada por la NASA, <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>.
3. Se descargaron los datos de temperatura de la superficie del mar en la región Niño 3.4. Los datos son de frecuencia mensual comprendidos entre

09/2009 – 09/2023. Estos fueron descargados del laboratorio de ciencias físicas de la NOAA, <https://psl.noaa.gov/>.

4. Se descompuso la serie de tiempo de la temperatura AIRS, considerando un modelo suma con tres componentes “estacional”, “tendencia” y “error”, identificando el periodo principal de la serie, las tendencias máximas y mínimas.
5. Se analizo los valores máximos y mínimos anuales de la temperatura AIRS diurna y nocturna. Se realizo intercomparaciones entre las series de datos diurnas y nocturnas. Se identifico las tendencias y valores atípicos.
6. Se calculó las anomalías de la temperatura superficial del mar de la región 3.4., identificado los eventos moderado y fuerte de El Niño – La Niña.
7. Se analizó la relación entre la tendencia de los valores máximo y mínimo de la temperatura AIRS con los eventos moderado y fuerte de El Niño – La Niña, ocurrido en el periodo de análisis.

4.3. Población y muestra

La población es todo el área plana que cubre los andes peruanos, el cual se divide en áreas elementales. El numero de áreas elementales que conforma el área total depende de las dimensiones del área elemental elegida, lo que a su vez depende la resolución espacial de los datos satelitales. Para el siguiente estudio el área total se dividió en áreas de $1^\circ \times 1^\circ$ (aprox. $12\,300\text{ km}^2$). Se hizo un muestreo no probabilístico, seleccionando áreas formadas por cuatro áreas elementales denominadas Región 1, Región 2 y Región 3, cada uno con un área total de $2^\circ \times 2^\circ$ (aprox. $49\,200\text{ km}^2$).

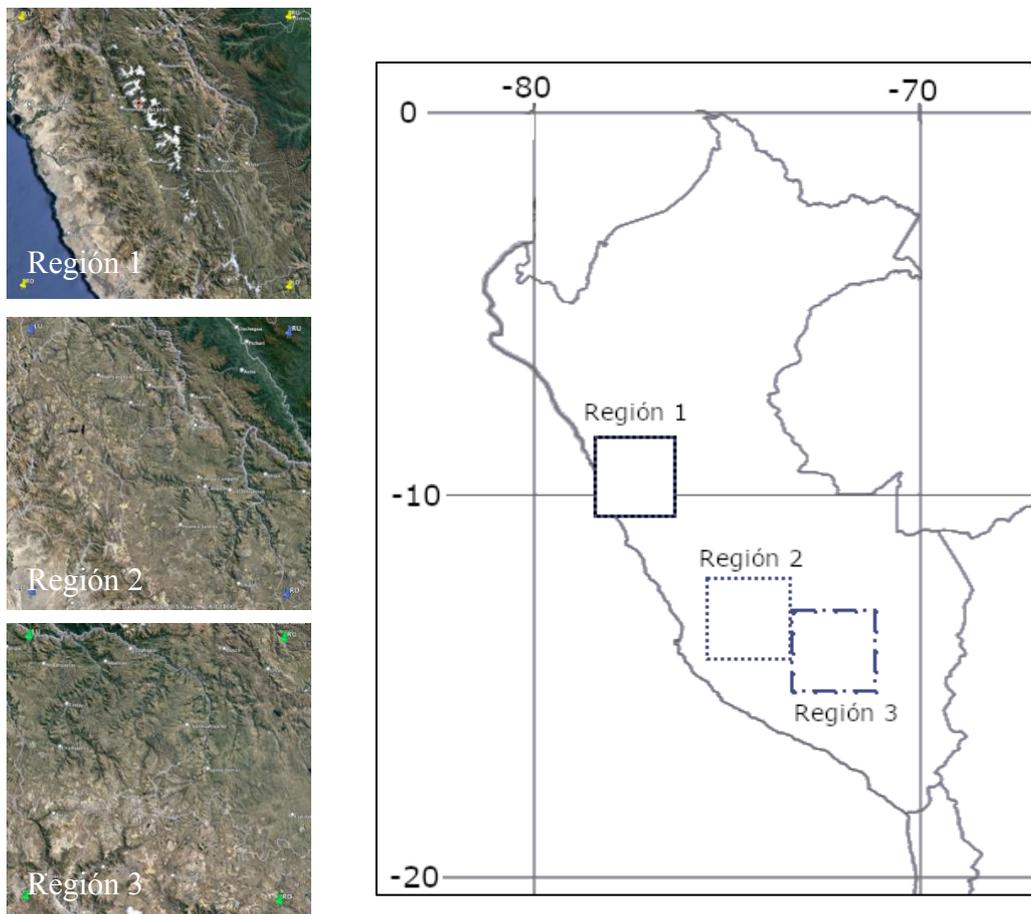
4.4. Lugar de estudio

El lugar de estudio comprende dos zonas:

Zona Andina

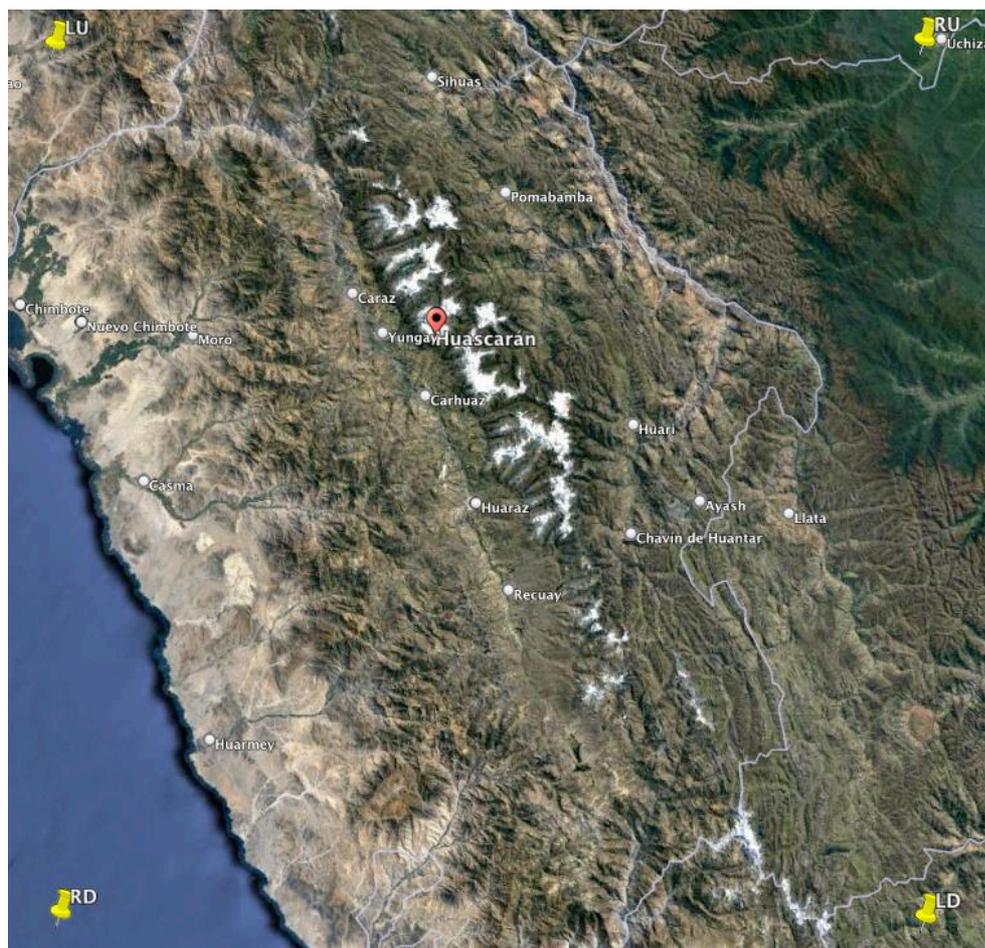
El área de estudio esta conformado por tres regiones andinas cuyos límites geográficos de longitud y latitud son: Región 1 [-78.5; -10.5; -76.5; -8.5], Región 2 [-75.5; -14.5; -73.5; -12.5] y Región 3 [-73.5; -15.5; -71.5; -13.5], cada uno con un área de 2° x 2° (aprox. 49 200 km²), Figura 1.

Figura 1. Tres regiones de interes de los andes peruanos



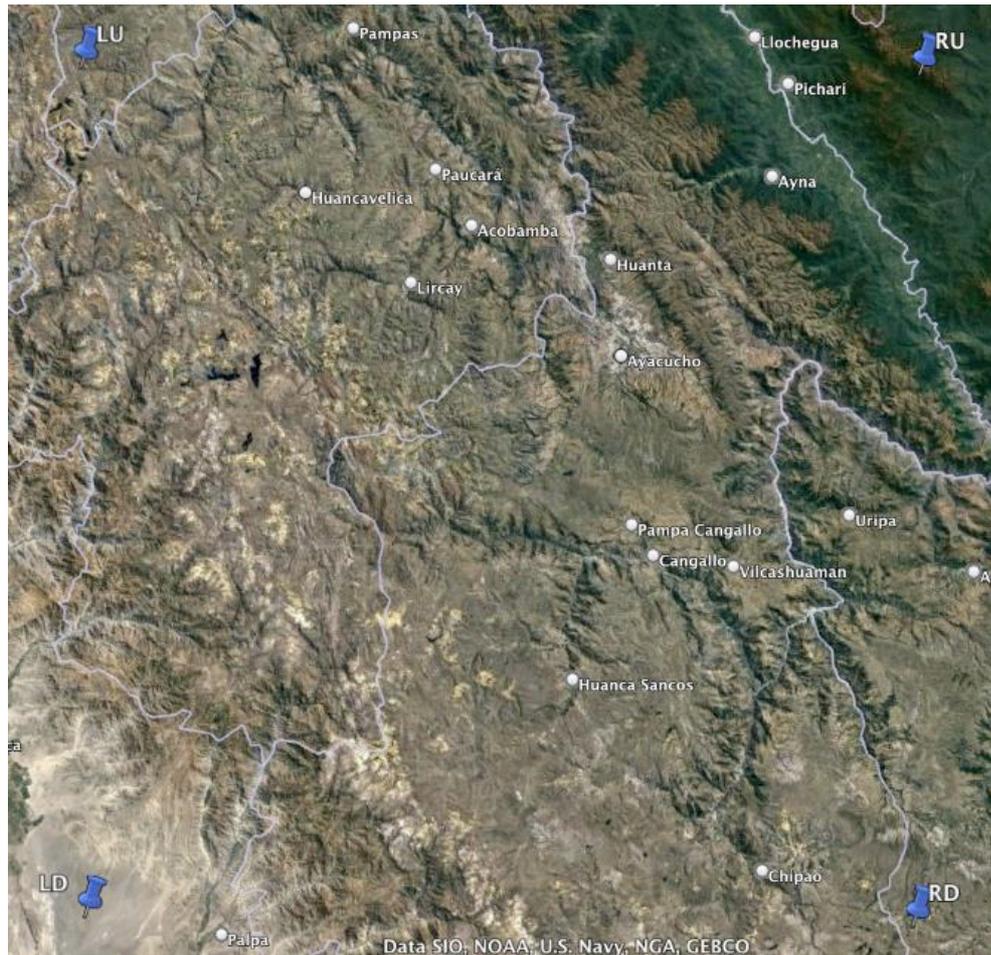
La Región 1, yace principalmente sobre el departamento de Huaraz, dentro del Parque Nacional Huascarán, donde se encuentran una gran cantidad de nevados, y más de 600 glaciares, entre las coordenadas geográficas [Lon: -76.5 a -78.5 y Lat; -8.5 a -10.5], Figura 2.

Figura 2. Región 1- Parque Nacional Huascarán



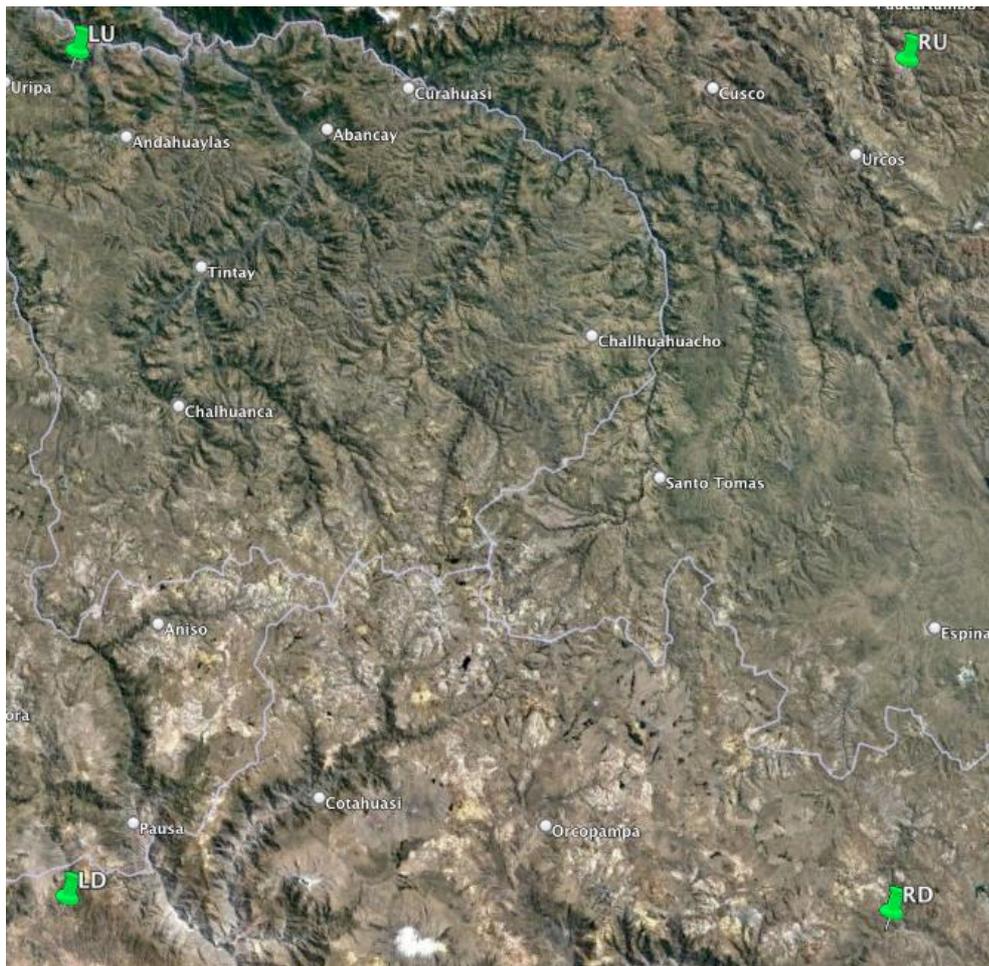
La Región 2, abarca gran parte de los departamentos de Ayacucho y Huancavelica, en la cordillera de los andes, con muchos cerros y montañas de gran altura, entre las coordenadas geográficas [Lon: -73.5 a -75.5 y Lat; -12.5 a -14.5], Figura 3.

Figura 3. Región 2- Cordillera de los Andes de Ayacucho y Huancavelica



La Región 3, abraza parte de los departamentos de Cusco, Abancay y Arequipa, en la cordillera de los andes, con muchos cerros y montañas de gran altura, ubicada entre las coordenadas geográficas [Lon: -71.5 a -73.5 y Lat; -13.5 a -15.5], Figura 4.

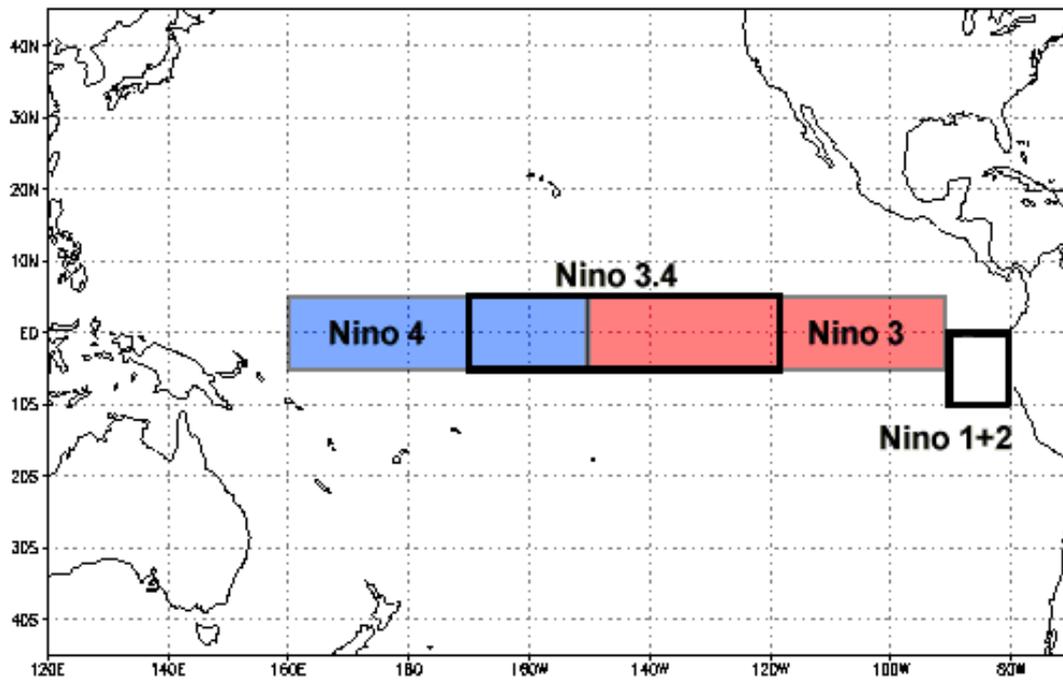
Figura 4. Región 3- Cordillera de los Andes de Cusco - Abancay



Zona Niño3.4

Esta zona se encuentra en el Océano Pacífico, comprendida entre las coordenadas geográficas [Lon: -120° a $+170^{\circ}$; Lat: -5° a $+5^{\circ}$], Figura 5.

Figura 5. Región El Niño 3.4



Fuente: NOAA

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

La técnicas de medición es por observación y los instrumentos son sensores montados sobre satélites. En este trabajo se utilizan los datos de la sonda infrarroja atmosférica (AIRS), que se describe a continuación.

La sonda infrarroja atmosférica (AIRS)

La sonda infrarroja atmosférica (AIRS) a bordo del satélite Aqua fue lanzado el 4 de mayo de 2002, junto a unidad avanzada de sondeo por microondas (AMSU-A, Advanced Microwave Sounding Unit) y Sonda de Humedad para Brasil (HSB, Humidity Sounder for Brazil) [11]. Los datos de la temperatura del aire cercano a la superficie (temperatura AIRS) tienen una resolución espacial de $1^\circ \times 1^\circ$, con una frecuencia diaria, tanto diurnos como nocturnos y diferentes alturas geopotenciales.

En este trabajo el periodo estudiado fue del 01/09/2009 hasta 01/09/2023, haciendo en total de 14 años. Los datos de temperatura AIRS con los que se trabajaron fueron para diferentes altitudes geopotenciales, de 500 hPa, 400hPa y 300 hPa, tanto diurnos como nocturnos. Se utilizó la versión 7 del algoritmo que calcula la temperatura a partir del brillo infrarrojo proveniente de la superficie de la Tierra y de la atmósfera.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

El procesamiento de los datos fueron realizados a traves de rutinas escritas en python. Se realizó una análisis estadístico de series de tiempo de la temperatura AIRS, calculando la potencia espectral, descomponiendo la serie en componente estacional, tendencia y error. Se analizó la serie de tiempo de la temperatura de la superficie del mar, calculando la serie de las anomalías de temperatura, se identifico los eventos moderado y fuerte de El Niño – La Niña. Se establecio una relación entre estos eventos y la tendencia de los valores de la temperatura AIRS a diferentes alturas geopotenciales, tando en datos diurnos como nocturnos.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos de las series de tiempo

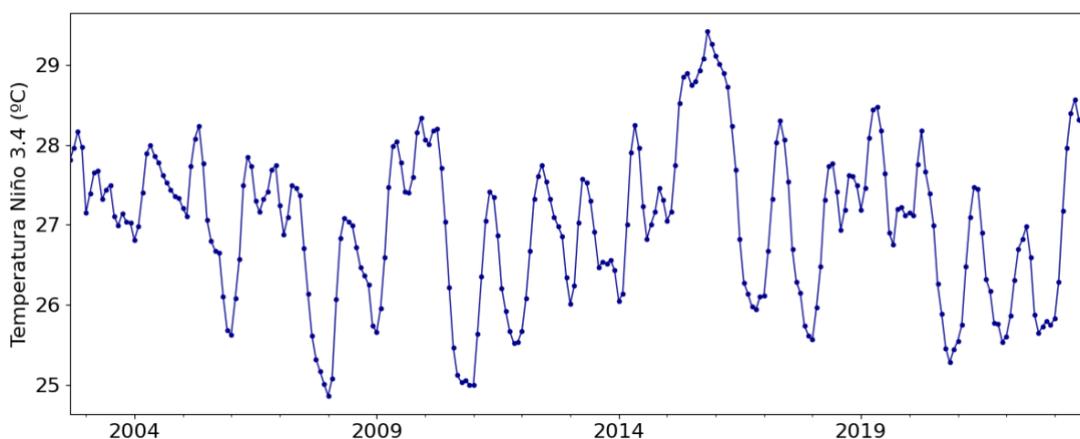
A continuación, se presentan las series de tiempo y sus anomalías de la temperatura de la superficie del mar en la zona Niño 3.4 y la temperatura AIRS en las tres regiones andinas descritas anteriormente.

Serie de tiempo de la temperatura de la superficie del mar - Niño 3.4

Se descargaron los datos de la serie de tiempo de la temperatura superficial del mar, para la región Niño 3.4. Estos fueron descargados de la página web <https://psl.noaa.gov/data/correlation/nina34.data>, del laboratorio de ciencias físicas de la NOAA.

Se calcularon los tres valores máximos agrupados por año: 29.42 °C, 29.11 °C y 28.72 °C, en los años 2015, 2016 y 2023 respectivamente, del mismo modo los tres valores mínimos fueron: 24.86 °C, 25,00 °C y 25,01 °C en los años 2008, 2010-2011 y 2007 respectivamente. Las estaciones en la que ocurre las máximas temperaturas son en abril - mayo – junio y las mínimas ocurren en diciembre – enero – febrero, Figura 6.

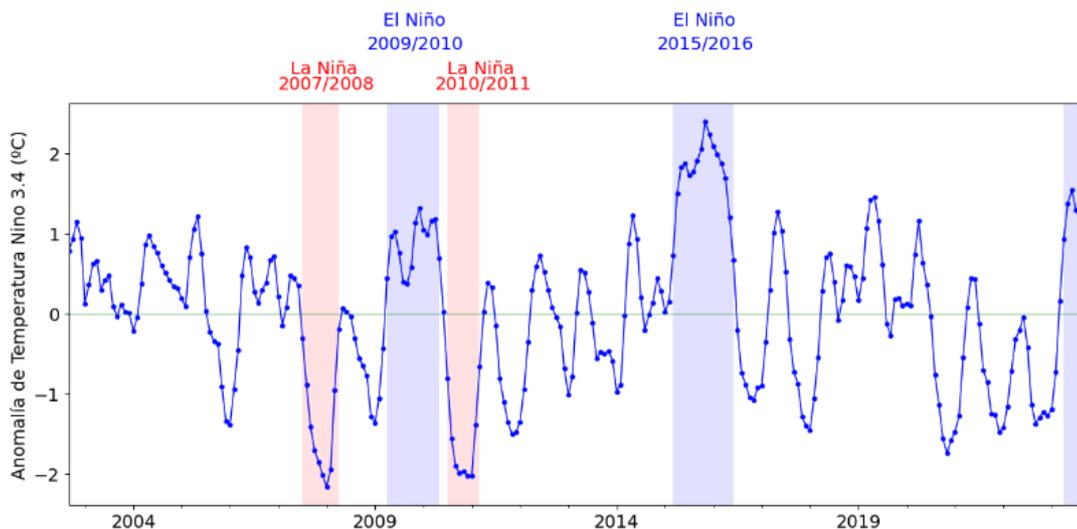
Figura 6. Serie de tiempo de la temperatura del mar Niño 3.4



Sin embargo, para identificar los eventos El Niño – La Niña es importante tener en cuenta la anomalía de la temperatura y su duración, en este trabajo se ha

considerado los siguientes eventos por su duración e intensidad: La Niña 2007/2008 con una anomalía mínima de $-2.16\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una duración de 6 meses (09/2007 – 02/2008), [12], [13]; La Niña 2010/2011 con una anomalía mínima de $-2.02\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una duración de 7 meses (08/2010 – 02/2011) con anomalías inferiores a $-1.00\text{ }^{\circ}\text{C}$, [14], [15]; El Niño 2009/2010 con una anomalía máxima de $+1.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una duración de 6 meses (11/2009 – 04/2010), [16], [17] y El Niño 2015/2016 con una anomalía máxima de $+2.40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una duración de 14 meses (04/2015 – 05/2016) con anomalías superiores a $+1.00\text{ }^{\circ}\text{C}$. El Niño 2015/2016 es fue considerado de categoría fuerte, [18], [19], [20], [21]. También es importante notar que a partir del 05/2023 la anomalía de la temperatura es superior a $+1.00\text{ }^{\circ}\text{C}$, es posible que actualmente se este desarrollando un evento El Niño, Figura 7.

Figura 7. Anomalía de la temperatura del mar y El Niño – La Niña



Serie de tiempo de la temperatura AIRS

Se descargaron los datos de la serie de temperatura AIRS para las tres regiones andinas, para tres alturas geopotenciales de 500hPa, 400hPa y 300hPa. Los datos son de frecuencia mensual comprendidos entre 09/2009 – 09/2023, tanto diurnos como nocturnos. Estos fueron descargados de la plataforma web Giovanni administrada por la NASA, <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>.

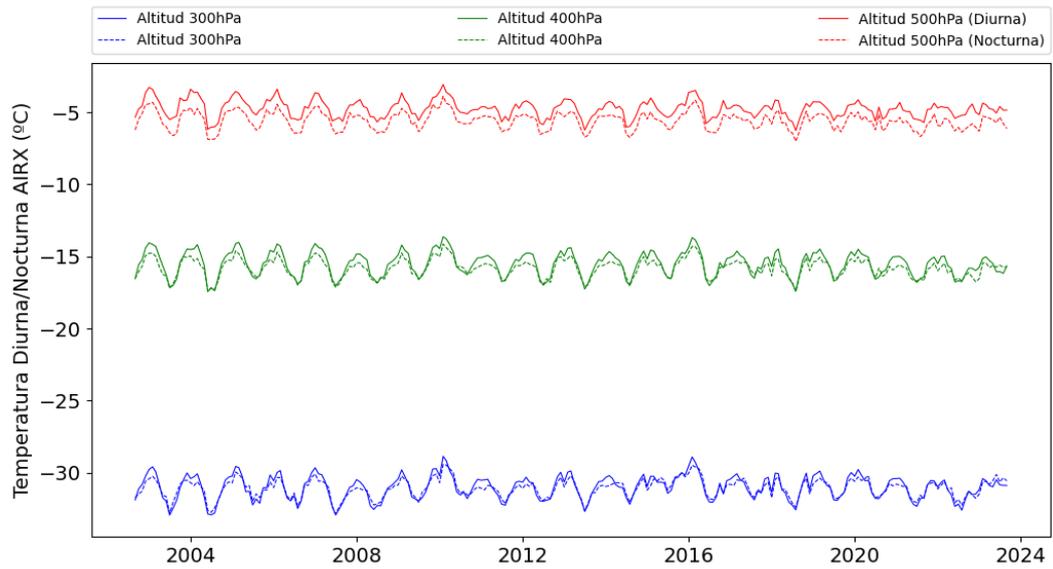
Análisis de la serie temporal de la Región 1

Se presenta un resumen estadístico de la serie de tiempo diurna y nocturna para diferentes altitudes 500hPa, 400hPa y 300hPa, Tabla 1 y Figura 8

Tabla 1. Resumen estadístico de la serie de tiempo de la región 1

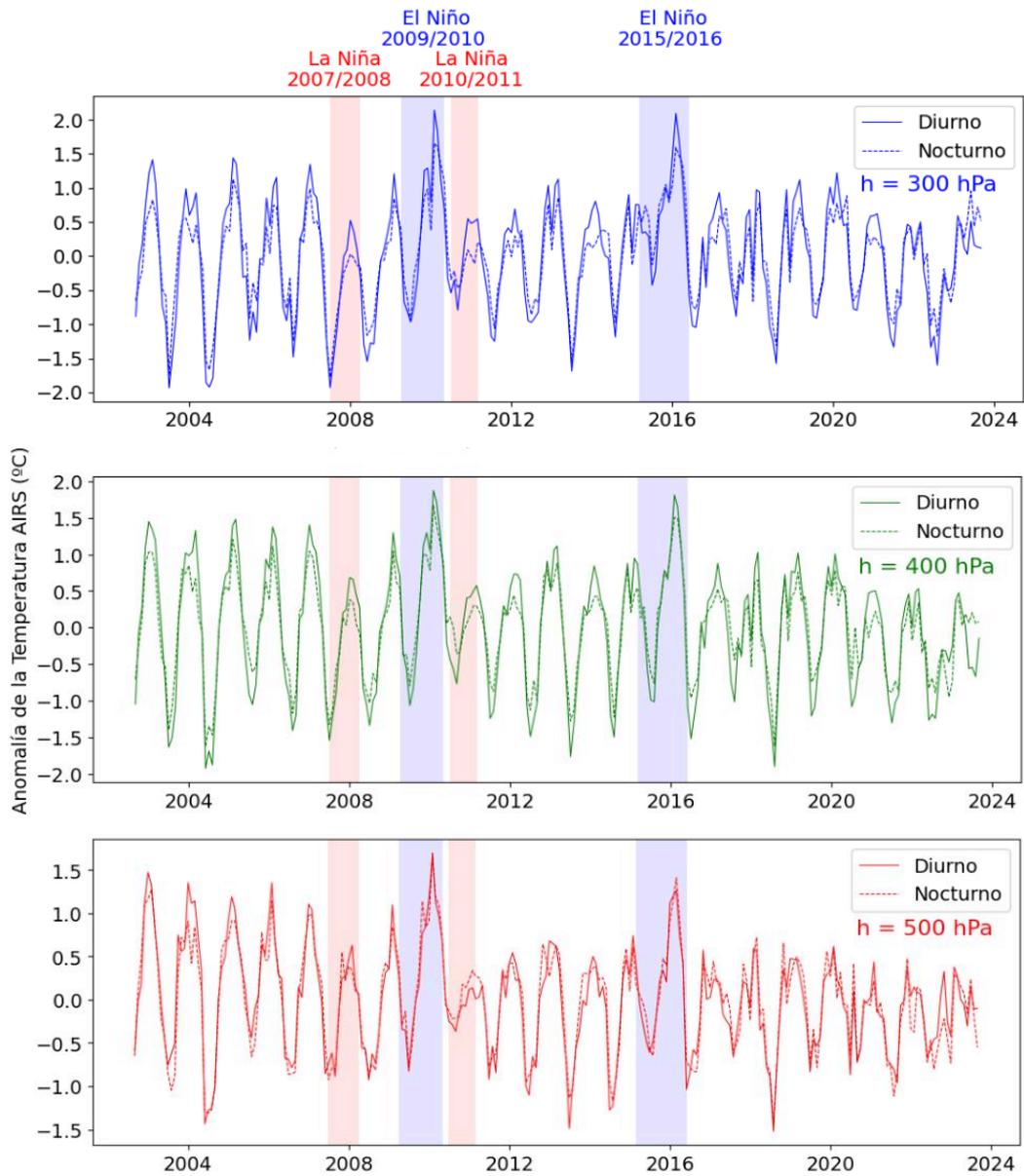
Altitud	500hPa	400hPa	300hPa
Modo	Diurno Nocturno (°C)		
Promedio	-4.74 -5.57	-15.50 -15.80	-31.00 -31.08
Máximo	-3.07 -3.87	-13.63 -14.14	-28.87 -29.46
Mínimo	-6.26 -7.01	-17.43 -17.44	-32.94 -32.86
Desviación Típica	0.61 0.60	0.83 0.64	0.82 0.65

Figura 8. . Temperatura AIRS de la Región 1



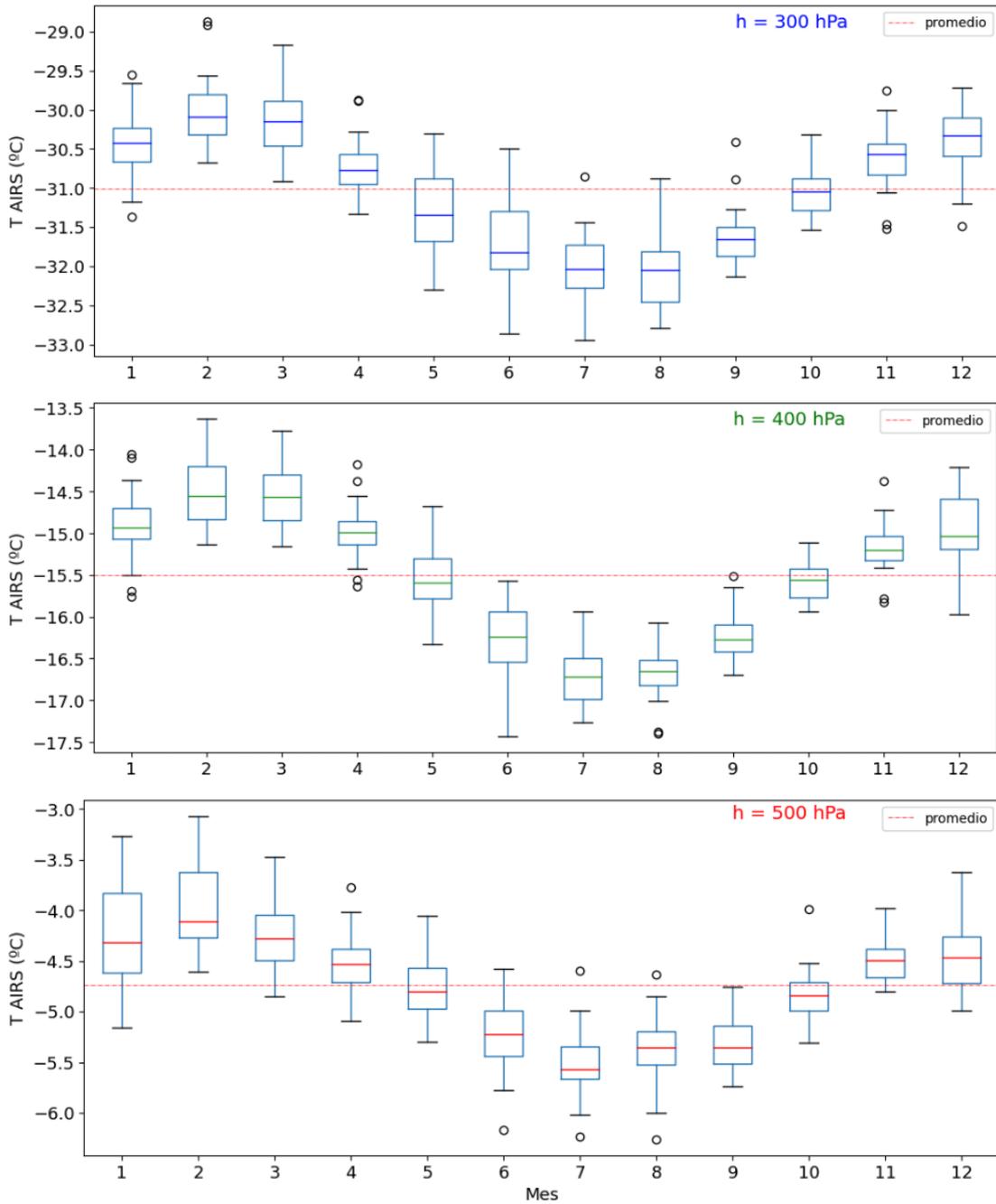
Se calculó la anomalía de la temperatura AIRS y se relaciono con los eventos El Niño – La Niña, para diferentes altitudes geopotenciales, tanto en modo diurno como nocturno, Figura 9.

Figura 9. Anomalía de la Temperatura AIRS de la Región 1



Se realizó un análisis estacional de la serie de tiempo diurna para identificar los meses de calentamiento y de enfriamiento, Figura 10.

Figura 10. Variación estacional de la Temperatura AIRS de la Región 1



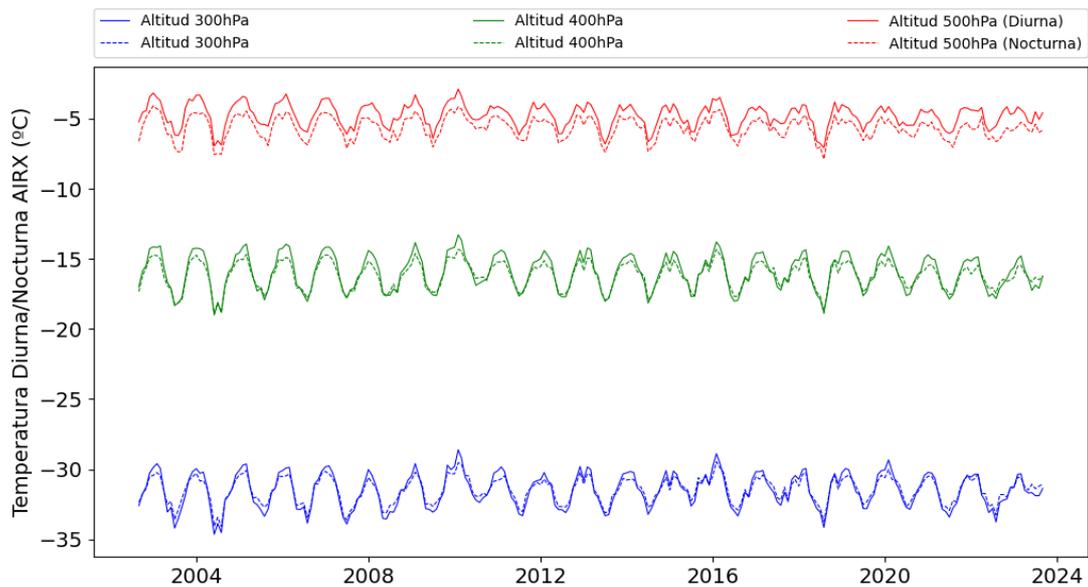
Análisis de la serie temporal de la Región 2

Se presenta un resumen estadístico de la serie de tiempo diurna y nocturna para diferentes altitudes 500hPa, 400hPa y 300hPa, Tabla 2 y Figura 11.

Tabla 2. Resumen estadístico de la Temperatura AIRS -Región 2

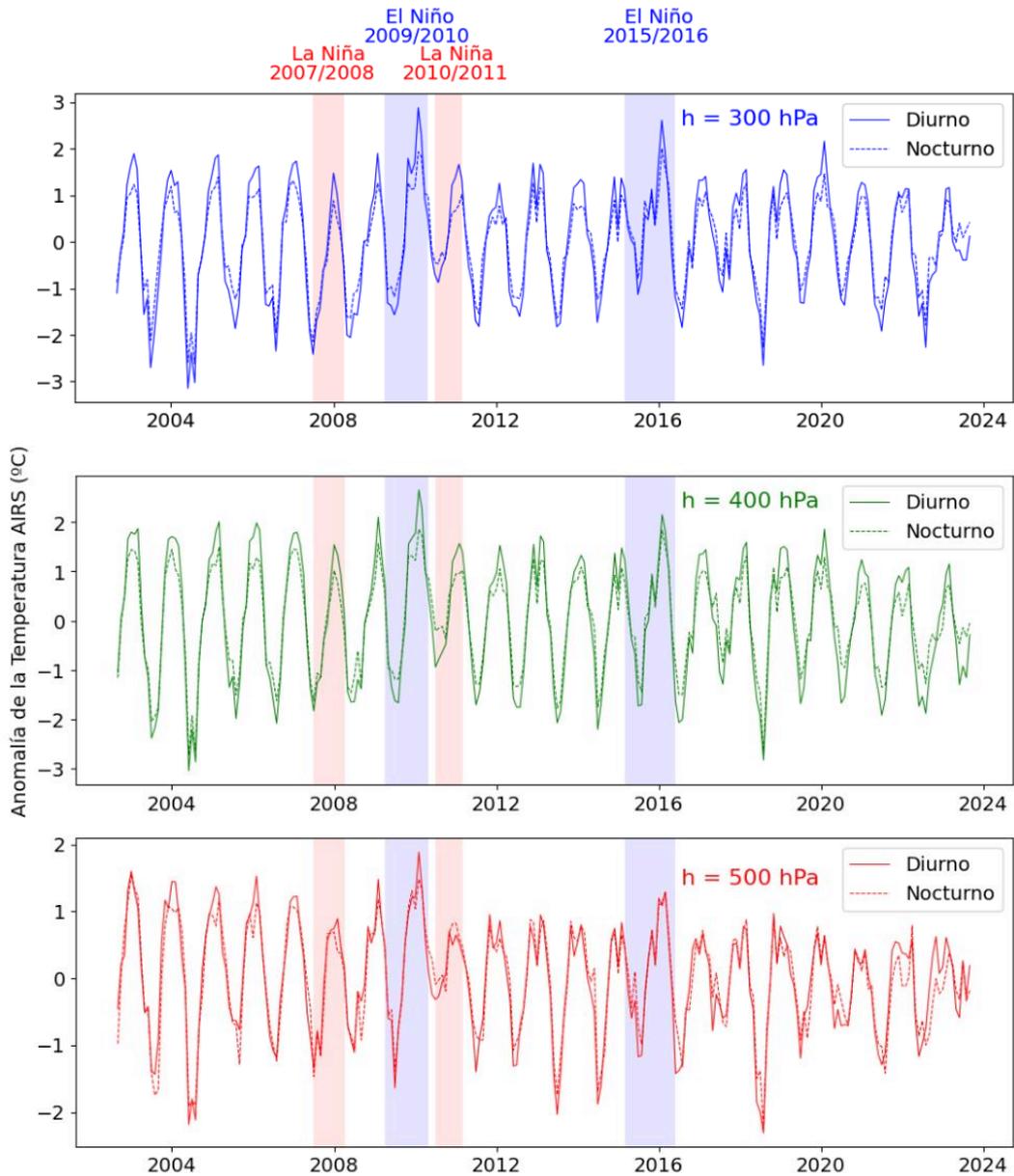
Altitud	500hPa	400hPa	300hPa
Modo	Diurno Nocturno (°C)		
Promedio	-4.74 -5.64	-15.94 -16.18	-31.50 -31.48
Máximo	-2.88 -4.08	-13.29 -14.31	-28.62 -29.47
Mínimo	-7.08 -7.88	-19.00 -18.91	-34.65 -34.09
Desviación Típica	0.83 0.77	1.25 0.95	1.21 0.92

Figura 11. Temperatura AIRS de la Región 2



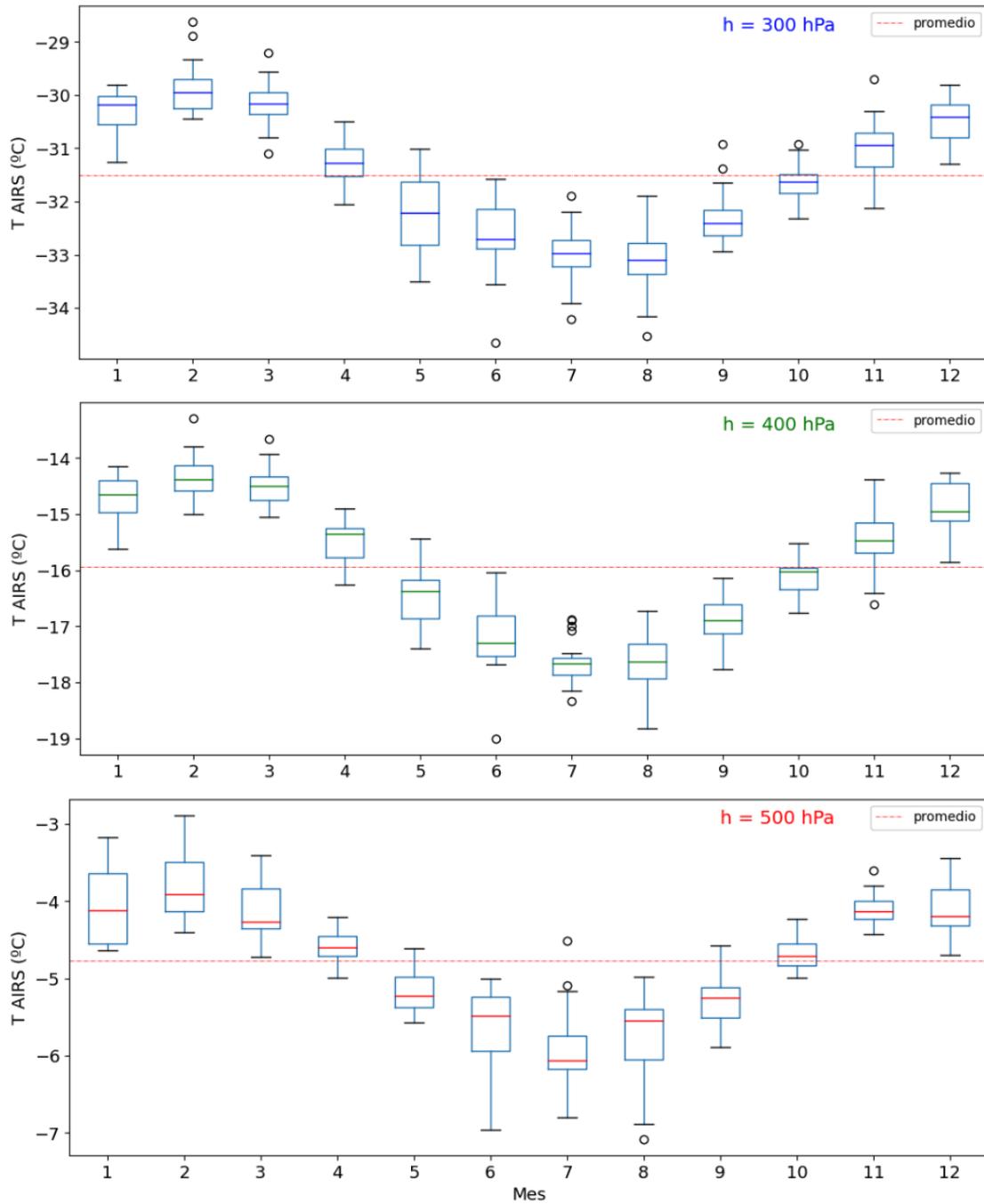
Se calculó la anomalía de la temperatura AIRS y se relaciono con los eventos El Niño – La Niña, para diferentes altitudes geopotenciales, tanto en modo diurno como nocturno, Figura 12.

Figura 12. Anomalía de la temperatura AIRS de la Región 2



Se realizó un análisis estacional de la serie de tiempo diurna para identificar los meses de calentamiento y de enfriamiento, Figura 13.

Figura 13. Variación estacional de la temperatura AIRS - Región 2



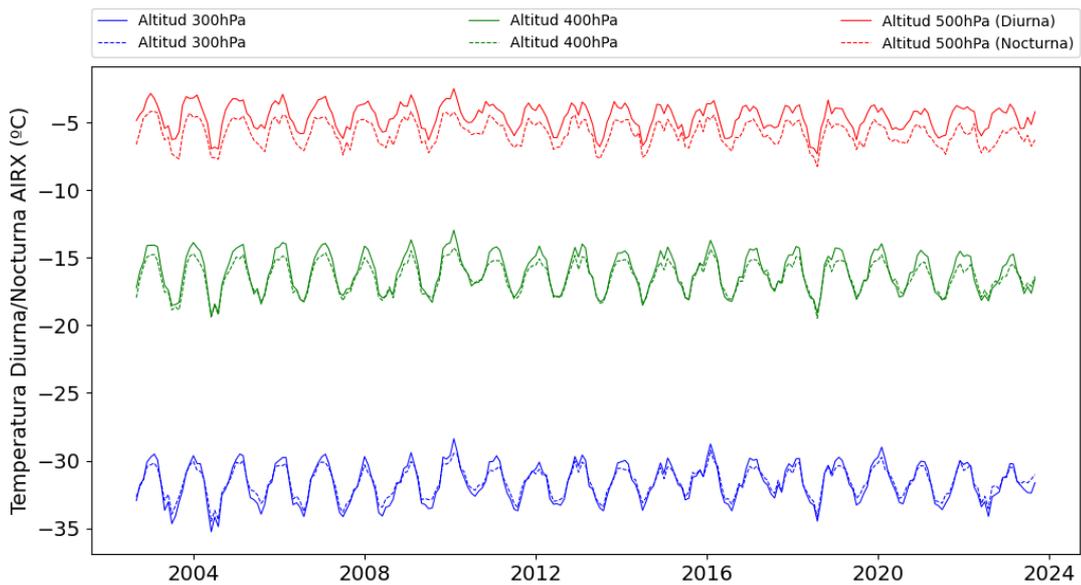
Análisis de la serie temporal de la Región 3

Se presenta un resumen estadístico de la serie de tiempo diurna y nocturna para diferentes altitudes 500hPa, 400hPa y 300hPa, Tabla 3 y Figura 14

Tabla 3. Resumen estadístico de la Temperatura AIRS -Región 3

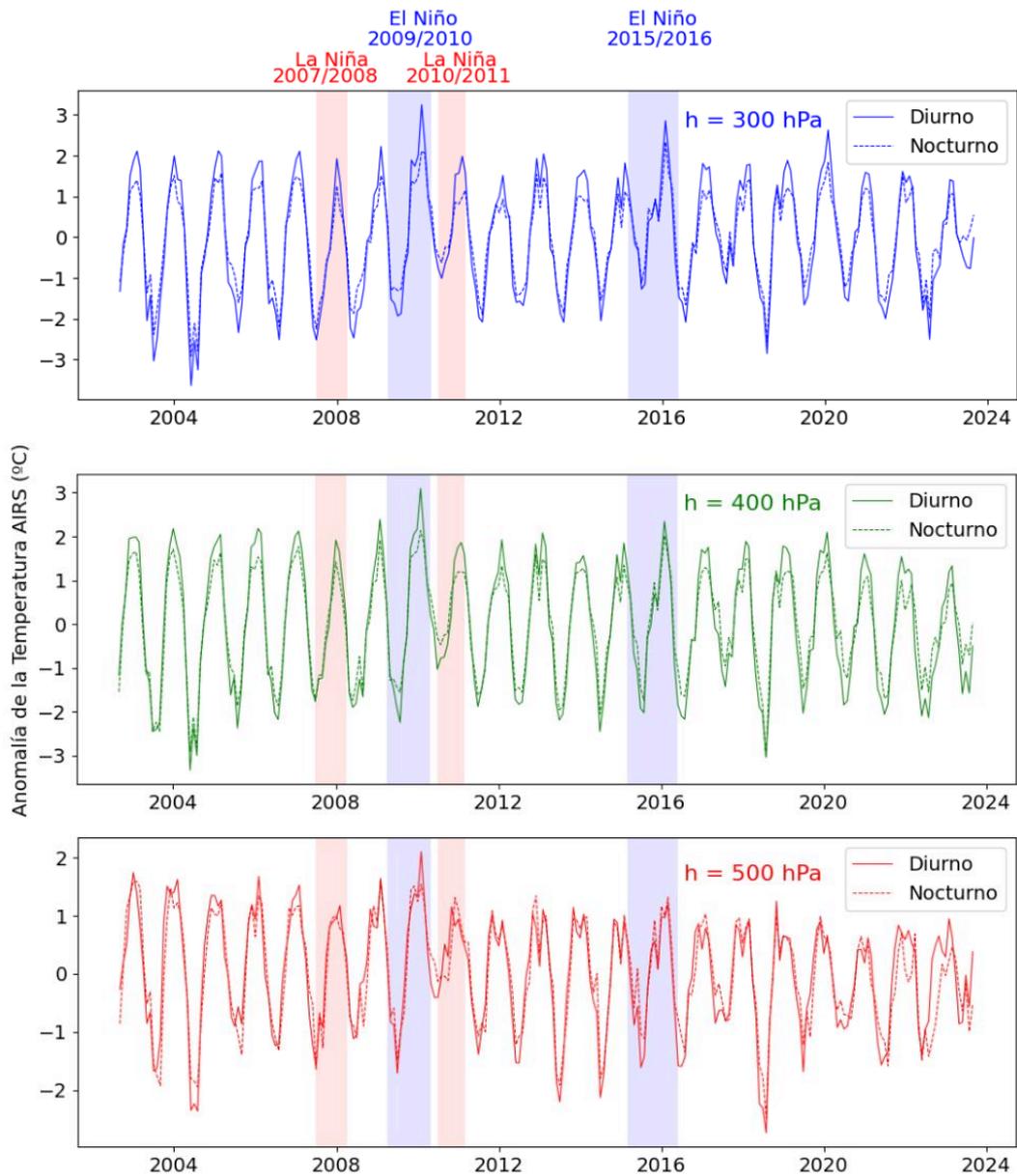
Altitud	500hPa	400hPa	300hPa
Modo	Diurno Nocturno (°C)		
Promedio	-4.59 -5.76	-16.06 -16.41	-31.63 -31.58
Máximo	-2.49 -4.18	-12.96 -14.27	-28.38 -29.24
Mínimo	-7.32 -8.25	-19.39 -19.46	-35.27 -34.50
Desviación Típica	0.96 0.90	1.43 1.13	1.40 1.06

Figura 14. Temperatura AIRS - Región 3



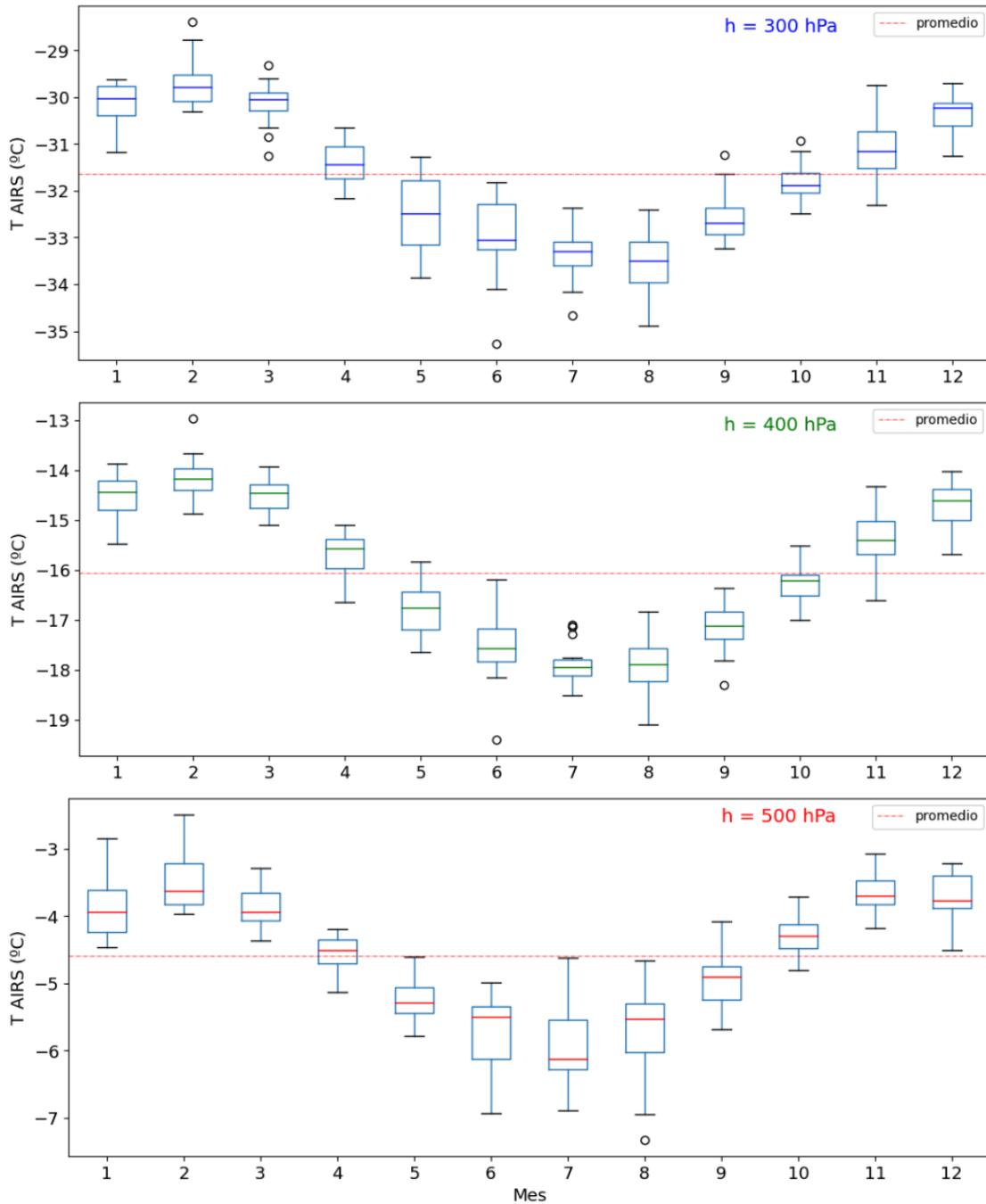
Se calculó la anomalía de la temperatura AIRS y se relaciono con los eventos El Niño – La Niña, para diferentes altitudes geopotenciales, tanto en modo diurno como nocturno, Figura 15.

Figura 15. Anomalía de Temperatura AIRS - Región 3



Se realizó un análisis estacional de la serie de tiempo diurna para identificar los meses de calentamiento y de enfriamiento, Figura 16.

Figura 16. Variación estacional de la temperatura AIRS - Región 3

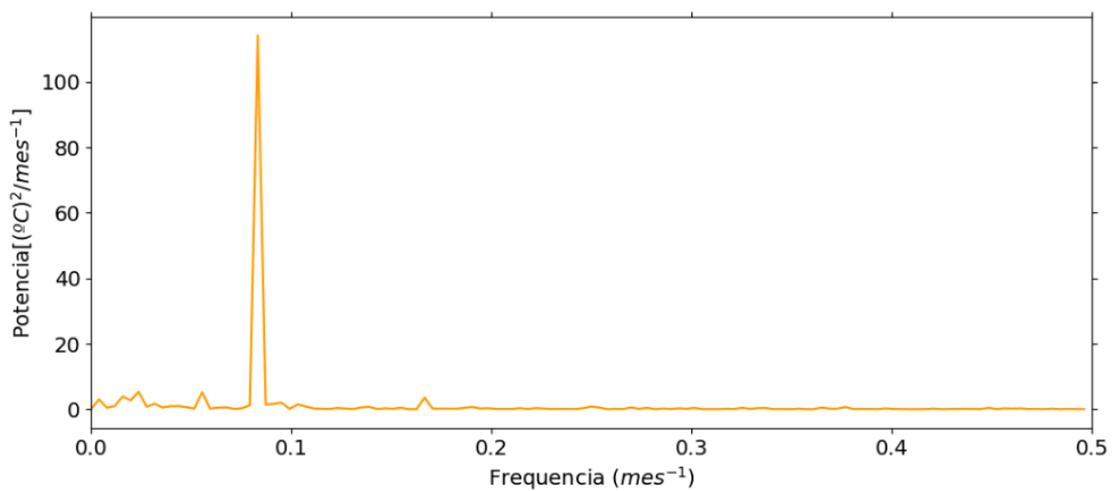


5.2. Resultados de la tendencia de la temperatura AIRS

Análisis del espectro de potencia y tendencias de las series

Se realizó un análisis del espectro de potencia de las series de tiempo, para diferentes altitudes geopotenciales, tanto en el modo diurno como nocturno, todas muestran una frecuencia fundamental $f = 0.8333 \text{ mes}^{-1}$ (12 meses). En la Figura 17 se muestra para el caso de la Región 1 para 300hPa en modo Diurno.

Figura 17. Potencia espectral Temperatura diurna - 300hPa - Región 1



Se descompuso cada una de las series de tiempo para diferentes altitudes, tanto en modo diurno como nocturno. Los resultados de las tendencias se muestran en las Figuras 18, 19 y 20.

Se calculó la tasa de incremento por mes de la temperatura durante los eventos de El Niño y La Niña, mediante regresión lineal, para cada una de las regiones de estudio, en modo diurno y nocturno, y para cada altitud geopotencial. Los resultados se muestran en las Tablas 3 -7.

Tabla 4. Tasa de variación Temperatura AIRS – Niño 2009/2010

Altitud	300hPa	400hPa	500hPa
Modo	Diurno (°C/mes)		
Región 1	0.0644	0.0540	0.0490
Región 2	0.0842	0.0679	0.0431
Región 3	0.0903	0.0715	0.0445
Modo	Nocturno (°C/mes)		
Región 1	0.0639	0.0590	0.0481
Región 2	0.0725	0.0730	0.0512
Región 3	0.0774	0.0779	0.0446

Tabla 5. Tasa de variación Temperatura AIRS – Niño 2015/2016

Altitud	300hPa	400hPa	500hPa
Modo	Diurno (°C/mes)		
Región 1	0.0635	0.0405	0.0398
Región 2	0.0497	0.0224	0.0341
Región 3	0.0394	0.0103	0.0182
Modo	Nocturno (°C/mes)		
Región 1	0.0691	0.0465	0.0413
Región 2	0.0532	0.0346	0.0391
Región 3	0.0481	0.0242	0.0250

Tabla 6. Tasa de variación Temperatura AIRS – Niña 2007/2008

Altitud	300hPa	400hPa	500hPa
Modo	Diurno (°C/mes)		
Región 1	-0.0576	-0.0393	-0.0266
Región 2	-0.0633	-0.0480	-0.0231
Región 3	-0.0634	-0.0506	-0.0161
Modo	Nocturno (°C/mes)		
Región 1	-0.0544	-0.0420	-0.0321
Región 2	-0.0604	-0.0542	-0.0352
Región 3	-0.0583	-0.0514	-0.0194

Tabla 7. Tasa de variación Temperatura AIRS – Niña 2010/2011

Altitud	300hPa	400hPa	500hPa
Modo	Diurno (°C/mes)		
Región 1	-0.0730	-0.0626	-0.0573
Región 2	-0.0723	-0.0610	-0.0536
Región 3	-0.0811	-0.0588	-0.0478
Modo	Nocturno (°C/mes)		
Región 1	-0.0775	-0.0696	-0.0530
Región 2	-0.0724	-0.0750	-0.0586
Región 3	-0.0765	-0.0792	-0.0537

Figura 18. Tendencia Temperatura AIRS – Región 1

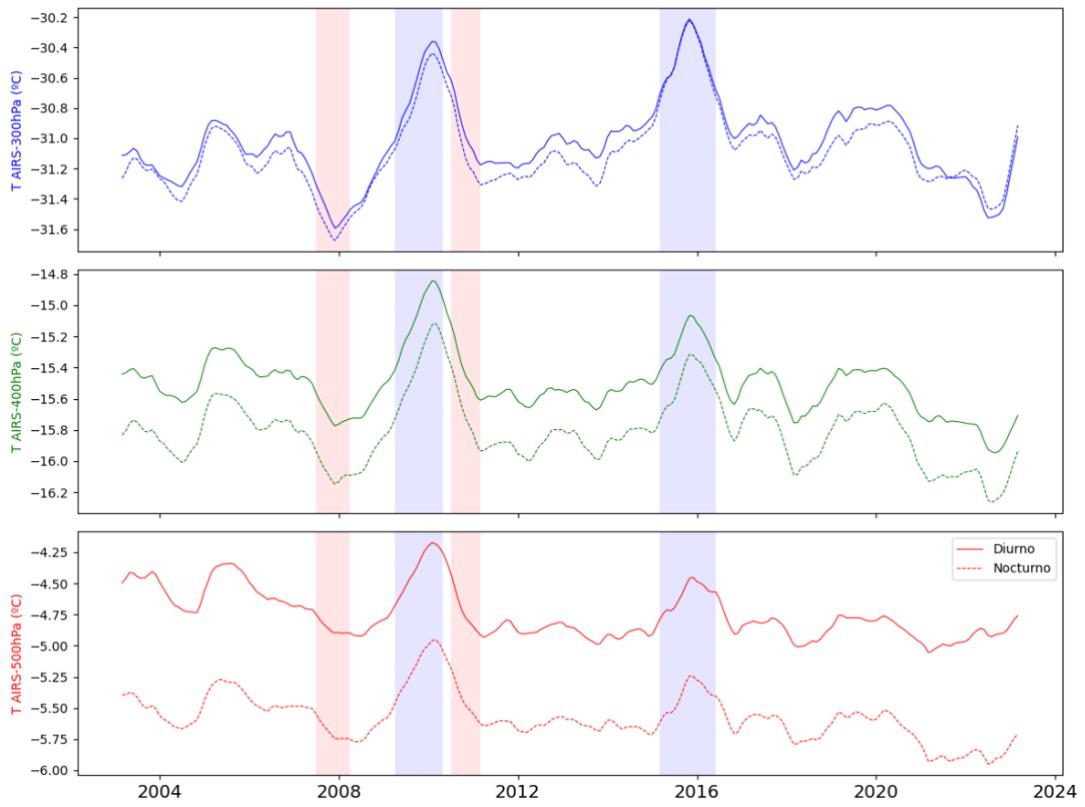


Figura 19. Tendencia Temperatura AIRS - Región 2

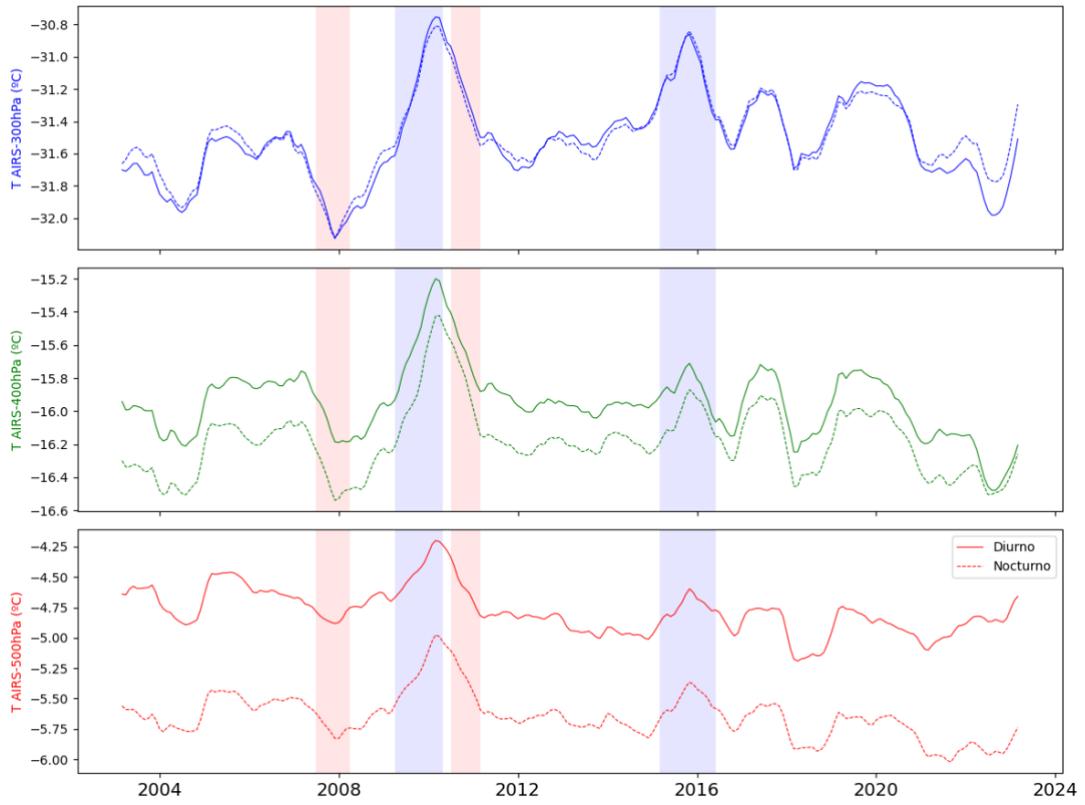
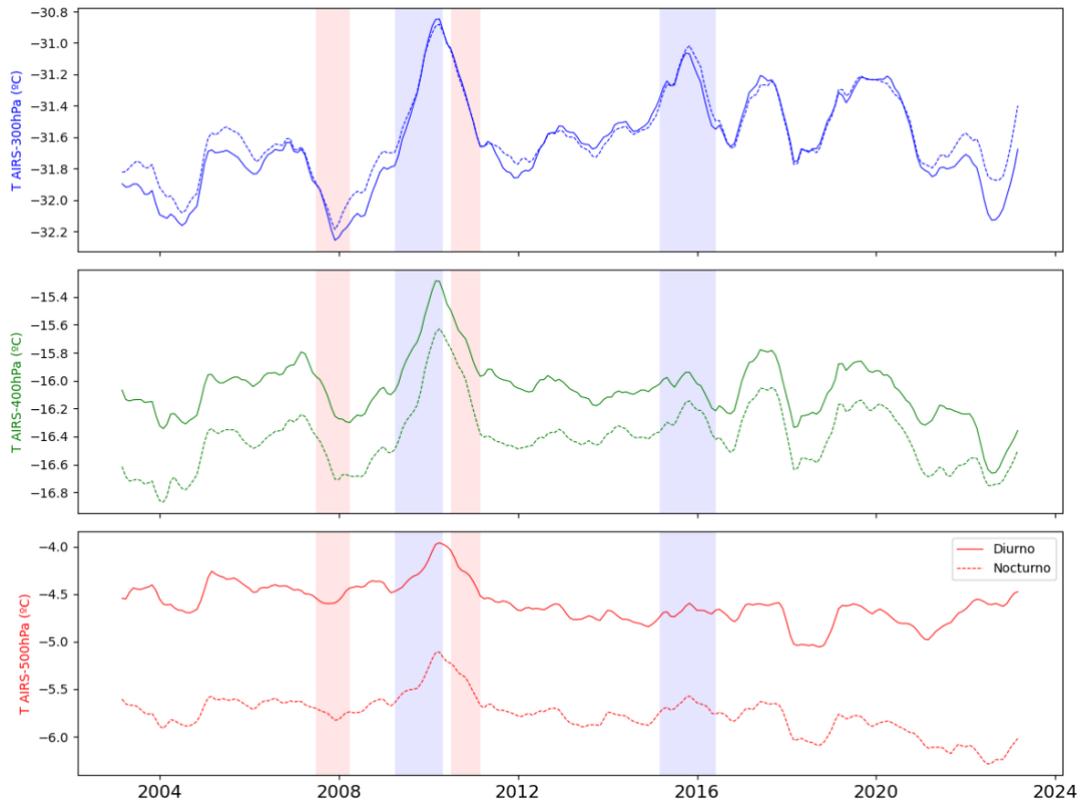


Figura 20. Tendencia Temperatura AIRS - Región 3



VI. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

- La hipótesis general es confirmada, existe una relación entre la temperatura AIRS y los eventos El Niño – La Niña de la región 3.4., los resultados expresados en las gráficas de la componente de tendencia, FIGURA 18, 18 y 20 de la serie de tiempo de la temperatura AIRS muestran máximos significativos durante los eventos El Niño 2009/2010 y El Niño 2015/2016.
- En la Región 1 específicamente, la componente de tendencia de la temperatura AIRS – 300hPa, alcanzo el valor más alto de -30.21(-30.22 °C) en modo diurno (nocturno) durante El Niño 2015/2016 considerado de categoría fuerte. El segundo valor más alto de -30.21 °C (-30.22 °C) en modo diurno (nocturno), se alcanzo durante El Niño 2009/2010 considerado de categoría moderado. Para la componente de tendencia de la temperatura AIRS – 400hPa y 500h, los máximos se invierten, el valor más alto se alcanza en El Niño 2009/2010 y el segundo en El Niño 2015/2016.
- Para la Región 2 y Región 3, la componente de tendencia de la temperatura AIRS – 300hPa tienes sus dos máximos durante los eventos El Niño 2009/2010 y El Niño 2015/2016. Para las otras alturas de 400hPa y 500hPa, las componentes de tendencia tienes un máximo durante la ocurrencia de El Niño 2009/2010. No se observa máximo significativo durante El Niño 2015/2016
- La componente de tendencia de la temperatura AIRS – 300hPa y 400hPa, en las Regiones 1, 2 y 3, experimenta un descenso significativo durante el evento La Niña 2007/2008. Para la componente de tendencia de la temperatura AIRS – 500hPa, no se aprecia un descenso significativo durante La Niña 2010/2011.

- Durante el evento El Niño 2009/2010 ocurrido durante 11/2009 – 04/2010, la temperatura del mar alcanzo su máximo el 12/2009, en ese mismo periodo la componente de tendencia de la temperatura AIRS-300hPa, en modo diurno, experimento un incremento sistemático de 0.0644 °C/mes alcanzando su máximo el 02/2010. Un comportamiento similar ocurre para las otras altitudes geopotenciales de 400hPa y 500hPa.
- Durante el evento El Niño 2015/2016 ocurrido durante 04/2015 – 05/2016, la temperatura del mar alcanzo su máximo el 11/2015, en ese mismo periodo la componente de tendencia de la temperatura AIRS- 300hPa, en modo diurno, experimento un incremento sistemático de 0.0635 °C/mes; alcanzando su máximo el 11/2015. Un comportamiento similar ocurre para las otras altitudes geopotenciales de 400hPa y 500hPa.
- Durante el evento La Niña 2007/2008 ocurrido durante 09/2007 – 02/2008 la temperatura del mar alcanzo su valor mínimo de 24.86 °C el 01/2008, en ese mismo periodo la componente de tendencia de la temperatura AIRS-300hPa, en modo diurno, experimento un descenso sistemático de -0.0576°C/mes alcanzando su mínimo el 12/2007. Un comportamiento similar ocurre para las otras altitudes geopotenciales de 400hPa y 500hPa.
- Durante el evento La Niña 2010/2011 ocurrido durante 08/2010 – 02/2011, inmediatamente después de ocurrido El Niño 2009/2010, la temperatura del mar alcanzo su valor mínimo de 25.52 °C el 11/2011, en ese mismo periodo la componente de tendencia de la temperatura AIRS-300hPa, en modo diurno, experimento un descenso sistemático alcanzando su mínimo el 12/2011.

6.2. Contratación de los resultados con otros estudios

- La relación entre los eventos El Niño – La Niña y la temperatura del aire cercano a la superficie, encontrado en este trabajo, esta de acuerdo con trabajos similares que han sido desarrollados de manera regional y global. Los resultados de este trabajo indican dependencias regionales de los mecanismos termodinámicos que causan las anomalías de la temperatura del aire cercano a la superficie con eventos del El Niño – La Niña, [6], [7], [8].

6.3. Responsabilidad Ética

- El autor del siguiente trabajo se responsabiliza por la información emitida en el presente informe final de trabajo de investigación.

VII. CONCLUSIONES

- Se encontró una relación entre los eventos El Niño – La Niña ocurridos en el periodo de 09/2009 – 09/2023, con la temperatura del aire cercano a la superficie medida satelitalmente por la sonda de microonda infrarroja AIRS.
- La influencia de los eventos El Niño – La Niña ocurridos en el periodo de 09/2009 – 09/2023 sobre la temperatura del aire en la región de los andes peruanos, es significativa para la altitud de 300hPa comparada con las altitudes de 400hPa y 500 hPa, y ligeramente mayor en el día que en la noche.
- Durante los eventos de El Niño ocurridos en el periodo de 09/2009 – 09/2023 la temperatura del aire a 300hPa se incrementa significativamente, a una tasa promedio de 0.0509 °C/mes para las regiones andinas estudiadas.
- Durante los eventos de La Niña ocurridos en el periodo de 09/2009 – 09/2023; La Niña 2007/2008 tuvo una influencia significativa en el descenso de la temperatura del aire a 300hPa, con una tasa de variación promedio de -0.0614°C/mes para las regiones andinas estudiadas.

VIII. RECOMENDACIONES

- Para una mejor comprensión de la influencia de los eventos El Niño – La Niña sobre la temperatura del aire, se puede ampliar el rango de datos, considerando datos de otros sensores o plataformas satelitales, así como la incorporación de datos in situ.
- Para comprender como esto afecta a los glaciares de los andes peruano se requieren datos con menor resolución espacial y de datos in situ. Así como el análisis de otras variables como la precipitación, la irradiación solar, la velocidad de los vientos entre otras variables.
- El estudio se puede ampliar para otras altitudes menores 300hPa, como a 250hPa, también se puede trabajar con la temperatura de brillo de sensores multiespectrales.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] P. Jones, M. New, D. Parker, S. Martin y R. Ignatius, «Surface air temperature and its changes over the past 150 years,» *Reviews of Geophysic*, vol. 37, nº 2, pp. 173-199, 1999.
- [2] J. Overland, E. Hanna, I. Hanssen-Bauer, S. Kim, J. Walsh, M. Wang, U. Bhatt, R. Thoman y T. Ballinger, «Surface air temperature,» Richter-Menge, J. ; Druckenmiller, M.L and Jeffries, M., Eds., Arctic report card, 5., 2019.
- [3] I. Abdulfattah, J. Rajab, M. Chaabane, M. Lafta y H. Lim, «Air Surface Temperature Variability and Trends from Satellite Homogenized Time Series Data Over Tunis 2003–2021.,» de *8th International Scientific Conference for College of Science in Atmospheric Sciences*, Baghdad, Iraq, 2023.
- [4] F. Safdar, M. Khokhar, M. Din, G. Siddiqui y W. Khattak, «Spatial trends of maximum and minimum temperatures in different climate zones of Pakistan by exploiting ground-based and space-borne observations.,» *International Journal of Global Warming*, vol. 24, nº 3-4, pp. 365-382, 2021.
- [5] R. Pelta y A. Chudnovsky, «Spatiotemporal estimation of air temperature patterns at the street level using high resolution satellite imagery.,» *Science of the Total Environment*, vol. 579, pp. 675-684, 2017.
- [6] V. Privalsky y D. Jensen, «Assessment of the influence of ENSO on annual global air temperatures,» *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, vol. 22, nº 3, pp. 161-178, 1995.
- [7] D. Kothawale, A. Munot y K. Kumar, «Surface air temperature variability over India during 1901–2007, and its association with ENSO.,» *Climate Research*, vol. 42, nº 2, pp. 89-104, 2010.
- [8] M. Kayano, R. Andreoli, R. de Souza y S. Garcia, «Spatiotemporal variability modes of surface air temperature in South America during the

- 1951–2010 period: ENSO and non-ENSO components,» *International Journal of Climatology*, vol. 37, n° 1, 2017.
- [9] A. Ahmad, A. Khan, N. Javaid, H. Hussain, W. Abdul, A. Almogren, A. Alamri y I. Azim Niaz, «An Optimized Home Energy Management System with Integrated Renewable Energy and Storage Resources.,» *Energies*, vol. 10, n° 4, p. 549, 2017.
- [10] Ministerio de Energía y Minas, «Diagnostico de Brechas del Sector Energia y Minas,» MINEM, Lima, 2008.
- [11] T. Pagano, H. Aumann, D. Hagan y K. Overoye, «Prelaunch and in-flight radiometric calibration of the Atmospheric Infrared Sounder (AIRS),» *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 41, n° 2, p. 265–273, 2003.
- [12] S. McClatchie, R. Goericke, J. Koslow, F. Schwing, S. Bograd, R. Charter y E. Bjorkstedt, «The state of the California Current, 2007–2008: La Niña conditions and their effects on the ecosystem,» *CalCOFI Report*, vol. 49, pp. 39-76, 2008.
- [13] Y. Kashino, N. España, F. Syamsudin, K. Richards, T. Jensen, P. Dutrieux y A. Ishida, «Observations of the North Equatorial current, Mindanao current, and Kuroshio current system during the 2006/07 El Niño and 2007/08 La Niña,» *Journal of Oceanography*, vol. 65, pp. 325-333, 2009.
- [14] N. Hoyos, J. Escobar, J. Restrepo, A. Arango y J. Ortiz, «Impact of the 2010–2011 La Niña phenomenon in Colombia, South America: the human toll of an extreme weather event.,» *Applied Geography*, vol. 39, pp. 16-25, 2013.
- [15] A. Hasson, T. Delcroix, J. Boutin, R. Dussin y J. Ballabrera-Poy, «Analyzing the 2010–2011 La Niña signature in the tropical Pacific sea surface salinity using in situ data, SMOS observations, and a numerical simulation,» *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 119, n° 6, pp. 3855-3867, 2014.

- [16] W. Kim, S. Yeh, J. Kim, J. Kug y M. Kwon, «The unique 2009–2010 El Niño event: A fast phase transition of warm pool El Niño to La Niña.,» *Geophysical Research Letters*, vol. 38, nº 15, 2011.
- [17] E. Brugnoli, P. Muniz, N. Venturini y F. García-Rodríguez, «Benthic community responses to organic enrichment during an ENSO event (2009–2010), in the north coast of Rio de la Plata estuary.,» *Journal of Marine Systems*, vol. 222, nº 103597, 2021.
- [18] J. Jiménez-Muñoz, C. Mattar, J. Barichivich, A. Santamaría-Artigas, K. Takahashi, Y. Malhi, J. Sobrino y G. Schrier, «Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016.,» *Scientific reports*, vol. 6, nº 33130, 2016.
- [19] X. Wang, S. Zhong, X. Bian y L. Yu, «Impact of 2015–2016 El Niño and 2017–2018 la Niña on PM_{2.5} concentrations across China.,» *Atmospheric Environment*, vol. 208, pp. 61-73., 2019.
- [20] T. Anculle, M. Graco, L. Vásquez, W. García y D. Gutiérrez, «Contribución de las ondas Kelvin a las anomalías térmicas de las aguas costeras frente al Perú durante El Niño 2015-2016 y el Niño Costero 2017.,» *Boletín Instituto del Mar del Perú*, vol. 36, nº 362-384., pp. 362-384., 2021.
- [21] A. Santoso, M. Mcphaden y W. Cai, «The defining characteristics of ENSO extremes and the strong 2015/2016 El Niño.,» *Reviews of Geophysics*, vol. 55, nº 4, pp. 1079-1129, 2017.
- [22] J. Han, C.-s. Choi, W.-k. Park, I. Lee y S.-h. Kim, «Smart home energy management system including renewable energy based on ZigBee and PLC.,» *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 60, nº 2, pp. 198 - 202, 2014.
- [23] D. Strickland, M. Varnosfederani, J. Scott, P. Quintela, A. Duran, R. Bravery y S. Blois-Brooke, «A review of community electrical energy systems.,» *IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, pp. 49-54, 2016.

ANEXO

Matriz de Consistencia

TÍTULO: EL NIÑO- OSCILACIÓN DEL SUR Y LA TEMPERATURA EN LOS ANDES TROPICALES

AUTOR: Mg. Juan Neil Mendoza Nolorbe

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál es la relación entre el fenómeno de El Niño – Oscilación Sur y la temperatura superficial de los andes tropicales de américa del sur?</p> <p>Preguntas específicas</p> <p>¿Cuál es la variabilidad espacio – temporal de la temperatura de la superficie del mar en el pacífico?</p> <p>¿Cuál es la variabilidad espacio – temporal de la temperatura de la superficie de los andes tropicales en américa del sur?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar la relación entre el fenómeno de El Niño – Oscilación Sur y la temperatura superficial de los andes tropicales de américa del sur.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Analizar la variabilidad espacio – temporal de la variabilidad espacio – temporal de la temperatura de la superficie del mar en el pacífico</p> <p>Analizar la variabilidad espacio – temporal de la temperatura de la superficie de los andes tropicales en américa del sur.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>Existe una correlación temporal entre la temperatura de las diferentes regiones del pacifico sur y de la superficie de los andes tropicales.</p> <p>Hipótesis específicas:</p> <p>La variación temporal de la temperatura superficie del mar en el pacífico sur es estacionario, presentando diversas frecuencias.</p> <p>La variación temporal de la temperatura superficie de los andes tropicales en America del Sur es estacionario, presentando diversas frecuencias.</p>	<p>Variable Independiente V1: EL NIÑO - OSCILACIÓN DEL SUR</p> <p>Indicador: Temperatura del mar</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>V2: TEMPERATURA DEL AIRE</p> <p>Indicador: Temperatura del aire cercano a la superficie</p>	<p>Tipo:</p> <p>Cuantitativo</p> <p>Nivel:</p> <p>Explicativo</p> <p>Diseño:</p> <p>No experimental</p> <p>Técnica:</p> <p>Observación</p> <p>Instrumento:</p> <p>Datos con instrumentos in situ y por teledetección.</p> <p>Método:</p> <p>Método de análisis bivariado y multivariado temporal y espacial.</p>