

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

**Actividad solar y su relación con el evento climatológico El Niño
Oscilación del Sur (1+2), 1950 – 2024**

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola

Autora: Olenka Massiel Yesan Terrones

Tumbes, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Actividad solar y su relación con el evento climatológico El
Niño Oscilación del Sur (1+2), 1950 – 2024**

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. José Modesto Carrillo Sarango
Presidente, ORCID: 0000-0003-0841-3064

M. Sc. Felix Enrique Alcoser Torres
Secretario, ORCID: 0000-0001-9929-4763

Dr. Napoleón Puño Lecarnaque
Vocal y asesor, ORCID: 0000-0002-5008-8085

Tumbes, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Actividad solar y su relación con el evento climatológico El Niño
Oscilación del Sur (1+2), 1950 – 2024**

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y
forma

Br. Olenka Massiel Yesan Terrones
Autora, ORCID: 0009-0009-5112-6002

Dr. Napoleón Puño Lecarnaque
Asesor, ORCID: 0000-0002-5008-8085

Tumbes, 2026

ACTA DE DEFENSA DE LA TESIS (SUSTENTACIÓN)



**Universidad Nacional
de Tumbes**



Facultad de Ciencias Agrarias
Programa Académico de Ingeniería Agrícola
Ex Fundo Fiscal La Cruz – Campus Universitario

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los Veintidos días del mes de Abril del dos mil veintiséis, siendo las once horas con veinte minutos, en el Campus Universitario, de la Facultad de Ciencias Agrarias en el aula 2, del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto, se reunieron el Jurado Calificador designado por **RESOLUCIÓN N°221-2025/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D** de fecha 15 de enero de 2026, **Dr. José Modesto Carrillo Sarango** (Presidente); **MSc. Ing. Félix Enrique Alcoser Torres** (secretario); **Dr. Napoleón Puño Lecarnaque** (Vocal) y **Dr. Francisco Alburquerque Viera** (Accesitario); reconociendo en la misma resolución, al **Dr. Napoleón Puño Lecarnaque** como (Asesor). Se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, titulada: "**Actividad solar y su relación con el evento climatológico El Niño Oscilación del Sur, Tumbes – 2025**", presentada por la **Br. Olenka Massiel, Yesan Terrones**. Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declaró Aprobado, por Unanimidad, con el calificativo Satisfactorio. Se hace conocer a la sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda Apt. para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de **Ingeniera Agrícola**, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las once horas con veinte minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, 22 de Abril del año 2026.

 Dr. José Modesto Carrillo Sarango DNI N° <u>08723850</u> CODIGO ORCID: <u>0000-0003-0841-3064</u> Presidente	 MSc. Ing. Félix Enrique Alcoser Torres DNI N° <u>00210359</u> CODIGO ORCID: <u>0000-0001-9929-4763</u> Secretario
 Dr. Napoleón Puño Lecarnaque DNI N° <u>00225904</u> CODIGO ORCID: <u>0000-0002-5008-8081</u> Vocal	 Dr. Francisco Alburquerque Viera DNI N° <u>03605124</u> CODIGO ORCID: <u>0000-0002-7468-5388</u> Accesitario

C.c – Jurados (03) – Asesor y/o Interesada – Decanato – Archivo.

INFORME DE ORIGINALIDAD TURNITIN



Olenka Massiel Yesan Terrones TURNITIN_25_SUN SPOTS INFORME

 Asesoría Para el Repositorio

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::3117:553209119

Fecha de entrega
5 feb 2026, 6:29 GMT-5

Fecha de descarga
5 feb 2026, 6:34 GMT-5

Nombre del archivo
TURNITIN_25_SUN SPOTS INFORME.docx

Tamaño del archivo
16.7 MB

87 páginas

21.132 palabras

113.922 caracteres


Dr. Napoleón Puño Lecarnaque
CÓDIGO ORCID: 0000-0002-5008-8085



Continuación



1% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 1% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad


N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo. Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.




Dr. Napoleón Puño Lecarnaque
CÓDIGO ORCID: 0000-0002-5008-8085



Continuación

 Página 3 de 90 - Descripción general de integridad Identificador de la entrega trn:oid::3117:553209119


Fuentes principales


1%  Fuentes de Internet
0%  Publicaciones
0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
2	Internet	www.mdpi.com	<1%
3	Internet	www.researchgate.net	<1%
4	Internet	sedici.unlp.edu.ar	<1%
5	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2025-10-31	<1%
6	Internet	tesis.usat.edu.pe	<1%
7	Internet	repositorio.igp.gob.pe	<1%


Dr. Napoleón Puño Lecarnaque
CÓDIGO ORCID: 0000-0002-5008-8085

 Página 3 de 90 - Descripción general de integridad Identificador de la entrega trn:oid::3117:553209119

DEDICATORIA

A mis padres, por su sacrificio y
amor incondicional.

A mi mamá, por ser mi fuerza inagotable, mi
ejemplo de perseverancia. Gracias por
enseñarme que los sueños se construyen con
paciencia, esfuerzo y corazón.

A mis hermanos, por acompañarme con apoyo
y fe incluso cuando el camino se volvió difícil.
Su compañía hizo más ligeras las cargas y más
grandes las metas.

Olenka Massiel

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la fortaleza, la claridad y las oportunidades que hicieron posible este logro.

A mi asesor, por su orientación, dedicación y exigencia constructiva. Su guía académica y confianza

A Narumy, por su apoyo constante, por las palabras de ánimo en los días difíciles, por celebrar mis pequeños avances

Y a todas aquellas personas que, de una u otra manera, fueron parte de mi desarrollo personal y profesional, brindándome su apoyo, guía e inspiración.

Olenka Massiel

ÍNDICE

	Página
ACTA DE DEFENSA DE LA TESIS (SUSTENTACIÓN)	iv
INFORME DE ORIGINALIDAD TURNITIN.....	v
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN	17
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	22
2.1 Bases teóricas	22
2.2 Antecedentes.....	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1. UBICACIÓN.....	34
3.2 METODOLOGÍA.....	37
3.3 HIPÓTESIS	38
3.4 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	39
3.5 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	40
3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	41
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
4.1 RESULTADOS	48
4.2 DISCUSIÓN.....	87
V. CONCLUSIONES	97
VI. RECOMENDACIONES	99
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXOS	1

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Ubicación geográfica de la estación pluviométrica Campamento Sede ...	34
Tabla 2 Ubicación geográfica de la estación pluviométrica de la EE Tumpis	35
Tabla 3 Ubicación geográfica de la zona Niño (1 + 2)	37
Tabla 4 Correlación de Pearson interdecenal de acuerdo con los ciclos solares SILSO	51
Tabla 5 Contraste de la hipótesis general	85
Tabla 6 Contraste de la hipótesis específica 1	86
Tabla 7 Contraste de la hipótesis específica 2	86
Tabla 8 Contraste de la hipótesis específica 3	86
Tabla 9 Contraste de la hipótesis específica 4	86
Tabla 10 Caracterización de los ciclos solares 19–25 según SILSO y su contexto de actividad relevante para el análisis del Niño 1+2	10

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 La transformada de wavelet como convolución de dos señales	27
Figura 2 Vista aérea de la ubicación de la estación Campamento Sede del PEBPT	35
Figura 3 Vista aérea del centro experimental Tumpis, PEBPT	36
Figura 4 Ubicación de la zona Niño 1+2.....	36
Figura 5 Diseño de la investigación.....	38
Figura 6 Actividad solar y evento Niño 1+2	48
Figura 7 Gráfico de dispersión entre la actividad solar y el índice ATS del Niño 1+2	51
Figura 8 Correlación de Pearson interdecenal de acuerdo con los ciclos solares C19 a C25	52
Figura 9 Coherencia de wavelet para SSN (13m) y ATS (3m); escala vertical logarítmica.....	53
Figura 10 Coherencia de wavelet para SSN (13m) y ATS (3m); escala vertical lineal	54
Figura 11 Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses y 90 % de confianza	54
Figura 12 Mapa de coherencia de wavelet entre las SSN y ATS durante el ciclo solar C20.....	55
Figura 13 Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses y 90 % de confianza; C19	56
Figura 14 Mapa de coherencia de wavelet entre las SSN y ATS durante el ciclo solar C20.....	57
Figura 15 Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses y 90 % de confianza; C20	57
Figura 16 Coherencia de wavelet SSN (13 meses) y ATS (3 y 9 m) en el C21	59
Figura 17 Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses; 90 % de confianza, ATS (3 meses arriba y 9 meses abajo).....	60

Figura 18 Coherencia de wavelet SSN (13 meses) y ATS (9m) en el periodo C22	61
Figura 19 Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses y 90 % de confianza; C22	62
Figura 20 Coherencia de wavelet SSN (13 meses) y ATS (3 y 6m) en el periodo C23	63
Figura 21 Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses y 90 %; C23	64
Figura 22 Coherencia de wavelet SSN (13 meses) y ATS (3 y 9m) en el periodo C24	65
Figura 23 Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses y el umbral al 90 % de confianza en el periodo C24	66
Figura 24 Coherencia de wavelet SSN (13 meses) y ATS (3m) en el periodo C24	67
Figura 25 Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses, 90 %; C25 ampliado	68
Figura 26 Desfase SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 1950-2024	69
Figura 27 Desfase SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 1954-1964	70
Figura 28 Desfase entre SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, Hilbert, 1954 - 1964	71
Figura 29 Desfase SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 1965-1976	72
Figura 30 Desfase entre SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, Hilbert, 1965 a 1976	73
Figura 31 Desfase SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 1977-1986	73
Figura 32 Desfase entre SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, Hilbert, 1977 – 1986	74
Figura 33 Desfase SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 1986-1996	75
Figura 34 Desfase entre SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, Hilbert, 1986 – 1996	75
Figura 35 Desfase SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 1996-2008	76
Figura 36 Desfasaje entre SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, Hilbert, 1996 – 2008	77

Figura 37 Desfase SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 2008-2019	78
Figura 38 Desfasaje entre SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, Hilbert, 2008 – 2019	78
Figura 39 Desfase SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 2019-2024	79
Figura 40 Desfasaje entre SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, Hilbert, 2019 – 2024	80
Figura 41 Precipitaciones en campamento sede del PEBPT y la actividad solar..	81
Figura 42 Correlación cruzada entre las precipitaciones en el PEBPT Sede y SSN	81
Figura 43 Coherencia de wavelet entre la precipitación en el PEBPT Sede y las SSN.....	82
Figura 44 Precipitaciones en el centro Tumpis del PEBPT y las manchas solares	83
Figura 45 Correlación cruzada entre las precipitaciones y las manchas solares ..	84
Figura 46 Coherencia espectral de wavelet entre la precipitación en la estación Tumpis y la actividad solar	85

RESUMEN

El clima es un determinante de la habitabilidad y de las condiciones de vida de una región y, dentro de sus forzantes, ENSO destaca por reconfigurar el patrón de precipitaciones, afectando la disponibilidad hídrica con impactos en la agricultura, la infraestructura y la sociedad. En este contexto, se abordó la problemática de la posible influencia de la actividad solar sobre la región Niño 1+2, con el objetivo de determinar si dicha relación fue significativa. La muestra abarcó el periodo 1950–2024, segmentado en ciclos solares SILSO del C19 al C25. La actividad solar se representó mediante el número de manchas solares (SSN), mientras que El Niño (1+2) se caracterizó a través de la temperatura superficial del mar (ATS). A nivel local, se analizaron registros pluviométricos de las estaciones Campamento Sede (1983–2024) y Experimental Tumpis (1964–2024), ubicadas en Tumbes. Se emplearon técnicas de análisis de series temporales, incluyendo transformaciones wavelet, para examinar la coherencia en el dominio tiempo–frecuencia. Los resultados indican que la coherencia entre la actividad solar y Niño 1+2 no es significativa de forma persistente; sin embargo, se intensifica durante eventos Niño fuertes, lo que sugiere una modulación condicionada por el estado energético del sistema océano–atmósfera. De manera consistente, tampoco se encontró coherencia significativa entre la actividad solar y las precipitaciones en Tumbes. Estos hallazgos contribuyen a la comprensión de la variabilidad climática en el norte peruano y aportan evidencia para una gestión del riesgo más informada frente a eventos extremos de precipitación.

Palabras clave: Actividad solar, coherencia espectral, Niño 1+2.

ABSTRACT

Climate is a key determinant of the habitability and living conditions of a region, and among its forcing factors, ENSO stands out for reshaping precipitation patterns, affecting water availability with impacts on agriculture, infrastructure, and society. In this context, the study addressed the issue of the potential influence of solar activity on the Niño 1+2 region, aiming to determine whether such a relationship was significant. The sample covered the period 1950–2024, segmented into solar cycles defined by SILSO from C19 to C25. Solar activity was represented by the sunspot number (SSN), while El Niño (1+2) conditions were characterized using sea surface temperature (SST). At the local scale, rainfall records from the Campamento Sede (1983–2024) and Experimental Tumpis (1964–2024) stations, located in Tumbes, were analyzed. Time series analysis techniques were applied, including wavelet transformations, to examine coherence in the time–frequency domain. The results indicate that coherence between solar activity and Niño 1+2 is not persistently significant; however, it intensifies during strong El Niño events, suggesting a modulation conditioned by the energetic state of the ocean–atmosphere system. Consistently, no significant coherence was found between solar activity and precipitation in Tumbes. These findings contribute to the understanding of climate variability in northern Peru and provide evidence to support more informed risk management in the face of extreme precipitation events.

Keywords: Niño 1+2, solar activity, spectral coherence, .

I. INTRODUCCIÓN

La zona costera norte peruana y sur ecuatoriano son particularmente vulnerables al evento climatológico Niño 1+2. El sistema climático cálido formado por la interacción oceánica y atmosférica genera precipitaciones muy intensas que comprometen seriamente la estabilidad de los suelos y la actividad agrícola, afectando seriamente las obras hidráulicas. Las precipitaciones de 1983, 1998 y 2017 han impactado severamente en la red hidrográfica del departamento de Tumbes, activando quebradas e incrementando el caudal de los ríos, ocasionando desbordes en la zona rural y urbana, generando destrozos y pérdidas cuantiosas en todas las actividades del Departamento. En este nivel de importancia, se considera relevante estudiar factores que puedan explicar las posibles fuerzas moduladoras de los eventos Niño 1+2, tal como la actividad solar, medida mediante el número de manchas solares (Valverde, 2025).

La actividad solar es el conjunto de fenómenos físicos producidos en la atmósfera externa del sol asociados a variaciones en su campo magnético. En la investigación realizada, como proxy cuantitativo de la actividad solar se empleó el número mensual de manchas solares (SSN), indicador asociado con las variaciones en el campo magnético solar y por ende con impacto en la irradiancia como factor gravitante en el balance energético de la atmósfera terrestre, con potencial influencia en el desarrollo de los eventos ENSO. El número de manchas solares, denominado número de Wolf es un indicador referencial para cuantificar la actividad solar, registrado desde el S XVIII cada vez con mayor precisión. En este marco, diversas investigaciones han estudiado posibles relaciones entre el número de manchas solares y fenómenos climáticos como la circulación de Hadley, los monzones o la Oscilación Decadal del Pacífico (Rayner et al., 2003).

La energía que recibe la tierra proviene casi exclusivamente de la fotosfera solar. Esta energía se recibe en forma de radiación electromagnética (REM) con frecuencias correspondientes a la luz visible, cercana al infrarrojo, es la responsable

de las actividades derivadas del balance energético global, temperando la atmósfera, impulsando la circulación del aire y de las masas oceánicas, y por ende los eventos climáticos planetarios y regionales, resultando esperable que las variaciones en la energía solar incidente originen cambios en la presión, evaporación y movimientos de calor a escala mayor (Rodríguez, 2024).

La actividad solar no es constante. De hecho, esta se desarrolla con cierta regularidad en ciclos de 11 años, observándose periodos de mayor actividad donde se acrecientan las manchas solares, zonas de relativa menor temperatura superficial debida a efectos termodinámicos derivados de la reducción en la convección del plasma solar por la incrementada actividad electromagnética (AEM). Las manchas solares fortalecen la irradiancia solar total y el espectro ultravioleta (UV), debido a una mayor energía fotónica respecto de la correspondiente a la radiación visible. En efecto, la medición de la misión SORCE-SOLSTICE ha reportado que pequeñas variaciones en la irradiancia solar, del orden de un 0,1% origina un cambio de 6,0% en la radiación UV (McClintock et al., 2005), pudiendo generar efectos muy importantes en la atmósfera terrestre, afectando la circulación y la presión atmosférica e incidiendo en el desarrollo de modos climáticos como el ENSO (Lean & Rind, 2008).

El fenómeno ENOS (El Niño–Oscilación del Sur) constituye un modo de variabilidad climática de escala global, manifestado mediante fluctuaciones en la temperatura superficial del mar, la presión atmosférica y la circulación de los vientos alisios en el Pacífico tropical. Dentro de este acople océano–atmósfera se reconocen dos fases anómalas: El Niño, caracterizado por el calentamiento de las aguas superficiales asociado a la propagación de ondas Kelvin cálidas que debilitan el Anticiclón del Pacífico Sur; y La Niña, vinculada al afianzamiento de la surgencia y la intensificación de la corriente de Humboldt, promotora del enfriamiento de la franja ecuatorial y oriental del océano.

En condiciones neutras, el predominio del APS favorece el afloramiento de aguas frías y estabiliza el clima regional. Dentro de este marco general, la expresión regional de ENSO adquiere particular relevancia en la región Niño 1+2, localizada frente a las costas de Perú y Ecuador, donde las anomalías térmicas superficiales son especialmente sensibles a las variaciones en la dinámica de surgencia y a la

modulación de las ondas oceánicas, constituyéndose así en un indicador clave para evaluar la evolución temprana de los eventos El Niño y La Niña en el borde oriental del Pacífico.

Los eventos climáticos previos a Niño 1+2 se caracterizan por un desequilibrio termodinámico donde las oscilaciones en la presión atmosférica debilitan el APS, concordando con una intensificación de la cálida onda Kelvin que, con dirección ecuatorial se desplaza del oeste al este elevando la temperatura superficial del mar, promoviendo la evaporación y ascenso de masas de aire caliente, produciendo importantes zonas de baja presión con lluvias intensas en la costa norte peruana y ecuatoriana. En condición Niña, los vientos alisios se intensifican, originándose una onda Kelvin fría favorecedora del surgimiento de aguas frías profundas que, al confluir con la corriente de Humboldt, inhiben la formación de lluvias, reflejándose en periodos secos en la zona norte peruana y la ecuatoriana (Morales, 2024).

Los eventos ENSO de nivel significativo impactan en los niveles de pluviosidad en las regiones tropicales y subtropicales. En efecto, en el Perú los eventos Niño afectan la infraestructura en general por las inundaciones, desbordes de ríos y activaciones de quebradas que ocasionan en el norte, pérdida de cosechas y deterioro generalizado del suelo, mientras que en el sur peruano, la sequía compromete su desarrollo agropecuario. En este contexto problemático, una aproximación a una correlación entre la actividad solar u el desarrollo de Niño 1+2 podría contribuir al fortalecimiento de las previsiones contribuyendo con la seguridad alimentaria en zonas vulnerables y sensibles a la pluviosidad como Tumbes (Takahashi & Rodríguez, 2025).

No obstante que el Sol constituye la fuente primaria de energía del sistema climático terrestre, la manera en que sus variaciones modulan fenómenos oceánicos-atmosféricos de gran escala sigue siendo un tema en debate. Entre esos fenómenos, Niño 1+2 destaca por su enorme influencia en el clima del Pacífico oriental y sus impactos en Tumbes. Sin embargo, la posible relación entre la actividad solar —representada por el número de manchas solares (SSN)— y la variabilidad del Niño 1+2 —medida mediante la anomalía de la temperatura superficial del agua de mar en la zona Niño 1+2 (ATS), permanece poco comprendida y sin consenso científico. Algunos estudios reportan coincidencias en

ciertas escalas temporales o durante eventos El Niño 1+2 intensos, pero otros no encuentran vínculos estadísticos sólidos, evidenciando que la relación, si existe, es compleja, no lineal y probablemente condicionada por estados internos del océano Pacífico, convirtiendo el problema en una cuestión científica aún no resuelta.

De acuerdo con la problemática descrita anteriormente, se planteó la pregunta de investigación: ¿Existe una relación estadísticamente significativa entre la actividad solar y los eventos Niño 1+2 entre 1950 al 2024? Esta cuestión se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la ONU, enfocado en la comprensión de riesgos climáticos locales modulados por forzantes globales, buscando mejorar la predicción estacional y multianual (ONU, 2024).

La investigación se justificó bajo la premisa de que, si existía algún grado de modulación solar sobre Niño 1+2 —aunque fuese débil, intermitente o condicionada por el estado oceánico— ello podría mejorar la comprensión de la variabilidad climática en el Pacífico oriental y fortalecer las capacidades predictivas en zonas vulnerables como la costa norte peruana. Los resultados obtenidos, sin embargo, mostraron que no se identificó una relación solar–oceanográfica persistente ni estadísticamente robusta. La coherencia espectral SSN–ATS se caracterizó por ser irregular, episódica y predominantemente no significativa, con señales más claras únicamente durante episodios Niño 1+2 intensos, en los que la dinámica energética del sistema parece facilitar una mayor sensibilidad del borde del Pacífico oriental. Fuera de esos eventos, las modulaciones detectadas se ubican en bandas de baja confiabilidad espectral o en intervalos donde el ruido rojo domina la estructura de la serie, impidiendo establecer asociaciones físicas concluyentes.

Esta evidencia redefine el núcleo del problema: la relación SSN–ATS 1+2 no solo es débil y limitada, sino también altamente dependiente del trasfondo oceánico-atmosférico, sugiriendo que la señal solar queda enmascarada o atenuada por los procesos regionales de mayor escala (surgencia, vientos costeros, TSM local). En consecuencia, la presente investigación no confirma una modulación solar sistemática sobre Niño 1+2; más bien, aclara sus límites, delimitando las condiciones bajo las cuales podrían emerger asociaciones transitorias y contribuye a una comprensión más realista de las capacidades predictivas del sistema climático regional.

La búsqueda de la solución al problema planteado se realizó mediante el objetivo general: Explorar una posible relación estadística entre la actividad solar y los eventos Niño (1+2) entre 1950 al 2024. Los objetivos específicos fueron: 1) Evaluar la relación estadística global entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2; 2) Identificar las relaciones localizadas en el tiempo y frecuencia entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2; 3) Determinar los desfases temporales entre las manchas solares y las anomalías del índice ATS; y, 4) Analizar la coherencia espectral entre las manchas solares y las precipitaciones en el departamento de Tumbes en los periodos 1983 al 2024 y 1964 al 2024.

El desarrollo de este estudio enfrentó un conjunto de limitaciones que deben ser reconocidas para comprender el alcance real de los resultados. La primera de ellas proviene de la naturaleza misma de los datos climáticos disponibles. Las series de precipitación tuvieron algunos vacíos que aunque corregidos, generan ruido o alterar las relaciones buscadas.

Metodológicamente, la aplicación del análisis de coherencia wavelet (WTC) supone otro conjunto de limitantes. Aunque se trata de una técnica válida para explorar relaciones no estacionarias, su sensibilidad al ruido rojo, a la selección de parámetros y a los efectos de borde obliga a interpretar la coherencia significativa con cautela. Además, la correlación lineal —usada con complemento referencial— no captura adecuadamente procesos no lineales o modulados por múltiples factores, lo que es particularmente relevante cuando se estudian interacciones multivariadas.

En términos interpretativos, es importante notar que las relaciones detectadas son intermitentes, dependientes del ciclo solar e influidas por episodios específicos del evento Niño 1+2. Cada ciclo solar presenta características particulares —en intensidad, duración y forma— y esta heterogeneidad complica la comparación entre ciclos. A ello se suma la presencia de memoria climática y procesos no lineales, dificultando la separación precisa del aporte de la actividad solar frente a otros forzantes naturales.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Bases teóricas

2.1.1. Evento El Niño Oscilación del Sur

Es el principal modo de variabilidad interanual en el océano Pacífico tropical, caracterizado por cambios anómalos la circulación atmosférica y la temperatura superficial del agua del mar. En su fase cálida, ENSO provoca un sobrecalentamiento del agua superficial del Pacífico sur, al tiempo que, en la fase fría, la anomalía es negativa, condiciones que provocan a nivel global, precipitaciones muy intensas y sequías según la ubicación geográfica de la zona. Su intensidad se caracteriza por el Índice Niño Oceánico (ONI por sus siglas en inglés) de El Niño. En general el evento ENSO modifica de forma significativa el clima global (Yavuzsoy & Omer, 2024).

El monitoreo de ENSO se realiza mediante una subdivisión del océano Pacífico en regiones, denominadas Regiones Niño (1+2, 3, 3.4 y 4). Entre ellas, el Niño 1+2 se localiza cerca de las costas de Ecuador y el norte del Perú, aproximadamente entre 0 10°S y 90-80° W. A diferencia del Niño 3.4, el Niño 1+2 muestra una variabilidad mayor debido a dinámicas debidas a surgencias de aguas frías y la influencia de la corriente de Humboldt (L'heureux et al., 2024).

El Niño 1+2 es relevante en estudios de hidrología y climatología por servir de proxy en diagnósticos regionales del clima, especialmente por las precipitaciones extremas en la costa oeste de sudamericana, y aunque sus teleconexiones globales son más débiles que el Niño 3.4, es crucial para proyecciones y pronósticos estacionales de corto plazo (McPhaden et al., 2006).

A lo largo de la mayor parte de la costa peruana, el surgimiento de aguas profundas frías y ricas en nutrientes determina aguas superficiales frías, sosteniendo una importante actividad pesquera. Los vientos alisios del sureste soplan en paralelo con la línea costera, además el efecto de Coriolis que traslada aguas superficiales

hacia mar adentro. El efecto conjunto resulta en un efecto de vacío que favorece el enriquecimiento de la ictiofauna marina, denominado surgimiento Ekman.

La fase caliente de Niño 1+2 se caracteriza por el calentamiento del agua del Pacífico oriental. En este episodio, los vientos alisios se debilitan o incluso se invierten en el Pacífico central y oriental. Este debilitamiento del sistema de vientos posibilita el avance de la onda Kelvin caliente hacia el este alcanzando las costas de Sudamérica, incrementándose la profundidad de la termoclina o frontera entre la capa de agua caliente y el agua fría. En este episodio el fitoplancton se reduce, produciéndose una elevada mortalidad de los peces.

Durante La Niña los vientos alisios se fortalecen más allá de su valor medio, impulsando hacia arriba la termoclina y acercando la capa de agua fría hacia la superficie marina, generando una disminución de la temperatura superficial del agua de mar, con anomalías que alcanzan hasta $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, repercutiendo positivamente en la disponibilidad de nutrientes y pesca. En la costa peruana, las temperaturas y las precipitaciones se reducen, desplazando la pluviosidad significativa hacia la zona oeste del Pacífico (NOAA, 2025c).

El ONI es el indicador estándar utilizado por NOAA para caracterizar la variabilidad interanual del fenómeno ENSO. Se define como la anomalía promediada de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 3.4 (5°N – 5°S , 170°W – 120°W), suavizada en ventanas móviles de tres meses. Debido a que esta región integra señales oceánicas de gran escala, el ONI representa un descriptor robusto del estado térmico del Pacífico central y un referente operativo para clasificar episodios El Niño y La Niña. Por su parte, la anomalía en la temperatura superficial (ATS) en la región Niño 1+2, ubicada frente a la costa norte del Perú y el sur de Ecuador, es la denominación usada en esta investigación. Esta zona es altamente sensible a variaciones regionales de surgencia, vientos costeros y forzantes atmosféricos, por lo que el ATS captura la expresión más temprana y localizada de los eventos El Niño de tipo costero.

ENSO Canónico y Modoki

El Niño canónico corresponde al patrón clásico del ENSO, caracterizado por un calentamiento pronunciado de la TSM en el Pacífico oriental, incluyendo las regiones Niño 1+2 y 3, y en algunos casos la 3.4 y parte de la 4, con fuertes repercusiones atmosféricas y oceánicas a lo largo de la cuenca.

En contraste, el Niño Modoki presenta su máximo calentamiento en el Pacífico central (región Niño 3.4), acompañado de enfriamiento relativo en el este y el oeste. Este patrón alternativo modifica la ubicación de la convección, los teleenlaces y la respuesta regional, produciendo impactos climáticos distintos a los del Niño tradicional y mostrando una dinámica más asociada a forzantes internos de la cuenca (Miñope, 2024).

2.1.2. Ciclo solar y manchas solares

Con periodo de 11 años aproximadamente, la actividad solar varía cíclicamente en el denominado ciclo solar. La actividad solar se cuantifica mediante el número de manchas solares (SSN), un indicador del magnetismo en la fotosfera. El mayor número observable de manchas solares se denomina máximo solar, periodo donde la irradiancia se incrementa la irradiación solar total (ITS) y la componente de radiación ultravioleta (UV), afectando la estratósfera terrestre en su estructura térmica y dinámica, variando la distribución del ozono y la distribución de las temperaturas, principalmente en los trópicos (Martin, 2023).

La actividad solar no solo se manifiesta en las manchas solares. En efecto, las fulguraciones solares son también fenómenos solares de alta energía, correspondiendo a irradiancias en frecuencias específicas definidas. Estas fulguraciones tienen una estructura temporal con intensidad variable en función de las explosiones solares en los ciclos de Schwabe, apoyando la hipótesis de una actividad solar inherentemente variable, influenciando en la irradiancia solar total (IST), modulando la energía incidente en la atmósfera terrestre, probable fuente de variabilidad climática en escalas interanuales y decenales (Gutiérrez & Ishitsuka, 2011).

Manchas solares y clima terrestre

La actividad solar influye de manera directa en la temperatura media terrestre, modulando los patrones terrestres de circulación atmosférica y oceánica. Los cambios principales incluyen:

- a. Variaciones en la Oscilación Cuasibienal (OCB) debida a influencia de la radiación UV solar en la circulación canal estratosférica.
- b. Modulación de ondas planetarias y la circulación de Walker
- c. Influencia en la circulación de Hadley
- d. Influencia en la celda de Brewer-Dobson.

Estas complejas interacciones climáticas alteran potencialmente la distribución de las masas de aire, extendiendo con teleconexiones climáticas la convección tropical hasta la subtropical (Edmonds & Killen, 2025).

La modulación solar de ENSO

En atención a la importante energía que es entregada por el sol al sistema solar y en particular a la tierra, se ha postulado que los ciclos solares modulan el comportamiento de los ENSO en frecuencia e intensidad. En esta línea de criterio, Lin et al. (2019) encontró que la varianza de ENSO se reduce en etapas de máxima actividad solar, incrementándose en los mínimos solares, proponiéndose un efecto de estabilización por parte de las manchas solares sobre la dinámica de la atmósfera y el océano en el Pacífico ecuatorial.

Ciclos compartidos

Se ha encontrado evidencia estadística de correlación cruzada con retardo y coherencia wavelet en los ciclos solares, estableciendo ciclos decenales de entre 10 a 12 años entre el número de manchas solares y los índices de ENSO, expresados en ONI en la zona Niño 3,4. Aunque la correlación estadística es parcial y no determinista, se respaldó la hipótesis de una modulación de la actividad solar sobre la variabilidad de ENSO, medido en escalas decenales.

En la zona Niño 1+2, las corrientes superficiales, la nubosidad, los vientos locales y las surgencias, el ruido y la variedad espacial es fuerte, pudiendo enmascarar o

maximizar la irradiancia solar total, dificultando la detección de patrones consistentes en la correlación, debiéndose incorporar en los cálculos estos factores al estudiar la coherencia o correlación entre la actividad solar y las anomalías costeras (Ormaza-González et al., 2022).

El Niño Modoki como mecanismo de acoplamiento

Estudios recientes como el de Koderá & Thiéblemont (2016) encontraron que la componente bianual de la temperatura superficial del agua del Pacífico ecuatorial muestra mayor variabilidad en fases de baja actividad solar y menor variabilidad en los periodos de máximos solares sugieren que la actividad solar modula principalmente el patrón espacial del ENSO, prevaleciendo El Niño Modoki sobre el canónico.

2.1.3. La transformada de wavelet

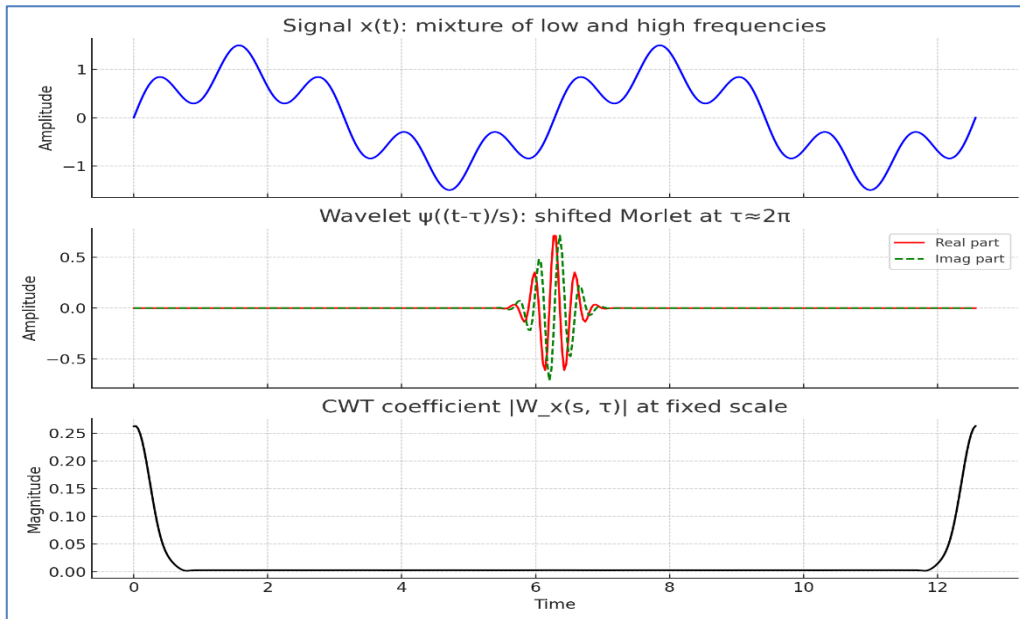
A diferencia de la transformada de Fourier que emplea senos y cosenos extendidos en el tiempo para representar una función, la transformada de wavelet emplea funciones oscilatorias con duración definida, denominadas wavelets (trozos, en francés). El método numérico fue propuesto inicialmente por A. Haar en 1910, formalizado por J. Morlet y Alex Grossman en 1980 y adoptado para estudios climatológicos desde 1998 por Torrence & Compo (Liu et al., 2023).

Las funciones oscilatorias asociadas con la transformada de wavelet se caracterizan por tener simultáneamente ubicación temporal y frecuencial, características idóneas para el análisis de fenómenos no estacionarios, aquellos cuyos parámetros estadísticos varían significativamente en el tiempo, como la variabilidad del evento ENSO.

Matemáticamente, la transformada de wavelet es una convolución entre la señal a analizar y las versiones escaladas y trasladadas de la wavelet madre. El escalado permite alargar o comprimir la wavelet, priorizando las bajas o altas frecuencias, mientras que la traslación desplaza la wavelet en el tiempo, posibilitando la detección de patrones, y para la transformada de wavelet continua, la generación de un mapeo tiempo-frecuencia que muestra la variación temporal de las series dominantes.

Figura 1

La transformada de wavelet como convolución de dos señales



En la Figura 1, parte superior, una señal $x(t)$ es una mezcla de ondas senoidales de bajas y altas frecuencias. En la parte central, una wavelet con sus componentes real e imaginaria en rojo y verde respectivamente, desplazada un tiempo $\tau = 2\pi$. En el panel inferior se observa el resultado de la convolución: el módulo del coeficiente de la Transformada Continua de Wavelet, para una escala fija s , evaluada como función del tiempo τ (Torrence & Compo, 1998).

La coherencia de wavelet permite extender la correlación tradicional, idónea para distribuciones numéricas estacionarias, hacia un espacio descrito en una base de tiempo-frecuencia, donde dos series, como las SSN de la actividad solar y los ATS de ENSO, presentan una relación estadísticamente significativa en algún momento y a una frecuencia específica, incluyendo el desfase temporal entre ambas series.

Cono de influencia

En el análisis wavelet continuo (CWT) y en métodos derivados como la coherencia wavelet (WTC), el cono de influencia (COI) es un concepto fundamental que define la región del diagrama tiempo–frecuencia donde los coeficientes wavelet pueden interpretarse con confianza estadística. Su origen se relaciona directamente con la estructura misma de la transformada wavelet: para evaluar la energía o coherencia

en un instante determinado, la wavelet requiere una ventana temporal centrada en ese punto. Cuando esta ventana se aproxima a los extremos de la serie, una parte de ella inevitablemente queda fuera del registro disponible, por lo que es necesario utilizar relleno artificial (como ceros, repeticiones o reflejos). Este procedimiento altera la forma real de los coeficientes y genera efectos de borde.

El COI demarca la zona donde estos efectos se vuelven significativos. Fuera de esta región, la wavelet deja de estar soportada íntegramente por datos observados, y la energía o coherencia calculada refleja, en parte, artefactos del padding. Por ello, los valores ubicados fuera del COI deben considerarse no interpretables desde un punto de vista estadístico o físico. Sólo los coeficientes dentro del COI pueden utilizarse para inferir coherencia real entre dos series geofísicas. La forma cónica del COI refleja un principio clave: mientras mayor es el período analizado, mayor es la extensión temporal necesaria para estimarlo de manera confiable. En consecuencia, los períodos largos (como los asociados a ENSO, típicamente entre 24 y 60 meses) requieren ventanas amplias y son los primeros en perderse fuera del COI, especialmente cuando la serie temporal es corta. Por el contrario, los períodos cortos mantienen soporte suficiente incluso cerca de los bordes (Bianchi & Guzden, 2024).

Alcances del COI

El COI tiene las siguientes funciones:

- a. Delimita la región de validez del análisis wavelet.
- b. Previene interpretaciones erróneas causadas por artefactos de borde.
- c. Establece un criterio común para comparar diferentes periodos o ciclos.
- d. Garantiza que la significancia estadística (por ejemplo, mediante Monte Carlo AR(1) al 90 %) sólo se evalúe donde tiene sentido hacerlo.

Limitaciones del COI

El COI tiene las siguientes restricciones:

- a. En series cortas, la zona válida puede reducirse drásticamente.
- b. Los períodos largos quedan especialmente afectados, limitando la capacidad de estudiar variabilidad interanual o decadal.
- c. La interpretación fuera del COI carece de sustento estadístico.

Relevancia del COI en la investigación

En esta investigación, el COI se incorpora explícitamente en todos los mapas de coherencia wavelet para asegurar la validez de las conclusiones acerca de la posible relación entre la actividad solar (SSN) y la temperatura superficial del mar en la región Niño 1+2 (ATS). Se consideraron únicamente los parches de coherencia que cumplen simultáneamente las siguientes condiciones que evitan extraer conclusiones basadas en artefactos.:

- a. Estar dentro del COI.
- b. Superar el umbral de significancia Monte Carlo AR(1) al 90 %.
- c. Mostrar continuidad temporal razonable.

El COI constituye un filtro epistemológico dentro del análisis wavelet: define qué información puede sustentarse científicamente y cuál debe descartarse. Su uso garantiza resultados basados únicamente en evidencia con soporte matemático y estadístico sólido.

Transformada de Hilbert

La aplicación del operador de Hilbert genera para cada serie temporal una señal analítica compleja, cuya fase instantánea constituye una representación suave y continua de la evolución temporal de las oscilaciones en la banda filtrada. En la investigación, una vez obtenida esta fase para las series SSN y ATS —previamente aisladas en la banda interanual de 24–60 meses mediante un pasa banda wavelet—, se calculó el desfase como la diferencia directa entre sus fases instantáneas. Esta aproximación permitió cuantificar, en cada instante del registro, el adelanto o retraso relativo entre la actividad solar y la respuesta térmica del Pacífico oriental sin asumir estacionariedad, linealidad ni periodicidad estricta. En este contexto, la transformación de Hilbert reveló no sólo la fase puntual, sino también el comportamiento estructural del acoplamiento SSN–ATS, en la medida que la fase resultante proveyó información esencial sobre la memoria térmica del océano, el amortiguamiento del sistema océano–atmósfera y la modulación no lineal asociada a la dinámica de ENSO. Al no depender de umbrales de significancia estadística, esta estimación del desfase describe el comportamiento inherente del sistema incluso en periodos donde la coherencia wavelet no es

robusta, proporcionando así una medida continua y físicamente interpretable de la relación interanual entre la actividad solar y las anomalías del Niño 1+2 (Pikovsky et al., 2001).

2.2 Antecedentes

2.2.1. Internacionales

Molavi & Eskandari (2025) publicaron en Irán el artículo “Analyzing the cyclical impact of sunspot activity and ENSO on precipitation patterns in Gilan province: a wavelet-based approach” del tipo básico explicativo exploratorio, enfoque cuantitativo y diseño no experimental, el cual tuvo como objetivo analizar el impacto de la actividad solar y ENSO en los patrones de precipitación de una provincia en Irán. La población se definió como una serie histórica de datos climáticos y solares desde 1951 a 2023. La muestra comprendió registros mensuales de precipitaciones, temperatura, humedad en vera no e invierno. Como instrumentos de recolección de datos se emplearon fichas de recojo de información para las variables analizadas.

Los resultados mostraron que el ciclo de las manchas solares de 11 años en promedio es claro y bien definido, mientras que ENSO muestra ciclos de entre 2 a 8 años en la zona geográfica estudiada. La pluviosidad fue coherente con el ciclo de las manchas solares y con el ENSO. Las manchas solares mostraron coherencia fuerte en ambas estaciones, con un periodo de aproximadamente 10 años, mientras que ENSO se relacionó con las lluvias de verano, con retardos de 6 a 18 meses. La correlación con retardos entre ENSO y las precipitaciones mostraron retardos de entre 6 y 16 meses, en función del mes del año. La investigación concluyó que las manchas solares influenciaron en los ciclos decenales de temperatura, humedad y pluviosidad. Asimismo, se concluye que ENSO impacta en periodo interanual modulando la precipitación de verano de manera significativa. No obstante, el impacto de ambos eventos, las relaciones con las precipitaciones son de fase variable, adelantadas o atrasadas, acorde con la estación y periodo estudiado.

En Taiwán, Yuan & Tzu (2024) publicaron el artículo “Development of wavelet-based machine learning models for rainfall prediction considering sunspots and

ENSO” el cual fue del tipo aplicado, alcance correlacional y predictivo, enfoque cuantitativo y diseño no experimental y longitudinal. El objetivo empleó la transformada de Wavelet y modelos de aprendizaje automático para el modelado de predicción de lluvias en Taiwán. Como población se emplearon series climáticas y solares ad hoc para la zona estudiada, siendo la muestra los datos mensuales de precipitación entre 1947 al 2020, las manchas solares entre 1951 al 2020 y el índice de oscilación sur desde 1951 al 2020, captando la variabilidad multidecadal, los datos se recogieron con fichas de observación.

Los resultados mostraron que las manchas solares se correlacionaron con las lluvias en bandas de con periodos de 10 a 12 años, observándose mejora en la correlación de años posteriores a 1990. Las precipitaciones en el rango de 2 a 8 años se correlacionaron significativamente con los índices de oscilación sur de ENSO, mientras que la correlación entre las manchas solares y la precipitación resultó negativa en la banda de 10 a 12 años. Un modelo de aprendizaje bayesiano se entrenó para predecir la pluviosidad mensual empleando los inputs de las manchas solares, ENSO y la humedad, mostrando el modelo una precisión predictiva del 85,7%, la mejor respecto de otros modelos de aprendizaje. Se concluye que las manchas solares son un factor significativo en la predicción de la pluviosidad a largo plazo, más relevante inclusive que ENSO y la humedad. El análisis Wavelet mostró que las manchas solares son variables con influencia en la descripción de patrones de lluvia, recomendándose su inclusión en modelos predictivos y de gestión de recursos hídricos.

Du & Li (2022) publicaron el artículo “Application of Wavelet Analysis to Correlation Between Sunspot Activity and Precipitation in Yunnan Province” del tipo básico explicativo correlacional, enfoque cuantitativo y diseño no experimental longitudinal. El objetivo determinó la relación entre el número de manchas solares y la pluviosidad en una región de China empleando la transformada de wavelet. La población se conformó por los datos de precipitación anual entre 1959 al 2019, mientras que la muestra contó con los datos de 7 estaciones meteorológicas y el número de anual de manchas solares oficial. Los instrumentos de recolección de datos incluyeron fichas de observación para ambas variables de estudio.

Los resultados mostraron ciclos dominantes de entre 8 y 12 años en las manchas solares en el análisis de coherencia. En una zona geográfica la coherencia tuvo un ciclo de aproximadamente 11 años con un retardo positivo de casi + 9 años, mientras que en otra zona el ciclo fue de cerca de 9 años con un retardo negativo de aproximadamente - 8 años. Los retardos fueron distintos mostrando la naturaleza compleja de las relaciones entre los factores geográficos y climáticos locales con las manchas solares. La investigación concluye que las precipitaciones anuales en la localidad china de Yunnan y el número de manchas solares mostraron una relación cíclica con ciclos comunes de entre 8 y 12 años, observándose también desfases variables de acuerdo con la ubicación geográfica, respaldando la hipótesis de la influencia de las manchas solares en la variabilidad interanual y decenal de las precipitaciones.

Kodera & Thiéblemont (2016) presentaron la ponencia “Solar Cycle Modulation of ENSO” en el congreso de la Unión Europea de Geociencias (EGU) realizado en Austria en 2016. La ponencia fue del tipo básica y explicativa, de enfoque cuantitativo y diseño no experimental correlacional y longitudinal. El objetivo de la ponencia estudió la hipótesis sobre la modulación de la temperatura del Pacífico ecuatorial (ESST) debida a la actividad solar, explicando el mecanismo físico modulante del ENSO. La población fueron los históricos globales de la temperatura superficial del mar. La muestra correspondió al periodo 1958 al 2012. Los instrumentos de recojo de datos empleados fueron fichas de observación.

Los resultados mostraron que la amplitud de la componente bianual (CBA) de la ESST es mayor en momentos de menor actividad solar, y es menor durante periodos de alta actividad solar, con efectos particularmente claros después de 1960. También se refiere que cuando la amplitud de la componente bianual en la ESST es alta, en el Pacífico oriental es baja. Se concluye que el efecto de la actividad solar es más pronunciado sobre El Niño Modoki que sobre ENSO canónico. Se concluye igualmente que el ciclo solar actúa más bien alterando la ubicación de El Niño o La Niña, que generándolo o impidiéndolo.

Ormaza-González et al. (2022) presentaron en Ecuador la investigación “Did Schwabe cycles 19–24 influence the ENSO events, PDO, and AMO indexes in the Pacific and Atlantic Oceans?” la cual fue del tipo básica, enfoque cuantitativo ,

Alcance correlacional y diseño longitudinal y no experimental. Su objetivo determinó si el ciclo de Schwabe, seccionado en 6 ciclos de 11 años cada uno, cubriendo desde 1954 hasta el 2019 se correlacionaron con el ENSO en las regiones 1+2, 3.4. La población consideró los índices climáticos y la actividad solar en general, mientras que la muestra abarcó las manchas solares en 6 ciclos de 11 años, además de los índices de la SST en la zona 1+2 y 3.4, evaluando el ATS, en el periodo 04.1954 – 12.2019. Como instrumentos de recolección de datos se emplearon fichas de observación.

Los resultados refieren correlaciones cruzadas lineales muy bajas, menores a $\pm 0,1$, por lo que el modelo explicó menos del 1% de la varianza de las anomalías en la SST en la zona ENSO 1+2. No obstante el resultado anterior, los ciclos solares desagregados en oncenios con fases ascendentes y descendentes, mostraron correlaciones de mayor magnitud ($\pm 0,39$), con desfases de entre 5 y 40 meses, sugiriéndose modulaciones cortas y esporádicas en la zona 1+2. Se concluye que aunque la serie de datos completa no mostró correlación robusta, el análisis por periodos de 11 años puede mostrar una correlación más estrecha, aunque variable debido a las condiciones atmosféricas y oceanográficas.

2.2.2. Antecedentes Nacionales

En el ámbito nacional, Castro et al. (2022) publicaron el artículo “Analysis of the influence of solar cycles on meteorological variables in the central inter-Andean valley of Peru in the period 1986–2019”, del tipo básico, alcance descriptivo correlacional, enfoque cuantitativo y diseño no experimental y longitudinal. El objetivo de la investigación evaluó como influenciaron los ciclos solares 22, 23 y 24, entre 1986 al 2019, en la temperatura y la pluviosidad en cinco estaciones meteorológicas del Valle del Mantaro. La muestra abarcó el periodo 1986 al 2019, seccionado en 3 oncenios, recogiendo los datos con fichas de observación.

Las correlaciones entre las manchas solares y la temperatura o precipitación resultaron significativas en solo una de las cinco estaciones evaluadas, donde la relación resultó inversa y significativa al 95% de confianza cuando se evaluó la temperatura máxima y las manchas solares, obteniéndose un $R^2 = 0,62$. Se concluye que la variabilidad climática en el Valle del Mantaro no es influenciada de manera significativa por la actividad solar.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

La investigación se desarrolló en dos ámbitos espaciales: la región oceánica Niño 1+2 del Pacífico oriental y dos estaciones pluviométricas ubicadas en Tumbes.

3.1.1. Ubicación de las estaciones pluviométricas

Los datos se recogieron de las estaciones pluviométricas del Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes (PEBPT) ubicadas en: a) Campamento Sede, y b) Centro Experimental TUMPIS.

a. Ubicación de la estación pluviométrica Campamento Sede del PEBPT:

i. Ubicación política

Departamento: Tumbes
Provincia: Tumbes
Distrito: Tumbes
Sector: Andrés Araujo Morán
Dirección: Car. Panamericana N° 4.5 Zona Urbana

ii. La ubicación geográfica de la estación pluviométrica del PEBPT en su campamento sede, se observa en la Tabla 1.

Tabla 1

Ubicación geográfica de la estación pluviométrica Campamento Sede

Estación pluviométrica	Latitud (°)	Longitud (°)	Datum
Campamento Sede PEBPT	-3.55306	-80.42972	WGS 84

Nota. Coordenada referencial correspondiente al acceso principal del predio institucional del PEBPT, obtenida mediante Google, (2025).

- iii. Vista aérea. La Figura 2 es una vista aérea de la estación pluviométrica Campamento Sede ubicada en el PEBPT.

Figura 2

Vista aérea de la ubicación de la estación Campamento Sede del PEBPT



Nota: Tomado de Google, (2025)

b. Ubicación de la Estación Experimental Tumpis:

- i. Ubicación política de la Estación Experimental Tumpis

Departamento: Tumbes
 Provincia: Zarumilla
 Distritos: Tumbes - Papayal
 Ubicación: Carretera Panamericana Norte Km 1284

- ii. La ubicación geográfica de la estación pluviométrica Centro Experimental Tumpis del PEBPT se observa en la Tabla 2.

Tabla 2

Ubicación geográfica de la estación pluviométrica de la EE Tumpis

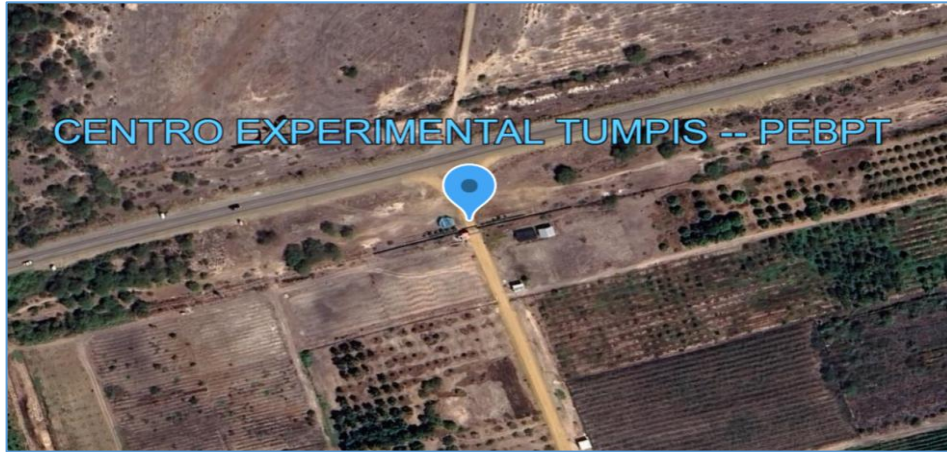
Estación pluviométrica	Latitud (°)	Longitud (°)	Datum
EE Tumpis	-3.51583	-80.32444	WGS 84

Nota. Tomado de Google, (2025)

- iii. Vista aérea. La Figura 3 muestra una vista aérea del centro experimental Tumpis del PEBPT.

Figura 3

Vista aérea del centro experimental Tumpis, PEBPT



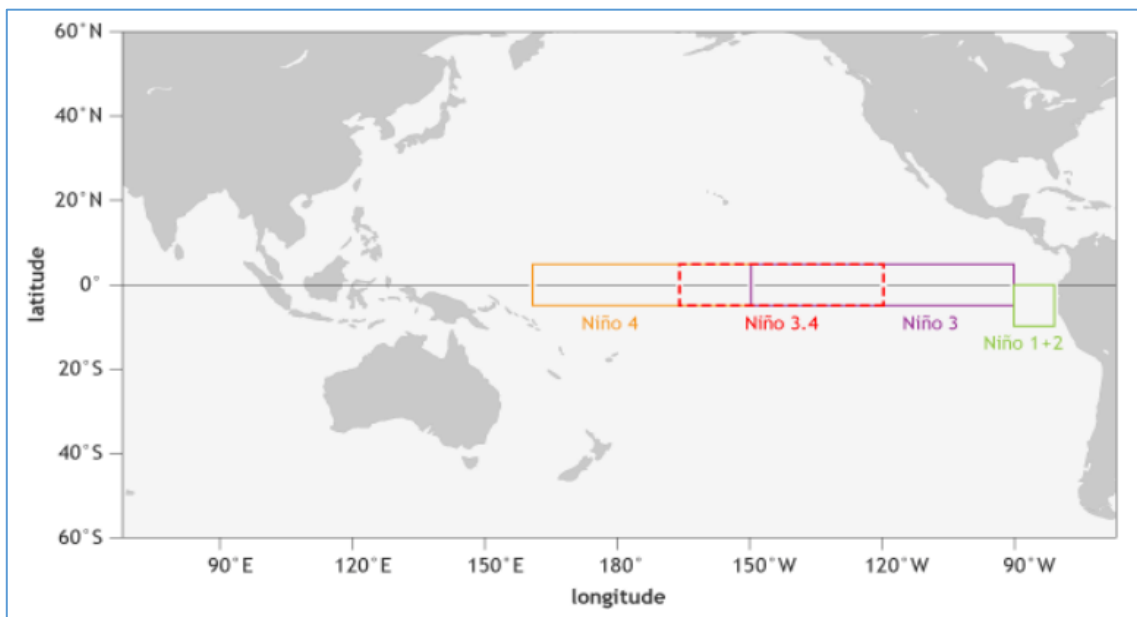
Nota: Tomado de Google, (2025)

3.1.2. Ubicación de la zona Niño 1+2

- a. La ubicación de la zona Niño 1 + 2 se detalla en el recuadro verde claro de la Figura 4.

Figura 4

Ubicación de la zona Niño 1+2



Nota. Tomado de NOAA (2009)

b. Ubicación geográfica de la zona Niño 1+2.

La ubicación geográfica de la zona Niño 1+2 se observa en la Tabla 3.

Tabla 3

Ubicación geográfica de la zona Niño (1 + 2)

Vértice	Latitud (°)	Longitud (°)	Datum
NW	0.000	-90.000	WGS 84
NE	0.000	-80.000	WGS 84
SE	-10.000	-80.000	WGS 84
SW	-10.000	-90.000	WGS 84

Nota. Adaptado de NOAA Climate Prediction Center, (s/f)

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 Tipo y enfoque de la investigación

De acuerdo con Hernández & Mendoza (2018) una investigación es básica cuando su resultado no es de aplicabilidad inmediata, definición alineada con la investigación realizada, donde la coherencia entre la actividad solar descrita por las manchas solares, con Niño (1+2), descrito ATS, no es aplicable inmediatamente en la solución de problemáticas observadas en la comunidad. La investigación realizada consideró variables cuantificadas, siendo por tanto de enfoque cuantitativo.

3.2.2 Alcance de la investigación

La investigación realizada fue de alcance exploratorio en la medida que no se ha encontrado estudio previo o dato de contraste directo correspondiente a la investigación realizada.

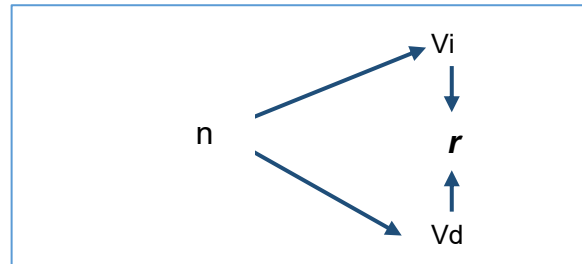
3.2.3 Diseño de la investigación

La investigación corresponde a un diseño no experimental, basado en el análisis de series temporales de manchas solares (SSN) y anomalías de la temperatura superficial del mar en la región Niño 1+2 (ATS 1+2). Este enfoque permitió evaluar la relación entre ambas variables en su comportamiento natural. En el tiempo, el

estudio fue de tipo longitudinal retrospectivo, al emplear datos históricos sin intervención sobre los fenómenos analizados. La Figura 5 esquematiza el diseño.

Figura 5

Diseño de la investigación



3.3 HIPÓTESIS

3.3.1. Hipótesis general

Ho: La actividad solar y los eventos Niño 1+2 registrados entre 1950 al 2024 no se correlacionan significativamente.

H₁: La actividad solar y los eventos Niño 1+2 registrados entre 1950 al 2024 se correlacionan significativamente

3.3.2. Hipótesis específicas

Hipótesis específica 1

Ho: La relación estadística global entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2, no es significativa.

H₁: La relación estadística global entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2, es significativa.

Hipótesis específica 2

Ho: Las relaciones localizadas en el tiempo y frecuencia entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2, no son significativas.

H₁: Las relaciones localizadas en el tiempo y frecuencia entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2, son significativas.

Hipótesis específica 3

Ho: Las manchas solares no presentan un desfase significativo respecto a las anomalías del índice ATS.

H₁: Las manchas solares presentan un desfase significativo respecto a las anomalías del índice ATS.

Hipótesis específica 4

Ho: La coherencia espectral entre las manchas solares y las precipitaciones en el departamento de Tumbes en los periodos 1983 al 2024 y 1964 al 2024, no es significativa.

H₁: La coherencia espectral entre las manchas solares y las precipitaciones en el departamento de Tumbes en los periodos 1983 al 2024 y 1964 al 2024, es significativa.

3.4 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

a. Índices globales.

Población:

i. Actividad solar (SSN)

Universo: Series completas desde 1950 al 2024

Fuente: Solar Influences Data Analysis Center – Sunspot Index and Long-Term Solar Observations -- Sunspot number series (Royal Observatory of Belgium, 2025).

ii. Niño 1+2, (ATS 1+2)

Universo: Serie completa desde 1950 al 2024

Fuente: Physical Sciences Laboratory – NOAA, metodología basada en HadISST1.1 (Physical Sciences Laboratory - NOAA, 2025).

Muestra: Se consideran la totalidad de registros disponibles para ambas series en el periodo de estudio (1950–2024).

Muestreo: El muestreo realizado fue no probabilístico, del tipo censal.

Unidad de análisis: Registro temporal mensual.

b. Regional, Tumbes.

Población: Los datos de las precipitaciones ensayados corresponden a los registros proporcionados por el PEBPT correspondientes a su Estación Campamento Sede y la Estación Experimental Tumpis, expresadas en mm, de los años 1983 – 2024 y 1964 – 2024, respectivamente.

Muestra: Se consideran la totalidad de registros disponibles de ambas estaciones dentro de sus periodos de operación.

Muestreo: No probabilístico de tipo intencional, seleccionando estaciones con criterios de disponibilidad y continuidad de datos; dentro de estas, se empleó un enfoque censal al considerar la totalidad de los registros disponibles.

Unidad de análisis: Un registro mensual de precipitación (mm).

Criterios de Inclusión: Se consideraron estaciones con disponibilidad y continuidad de registros históricos de precipitación mensual, calidad y consistencia de los datos, y ubicación dentro del ámbito de estudio, priorizando la franja cuasi urbana de Tumbes.

3.5 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1 Métodos

La investigación fue de enfoque cuantitativo, correspondiendo en consecuencia el método de investigación hipotético deductivo, con lo que una vez docimadas las hipótesis, se realizaron las deducciones que, alineadas de acuerdo con los objetivos de la investigación, conformaron las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

3.5.2 Técnicas de recolección de datos

Los datos de las manchas solares y los ATS 1+2 se recolectaron aplicando la técnica de observación del comportamiento de ambas variables.

3.5.3 Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se emplearon fichas de observación.

Validez. Los instrumentos la recolección del número de manchas solares se adaptaron al formato oficial del Real Observatorio de Bélgica, específicamente del Índice de Manchas Solares y Observaciones Solares de Larga Duración (SILSO por sus siglas en inglés). Para la recolección de datos sobre ATS 1+2, los instrumentos se adaptaron del formato de la Administración Nacional Oceánica Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés), no considerándose por tanto necesaria la validación por expertos.

Confiabilidad. En la medida que se recogieron datos objetivos, no se consideró necesario realizar un ensayo de confiabilidad tipo Alfa de Cronbach, diseñado para estudiar la consistencia de los resultados midiendo un mismo constructo, caso correspondiente a un instrumento del tipo encuesta donde el criterio del investigador puede incluir algún tipo de sesgo en la redacción de las preguntas.

3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Procesamiento de datos. El procesado de los datos incluyó las siguientes fases:

Pretratamiento

Con los datos de las manchas solares como indicadores de la actividad solar y las anomalías de la temperatura superficial del agua de mar, en la zona Niño 1+2, descritas por ATS 1+2 se procedió a su acondicionamiento para el proceso. La serie de datos de las manchas solares se suavizaron mediante media móvil ponderada de 13 meses, acorde con la metodología de Centro de Análisis de Datos de Influencias Solares (SILSO, por sus siglas en inglés) del Real Observatorio de Bélgica, eliminando la variabilidad de alta frecuencia y resaltando los componentes de baja frecuencia asociados con los ciclos solares y oceánicos. La serie ATS 1+2 se suavizó con media móvil a 3 meses de acuerdo con el criterio oficial de NOAA para la temperatura superficial del agua de mar (NOAA, 2025a).

Estandarización de las precipitaciones

La estandarización practicada a las precipitaciones y las manchas solares permitieron la comparación entre dos magnitudes diferentes. Efectivamente, las precipitaciones se miden en mm, mientras que las manchas solares son adimensionales, siendo además de magnitudes diferentes. Ante ello la estandarización Z permitió que ambas series tengan promedio 0 y varianza unitaria, facilitando la lectura visual sin que una serie prevalezca sobre la otra solo por su amplitud. De igual modo, la estandarización permitió una interpretación física más clara, permitiendo una comprensión más robusta en términos de desviaciones estándar, cuando una misma medida de precipitación tiene diferente significado en enero o julio (Muñoz, 2020).

Grados de libertad

En series climáticas y solares con resolución a nivel mensual como el número de manchas solares y el índice ATS (1+2), los valores consecutivos no son completamente independientes por cuanto presenta persistencia temporal o autocorrelación de 1er orden. Esta condición produce sobreestimación de los grados de libertad cuando se calculan correlaciones y ensayos de significación mediante la suposición de independencia. Para esto se aplicó el tamaño muestral efectivo N^* definido mediante:

$$N^* = N \frac{1 - r_{1x}r_{1y}}{1 + r_{1x}r_{1y}}$$

Donde N es el total de observaciones y r_{1x} y r_{1y} son las autocorrelaciones de primer orden de las series SSN y ATS 1+2. Este ajuste redujo el número de observaciones efectivamente independientes, mejorando la robustez estadística.

La significancia del coeficiente de correlación se estimó mediante la transformación z de Fisher:

$$z = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1+r}{1-r} \right), \quad SE = \frac{1}{\sqrt{N^* - 3}}$$

Donde r es el coeficiente de correlación muestral de Pearson entre ambas series; z es la transformación de Fisher, SE es el error estándar y N^* es el tamaño muestral efectivo (Rincón & De Jesús, 2024).

Correlaciones

Con los datos procesados se calculó el coeficiente de correlación r de Pearson y la ρ de Spearman, considerando el tamaño muestral efectivo N^* , ajustado autocorrelación. Las significancias se estimaron mediante la transformación Z de Fisher y el N^* corregido, permitiendo identificar correlaciones significativas en función de la persistencia temporal de ambas series.

Presentación de resultados

Los resultados se presentaron en una tabla de correlaciones por ciclo solar, mostrando también un gráfico de barras con los coeficientes de correlación para cada ciclo (ciclo 19 al ciclo 25) solar analizado. Este procedimiento permitió observar y comparar la fuerza y signo de la correlación SSN y ATS durante 7 décadas, permitiendo una visión lo más detallada posible sobre las fluctuaciones oceánicas interanuales y decenales de la zona Niño 1+2.

Monte Carlo

Por la persistencia de ruido rojo en las series SSN y ATS 1+2, la significancia de las correlaciones y de la coherencia de wavelet se analizó mediante la simulación de Monte Carlo bajo un nulo bivariante AR(1), cada serie modelada con su propio desplazamiento de fase, por cuanto, cualquier resultado excede lo esperado por la memoria interna de las series de datos y por el proceso estadístico en sí. En la coherencia de wavelet, solo se consideran como significativas las islas fuera del COI (Camón, 2022).

Procesamiento general

Las series de manchas solares (SSN) y de anomalías ATS 1+2, se suavizaron mediante promedios móviles de 13 y 3 meses, respectivamente, y posteriormente estandarizadas para eliminar diferencias de escala. Se recortaron los intervalos con valores faltantes y se garantizó la correspondencia temporal entre ambas series. Para el análisis wavelet se generaron ventanas temporales por ciclo solar y para el periodo completo 1950–2024, preservando la resolución mensual.

Análisis de datos

Se emplearon los siguientes criterios básicos al analizar los datos

- a. La coherencia de wavelet solo puede ser alta y significativa en una banda temporal si ambas series tienen energía en esa banda y además su fase es relativamente estable.
- b. Niño 1+2 concentra su varianza en periodos de 2 a 7 años mientras que el ciclo solar lo hace en periodos de 11 años

El análisis de datos comprendió los siguientes tópicos:

a. Número de manchas solares y el Índice Niño 1+2 (SSN y ATS)

El análisis exploratorio de las series mensuales de SSN y del índice ATS 1+2 para el periodo 1950–2024 muestra dos comportamientos claramente diferenciados. El SSN presenta la variación casi periódica típica de los ciclos solares de aproximadamente 11 años, con máximos y mínimos bien definidos y amplitudes relativamente regulares. De otro lado, ATS 1+2 exhibe una señal mucho más irregular y asimétrica, dominada por episodios intermitentes de calentamiento y enfriamiento del Pacífico oriental (eventos El Niño y La Niña), a intervalos variables en duración e intensidad.

Cuando ambas series se suavizan, con media móvil de 13 meses para SSN y 3 meses o equivalente, para ATS, se observa que en algunos periodos hay cierta coincidencia visual entre máximos o mínimos de las dos señales, pero en la mayor parte del registro cada serie mantiene su propia dinámica, sugiriendo de manera preliminar, que Niño 1+2 no responde de forma simple ni directa al ciclo solar, sino que su variabilidad está gobernada principalmente por mecanismos internos del océano–atmósfera (Valencia et al., 2022).

b. Relación estadística global: correlaciones por ciclo solar

Las correlaciones de Pearson calculadas entre SSN y ATS 1+2 —tanto para la serie completa como separadas por ciclo solar (C19–C25), muestran que no existe una relación lineal fuerte ni estable entre ambas variables. A escala global, los coeficientes de correlación son bajos, aun después del suavizado temporal, indicando que la covarianza compartida entre SSN y ATS es pequeña frente a la variabilidad propia de cada serie.

El análisis correlacional individual de cada ciclo solar reveló que los coeficientes cambian de signo y magnitud entre un ciclo y otro. En algunos casos, C19 y C25, se obtienen valores positivos fuertes y moderados, mientras que en otros ciclos: C20, C22 y C23, predominan valores negativos de baja magnitud, y en otros C21 y C24, la correlación se aproxima a cero. Esta fuerte dispersión interdecenal indica que las coincidencias lineales que pueden aparecer en un ciclo aislado no se reproducen consistentemente en los demás, confirmando la independencia de Niño 1+2 señalada en el apartado anterior (Loyola & Salazar, 2022).

c. Relación tiempo frecuencia

Mediante el análisis de coherencia wavelet (WTC) se investigó la relación entre SSN y ATS 1+2 en el plano tiempo–frecuencia. El interés principal se centró en la banda de 24–60 meses, franja que aglutina buena parte de la energía asociada al Niño. Los resultados muestran que la coherencia SSN–ATS es intermitente y no estacionaria, no sosteniéndose a lo largo del registro ni en todas las escalas de tiempo. En particular, los parches de coherencia relativamente más altos tienden a aparecer en torno a grandes episodios El Niño (fines de los años 1950, 1982–83, 1997–98, 2015–16 y 2023–24). Sin embargo, al aplicar criterios rigurosos de significancia estadística y considerar el Cono de Influencia (COI), la mayoría de estos parches resultan ser de corta duración, ubicados parcial o totalmente cerca del COI o no superan el umbral de significancia, no pudiéndose considerar evidencia robusta de un acoplamiento tiempo–frecuencia estable entre la actividad solar y el Niño 1+2 (Polanco, 2022).

d. Fase entre SSN y ATS

Para complementar el análisis de coherencia, se estudió la fase relativa entre SSN y ATS 1+2 en la banda de 24–60 meses, incluyendo eventos Niño de gran intensidad: C19, C21, C23, C24 y C25.

En algunos intervalos breves, especialmente cercanos a los máximos de Niños intensos, se observan acercamientos temporales hacia valores de fase próximos a 0° . En otros periodos, la fase se desplaza hacia valores cercanos a $\pm 90^\circ$ o incluso hacia $\pm 180^\circ$, cambiando de signo sin un patrón regular. Los puntos identificados como de mayor intensidad (por ejemplo, aquellos que superan el

percentil 90 de la amplitud cruzada) aparecen como eventos aislados y no organizados en segmentos prolongados de fase constante (Polanco, 2022).

e. Correlación cruzada

La correlación cruzada se concretó estimando la función de correlación cruzada (CCF) entre las anomalías de precipitación y el número de manchas solares (SSN). Esta técnica cuantificó la asociación lineal entre ambas series en función del desfase temporal, permitiendo identificar posibles estructuras de adelanto o retraso de fase, estudiando si el SSN adelantó o retrasó a la precipitación varios meses. La CCF se calculó tras estandarizar ambas series para garantizar su comparabilidad, mientras que los límites de significancia se evaluaron bajo el supuesto de estacionariedad débil. Los picos de la CCF revelaron posibles desfases para un análisis espectral posterior (Becerril et al., 2024).

f. Imputación de valores

Estación PEBPT Campamento Sede:

La serie de precipitación mensual de la estación PEBPT Campamento Sede (1983–2024) se encuentra completa, sin registros faltantes ni valores cualitativos, por lo que no se requirió imputación. En consecuencia, los datos fueron utilizados directamente en el análisis, preservando su variabilidad interanual y la ocurrencia de eventos extremos.

Estación CIA Tumpis:

La serie de precipitación mensual de la estación CIA Tumpis (1964–2024) presentó registros tipo “T” (trazas) y un tramo faltante entre abril y diciembre de 2020. Las trazas fueron homogenizadas como valores mínimos de precipitación (≈ 0.0 mm), permitiendo su tratamiento numérico sin alterar la condición de sequedad predominante. Para los datos faltantes, se aplicó un criterio de imputación estacional por meses, considerando la dinámica intra-anual y la variabilidad observada en la serie de la Figura 44. En abril, mes de transición entre la estación húmeda y seca, se emplearon valores representativos basados en años adyacentes (2018, 2021 y 2022), evitando la influencia de registros atípicos. Para los meses de mayo a junio se asignaron valores bajos coherentes con el comportamiento histórico, mientras que en el periodo seco núcleo (julio a

septiembre) se consideraron valores cercanos a cero. En los meses de octubre a diciembre se utilizaron valores bajos derivados de años de referencia, manteniendo el patrón de reactivación incipiente. Este procedimiento permitió preservar la estacionalidad y evitar la introducción de anomalías artificiales o la distorsión de eventos extremos (Valencia et al., 2022).

Análisis general de datos

La coherencia wavelet (WTC) se calculó con la wavelet madre Morlet, obteniendo mapas tiempo–frecuencia, sus fases asociadas y las regiones significativas mediante pruebas Monte Carlo AR(1) al 90 %. Para cada instante y en la banda interanual 24–60 meses, se promedió la fase utilizando la media circular, evitando distorsiones por periodicidad angular. Los desfases resultantes (en meses) constituyen una variable lineal, por lo que su comportamiento global se resumió mediante la mediana, el rango intercuartílico (IQR) y el número de puntos válidos, considerando únicamente celdas significativas y dentro del cono de influencia (COI).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

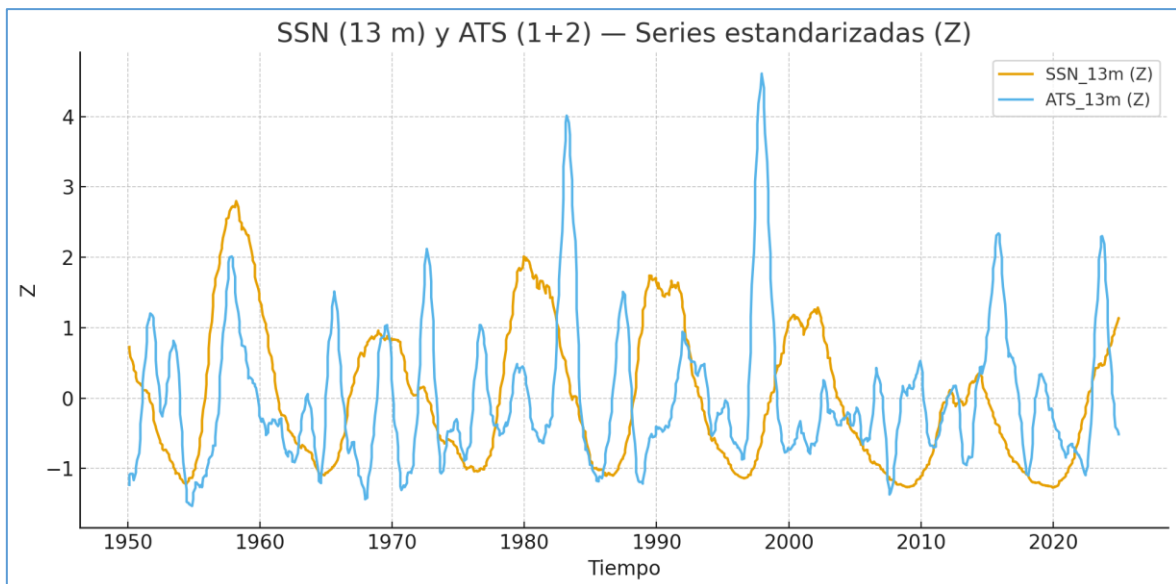
4.1.1. Resultados del objetivo general

El objetivo general exploró una posible relación estadística entre la actividad solar y los eventos Niño (1+2) entre 1950 al 2024.

La Figura 6 grafica la evolución de la actividad solar y el índice ATS correspondiente a Niño 1 + 2 en el periodo 1950 – 2024 con un suavizado de media móvil de 13 meses y ambas series de datos estandarizadas.

Figura 6

Actividad solar y evento Niño 1+2



En la Figura 6 se observa en mostaza las oscilaciones típicas de SSN de los ciclos solares de frecuencia regular. La variabilidad de los eventos intermitentes Niño y Niña en la zona 1+2 resultó elevada. Es notable la coincidencia gráfica en el evento El Niño de 1957-1958, con el máximo solar récord de 1958 en el ciclo C19, máximo

no alcanzado hasta hoy desde el inicio del registro de manchas solares en 1755. En el evento Niño 1+2 de 1983 se observa un adelanto de SSN respecto de la variación ATS 1+2 mientras que en el evento Niño 1+2 del 1997-1998 el desfase se invierte. De igual forma, en el ciclo C25 se observa una coincidencia notable entre SSN y ATS.

De acuerdo con la Tabla 4 de correlaciones interdecenales de Pearson, la correlación de SSN y ATS 1+2 en el ciclo C19 alcanzó un valor $r = 0,82$, mientras que en el ciclo C25 la coincidencia alcanzó una correlación de nivel fuerte de 0,69, confirmando numéricamente la observación gráfica de la figura 7.

Si bien se evidencian momentos de coherencia entre SSN y ATS 1+2, no se observa coherencia multidecadal, sugiriéndose que no existe correspondencia lineal persistente entre ambas variables.

Análisis correlacional entre SSN y ATS 1+2

El análisis correlacional entre la actividad solar y los eventos Niño (1+2) en el periodo 1950-2024 muestra que no existe una relación global lineal fuerte ni persistente entre ambas series, observándose:

- La correlación mensual bruta entre las series fue baja: $r \approx 0.07$.
- Con suavizado de media móvil de 13 meses, el coeficiente resultó: $r \approx 0.09$.

Los valores de correlación revelaron que la componente solar se manifiesta de manera muy débil frente a la variabilidad oceánica dominante del Niño. El análisis por ciclos solares, desde C19 hasta C25, tampoco mostró correlaciones persistentes y/o robustas, reforzando la conclusión de no linealidad de SSN – ATS.

Análisis de coherencia entre SSN y ATS 1+2

El análisis de coherencia espectral tiempo-frecuencia entre SSN y ATS 1+2, mostró que aunque no existió coherencia persistente a lo largo del periodo estudiado, 75 años o 900 meses, sí se observaron intervalos con coherencia focalizada,

especialmente en el periodos significativos de El Niño: 1983, 1997-98 y 2015-2016. En estos periodos la coherencia se fortalece en las bandas de 24 – 60 meses, escala temporal coincidente con escalas subdecadales donde se detectó una posible modulación externa de la variabilidad del Pacífico oriental.

Análisis de fase entre SSN y ATS 1+2

El análisis de las fases entre SSN y ATS 1+2 mostró que el desfase entre SSN y ATS 1+2 no es constante a lo largo del ciclo 1950 – 2024, encontrándose que en los periodos de coherencia significativa aparece adelantado entre 6 – 12 meses respecto a ATS, mientras que en otras ventanas la fase se invierte.

El resultado anterior se interpreta considerando a la dinámica SSN-ATS no lineal, estacionaria y más bien dependiente del contexto climático, resultado coherente con fuerte memoria térmica, ruido rojo y retroalimentaciones internas que suavizan la influencia energética del sol.

En conclusión, los desfases observados no permiten sostener un mecanismo causal simple, aunque sí se han observado modulaciones intermitentes asociadas con episodios de Niño sobreenergizado.

4.1.2. Resultados del primer objetivo específico

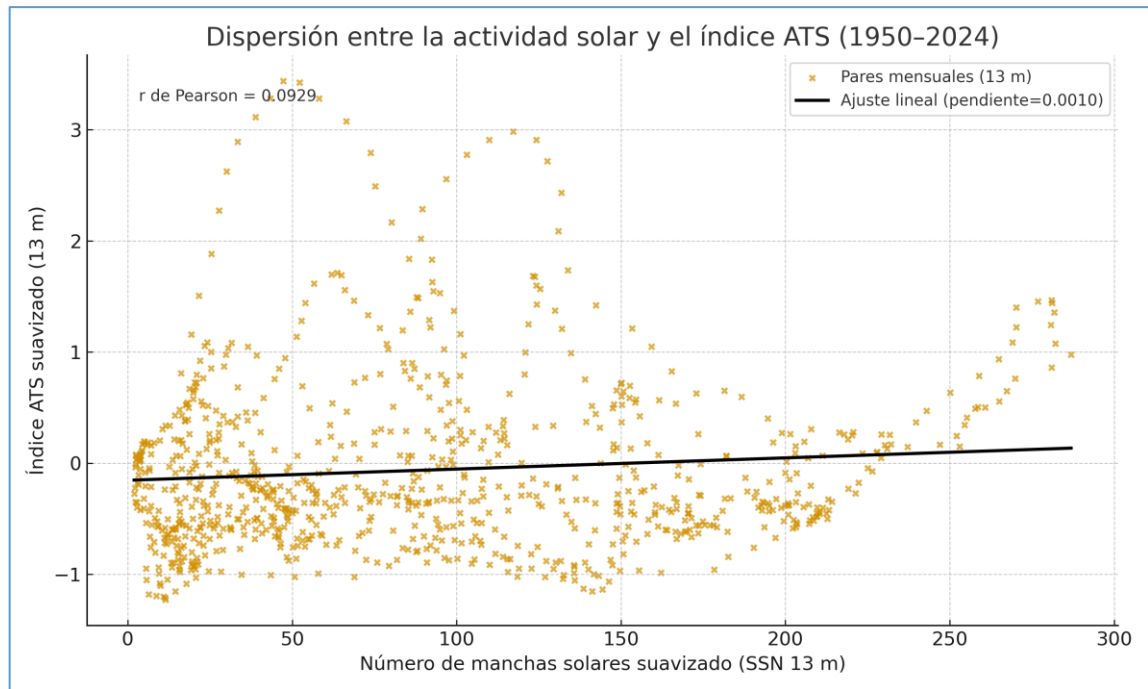
El primer objetivo específico evaluó la relación estadística global entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2.

Con base en las series mensuales suavizadas a 13 meses, —filtro SILSO de ventana completa desde 1950 a 2024— la correlación entre la actividad solar, descrita en el número de manchas solares y el índice ATS (Niño 1+2), fue $r = 0,093$, para $n = 900$ pares de datos después del suavizado. Por la vinculación de los eventos intermensuales la corrección del tamaño resultó $N^* = 6.3$ en intervalos de confianza del 95 % para r de $(-0,76, 0,83)$. Consistentemente, la correlación de Spearman arrojó $\rho = 0,107$. La apreciación conjunta de resultados no mostró una asociación global significativa entre la actividad solar y las anomalías ATS Niño (1+2) en el periodo 1950 – 2024. El ajuste lineal resultó: $ATS_{13m} = 0.0010 \cdot$

$SSN_{13m} + b$. La Figura 7 resume los pares de datos y la correlación lineal con la pendiente de ajuste igual a 0.0010.

Figura 7

Gráfico de dispersión entre la actividad solar y el índice ATS del Niño 1+2



Correlación por ciclo interdecenal

La correlación por ciclo solar interdecenal, desde el ciclo SILSO C19 al C25 se muestra en la Tabla 4. Se observa que en el ciclo C20, C21, C22 y C23, la asociación fue débil e inclusive inversa.

Tabla 4

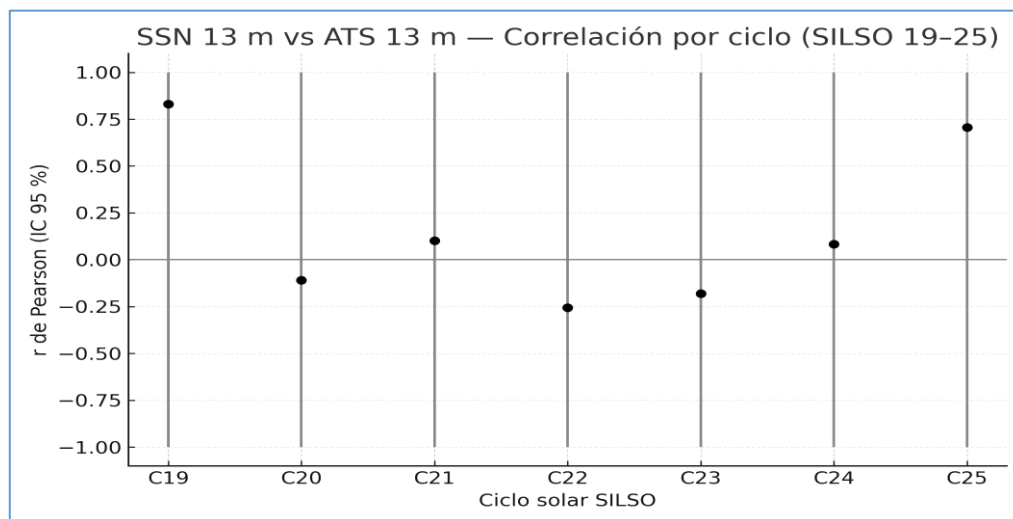
Correlación de Pearson interdecenal de acuerdo con los ciclos solares SILSO

Ciclo solar SILSO	Inicio	Fin	Número de observaciones pareadas válidas	Correlación de Pearson
C19	1954-04-01	1964-09-01	126	+0.8298
C20	1964-10-01	1976-05-01	139	-0.1098
C21	1976-06-01	1986-08-01	124	+0.1015
C22	1986-09-01	1996-04-01	115	-0.2558
C23	1996-05-01	2008-09-01	150	-0.1815
C24	2008-10-01	2019-11-01	133	+0.0838
C25	2019-12-01	2024-06-01	56	+0.7055

En C19 y en C 25, la asociación fue fuerte, con coeficientes de correlación de 0,7 y mayor a 0,8, no obstante, estos valores deben compulsarse con precaución, considerando la coherencia y fase de las variables. En la Figura 8 se grafican los coeficientes de correlación en los ciclos SILSO.

Figura 8

Correlación de Pearson interdecenal de acuerdo con los ciclos solares C19 a C25



4.1.3. Resultados del segundo objetivo específico

El segundo objetivo específico identificó las relaciones localizadas en el tiempo y frecuencia entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2.

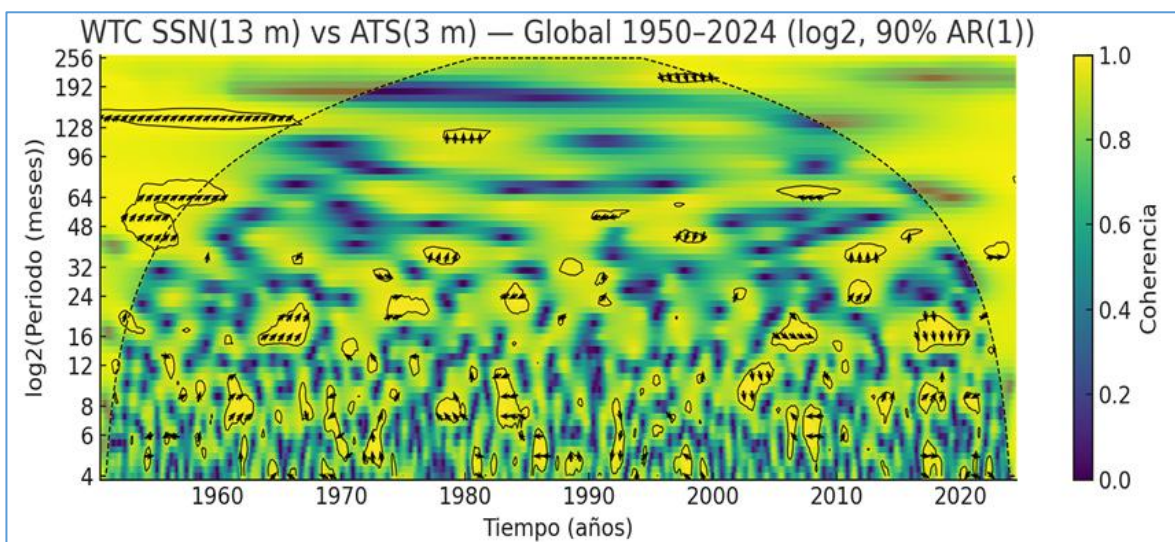
Los datos de las manchas solares, suavizados a 13 meses se alinearon con los datos ATS de Niño (1+2) suavizados a 3 meses, estandarizándose para lograr hacer ambas series comparables. El patrón mostrado en la Figura 9 que en general la relación entre ambas series no es estable ni persistente en el tiempo, apareciendo de manera intermitente en bandas temporales específicas. Los valores de coherencia son moderados y se concentran principalmente en los períodos comprendidos entre aproximadamente 16 y 48 meses, rango que coincide con escalas típicamente asociadas a la variabilidad interanual de Niño 1+2. La región dentro del COI representa zonas donde la coherencia supera el umbral de significancia determinado mediante simulaciones Monte Carlo bajo un modelo AR(1) al 90 %. Estas áreas indican que, en esos intervalos, la relación entre SSN y

ATS (1+2) es más fuerte de lo esperable por azar en series con comportamiento de ruido rojo.

La zona amarilla con islas demarcadas en la parte superior de la Figura 9 no es interpretable porque está fuera del COI y sin respaldo de significancia. La falta de coincidencia entre las escalas dominantes de Niño (2–7 años) y SSN (~11 años) ayuda a explicar la falta de islas robustas y por qué los alineamientos de fase a periodos muy largos son artefactos de tendencia/borde.

Figura 9

Coherencia de wavelet para SSN (13m) y ATS (3m); escala vertical logarítmica



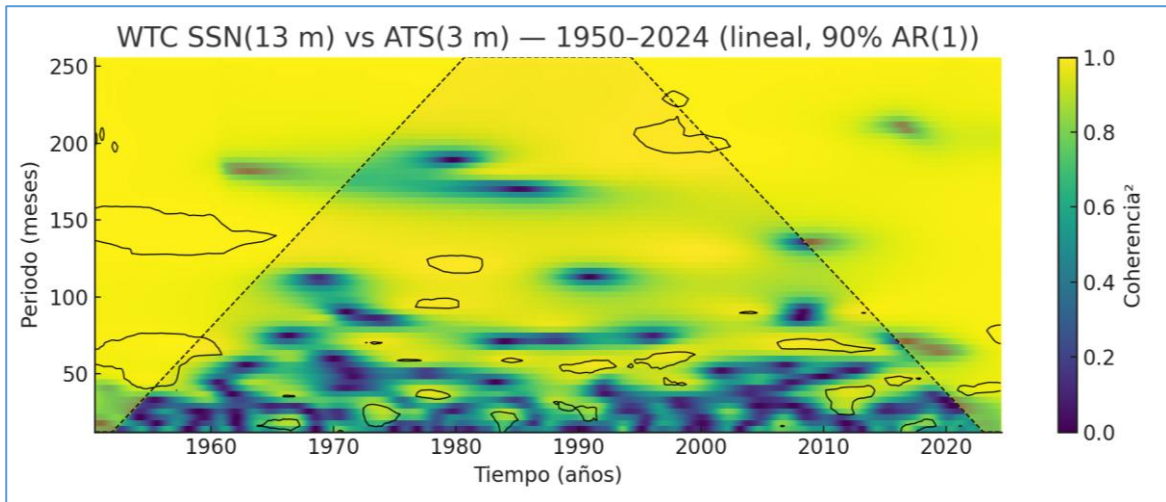
Se observa que la significancia tiende a concentrarse alrededor de momentos en los que también se desarrollan episodios Niño 1+2 intensos, como 1982–83, 1997–98 y 2015–16, lo cual sugiere que la conexión solar–oceánica se hace detectable cuando el sistema acoplado océano–atmósfera presenta una mayor energía interna.

La Figura 10 muestra la coherencia entre Niño (1+2) y SSN con escala lineal del periodo mensual desde 12 hasta 256 meses. La mayor parte de las coherencias significativas se concentran en períodos relativamente cortos, entre 12 y 48 meses, coincidiendo con escalas típicas de variabilidad interanual asociada al Niño. El COI mostró las zonas donde la coherencia es estadísticamente más fuerte que lo esperado por el azar.

En conjunto, la figura 10 confirma que la posible conexión entre la actividad solar y la variabilidad térmica en la región Niño 1+2 es episódica, dependiente del período, y probablemente modulada por la dinámica interna del océano, más que por un forzamiento solar sostenido.

Figura 10

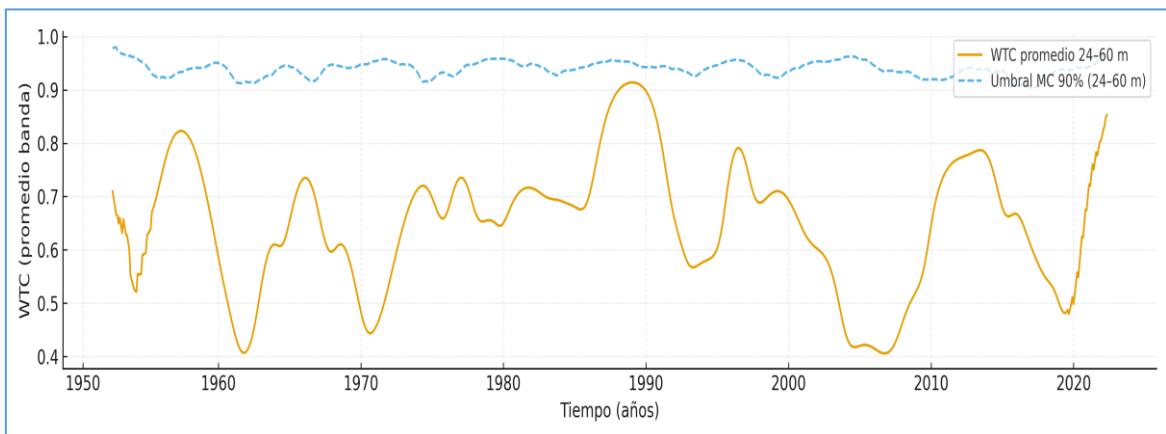
Coherencia de wavelet para SSN (13m) y ATS (3m); escala vertical lineal



La curva de la coherencia de wavelet en la banda de 24 a 60 meses mostró incrementos episódicos en la zona próxima a eventos niño de gran magnitud como el de 1983, 1997, 2015. De acuerdo con la Figura 11, la coherencia no superó de manera sostenida el umbral de MC al 90 %, no habiendo evidencia estadística robusta que confirme una asociación significativa entre SSN y ATS (1+2).

Figura 11

Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses y 90 % de confianza

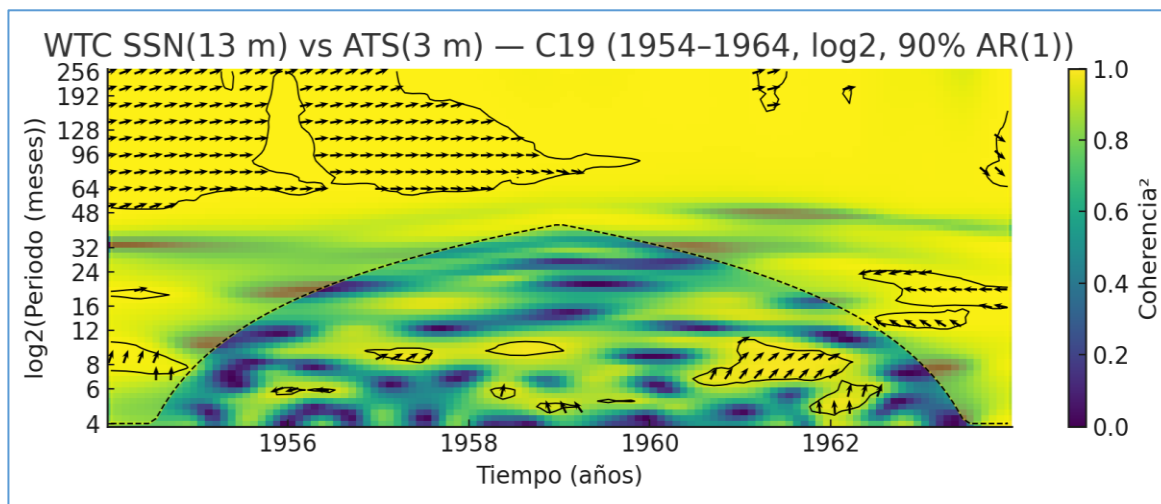


Ciclo solar C19 (1954 — 1964)

Durante el ciclo solar C19 la coherencia de wavelet entre SSN (13m) y el ATS 1+2 (3 m) no muestra islas persistentes y significativas al 90 % MC AR(1), En la Figura 12 se grafica la coherencia de wavelet y el COI para el ciclo.

Figura 12

Mapa de coherencia de wavelet entre las SSN y ATS durante el ciclo solar C20



En la mayor parte del C19 la coherencia significativa se concentra en períodos relativamente cortos, entre 8 y 24 meses, sugiriendo que cualquier posible acoplamiento entre la actividad solar y la señal térmica costera durante el C19 ocurre principalmente en escalas subinteranuales.

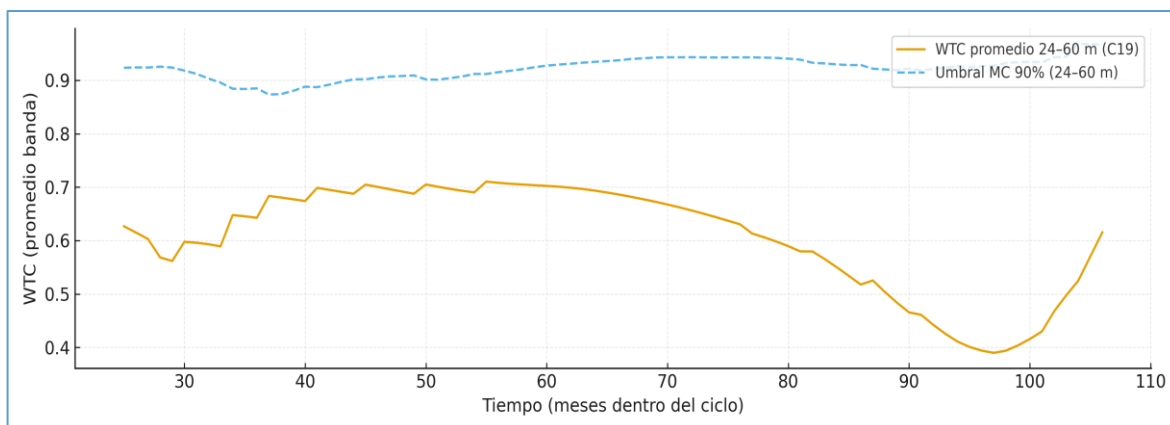
En periodos largos de 50 a 256 meses, el color claro y las flechas casi en fase, se muestran fuera del COI, no superando la condición de significancia. De forma conjunta, los resultados del ciclo C19 son consistentes con un desajuste de las complejas condiciones meteorológicas y oceánicas locales entre SSN (~11 años) y Niño 1+2 (2-7 años), limitando la coherencia significativa cuando se controla autocorrelación de la serie.

En el C19 la coherencia promediada en la banda de 24 a 60 meses entre SSN (13m) y ATS 1+2 (3m) mostró una zona con coherencia incrementada pero que no superó el umbral de significancia del 90 % calculado por Monte Carlo AR(1).

Esto muestra ausencia de coherencia robusta entre SSN y Niño 1+2 durante C19. La Figura 13 muestra ambas curvas.

Figura 13

Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses y 90 % de confianza; C19



Ciclo solar C20 (1964 — 1976)

La coherencia de wavelet durante el ciclo solar C20 entre el número de manchas solares suavizado a 13 meses y el índice ATS 1+2 suavizado a 13 meses no mostró regiones significativas al 90 % bajo Monte Carlo bajo un nulo bivalente AR(1).

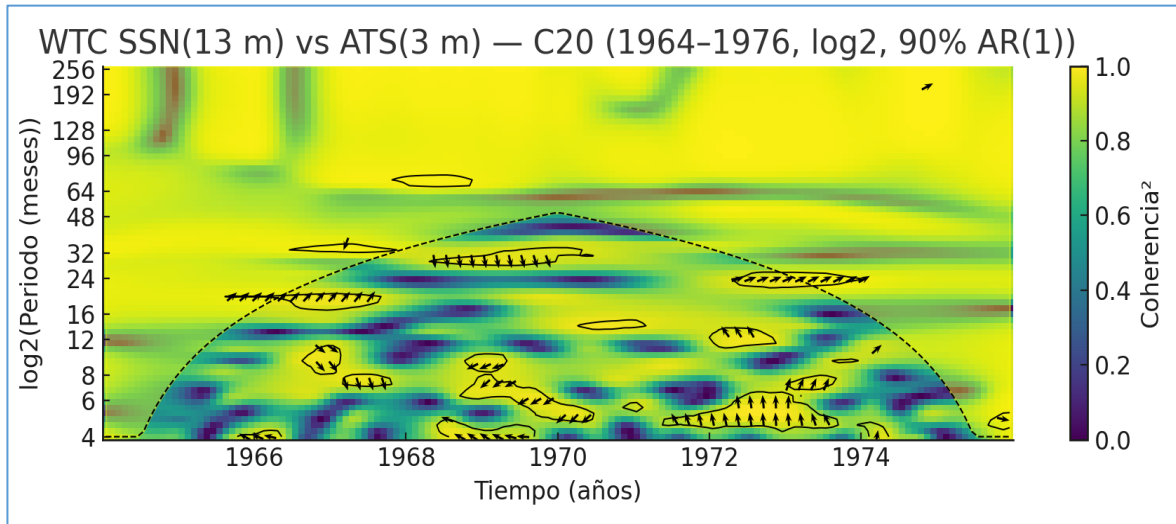
En este intervalo se observa que la coherencia entre ambas series es moderada pero claramente intermitente, con parches de energía común distribuidos de manera irregular a lo largo del tiempo y concentrados principalmente en escalas relativamente cortas, entre 8 y 24 meses, reflejando una relación acotada y no persistente entre la actividad solar y Niño 1+2 en este ciclo.

En el C20 las áreas significativas son escasas y puntuales, sugiriendo que cualquier acoplamiento entre SSN y ATS ocurre de forma oportuna, asociada probablemente a condiciones internas del sistema oceánico-atmosférico más que a un forzamiento solar sostenido.

Las flechas de fase de la Figura 14 muestran un patrón heterogéneo, sin una dirección dominante, indicando que el desfase relativo entre ambas series es variable en el tiempo y no un claro adelanto o retraso.

Figura 14

Mapa de coherencia de wavelet entre las SSN y ATS durante el ciclo solar C20

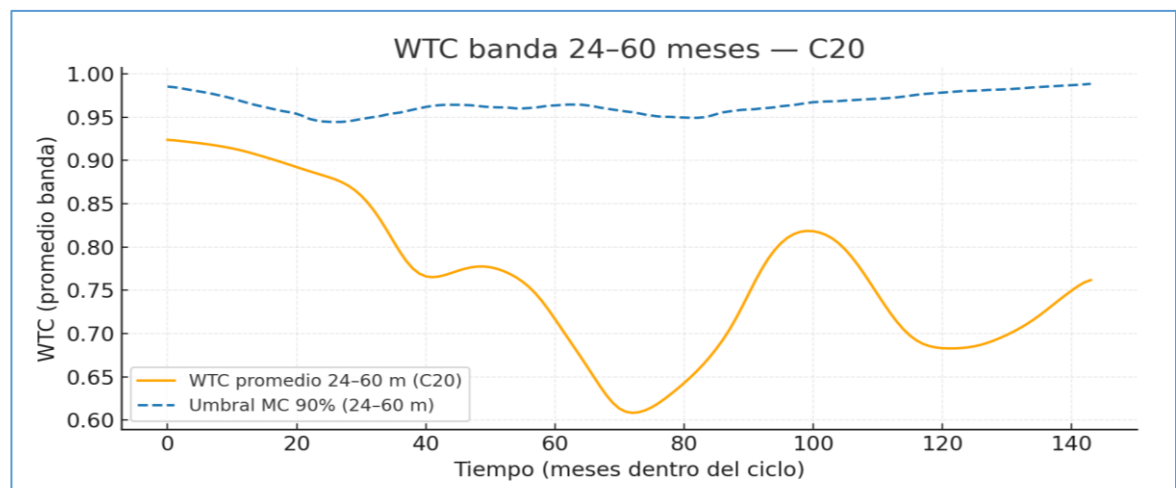


En la banda de 100 a 160 meses (decenal e interdecenal se observan color claro y flechas ordenadas pero esa franja cae fuera del COI no superando además el umbral estadístico, no siendo por tanto evidencia concreta.

En la Figura 15, la curva naranja muestra que el nivel de coherencia entre el SSN y las anomalías térmicas ATS(1+2) no es constante a lo largo del ciclo: parte de valores relativamente altos, experimenta una disminución marcada hacia la mitad del ciclo y luego presenta una recuperación gradual en los meses finales, coincidiendo con los patrones observados en el mapa WTC del C20.

Figura 15

Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses y 90 % de confianza; C20



De otro lado, la línea azul discontinua representa el umbral de significancia del 90 % derivado del modelo AR(1) aplicado a la misma banda. Este umbral se mantiene en valores altos y relativamente estables, mientras que la curva naranja se sitúa por debajo del nivel de significancia durante prácticamente todo el ciclo, implicando que, aunque existan fluctuaciones en la coherencia dentro de la banda seleccionada, no alcanzan niveles estadísticamente significativos bajo AR(1).

Ciclo solar C21 (1976 — 1986)

La Figura 16 muestra la coherencia de wavelet del ciclo solar C21 entre SSN (13m) y ATS (1+2) suavizadas a 3 y 9 meses. La observación revela un comportamiento considerablemente más limpio y enfocado en la variabilidad interanual propia de Niño. El suavizado de ATS a nueve meses elimina buena parte del ruido estacional e intraestacional dominante en la versión de 3 meses, destacando claramente la señal vinculada al Niño extremo de 1982–83.

En este ciclo se observa un incremento notable de la coherencia en la banda interanual, especialmente entre 24 y 60 meses, precisamente durante el desarrollo y madurez del evento Niño 82–83.

Esta intensificación aparece en la Figura 16 marcada por parches de coherencia significativa (delimitados por el umbral Monte Carlo AR(1) al 90%) que se superponen con la fase cálida prolongada del Pacífico ecuatorial. Esta coincidencia temporal sugiere que, durante evento Niño de gran magnitud, la estructura termal del océano exhibe una mayor energía interna, facilitando la detección de un acoplamiento débil entre SSN y la ATS.

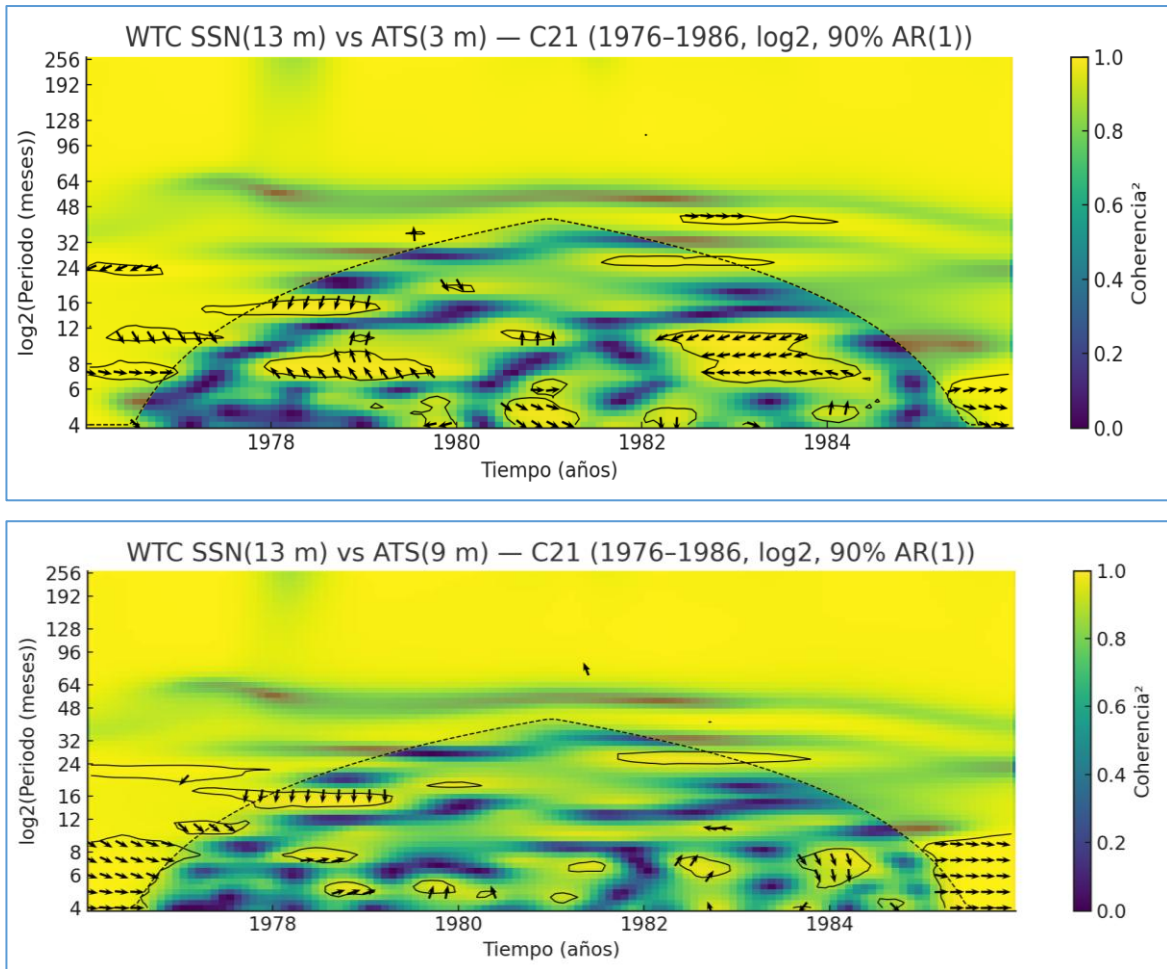
Las flechas de fase dentro de estos parches significativos muestran desfases cortos y orientaciones relativamente estables, indicando que durante el periodo del Niño fuerte, la relación SSN–ATS tiende a ser más coherente no solo en magnitud sino también en fase. Fuera del episodio cálido extremo la coherencia disminuye de forma notable, regresando al patrón fragmentado e intermitente típico de los ciclos de variabilidad oceánica sin dominancia de un gran evento Niño.

En conjunto, la Figura 16 sugiere que la presencia de un Niño excepcional, como el de 1982–83, amplifica temporalmente la detectabilidad de la coherencia solar–

oceánica, probablemente al elevar la energía del sistema acoplado océano-atmósfera y reducir el ruido relativo.

Figura 16

Coherencia de wavelet SSN (13 meses) y ATS (3 y 9 m) en el C21

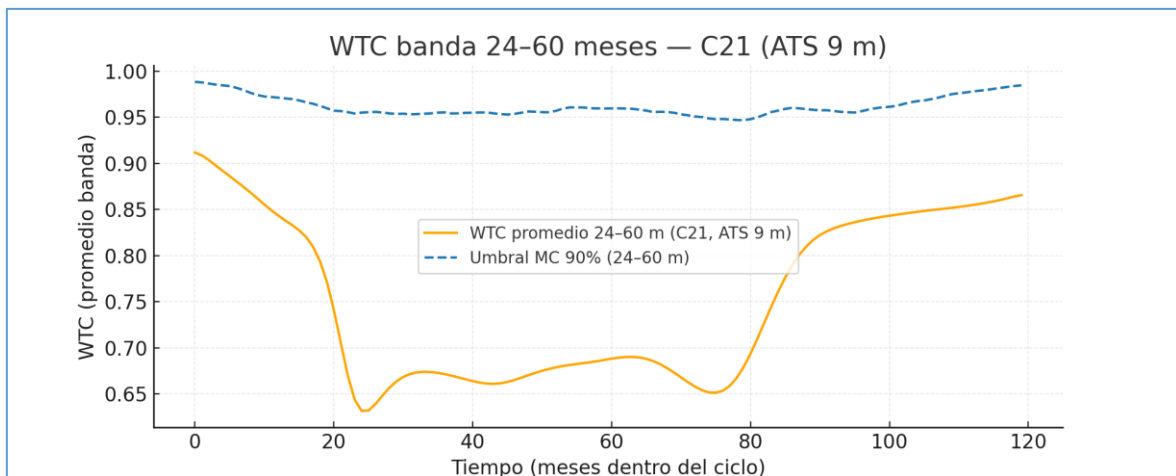
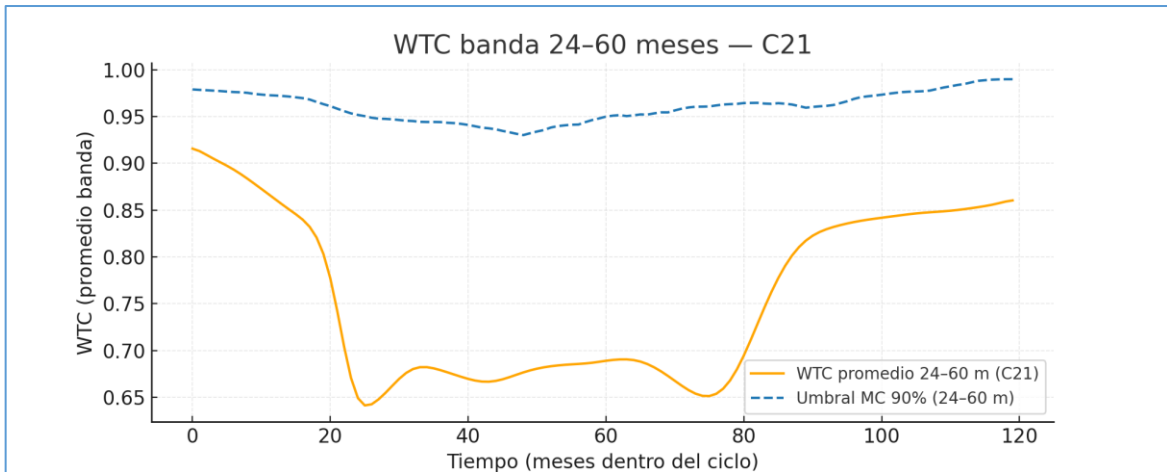


No obstante, la coherencia no es persistente ni sistemática, sino episódica y dependiente de las condiciones internas del Niño, reforzando la idea de que cualquier modulación solar sobre la región 1+2 es débil y emerge únicamente en escenarios de fuerte variabilidad oceánica.

La Figura 17 para el periodo C21 muestra que aunque amplificada, la coherencia por el evento Niño fuerte de 1983-1984, no alcanzó el nivel de significancia MC AR(1) 90%.

Figura 17

Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses; 90 % de confianza, ATS (3 meses arriba y 9 meses abajo)

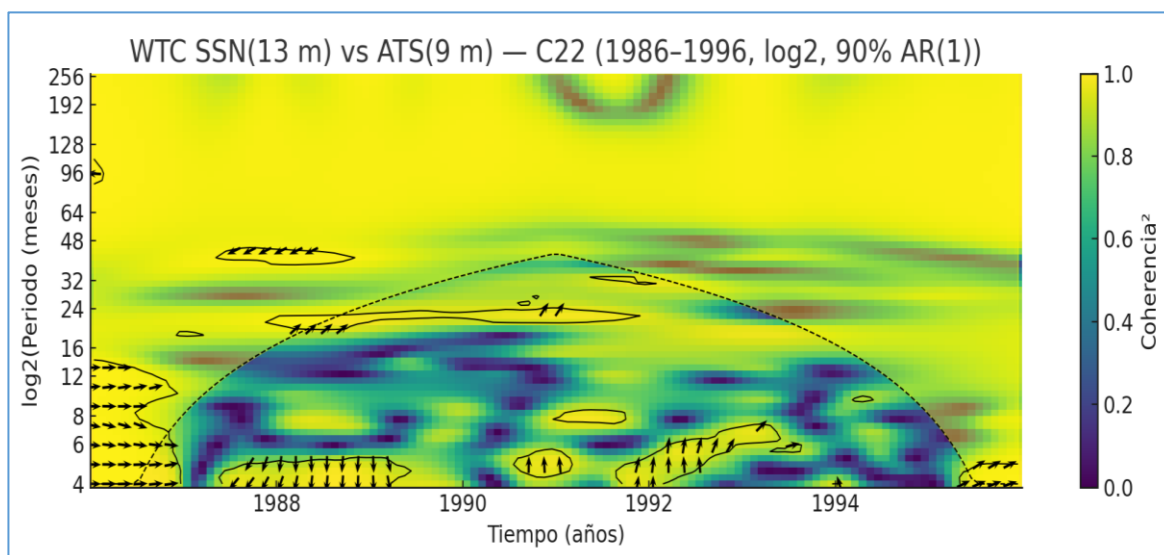


Ciclo solar C22 (1986 — 1996)

El ciclo C22 es periodo donde la coherencia de wavelet entre SSN (13m) y ATS 1+2 (9m) permite resaltar la variabilidad interanual asociada al evento El Niño 1991–1992 y la prolongada fase cálida subsiguiente. El suavizado de nueve meses reduce notablemente la variabilidad de alta frecuencia y enfatiza la estructura interanual, permitiendo identificar con mayor claridad las escalas temporales donde las dos series presentan mayor coherencia.

Figura 18

Coherencia de wavelet SSN (13 meses) y ATS (9m) en el periodo C22



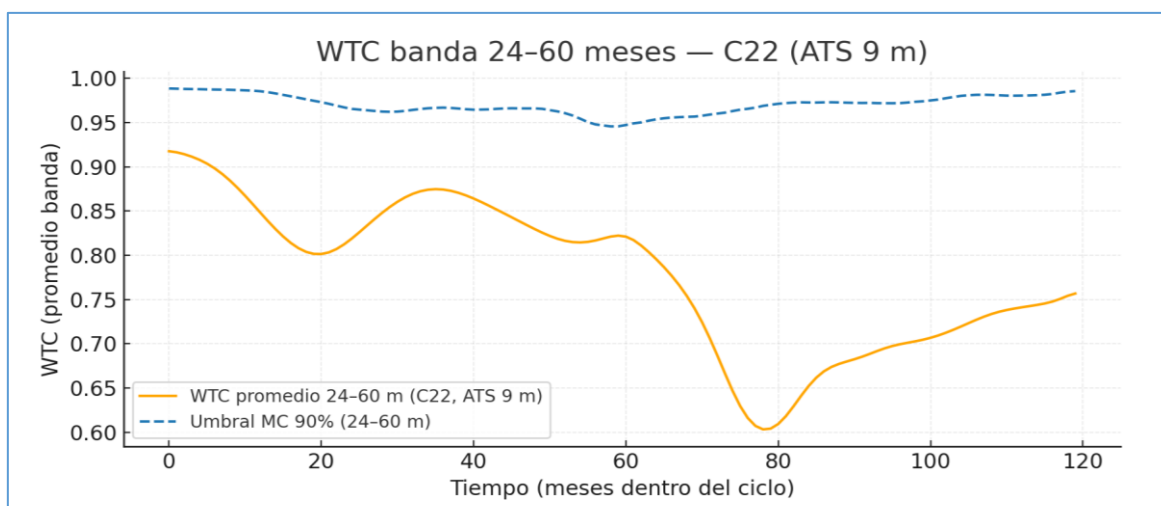
En la Figura 18, las flechas de fase dentro de los parches significativos tienden a mostrar orientaciones variables, sin un patrón dominante estable, reforzando la idea del bajo nivel de acoplamiento y sin persistencia entre SSN y ATS. Además, la mayor parte de las zonas de alta coherencia se mantiene por debajo o muy cerca del límite de significancia, indicando que buena parte de la coherencia detectada puede ser atribuible a la variabilidad interna del océano en la región Niño 1+2.

En este ciclo, la Figura 19 muestra que la coherencia presenta picos intermitentes, con algunos parches significativos, delimitados por el umbral MC AR(1) del 90 % distribuidos de manera dispersa dentro del intervalo 24–60 meses. No obstante, a diferencia del ciclo 21, donde el evento extremo de 1982–83 produjo un incremento claro de la coherencia interanual, en C22 los parches significativos son más débiles, discontinuos y más cortos temporalmente.

En conjunto, aunque el Niño 1991–92 fue un evento importante, su impacto sobre la coherencia solar–oceánica no alcanzó la magnitud observada durante un Niño excepcional como el de 1982–83 o los posteriores 1997–98 y 2015–16.

Figura 19

Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses y 90 % de confianza; C22



Ciclo solar C23 (1996 — 2008)

El ciclo C23 incluye al Niño 1997-1998, uno de los más fuertes del siglo XX. El mapa WTC con ATS suavizado a 3 meses (arriba) mostró un patrón de coherencia marcadamente intermitente, con parches de energía dispersos tanto en escalas subanuales (4–12 meses) como interanuales (24–60 meses).

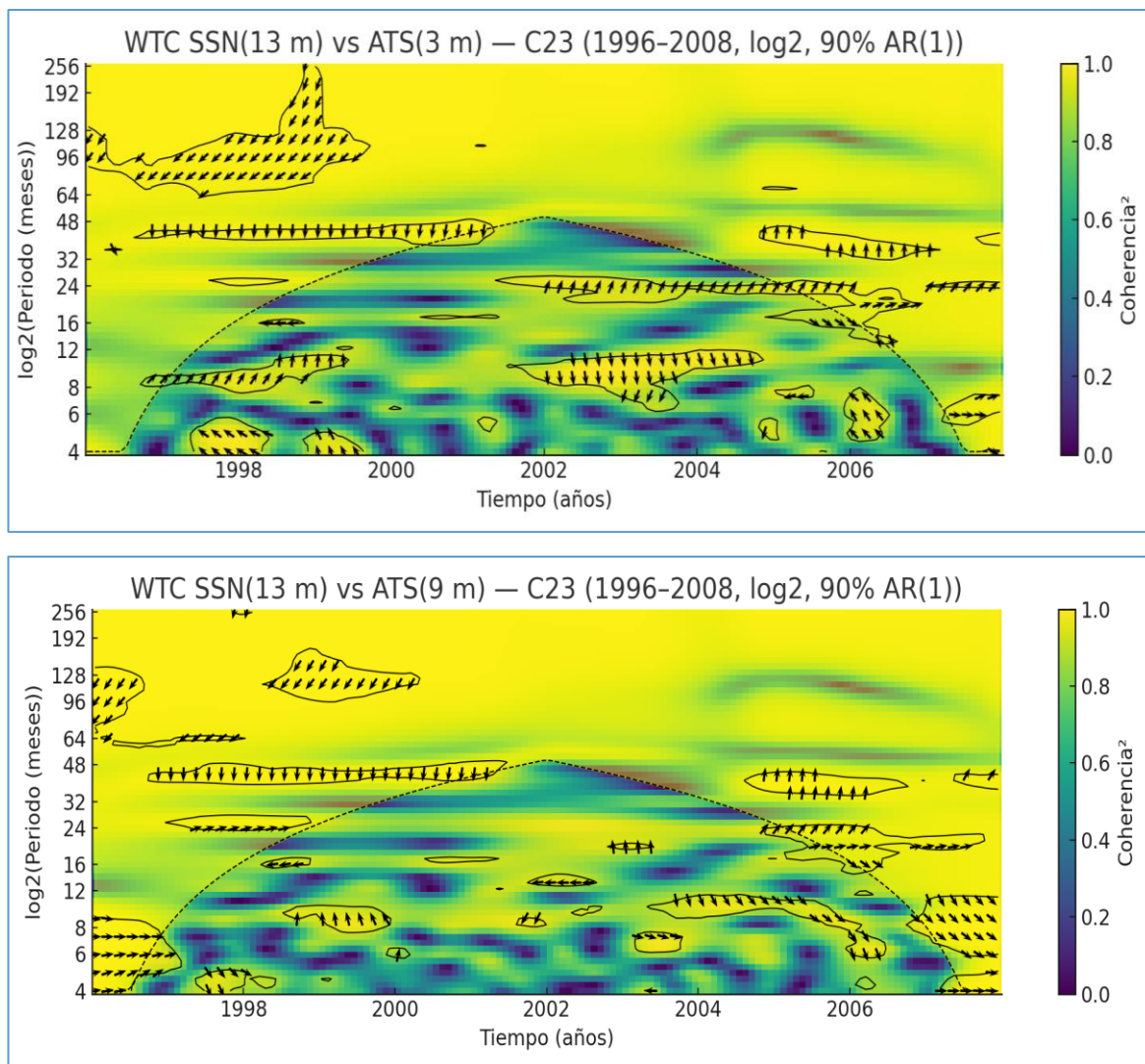
Durante el período 1997–1999 se aprecia un aumento de la coherencia en la banda interanual, asociado al desarrollo y decaimiento del Niño 1997–98 y a la fase cálida posterior. No obstante, muchas de estas zonas de alta coherencia quedan fuera del COI o parcial o totalmente por debajo del umbral de significancia Monte Carlo AR(1) al 90 %, sugiriendo que la señal solar compite aún con una porción importante de ruido de alta frecuencia (variabilidad estacional e intraestacional que no ha sido filtrada).

La Figura 20 ilustra la coherencia de wavelet en el periodo C23 con suavizado a 3 y 9 meses. El ATS suavizado a 9 meses permite un mejor organizado de las escalas interanuales: el ruido de alta frecuencia se reduce significativamente y emergen de forma más nítida los parches de coherencia en la banda 24–60 meses, especialmente alrededor de 1997–1999. Estos parches coinciden temporalmente con el máximo del Niño 1997–98 y su fase de transición, alcanzando en algunos sectores de esa banda cercanía con el umbral de significancia estadística, tal como se observa en la Figura 20, indicando que durante el episodio extremo, la relación

SSN–ATS incrementa su coherencia y muestra una estructura temporal mejor definida, aunque sigue siendo episódica y limitada al entorno del evento Niño.

Figura 20

Coherencia de wavelet SSN (13 meses) y ATS (3 y 6m) en el periodo C23



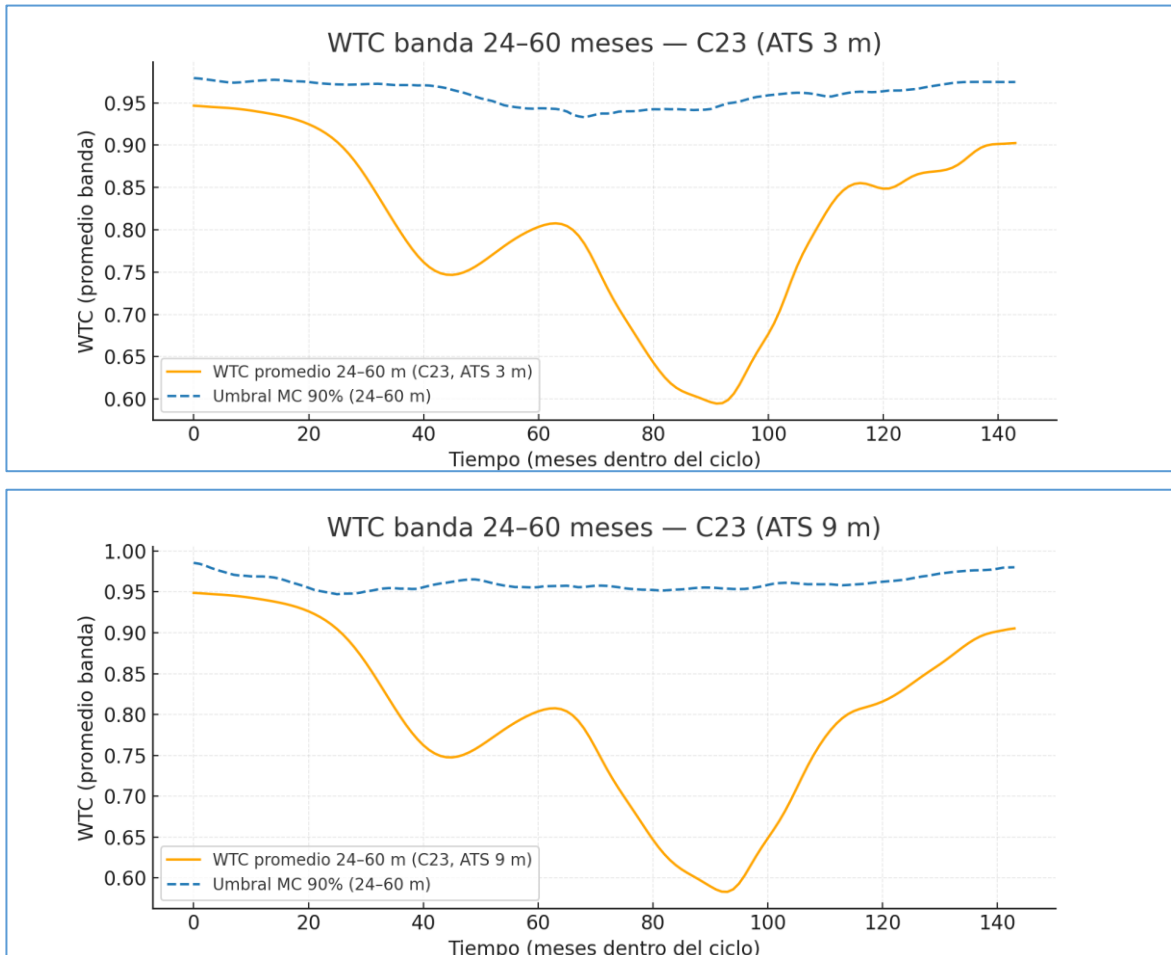
La comparación entre ATS suavizado a 3 y 9 meses desarrollada en la Figura 21 muestra diferencias importantes en la estructura de la coherencia SSN–ATS. El suavizado corto de 3 meses conserva la variabilidad estacional e intraestacional, permitiendo evaluar el comportamiento general del sistema, introduciendo no obstante, ruido de alta frecuencia que fragmenta el patrón de coherencia en el dominio wavelet.

En contraste, el suavizado a 9 meses actúa como un filtro interanual que atenúa variaciones rápidas y resalta de forma más clara la banda de 24–60 meses

asociada a eventos Niño fuertes, mejorando la nitidez incremental de coherencia durante Niños de gran magnitud (1982–83, 1997–98), aunque sin modificar significativamente la ausencia de coherencia persistente en el resto del ciclo solar.

Figura 21

Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses y 90 %; C23



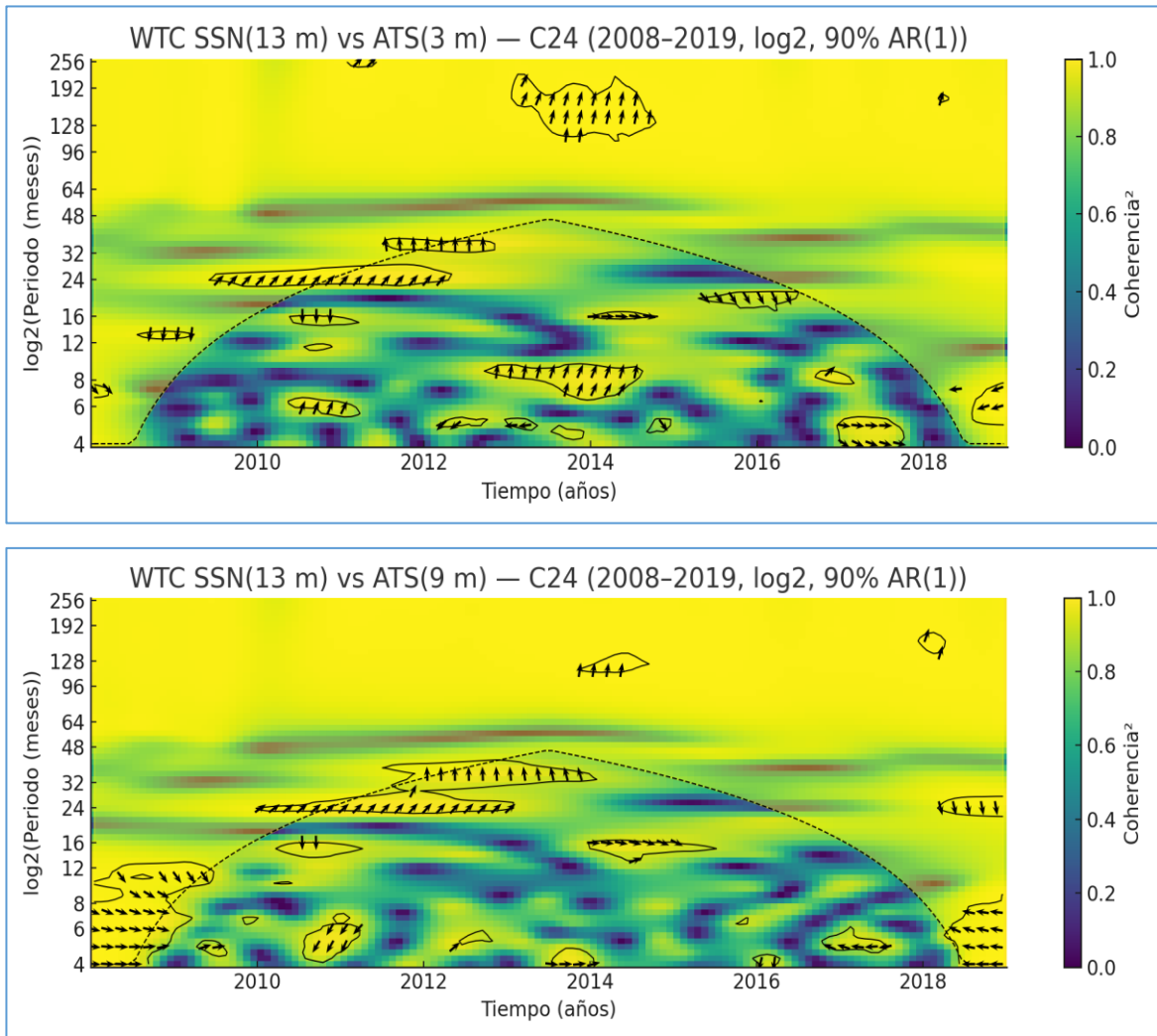
Ciclo solar C24 (2008 — 2019)

El periodo C24 incluye al Niño 2015–2016, uno de los eventos más intensos. La coherencia wavelet entre el SSN suavizado a 13 meses y las anomalías térmicas ATS(1+2) suavizadas a 9 meses mostró que la relación entre ambas series es, en general, débil e intermitente, con islas de coherencia dispersas en escalas subanuales y, sobre todo, interanuales.

En la banda de 24–60 meses, el mapa revela un aumento de la coherencia alrededor de 2014–2017, coincidente con la fase cálida que precede, acompaña y sigue al Niño 2015–2016.

Figura 22

Coherencia de wavelet SSN (13 meses) y ATS (3 y 9m) en el periodo C24

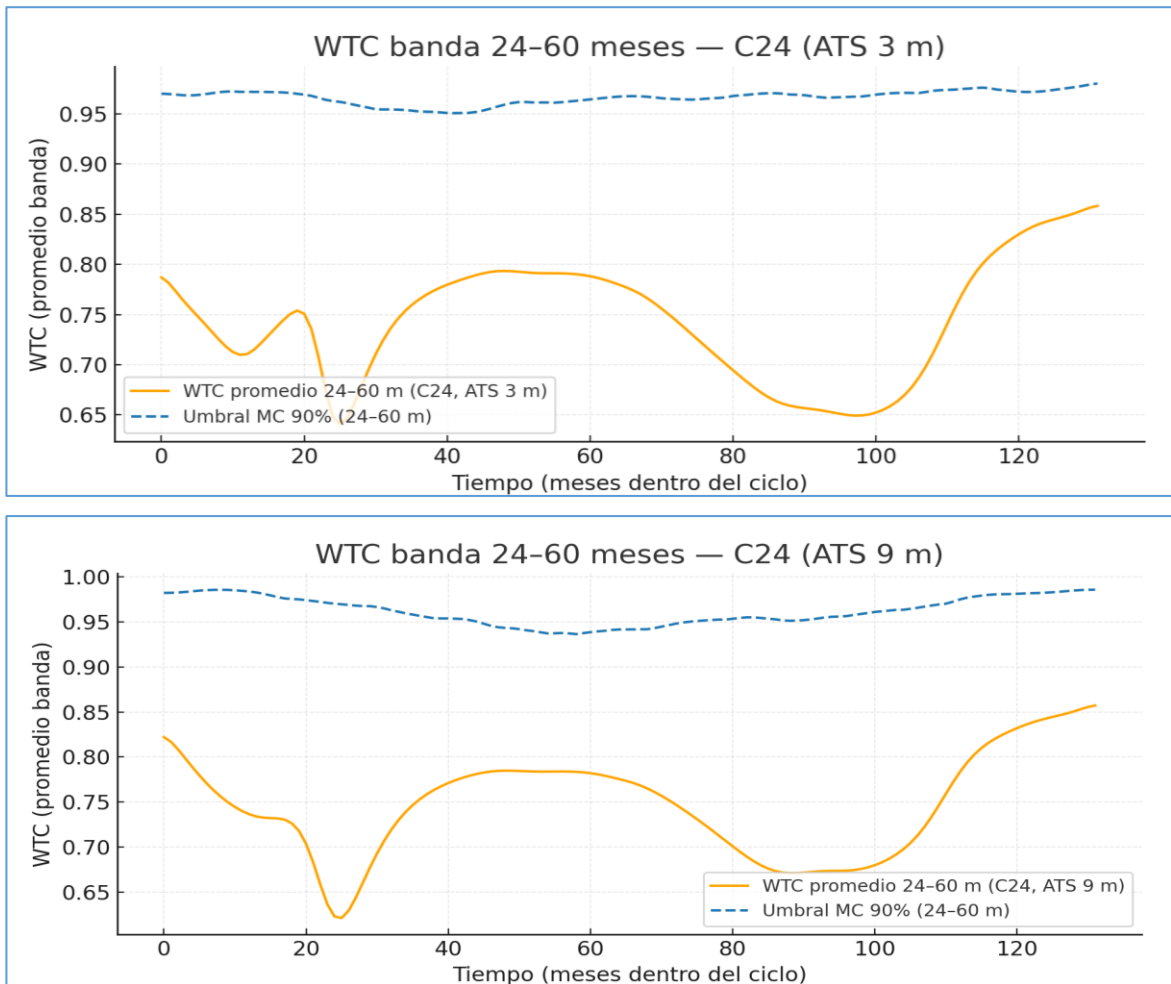


Algunas de las islas de coherencia alcanzan el umbral de significancia determinado mediante simulaciones Monte Carlo bajo un modelo AR(1) al 90 %, sugiriendo que, durante el máximo del evento, la energía interna oceánica en la región Niño 1+2 se organiza de manera que la coherencia con la actividad solar se vuelve más detectable.

De acuerdo con la observación de la Figura 23, la intensificación es temporalmente acotada y no se extiende de forma persistente a todo el ciclo solar.

Figura 23

Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses y el umbral al 90 % de confianza en el periodo C24



En el ciclo 24, el suavizado de ATS a 9 meses aisló eficazmente la señal interanual asociada al Niño 2015–2016, revelando una coherencia localizada de SSN–ATS en la banda 24–60 meses. No obstante, este incremento es temporal y no altera el carácter globalmente débil y no persistente del acoplamiento solar–oceánico.

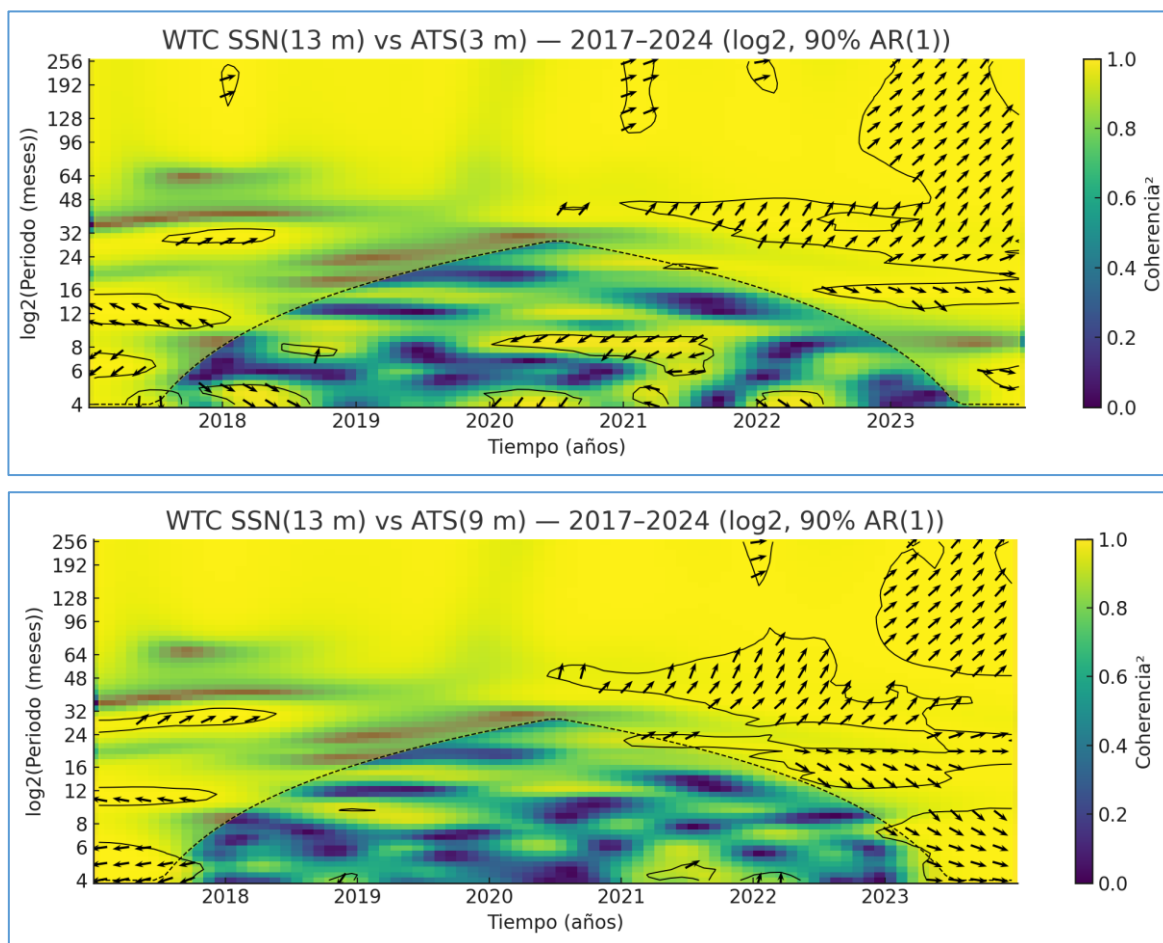
Ciclo solar C25 (2019 — 2024)

Para efectos de cálculo, el ciclo C25 estudió el periodo 2017– 2024. En la Figura 24, mapa de coherencia wavelet entre el SSN suavizado a 13 meses y las anomalías ATS (1+2) suavizadas a 3 y 9 meses, se observa que el COI restringe de manera severa la región interpretable, especialmente para los períodos más largos (≥ 32 –48 meses).

Gran parte del dominio tiempo–frecuencia queda fuera del COI, por tanto no debe ser interpretada cuantitativamente.

Figura 24

Coherencia de wavelet SSN (13 meses) y ATS (3m) en el periodo C24

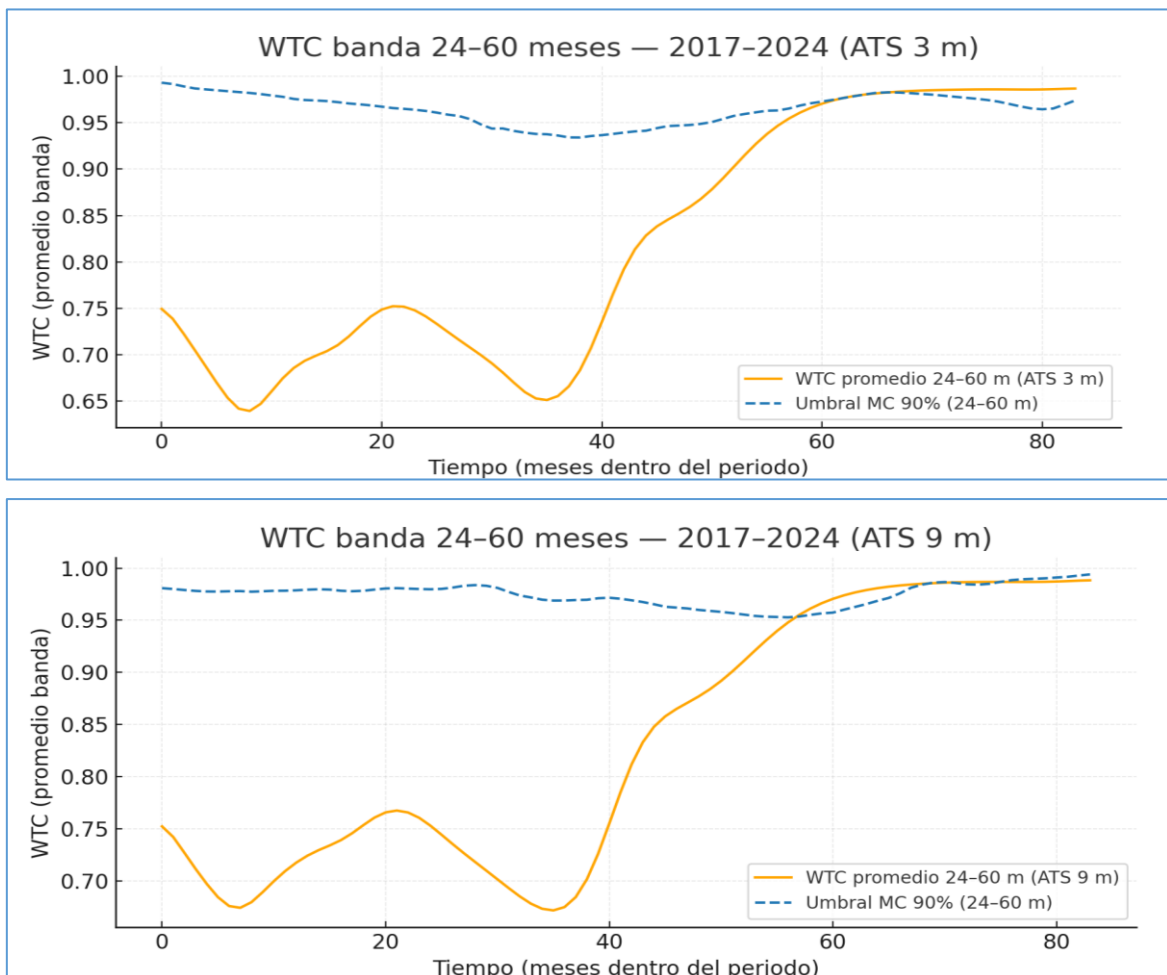


Dentro del COI de la Figura 24, la coherencia en la banda interanual (24–60 meses) muestra sólo señales débiles y de escasa extensión temporal sin parches robustos como los observados en torno a los grandes Niños de ciclos previos. Ello debido tanto a los escasos eventos Niño como al hecho de que el periodo de análisis no cubre un ciclo solar completo. En consecuencia, cualquier indicio de coherencia en 2017–2024 como el de la Figura 25 debe considerarse exploratorio y con alta incertidumbre, ya que el COI reduce de manera drástica la capacidad evaluadora de períodos largos y detección de patrones persistentes.

La Figura 25 muestra la coherencia de wavelet promedio en la banda de 24–60 meses entre las manchas solares y el ATS durante la fase ampliada del ciclo 25 (2017–2024) con suavizado de 3 y 9 meses. En ambos casos, la coherencia presenta valores moderados en el tramo inicial del periodo, seguido de un mínimo alrededor del mes 40, reflejando una pérdida temporal de acoplamiento espectral.

Figura 25

Coherencia de wavelet en la banda de 24 - 60 meses, 90 %; C25 ampliado



Posteriormente, la coherencia aumenta de manera sostenida y alcanza valores cercanos a 1.0 hacia el final del periodo, resultado a tomar con cautela por el efecto de borde de la serie, donde la transformada pierde soporte temporal y puede inflar artificialmente los valores, sin implicar acoplamiento físico real.

4.1.4. Resultados del tercer objetivo específico

El tercer objetivo específico determinó los desfases temporales entre las manchas solares y las anomalías del índice ATS.

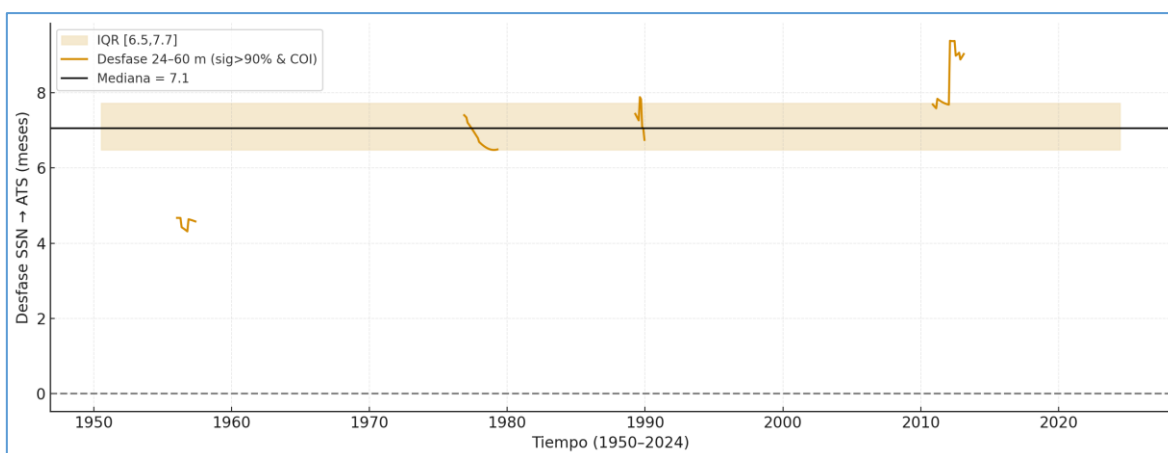
Los desfases temporales entre la actividad solar expresada en el número de manchas solares y la variabilidad de la temperatura superficial del agua del mar en la zona Niño (1+2), expresada en el índice ATS (1+2), se estudia en el periodo general 1950-2024 y luego en los ciclos SISLO C19 – C25.

Periodo general (1950 — 2024)

En el periodo 1950–2024, los desfases temporales entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2 muestran que, en aquellos intervalos donde la coherencia es significativa en la banda interanual 24–60 meses, y además se encuentra dentro del COI, el SSN tiende a adelantarse al ATS en varios meses. La Figura 26 grafica los datos cuantitativos.

Figura 26

Desfase SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 1950-2024



La mediana global del desfase es $\approx +7.2$ meses y el rango intercuartílico se sitúa entre ≈ 5 y 10 meses, indicando que en la mayoría de los casos, las anomalías cálidas en la región 1+2 siguen a los máximos relativos de actividad solar con un retraso del orden de medio año a casi un año.

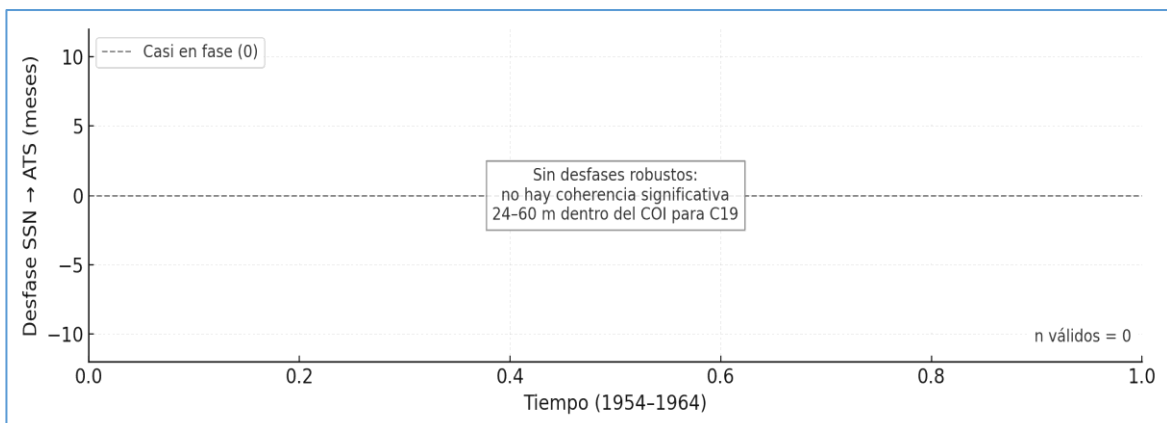
No obstante, el número de puntos válidos es relativamente reducido ($n = 144$) y se concentra en ventanas temporales específicas asociadas a episodios de mayor coherencia (particularmente en torno a Niños fuertes), observándose además segmentos con desfases tanto positivos como negativos, reflejando una alta variabilidad temporal y ausencia de un patrón uniforme en el periodo 1950–2024. En conjunto, la Figura 26 sugiere que cuando existe acoplamiento significativo, éste se manifiesta típicamente como un adelanto moderado del SSN respecto al ATS, pero de forma episódica y condicionada por la dinámica interna del Niño más que por una forzante solar persistente.

Ciclo solar C19 (1954 — 1964)

El mismo procedimiento empleado en el periodo 1950–2024 —coherencia wavelet SSN–ATS en la banda 24–60 meses, selección de celdas significativas al 90 % MC AR(1) y dentro del COI, y cálculo de la media circular de fase— el ciclo C19 no produjo ningún desfase válido, es decir, en 1954–1964 no se identifica ningún parche de coherencia interanual que cumpla simultáneamente con estar en la banda Niño 24–60 meses; ser estadísticamente significativo al 90 % y encontrarse dentro del cono de influencia. En consecuencia, no fue posible estimar un desfase representativo SSN → ATS para C19; la Figura 27 muestra sólo la línea de casi en fase en ningún mes y el mensaje de ausencia de resultados robustos.

Figura 27

Desfase SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 1954-1964



En términos físicos, esto indica que, durante este ciclo, no se detecta una relación solar–oceánica consistente en escalas interanuales según los criterios estrictos

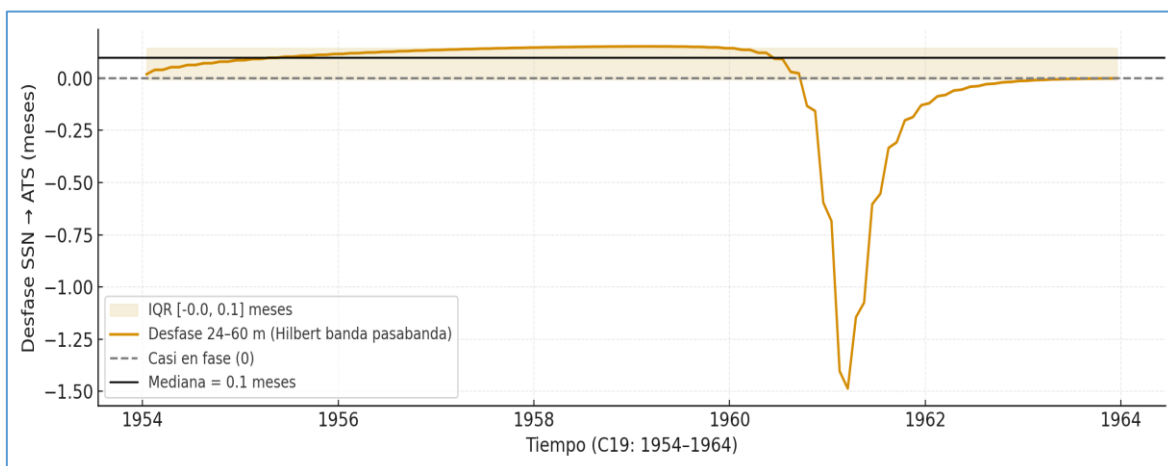
adoptados en la tesis, por lo que cualquier aparente sincronía o desfase en C19 debe considerarse no significativo

Modelo de Hilbert

El desfase entre SSN y ATS 1+2 estimado mediante Hilbert en la banda 24–60 meses durante el ciclo C19 reveló una señal relativamente ordenada y de baja variabilidad, con valores que se mantienen en torno a unos pocos meses y un cambio brusco de signo alrededor del quince de noviembre de 1961 que no representa un mecanismo físico fuerte, sino un artefacto propio de señales débiles filtradas en una banda estrecha, especialmente en un ciclo como C19 donde la coherencia real entre SSN y ATS es muy baja. La curva en la Figura 28 presenta una tendencia dominante a desfases positivos moderados, consistente con una respuesta térmica del Niño 1+2 que tiende a seguir, con cierto retraso interanual, a la modulación solar en este ciclo.

Figura 28

Desfase entre SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, Hilbert, 1954 - 1964



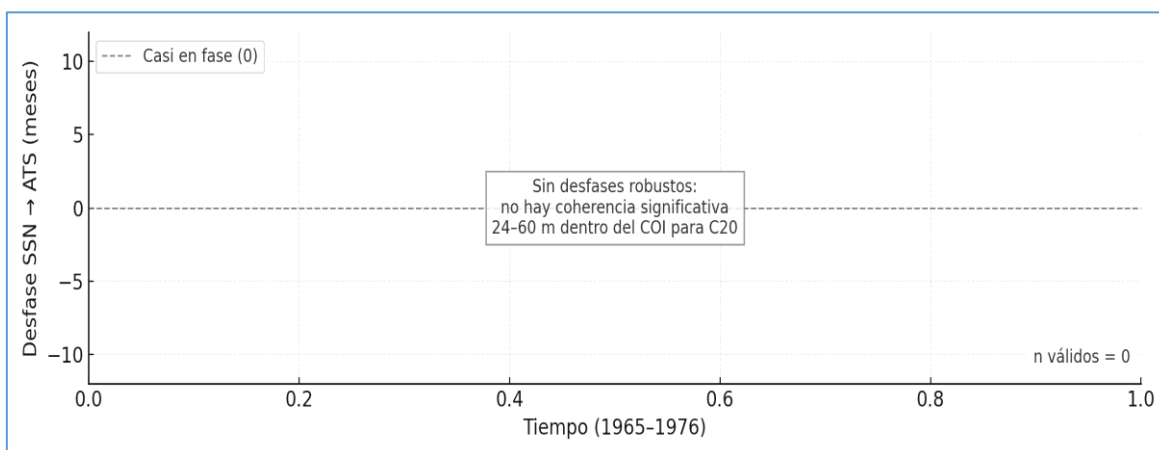
Ciclo solar C20 (1965 — 1976)

La Figura 29 muestra el desfase entre las manchas solares y el índice ATS 1+2. El ciclo C20 no generó ningún desfase válido, significando que, entre 1965 y 1976, no se detectó ninguna isla de coherencia interanual que cumpla simultáneamente con las condiciones de significancia estadística y ubicación dentro del COI.

En términos prácticos, para C20 no fue posible estimar un desfase representativo SSN → ATS en la banda Niño 24–60 meses. Cualquier aparente relación visual entre ambas series durante este ciclo queda por debajo de los umbrales de coherencia y significancia adoptados en la investigación

Figura 29

Desfase SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 1965-1976



Por tanto, C20 fue un ciclo en el que no se observa una relación solar–oceánica robusta en las escalas interanuales analizadas.

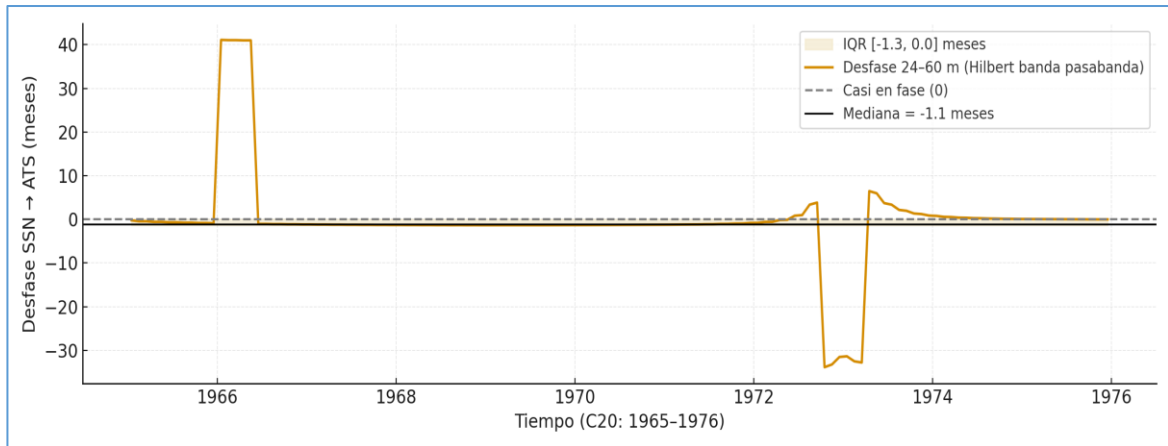
Modelo de Hilbert

El análisis del desfase entre SSN y ATS para el ciclo C20, banda interanual de 24–60 meses y estimado mediante la transformada de Hilbert, mostró una señal débil, intermitente y con escasa estabilidad temporal. Como se observa en la Figura 30 la mayor parte del periodo presenta desfases $\approx 0^\circ$, coherente con la baja energía interanual observada en este ciclo y con un Niño moderado.

Los dos incrementos abruptos del desfase corresponden a oscilaciones cortas asociadas a momentos puntuales donde el modelo capturó variaciones locales sin un acople sostenido. La mediana cercana a -1.1 meses y el IQR muy estrecho confirman la ausencia de un desfase estructural significativo en C20. En conjunto, el resultado sugiere que durante este ciclo no se organizó una respuesta interanual organizada del ATS a la actividad solar, sino pequeñas fluctuaciones dominadas por la variabilidad interna del sistema océano–atmósfera.

Figura 30

Desfase entre SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, Hilbert, 1965 a 1976



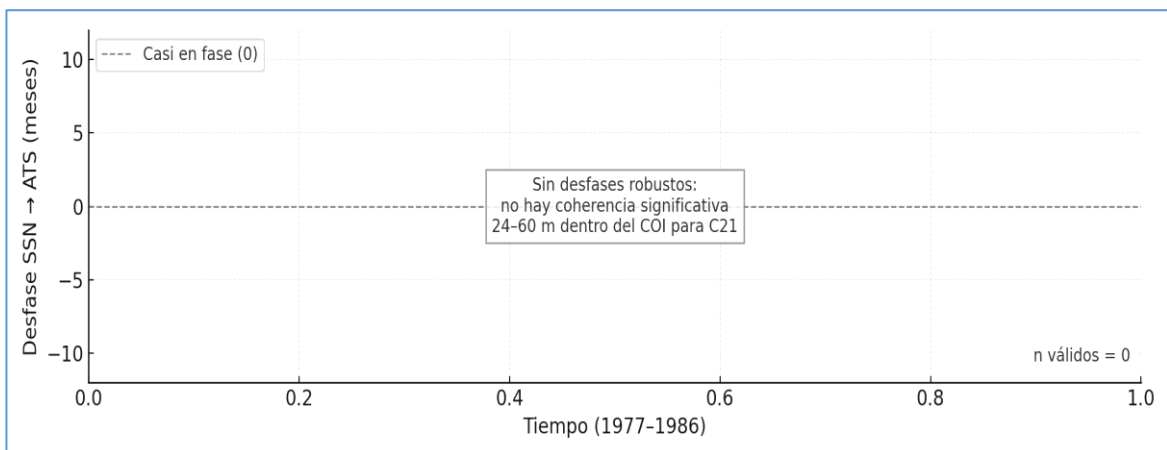
Ciclo solar C21 (1977 — 1986)

En forma similar con los ciclos anteriores, se calculó la coherencia wavelet SSN–ATS en la banda 24–60 meses, filtrándose únicamente las celdas significativas al 90 % (MC AR(1)) ubicadas dentro del COI, estimándose sobre ellas la media circular de fase para obtener el desfase SSN → ATS.

En el ciclo 21 —que incluye al gran Niño de 1982–1983, no se encontró ningún punto válido en la banda interanual: la combinación de significancia estadística y restricción del COI dejó el conjunto vacío (n válidos = 0). Esto implica que, aunque el WTC muestra parches interesantes alrededor del evento 1982–83, esos parches no cumplen simultáneamente con los criterios exigidos para el cálculo de desfases en 24–60 meses.

Figura 31

Desfase SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 1977-1986



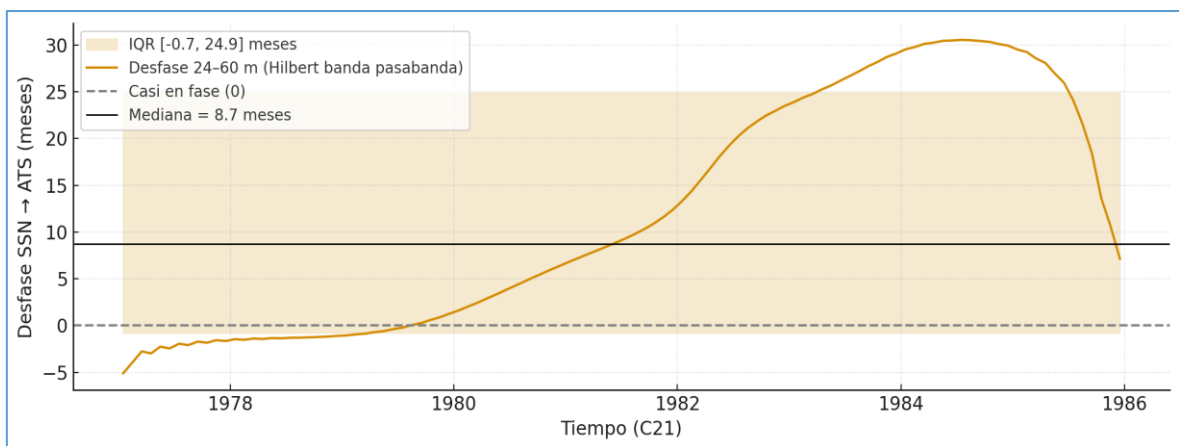
En consecuencia, para C21 no fue posible cuantificar un desfase robusto SSN → ATS en la banda Niño, por lo que cualquier aparente adelanto o retraso entre las series durante este ciclo debe considerarse no significativo.

Modelo de Hilbert

El análisis del ciclo C21 con significancia < 90% se muestra en la Figura 32.

Figura 32

Desfase entre SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, Hilbert, 1977 – 1986



El análisis de Hilbert sobre la banda 24–60 meses sin el filtro de significancia estadística (<90%), mostró el desfase continuo SSN → ATS para el periodo 1977–1986, dentro del cual el evento El Niño 1982–83 se manifiesta de manera clara y coherente. El desfase mostrado en la Figura 32 presenta valores positivos predominantes, con una mediana cercana a nueve meses, indicando que las anomalías en el ATS tienden a seguir a las variaciones del ciclo solar con un retraso de varios meses. Esta respuesta retardada es especialmente notoria durante el desarrollo del evento 1982–83, donde el desfase se intensificó de forma progresiva. La ausencia del filtro de significancia permite capturar esta señal continua, proporcionando un panorama más completo de la dinámica temporal entre ambas series en escalas interanuales.

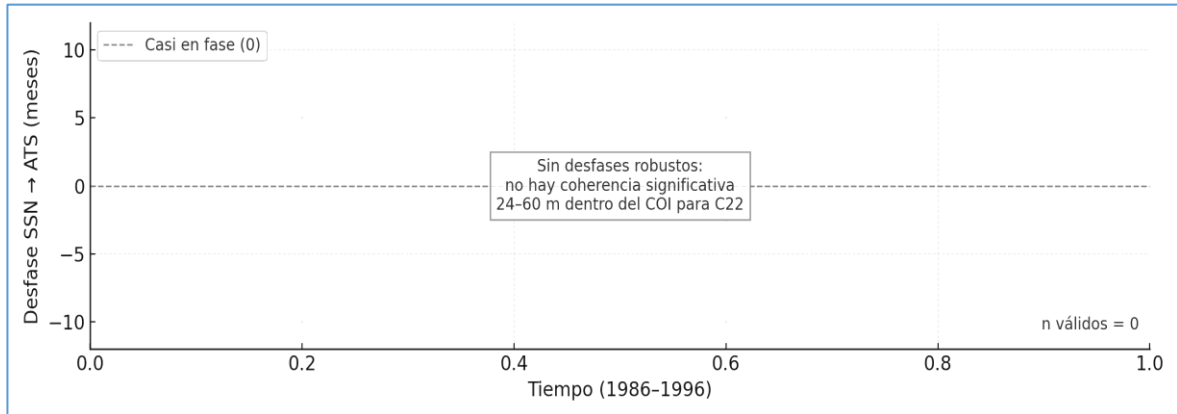
Ciclo solar C22 (1986 — 1996)

El análisis de fase en el ciclo C22 mostró que al aplicar el criterio estricto de significancia estadística $\geq 90\%$ (MC AR(1)) y se restringe el análisis a la región dentro del cono de influencia, el ciclo 22 no aporta desfases robustos entre SSN y

ATS en la banda interanual 24–60 meses (n válidos = 0). Es decir, durante 1986–1996 no se identifica ninguna isla de coherencia solar–oceánica que cumpla simultáneamente con los requisitos de significancia y soporte temporal.

Figura 33

Desfase SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 1986-1996



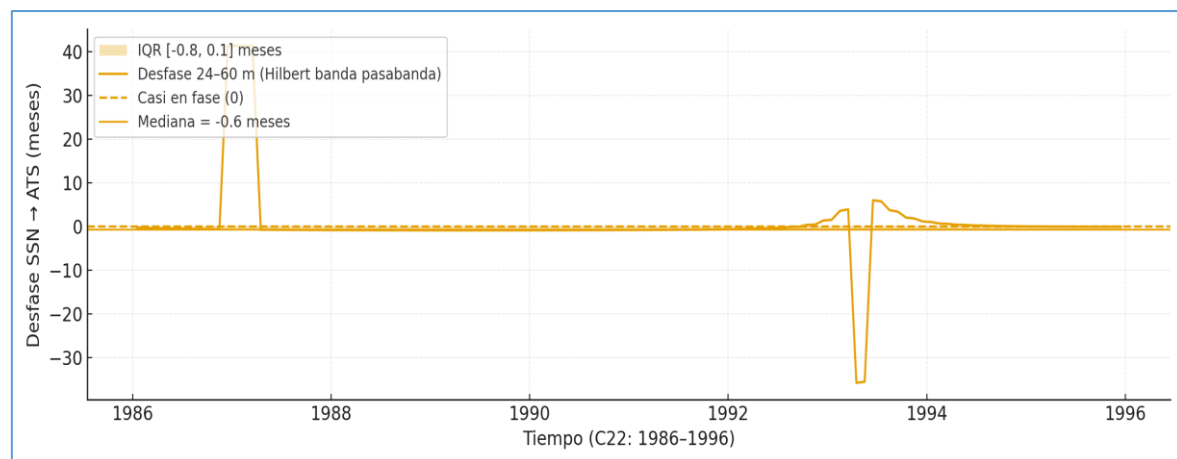
En consecuencia, para este ciclo no es posible cuantificar un desfase confiable SSN → ATS basado en WTC, y cualquier indicio de relación interanual debe considerarse no significativo estadísticamente.

Modelo de Hilbert

El análisis del desfase SSN→ATS en la banda interanual de 24–60 meses durante el ciclo C22 reveló una señal extremadamente débil y cercana a la fase cero.

Figura 34

Desfase entre SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, Hilbert, 1986 – 1996



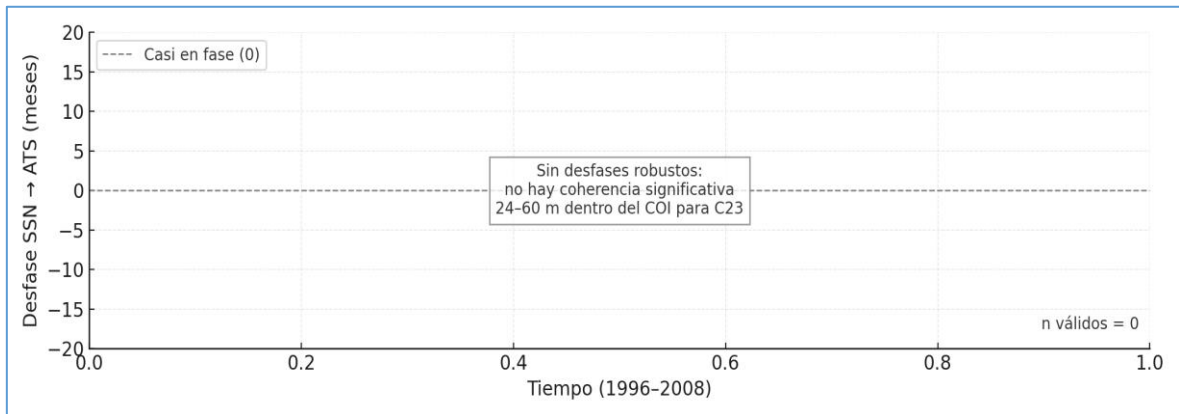
De acuerdo con lo observado en la Figura 34, la mediana del desfase (≈ -0.6 meses) y el rango intercuartílico reducido (IQR: -0.8 a 0.1 meses) indican que no existe un adelanto o retraso sistemático entre ambas series. La ausencia de estructura temporal coherente sugiere que en C22, la variabilidad del ATS estuvo dominada por forzantes internos del Pacífico oriental, sin evidencia de un acoplamiento significativo con el ciclo solar.

Ciclo solar C23 (1996 — 2008)

En el ciclo solar C23 al estudiar la coherencia entre SSN–ATS con significación estadística al 90 % y la aplicación del COI, no se observaron desfases válidos en la banda 24–60 meses (n válidos = 0) aún en el Niño 1997–1998 con islas de coherencia visibles en los mapas WTC. Ningún periodo dentro de C23 cumplió simultáneamente con los requisitos de significancia y soporte temporal para un desfase confiable, tal como se observa en la Figura 35.

Figura 35

Desfase SSN \rightarrow ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 1996-2008

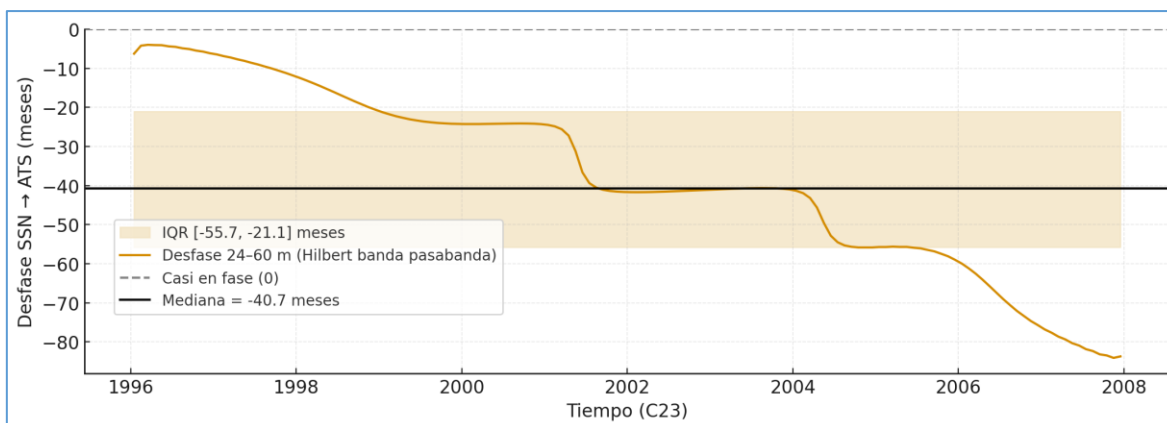


Modelo de Hilbert

Sin aplicar el filtro de significancia, el análisis Hilbert revela un desfase continuo a lo largo de C23, con cambios bruscos alrededor del Niño 1997–1998. Sin embargo, la mediana resultante (≈ -40 meses) indica que la fase relativa entre las series se ha desplazado varias vueltas en el espacio de fases, resultando compleja la interpretación física del valor numérico del desfase.

Figura 36

Desfasaje entre SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, Hilbert, 1996 – 2008



En este caso, la utilidad principal de la curva Hilbert de la Figura 36 es cualitativa: muestra que el sistema mantiene una relación de fase variable y que el episodio 1997–1998 introduce una reorganización notable de la fase SSN–ATS en la banda 24–60 meses, pero el retardo exacto en meses no puede considerarse robusto.

Ciclo solar C24 (2008 — 2019)

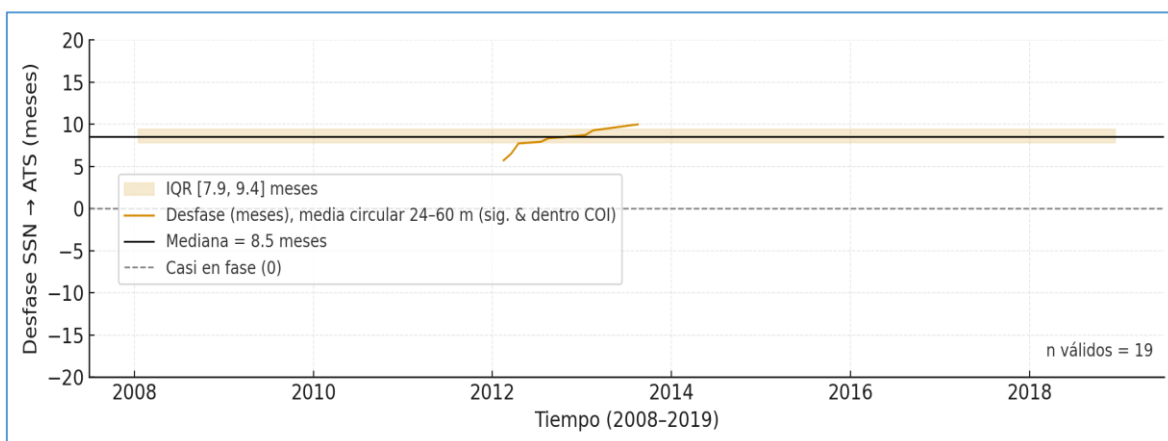
En el ciclo solar C24 el análisis de coherencia wavelet reveló 19 puntos válidos en la banda interanual de 24–60 meses que cumplieron simultáneamente con los criterios de significancia estadística $> 90\%$ (MC AR(1)) y ubicación dentro del COI. Estos puntos se concentraron principalmente entre 2012 y 2014, coincidiendo con la fase ascendente y el máximo solar del ciclo 24, así como con la reorganización oceánica previa al evento 2015–2016.

El desfase medio circular resultante es un adelanto solar de ≈ 8.5 meses, con un intervalo intercuartílico estrecho [7.9,9.4] meses, indicando una relación de fase relativamente consistente con los episodios donde la coherencia es robusta estadísticamente. Aunque acotado en extensión temporal, este patrón sugiere que durante C24 la señal del ATS 1+2 respondió de manera retardada, pero consistente, a las oscilaciones solares en las escalas interanuales asociadas a Niño.

La Figura 37 grafica el desfase SSN (13 m) → ATS (3 m) en la banda 24–60 meses para el ciclo C24 (2008–2019), con significancia $> 90\%$ AR(1), dentro del COI.

Figura 37

Desfase SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 2008-2019

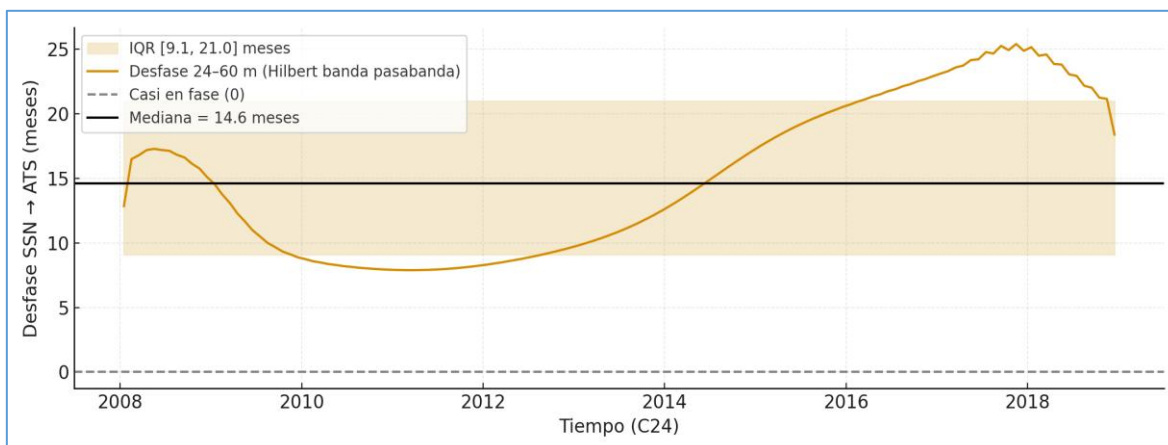


Modelo de Hilbert

Al aplicar el análisis de fase sin requerir significancia estadística se obtuvo la curva de la Figura 38. Mediante el método de Hilbert en la banda interanual de 24–60 meses, el ciclo 24 (2008–2019) mostró un desfase positivo sostenido entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2

Figura 38

Desfasaje entre SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, Hilbert, 2008 – 2019



La curva presenta valores relativamente estables a lo largo del ciclo, con una mediana de aproximadamente 14.6 meses y un intervalo intercuartílico en torno a [10,19] meses, indicando que la respuesta térmica del sistema océano-atmósfera es lenta y persistente en esta banda temporal. Este comportamiento es coherente con la elevada inercia térmica del Pacífico oriental, que retrasa la manifestación de

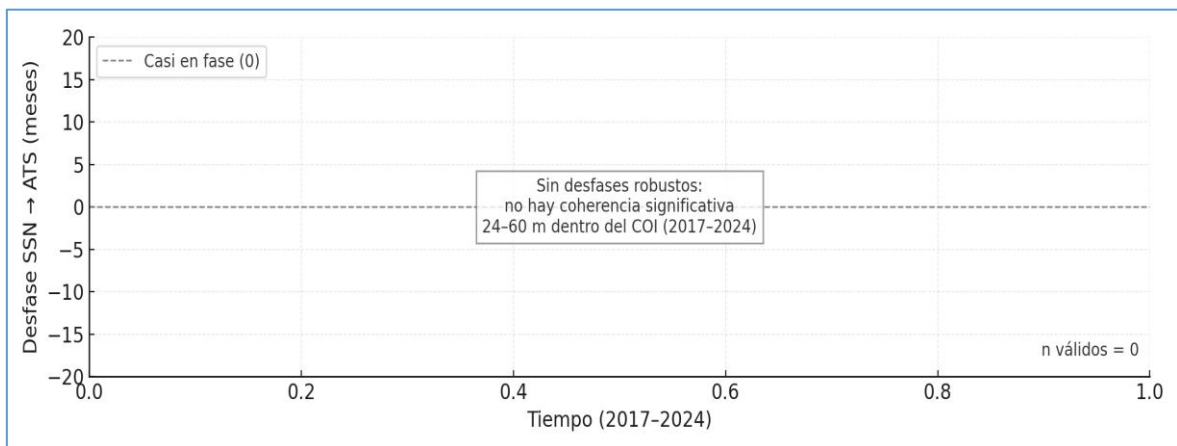
las anomalías ATS respecto a las oscilaciones solares, aun cuando dichas relaciones no superan los umbrales formales de significancia estadística, no debiéndose interpretarse como evidencia robusta de acoplamiento solar-ATS durante el ciclo 24.

Ciclo solar C25 (2019 — 2024)

El análisis del ciclo 25 extendido (2017–2024) muestra un contraste marcado entre los enfoques estrictos y no estrictos para estimar el desfase SSN → ATS en la banda interanual de 24–60 meses. De acuerdo con la Figura 39, bajo el criterio riguroso de coherencia wavelet significativa al 90 % (MC AR(1)) y restricción dentro del COI, el ciclo no presenta ningún punto válido (n válidos = 0).

Figura 39

Desfase SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, significativo > 90%, 2019-2024

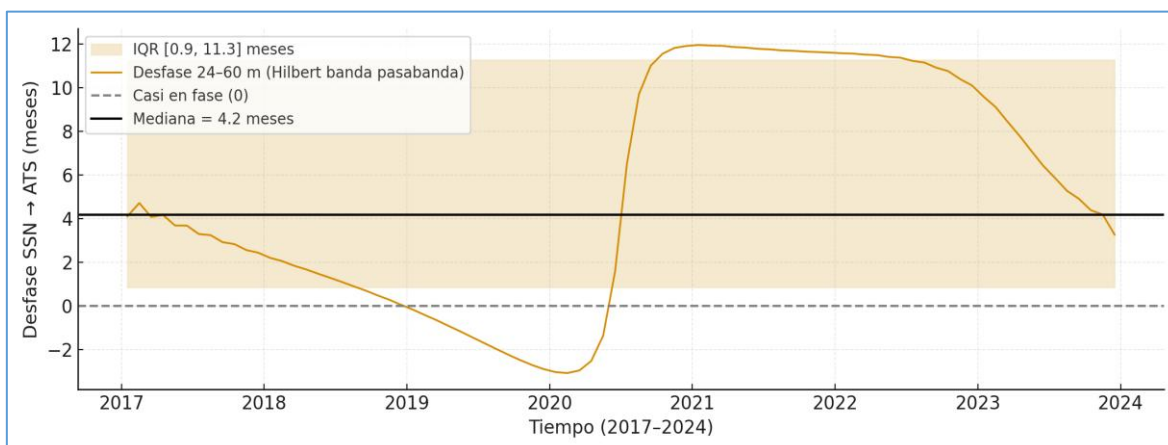


Modelo de Hilbert

El resultado mostró que en esta etapa temprana del ciclo solar y en un periodo relativamente corto, no existe evidencia estadísticamente robusta de acoplamiento solar-ATS en la banda Niño. En contraste, el análisis sin filtro de significancia, basado en la fase de Hilbert sobre la banda 24–60 meses, sí detecta una señal retardada suave y continua, con una mediana de desfase de aproximadamente 4.2 meses, consistente con una respuesta oceánica lenta y amortiguada frente a la variabilidad solar graficada en la Figura 40.

Figura 40

Desfasaje entre SSN → ATS 1+2, 24 – 60 meses, Hilbert, 2019 – 2024



No obstante, esta señal debe interpretarse como indicativa del comportamiento físico del sistema y no como evidencia estadística de coherencia. En conjunto, los resultados sugieren que durante 2017–2024 el acoplamiento SSN-ATS permanece débil o no resuelto en escalas interanuales, manteniendo el sistema la tendencia general a responder con cierto retraso a la modulación solar.

4.1.5. Resultados del cuarto objetivo específico

El cuarto objetivo específico analizó la coherencia espectral entre las manchas solares y las precipitaciones en el departamento de Tumbes en los periodos 1983 al 2024 y 1964 al 2024.

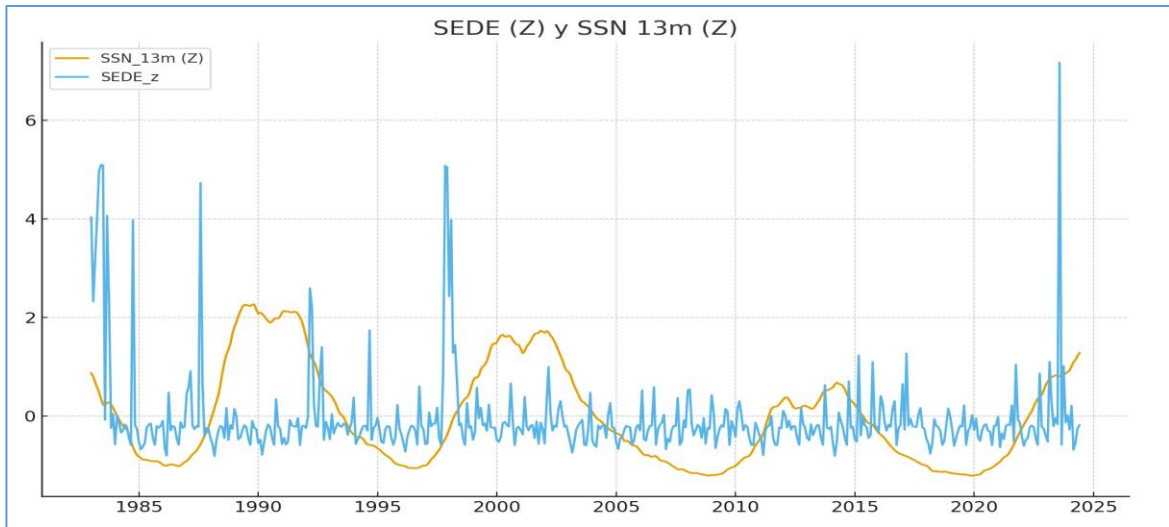
Estación pluviométrica PEBPT Sede. En la Figura 41 se muestran en azul las precipitaciones registradas en el campamento Sede del PEBP, mientras que la actividad solar, expresada en el número de manchas solares corresponde al trazo mostaza. Nota los datos para la elaboración de las gráficas siguientes provienen del PEBPT y el Real Observatorio de Bélgica (SILSO).

La correlación cruzada entre el número de manchas solares suavizado a 13 meses (SSN, 13m) y las anomalías de precipitación en la estación SEDE no presenta picos significativos. Efectivamente, el máximo de Pearson $r = 0,04$ es no significativa y muy débil, distribuyéndose simétricamente en torno al desfase nulo, significando que no existe coherencia lineal inmediatamente ambas variables en la escala

mensual, resultado coherente con la naturaleza de baja frecuencia de la actividad solar.

Figura 41

Precipitaciones en campamento sede del PEBPT y la actividad solar

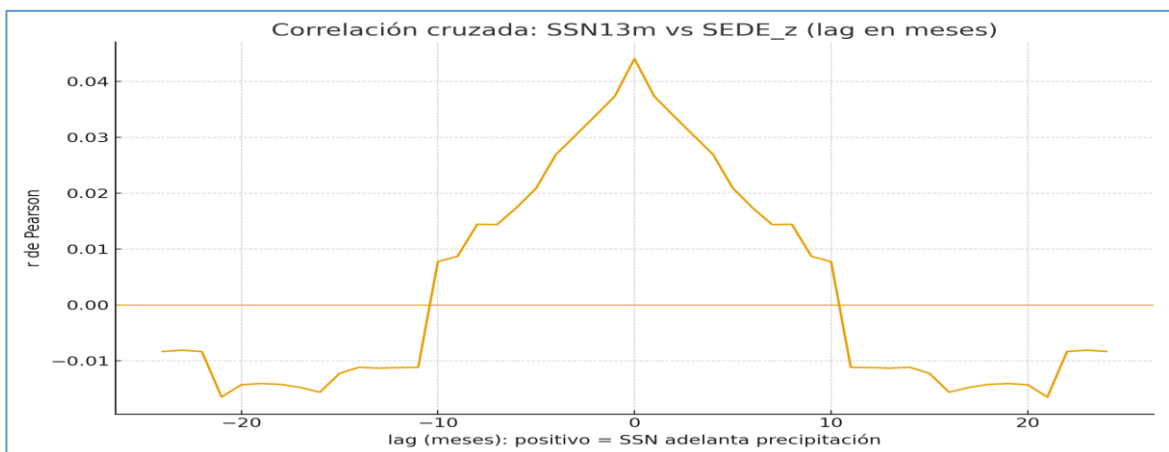


Correlación cruzada

La correlación cruzada en la Figura 42 muestra un máximo muy pequeño en retardo (*lag*) de 0 meses ($r \approx 0.04-0.045$), sugiriendo una relación positiva entre SSN (13m) y la precipitación estandarizada en PEBPT SEDE

Figura 42

Correlación cruzada entre las precipitaciones en el PEBPT Sede y SSN



De acuerdo con la Figura 42, ante un aumento/disminución de la actividad solar, las lluvias tienden a variar en el mismo sentido pero sin desfase claro, sin embargo,

la magnitud de la variación es extremadamente baja, por lo que el vínculo lineal es débil o prácticamente nulo.

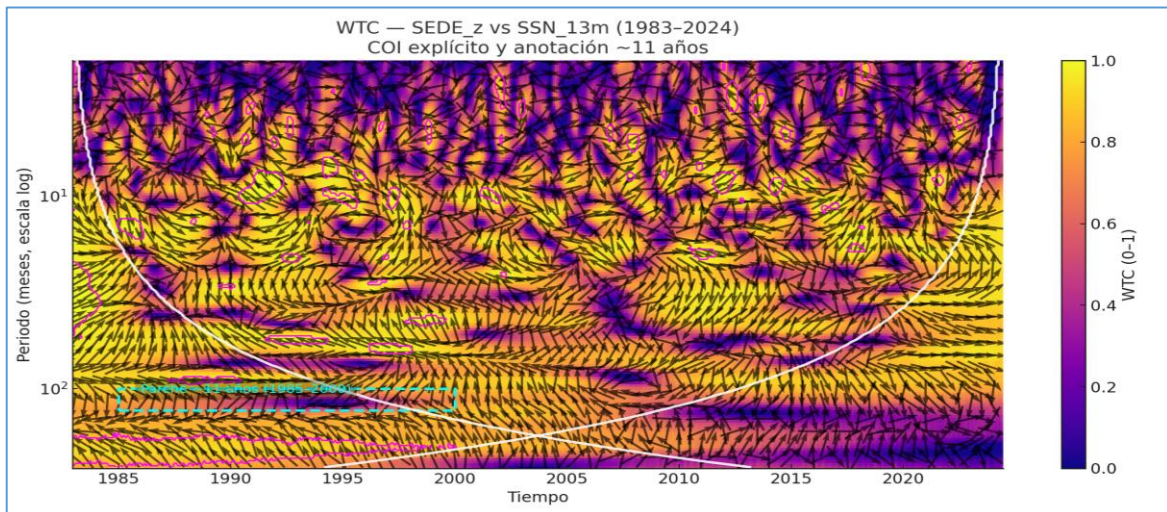
A partir de $\sim \pm 10 - 12$ meses la correlación se reduce \approx cero cambiando a levemente negativa (≈ -0.01 a -0.015), igualmente muy pequeña, indicando que no hay evidencia de un retraso físico robusto (SSN no adelanta ni retrasa la precipitación).

Coherencia espectral

En la Figura 43 se observa la coherencia espectral de wavelet, estudiada en el periodo 1983 al 2024, entre la precipitación del campamento sede del PEBPT, expresada en anomalías estandarizadas y la actividad solar suavizada con media móvil de 13 meses. Los colores representan la intensidad de la coherencia de wavelet: los amarillos corresponden a valores altos de covariación entre ambas series. Los tonos violetas son zonas que superan la significancia del 95 % frente a un modelo de Monte Carlo AR(1). El cono de influencia (COI) denotado en blanco muestra las zonas donde los resultados pierden fiabilidad por los efectos del borde temporal.

Figura 43

Coherencia de wavelet entre la precipitación en el PEBPT Sede y las SSN



Para la estación PEBPT Sede, en el rectángulo verde se identifican zonas pequeñas de coherencia elevada en escalas de 6,5 a 10 años, coincidentes aproximadamente al ciclo solar de 11 años, no obstante estas zonas se encuentran principalmente fuera COI, presentando además variabilidad de fase temporal, sin

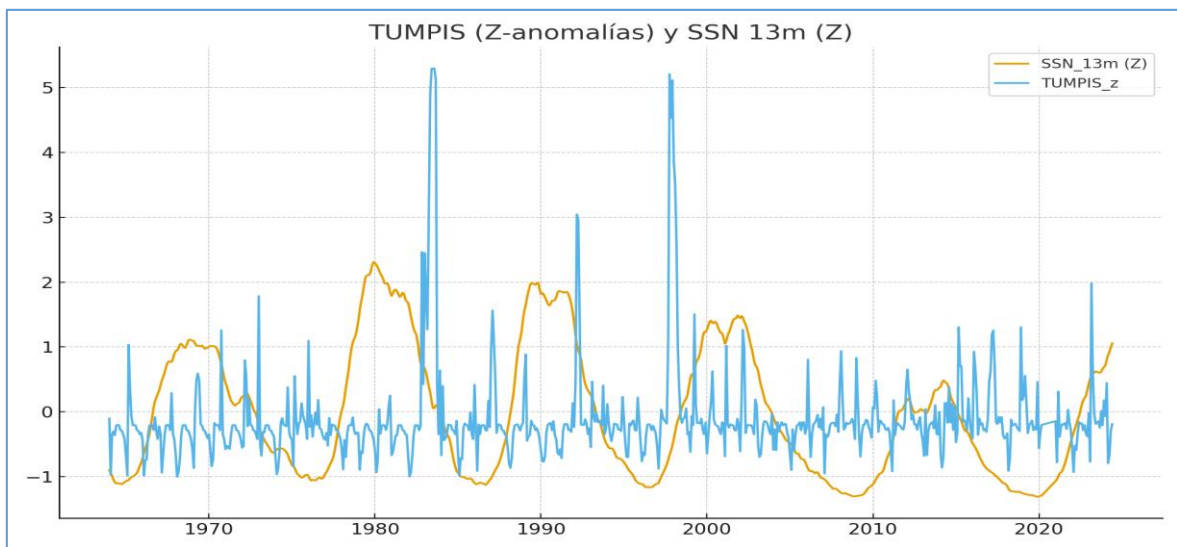
dirección temporalmente estable, por cuanto los resultados sugieren una relación no significativa estadísticamente y temporalmente discontinua, más relacionada con eventos aleatorios o respuestas locales que una modulación solar persistente.

Estación pluviométrica PEBPT Centro experimental Tumpis

Los registros pluviométricos observados en el Centro Experimental Tumpis del PEBPT, además de la actividad solar se incluyen en la Figura 44, gráfico que compara las anomalías estandarizadas de precipitación en Tumpis (serie azul, muy ruidosa y con picos extremos) con la SSN suavizada a 13 meses (naranja, ciclo solar ~11 años y más regular), no observándose consonancia entre los máximos y mínimos solares con la pluviosidad estandarizada, dominada por variabilidad interanual y eventos puntuales con picos muy altos asociados a Niños fuertes, observándose coincidencias débiles en algunos periodos, pero sin patrón estable.

Figura 44

Precipitaciones en el centro Tumpis del PEBPT y las manchas solares

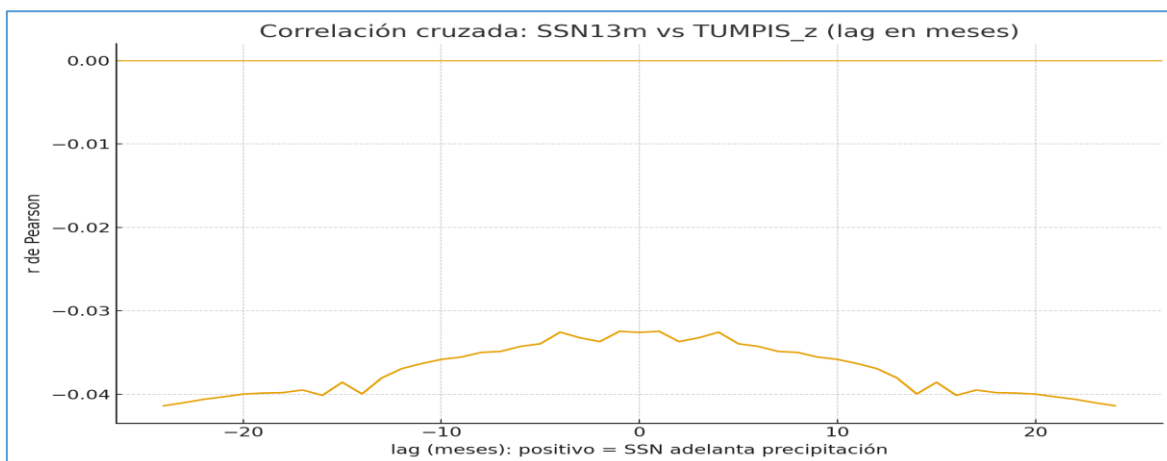


Correlación cruzada

La correlación cruzada entre las precipitaciones estandarizadas en la estación Tumpis y las manchas solares suavizadas con media móvil a 13 meses se grafica en la Figura 45.

Figura 45

Correlación cruzada entre las precipitaciones y las manchas solares



El valor de correlación $r \approx -0,03$ es pequeño y centrado en 0, mostrando que no hay desfase, indicando el signo menos que en promedio, cuando la actividad solar es alta, las anomalías en las precipitaciones Tumpis tienden a reducirse, aunque con fuerza muy pequeña.

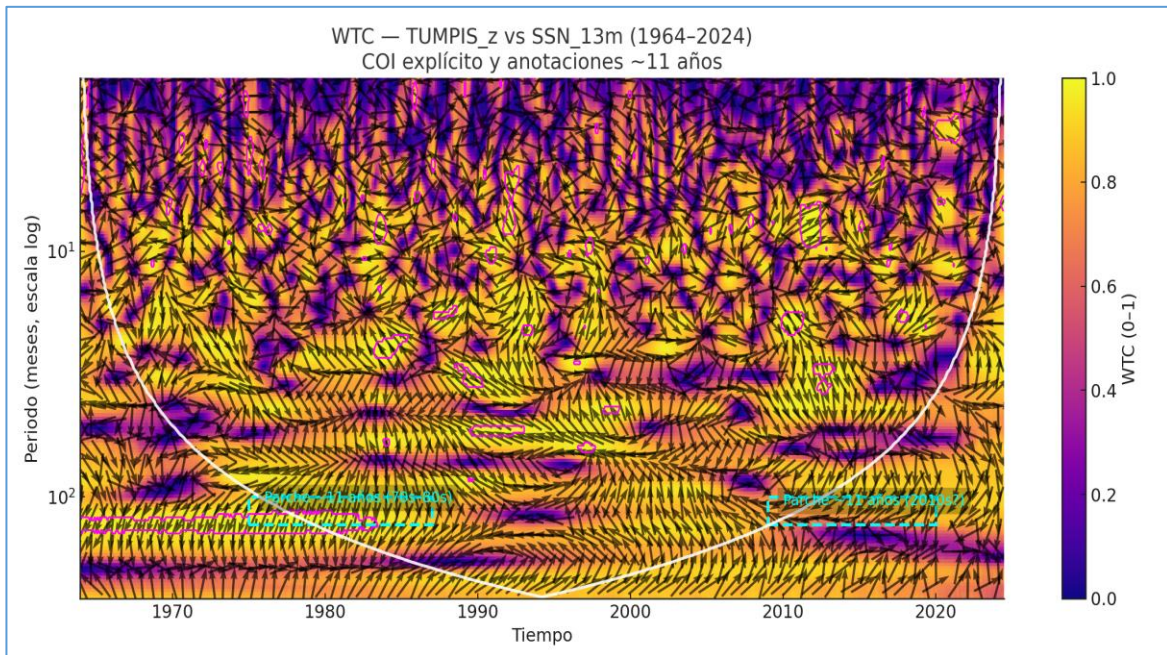
Coherencia espectral

La Figura 46 muestra la coherencia espectral de wavelet entre las anomalías estandarizadas de precipitación observadas en la estación PEBPT Tumpis y la actividad solar expresada en el número de manchas solares suavizado con una media móvil de 13 meses. El eje vertical representa los periodos en meses distribuido en escala logarítmica, al tiempo que el eje horizontal muestra el tiempo desde el año 1964 al 2024.

El color más claro en la Figura 46 corresponde a alta coherencia mientras que el más oscuro a baja coherencia. Los colores amarillos representan zonas estadísticamente significativas al 95 % de confianza en una prueba Monte Carlo AR(1), no obstante, el cono de influencia trazado en blanco marca la región donde el efecto borde reduce la confiabilidad de la estimación. Las zonas en verde corresponden a dos islas aisladas de coherencia significativa en periodos de siete a 12 años, parcialmente coincidentes con el periodo solar de 11 años, no obstante, su proximidad al borde del COI limita su robustez estadística.

Figura 46

Coherencia espectral de wavelet entre la precipitación en la estación Tumpis y la actividad solar



La orientación de las flechas en el mapa de coherencia no muestra persistencia del patrón coherente, sugiriendo ausencia de un desfase estable en el tiempo. En forma global el análisis indica que la relación entre la actividad solar y las precipitaciones es débil y estadísticamente marginal, sugiriéndose fluctuaciones aleatorias más que una modulación solar sostenida sobre el régimen pluviométrico regional.

4.1.6. Contraste de hipótesis

Tabla 5

Contraste de la hipótesis general

Hipótesis	Resultados	Dócima
Ho: La actividad solar y los eventos Niño 1+2 registrados entre 1950 al 2024 no se correlacionan significativamente	Los resultados indican ausencia de coherencia sostenida entre SSN, ATS y precipitación; sólo aparecen señales intermitentes durante Niños intensos, sugiriendo una influencia solar débil y episódica.	Los resultados mostraron que la actividad solar y los eventos Niño registrados entre 1950 al 2024 no se correlacionaron significativamente, aceptándose Ho y rechazando H ₁ .

Tabla 6*Contraste de la hipótesis específica 1*

Hipótesis	Resultados estadísticos	Dócima
Ho: La relación estadística global entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2, no es significativa	La relación global SSN–ATS 1+2 fue débil y no significativa; los ciclos solares no se reflejan consistentemente en la variabilidad del índice.	Los resultados revelaron que la relación global SSN–ATS 1+2 fue débil y no significativa; asimismo, los ciclos solares no se reflejaron consistentemente en la variabilidad del índice, por tanto, se acepta Ho y rechaza H ₁ .

Tabla 7*Contraste de la hipótesis específica 2*

Hipótesis	Resultados estadísticos	Dócima
Ho: Las relaciones localizadas en el tiempo y frecuencia entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2, no son significativas.	Se observaron relaciones localizadas sólo durante Niños fuertes, con coherencia intermitente en bandas 24–60 meses, sin persistencia temporal.	Los resultados evidenciaron que se observaron relaciones localizadas sólo durante Niños fuertes, con coherencia intermitente en bandas 24–60 meses, sin persistencia temporal, aceptándose H ₀ y rechazando H ₁ .

Tabla 8*Contraste de la hipótesis específica 3*

Hipótesis	Resultados estadísticos	Dócima
Ho: Las manchas solares no presentan un desfase significativo respecto a las anomalías del índice ATS.	Los desfases SSN–ATS fueron inestables y variables; no emergió un patrón temporal consistente que sugiera liderazgo solar	Los resultados expusieron que las manchas solares no presentaron un desfase significativo respecto a las anomalías del índice ATS, aceptándose Ho y rechazando H ₁

Tabla 9*Contraste de la hipótesis específica 4*

Hipótesis	Resultados estadísticos	Dócima
Ho: La coherencia espectral entre las manchas solares y las precipitaciones en el departamento de Tumbes en los periodos 1983 al 2024 y 1964 al 2024, no es significativa.	La coherencia SSN–precipitación en Tumbes fue baja y esporádica, con señales puntuales sin continuidad, influenciadas por forzantes locales	Los resultados establecieron que a coherencia espectral entre las manchas solares y las precipitaciones en el departamento de Tumbes en los periodos 1983 al 2024 y 1964 al 2024, no es significativa, aceptándose Ho y rechazándose H ₁

4.2 DISCUSIÓN

La relación entre la actividad solar y la variabilidad de Niño 1+2 muestra un comportamiento débil, intermitente y no estacionario. Esto concuerda con la física del sistema climático tropical y con la evidencia previa en la literatura. Aunque el ciclo solar de 11 años introduce variaciones cíclicas pequeñas en la irradiancia total —del orden del 0.1 %, tales fluctuaciones son muy pequeñas frente a la enorme capacidad del océano Pacífico para almacenar y redistribuir energía mediante procesos no lineales como las ondas Kelvin y Rossby, la inclinación de la termoclina y las realimentaciones de Bjerknes, quedando enmascarada la señal solar por la dinámica interna del Niño, dominada por oscilaciones interanuales de mayor amplitud.

La debilidad resultante se refleja numéricamente en los pequeños coeficientes de correlación obtenidos en la escala global, 1950–2024 ($r \approx 0.07$ – 0.09), indicando que la covarianza entre SSN y ATS es pequeña respecto a la varianza propia de cada serie. Los análisis wavelet por periodo (C19 — C25) corroboran esta conclusión: las regiones de coherencia significativa aparecen únicamente como “islas” de corta duración centradas en los grandes episodios Niño de 1982–1983, 1997–1998 y 2015–2016. Además, los vectores de fase muestran desfases variables y sin patrón estable incompatible con un mecanismo causal determinista; si la actividad solar forzara directamente a Niño 1+2, se esperaría una no observada fase coherente y persistente.

Los resultados sugieren que el acoplamiento SSN–Niño 1+2 no es lineal ni persistente, sino que surge solo en contextos donde el sistema oceánico es energéticamente inestable. La actividad solar, reflejada en las SSN, actuaría como un modulador débil, no con efecto directo. Este comportamiento es coherente con la diferencia de escalas energéticas entre ambos sistemas: las variaciones solares son pequeñas frente a la energía dinámica dominada por la circulación ecuatorial y los procesos oceánicos de ruido rojo (memoria larga), manifestándose la señal solar solo cuando el sistema Niño 1+2 está amplificado por forzantes oceánicas internas.

Los estudios basados en wavelets en otras regiones del mundo respaldan estos resultados. Efectivamente, Molavi & Eskandari (2025) encontraron prevalencias solares intermitentes, no persistentes, en las precipitaciones de Gilan, Irán. Asimismo, Lin et al. (2019) reportan coherencia SSN–precipitación únicamente en periodos específicos asociados a la banda de 8–12 años, sin estabilidad y persistencia temporal sostenida. En paralelo, Kodera & Thiéblemont (2016) muestran que la modulación solar de ENSO ocurre preferentemente en modos tipo Modoki, especialmente después de 1960, y no en el Niño canónico, sugiriendo un mecanismo indirecto y dependiente del estado del Pacífico central, coincidiendo con los resultados de la presente investigación.

En el ámbito nacional, Castro et al. (2022) corroboró el criterio internacional, demostrando que en el valle del Mantaro, Perú, la temperatura y la precipitación son explicadas casi por completo por Niño, con una señal solar detectable sólo en casos puntuales y localizados.

Aunque toda la energía que impulsa el sistema climático terrestre proviene del Sol, la ausencia de una correlación fuerte, directa y persistente entre la actividad solar —representada por el número de manchas solares— y la variabilidad de Niño 1+2 constituye una expresión fundamental de la estabilidad climática del planeta. La Tierra dispone de amortiguadores físicos de la energía solar: la elevada capacidad térmica del océano, la inercia atmosférica, la limitada conductividad del suelo, el ciclo hidrológico y la retroalimentación de radiación, sistemas que actúan como filtros y disipadores capaces de suavizar cualquier fluctuación radiactiva solar de corto plazo. Alternativamente, si el clima respondiera de manera directa e inmediata a las variaciones del ciclo solar, incluso a su modesto 0,1% de variación en la irradiancia, la superficie terrestre experimentaría oscilaciones térmicas abruptas y potencialmente incompatibles con la habitabilidad. En ese sentido, la débil relación estadística entre SSN y ATS no sugiere irrelevancia del Sol, sino un indicador de la eficiencia con la que los océanos, la atmósfera y la superficie terrestre atenúan y redistribuyen la energía entrante, posibilitando probablemente la habitabilidad terrestre. Esta amortiguación probablemente evita que cada ciclo solar genere episodios extremos de calentamiento o enfriamiento global, explicando por qué fenómenos internos como Niño dominan la variabilidad interanual del Pacífico oriental. Así, la falta de correlación directa entre SSN y Niño constituye, en última

instancia, una evidencia del carácter robusto, estable y termodinámicamente estable del sistema climático terrestre.

La discusión del primer objetivo específico considera el análisis global y por ciclos solares, mostrando que la relación lineal entre SSN y el índice ATS 1+2 es débil, variable e inestable en el tiempo. Las correlaciones interdecenales presentan valores muy dispares, desde positivos relativamente fuertes en C19 ($r = 0,825$) y C25 ($r = 0,694$), hasta negativos en C20, C22 y C23 ($r = -0,1102$; $-0,2395$; $-0,1853$), y prácticamente nulos en C21 y C24 ($r \approx 0,10$ y $0,0889$). Esta dispersión —claramente visible en la Figura 8—, indica que la relación SSN–ATS no conserva signo ni magnitud consistente entre los ciclos solares, sugiriendo que cualquier sincronía lineal es episódica y no persistente, evidenciando que la relación lineal entre la actividad solar y el Niño carece de estabilidad temporal.

Esta variabilidad interdecenal no respondería a un comportamiento físico reproducible, reflejando en cambio la sensibilidad de la correlación de Pearson a cambios internos del Niño, a la longitud limitada de cada ciclo y a la naturaleza no lineal del sistema océano–atmósfera. El hecho de que los ciclos no conserven un patrón común indicaría que la actividad solar no determina o condiciona el comportamiento de Niño 1+2, y que cualquier coincidencia observada en un ciclo aislado probablemente se deba a la variabilidad interna del Pacífico orientado antes que a un forzamiento solar. En consecuencia, los resultados comparativos sugieren que los ciclos solares no modulan de manera consistente la magnitud o el signo de la relación SSN–Niño, reforzando la interpretación de que la actividad solar cumple, a lo sumo, un rol modulador débil y episódico, sin capacidad para determinar la variabilidad interanual del Niño 1+2 entre ciclos.

Aunque la superposición de las series suavizadas de la Figura 6 muestra coincidencias en fase alrededor de 1960 y 2024, estas sincronías ocurren solo en periodos aislados y no se repiten con regularidad. Desde el punto de vista físico, ello es coherente con la naturaleza interna del Niño, cuya variabilidad está dominada por procesos oceánicos no lineales y de gran inercia térmica que atenúan y estabilizan la energía del ciclo solar, evidenciando que la actividad solar no ejerce un control determinante sobre Niño, y que las coincidencias observadas

corresponden a emparejamientos temporales o modulaciones muy débiles condicionadas por el estado interno del Pacífico oriental.

El contraste con los autores respecto de las series suavizadas de la Figura 6, específicamente las coincidencias en fase cercanas a 1960 y 2024, se observa que estas sincronías se presentan de manera aislada y sin persistencia en otros ciclos. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Molavi & Eskandari (2025) autores que hallaron coherencias solares fragmentadas e irregulares en su investigación del clima regional, así como con Yuan & Tzu (2024) quienes demostraron que las señales solares solo emergen en bandas específicas y de forma no persistente. Asimismo, Kodera & Thiéblemont (2016) explicaron que la modulación solar del Niño ocurre únicamente bajo condiciones oceánicas muy particulares, principalmente en modos Modoki y no como un forzante general del sistema. Por su parte, Castro et al. (2022) en Perú sostuvo que la influencia solar sobre variables climáticas regionales es mínima o inexistente en comparación con la dominancia del Niño. En conjunto, la evidencia indica que la actividad solar no controla Niño 1+2 y que las coherencias detectadas son modulaciones condicionadas por la dinámica interna del Pacífico.

Discutiendo el segundo objetivo específico que analizó la relación global entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2, evaluada mediante coherencia wavelet para el periodo 1950–2024, reveló un patrón caracterizado por coherencias bajas y discontinuas a lo largo del espectro temporal, lo que confirma que la interacción entre ambas series no es estacionaria ni persistente. La Figura 9 que evidencia la WTC en el periodo, muestra que, excepto por ventanas aisladas de coherencia en las bandas de 24–60 meses —particularmente durante los episodios El Niño extraordinarios de 1982–83, 1997–98 y 2015–16— el acoplamiento entre SSN y ATS se mantiene generalmente débil, comportamiento coherente con la teoría física de Niño, evento cuya dinámica está dominada por procesos internos del sistema océano–atmósfera, especialmente la memoria térmica de la termoclina y las realimentaciones de Bjerknes, que atenúan las variaciones solares de baja amplitud e impiden que el ciclo de 11 años del Sol imponga un ritmo claro sobre la variabilidad interanual del Pacífico oriental.

El análisis detallado por ciclo solar débil, fragmentada y no significativa cuando se analizó de manera rigurosa considerando Cono de Influencia (COI), que delimita las regiones del espectro de coherencias donde los resultados son confiables. En el C19, aun cuando aparecen parches o islas de coherencia dentro de la banda de 24–60 meses, una parte importante de las estructuras más intensas se ubica cercana al COI o parcialmente dentro de él, reduciéndose la confianza estadística de estas coincidencias. En C20 y C21, los parches coherentes son visibles pero pequeños, y a pesar de que algunas zonas se sitúan fuera del COI, sus magnitudes promedio no alcanzan el umbral MC 90%. En ambos ciclos, el descenso progresivo de la curva promedio 24–60 meses confirma que la relación pierde fuerza a medida que el ciclo avanza, sugiriéndose ausencia de persistencia física. En C22 y C23, los patrones se debilitan aún más: la mayor parte de los parches relevantes se ubican parcial o totalmente dentro del COI, condición que impide su interpretación como asociación genuina entre las series SSN y ATS. En C24, aunque aparecen parches algo más definidos, la mayoría vuelve a coincidir con zonas próximas al COI o sin superar el umbral de significancia. Finalmente, para el C25, el análisis de la ventana extendida 2017–2024 muestra un incremento de coherencia hacia 2022–2024 —coincidente con el evento El Niño 2023–2024—, pero la mayor parte de esa señal cae dentro del COI o por debajo del umbral MC 90%, lo que impide considerar este aumento como estadísticamente robusto.

La literatura respalda este resultado: Molavi & Eskandari (2025) encontraron coherencia SSN–SOI solo en intervalos aislados y dependientes de la energía del sistema, con ausencia de vínculos temporalmente persistentes; Lin et al. (2019) también reportaron coherencias episódicas en bandas específicas (8–12 años), más visibles en periodos de fuerte actividad oceánica; asimismo, Kodera & Thiéblemont (2016) señalaron que la modulación solar del ENSO se manifiesta únicamente bajo condiciones oceánicas previas favorables, especialmente en modos Modoki y no en el Niño canónico. De manera conjunta, la evidencia indica que la relación SSN–ENSO no corresponde a un forzamiento directo, sino a una modulación débil e intermitente, detectable únicamente cuando la dinámica interna del Niño 1+2 amplifica ciertas frecuencias y permite que el ciclo solar deje una señal residual incrementando la coherencia tiempo–frecuencia. Este resultado global

refuerza la insuficiencia de SSN para modular la evolución de Niño 1+2, pudiendo influir en condiciones específicas de alta inestabilidad oceánica.

La discusión conjunta de la relación tiempo-frecuencia y la fase entre SSN y ATS en los ciclos C19, C21, C23, C24 y C25 —todos ellos caracterizados por la presencia de eventos Niño intensos o extraordinarios— mostró que la relación SSN–ATS se fortaleció levemente únicamente durante estos episodios oceánicos, pero sin constituir un acoplamiento estable ni estadísticamente robusto. Los parches de coherencia identificados en la banda Niño (24–60 meses) se concentraron en torno a los años de mayor calentamiento del Pacífico, como 1957–58 (C19), 1972–73 (C20–21), 1982–83 (C21), 1997–98 (C23), 2015–16 (C24) y el calentamiento reciente 2023–24 (C25). En estos episodios, la coherencia aumenta y las fases muestran transiciones más rápidas, sugiriendo una mayor interacción entre ambos sistemas; sin embargo, dichas señales suelen ser breves, intermitentes y con frecuencia ubicadas cerca del COI, impidiendo considerarlas como evidencia de una modulación solar sostenida. La fase tampoco presenta estabilidad: en varios ciclos se observan acercamientos temporales hacia valores cercanos a 0° , pero estos coinciden con la fase madura de los Niños intensos y desaparecen cuando el Pacífico retorna a su estado neutral o La Niña. Esto sugiere que es el Niño fuerte es el desencadenante de condiciones propicias de sincronías entre la actividad solar y el calentamiento del Pacífico oriental.

Aunque los ciclos solares C19, C21, C23, C24 y C25 coinciden con la ocurrencia de eventos Niño de gran magnitud, estas coincidencias no representan un acoplamiento físico entre la actividad solar y el Niño. Los parches de coherencia y los acercamientos temporales en fase que aparecen durante los Niños intensos reflejan principalmente la extraordinaria amplificación interna del sistema oceánico–atmosférico, más que una influencia solar directa. Durante estos episodios, el Pacífico oriental se encuentra altamente energizado: la termoclina se debilita, las ondas Kelvin y Rossby se intensifican y las retroalimentaciones de Bjerknes operan en su máxima expresión, generando variaciones internas de gran escala que pueden coincidir momentáneamente con la oscilación solar sin que ello implique causalidad. Además, la inestabilidad de la fase, la ausencia de repetición del patrón entre ciclos, y el hecho de que los segmentos de mayor coherencia se ubiquen

cerca o dentro del Cono de Influencia (COI), indican que estas sincronías son episódicas y estadísticamente frágiles.

En conjunto, la evidencia numérica muestra que los Niños intensos actúan como amplificadores que permiten visualizar paralelismos temporales, pero no como eventos regidos o modulados de manera sistemática por el ciclo solar; el Niño sigue siendo un fenómeno esencialmente autónomo, gobernado por su propia dinámica interna y no por la variabilidad asociada al SSN.

La discusión del tercer objetivo específico se enfocó en el análisis de fase entre el SSN y el ATS 1+2 en la banda de 24–60 meses. Los resultados mostraron que la relación entre ambas señales es profundamente inestable, no lineal, más dependiente del estado interno del Niño 1+2, más que de la actividad solar. En ninguno de los ciclos analizados, C19-C25, se identifican segmentos prolongados donde el desfase mantenga un valor constante o repetible; por el contrario, la fase alterna entre valores cercanos a 0° (aparente sincronía), $\pm 90^\circ$ (cuadratura) y $\pm 180^\circ$ (oposición), sin un patrón físico claro sostenido entre fases crecientes o decrecientes del ciclo solar.

Los momentos en los que la fase se acerca a la sincronía, coinciden de manera consistente con episodios Niño intensos (1957–58, 1972–73, 1982–83, 1997–98, 2015–16 y 2023–24). No obstante, estos segmentos de sincronía son cortos, aislados y casi siempre acompañados de un aumento abrupto de la variabilidad interna del Pacífico oriental, sugiriendo que la coincidencia de fase refleja sobre todo los procesos internos del Niño, y no una relación significativa con SSN. Este comportamiento coincide con los antecedentes consultados: Molavi-Arabshahi & Eskandari referencian fases desorganizadas y fugaces en señales solar-clima; Lin & Weng encuentran fases coherentes solo en ventanas muy específicas y no repetidas sistemáticamente; además, Kodera & Thiéblemont argumentan que cualquier modulación solar aparece únicamente cuando el Pacífico ya se encuentra inusualmente perturbado, como en los modos Modoki o Niños extremos.

Al integrar estos resultados de los antecedentes, se observa que la fase entre SSN y ATS 1+2 responde más a la variabilidad general del Niño que a la fase solar. En otras palabras: durante Niños fuertes, la dinámica del Pacífico es tan intensa y no lineal que puede obligar a otras oscilaciones externas, como SSN, y generar

coincidencias temporales con la fase solar sin que exista un mecanismo de acoplamiento real. Los ciclos más recientes (C24 y C25) muestran además una fase más volátil que los ciclos anteriores, reforzando la conclusión de que la fase relativa no contiene información estadísticamente robusta que vincule directamente ambas señales.

El Niño de 1983 estudiado sin el filtro de significancia de 90%, puso en evidencia un principio físico robusto del sistema climático: la alta reluctancia térmica del océano y la atmósfera, que atenúa, integra y difiere temporalmente la energía solar incidente. Incluso cuando la coherencia estadística no es estricta, el método Hilbert revela cómo el sistema Tierra suaviza las variaciones solares y responde con un retardo consistente en la banda interanual. Este comportamiento se intensificó durante el Niño 1982–83, cuando los procesos oceánicos de mezcla y redistribución de calor amplificaron la sensibilidad de la región 1+2 a forzantes externos lentos. En este sentido, el análisis sin filtro estadístico rescata una señal físicamente plausible que, aunque más ruidosa, refleja con mayor fidelidad la respuesta térmica integrada del sistema climático.

En conjunto, el análisis de fase confirma que no existe un desfase fijo, repetible o físicamente relacionado entre SSN y ATS 1+2. Asimismo, se concluye que las coincidencias observadas se producen solo durante condiciones oceánicas excepcionalmente energéticas y no reflejan una modulación solar persistente.

La discusión con el cuarto objetivo específico estudió la coherencia espectral entre los registros pluviométricos de las estaciones operadas por el PEBPT en Tumbes: la del campamento sede y la del centro experimental Tumpis.

Los resultados de la Estación Sede mostraron que las lluvias extremas ocurren principalmente durante episodios Niño y Niño costero, no evidenciándose coincidencia consistente con los máximos del ciclo solar. La correlación cruzada entre ambas series es muy baja (máximos cercanos a $r \approx 0,04$), sin indicios de un adelanto o retardo significativo que sugiera relación causa y efecto física. El análisis de coherencia wavelet refuerza este patrón: aunque aparecen pequeñas zonas de coherencia en distintas escalas temporales, estas no son persistentes, no se alinean claramente con el ciclo solar de 11 años y suelen estar localizadas cerca del cono de influencia, donde la confiabilidad es menor.

En el Centro Experimental Tumpis, la serie de precipitación estandarizada (1964–2024) refirió periodos lluviosos recurrentes asociados a episodios Niño 1+2, pero sin sincronía aparente con los máximos o mínimos del ciclo solar. La correlación cruzada reveló valores ligeramente negativos (r entre $-0,03$ y $-0,04$), distribuidos de manera casi plana en el rango de ± 24 meses, indicando ausencia de relación lineal significativa. El análisis de coherencia wavelet, aplicado sobre una serie más extensa que la de la Estación sede, tampoco evidenció bandas persistentes en el ciclo solar de 11 años. Aunque aparecen parches puntuales de alta coherencia, estos no son sostenidos en el tiempo, demuestran cambios bruscos en fase y, en algunos casos, se ubican cerca del límite del COI.

En ambas estaciones del PEBPT —la Sede y el Centro Experimental Tumpis— los resultados evidencian que ni las correlaciones cruzadas ni la coherencia espectral referencian una relación estadística robusta, persistente o coherente físicamente entre la precipitación y el ciclo solar de 11 años. Las correlaciones lineales ($|r| < 0,04$) son muy débiles y no significativas, los desfases son inestables y la coherencia wavelet solo presenta parches aislados, intermitentes e inestables en fase, típicos de ruido rojo más que de modulación solar. Esta ausencia de causa y efecto solar claro concuerda con la literatura reciente: por ejemplo, Kodera & Thiéblemont (2016) mostraron que la modulación solar tiende a manifestarse solo mediante patrones tipo El Niño Modoki, no en la convección costera directa; Asimismo, Ormaza et al. (2022) encontraron que a escala del Pacífico, la coherencia SSN–Niño y las correlaciones con ATS y MEI raramente superan 0,1–0,2 y que incluso estas pequeñas asociaciones dependen de fases ascendentes del ciclo y lags significativos, con capacidad explicativa menor al 10%. Por otra parte, estudios hidrometeorológicos regionales, como el de Du & Li (2022) revelaron resonancias, —fase 0° , de 8–12 años en algunas estaciones, no obstante, advierten alta inestabilidad de fase y coherencia, además de ser fuertemente dependientes del régimen atmosférico local. Investigaciones recientes con wavelets + ML como el de Yuan & Tzu (2024) indicaron que aunque el SSN puede aparecer como predictor estadístico, esto ocurre sobre señales espaciales amplias, no sobre estaciones dominadas por factores oceánicos importantes como los de la costa norte del Perú.

La observación de los resultados del PEBPT y la discusión se confirma que la fuerte modulación oceánico-atmosférica asociada al Niño —especialmente en la franja Niño 1+2, y Tumbes, ubicación de las dos estaciones— domina completamente la variabilidad pluviométrica, enmascarando cualquier efecto de la actividad solar. La evidencia conjunta indica que, en el departamento de Tumbes, la actividad solar no constituye un modulante detectable de la precipitación local. La evidencia mostró que los patrones observados en las precipitaciones en Tumbes responden casi exclusivamente a la variabilidad interna del Pacífico oriental y a procesos dinámicos costeros de alta energía.

V. CONCLUSIONES

- 5.1. El análisis estadístico entre la actividad solar y los eventos Niño 1+2 en el periodo 1950–2024, mostró que no existe una relación fuerte ni persistente entre ellas. La dinámica interna del Pacífico —no lineal y fuertemente reluctante energéticamente— atenúa las variaciones del ciclo solar. El efecto solar solo aparece de manera tenue y ocasional, actuando como modulador débil y no como forzante principal.
- 5.2. La correlación interdecenal mostró que la actividad solar y las anomalías ATS (Niño 1+2) dependen del ciclo solar. Los coeficientes de Pearson varían de valores positivos fuertes en los ciclos C19 $\approx 0,83$ y C25 $\approx 0,71$ a valores negativos moderados en C22 y C23, mientras que en los ciclos intermedios C20 al C24 las correlaciones son débiles y sus intervalos de confianza incluyen el cero, revelando que no existe un acoplamiento lineal persistente entre SSN y ATS a lo largo de 1954–2024. La coherencia aparece solo en ciertos ciclos y bajo condiciones específicas del estado del Pacífico, sugiriendo que cualquier influencia solar sobre la variabilidad oceánica costera es episódica.
- 5.3. El análisis de coherencia wavelet entre SSN y ATS 1+2 muestra que la relación solar–oceánica es débil, intermitente y no persistente. Los parches significativos aparecen únicamente de forma localizada en la banda de 24–60 meses coincidiendo con episodios Niño de gran magnitud (1982–83, 1997–98, 2015–16), especialmente cuando el ATS se filtra a 9 meses. Sin embargo, aun en estos casos, la coherencia fue acotada temporalmente y no se extendió a todo el ciclo solar. En ciclos sin Niño fuerte, o en ventanas cortas como 2017–2024, la coherencia significativa fue mínima o inexistente debido a las limitaciones impuestas por el COI.

- 5.4. El desfase SSN–ATS en la banda interanual de 24–60 meses es débil e intermitente, manifestándose principalmente en ventanas asociadas a eventos intensos de El Niño, con un retraso moderado de ~5 a 9 meses de la ATS respecto a la actividad solar.

El análisis de fase mediante la transformada de Hilbert confirma que, aun en ausencia de coherencia estadística robusta, se mantiene una estructura temporal organizada del desfase. Este comportamiento evidencia que la respuesta térmica del océano–atmósfera actúa como un filtro natural, amortiguando y ralentizando la influencia de la variabilidad solar, lo que explica la falta de un acoplamiento persistente entre ambas variables.

- 5.5. Se concluye que, en Tumbes, la pluviosidad está fuertemente dominada por procesos oceánicos y dinámicos locales, no observándose relación causal entre la actividad solar y la precipitación. Cualquier posible efecto solar queda opacado por la fuerte variabilidad interna asociada al Pacífico oriental y a la circulación regional.

VI. RECOMENDACIONES

- 6.1. Se sugiere a los investigadores estudiar la relación entre la actividad solar y la variabilidad térmica del Pacífico oriental desde un enfoque multiescala y métodos no lineales que distingan claramente entre coherencia robusta y coincidencias espurias. La evidencia numérica mostró que el acoplamiento solar-ATS es intermitente y dependiente del estado interno del sistema, requiriéndose analizar a mayor profundidad las modulaciones encontradas.
- 6.2. Se recomienda a los investigadores comparar los resultados con otros índices oceánicos como el Niño 3.4 y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y con distintos productos relacionados con la temperatura superficial del agua del mar para evaluar la robustez de las modulaciones observadas, determinando si la señal aparente en ciclos particulares responde realmente a una modulación solar o si refleja interacciones internas del sistema océano-atmósfera.
- 6.3. Se plantea a los investigadores profundizar el análisis en condiciones específicas donde la coherencia parece reforzada (como en los ciclos C19 y C25), evaluando con precaución interpretaciones basadas en correlaciones aisladas, sin un patrón consistente y persistente.
- 6.4. Se sugiere a los investigadores priorizar el análisis de escalas interanuales mediante series suavizadas en ventanas largas, particularmente utilizando ATS a 9 meses para resaltar la señal asociada a eventos Niño. Las series suavizadas a 3 meses servirían como complemento para explorar variabilidad de mayor frecuencia, mas no como base principal de interpretación. Asimismo, se recomienda priorizar intervalos asociados a eventos Niño intensos y el uso de métodos adicionales capaces de capturar interacciones no lineales.

- 6.5. Se propone a los investigadores interpretar con cautela las coincidencias SSN–ATS durante ciclos con Niños intensos, por cuanto estos eventos generan inestabilidad oceánica capaz de producir sincronías aparentes sin origen solar. Los análisis futuros podrían separar periodos Niño fuertes de fases neutras o La Niña, aplicando pruebas rigurosas de significancia fuera del COI.
- 6.6. Se recomienda a los investigadores ampliar las ventanas temporales, incluyendo mayor diferenciación entre tipos de ENSO (canónico vs. Modoki) y reexaminar ciclos solares recientes, como el C25, cuando se disponga de más información.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Becerril, O., Munguia, G., & Rivero, G. (2024). *Relación dinámica entre temperatura y precipitación pluvial en las regiones de México* [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://ru.iiec.unam.mx/6445/>
- Bianchi, E., & Guzden, T. (2024). Análisis de la variabilidad de la velocidad del viento en el centro de Argentina mediante el uso de wavelets. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 27, 251–261. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/172193>
- Camón, A. (2022). *Métodos Hamiltonian Monte Carlo para la estimación de modelos de series climáticas* [Tesis de grado, Universidad Zaragoza]. <https://zaguan.unizar.es/record/125093>
- Castro, K. C., Palomino, A. C., Ladera, G. F., Rojas, A. P., & Aburto, N. M. (2022). Analysis of the influence of solar cycles on meteorological variables in the central inter-Andean valley of Peru in the period 1986–2019. *Energy Reports*, 8, 89–94. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2022.01.084>
- Du, S., & Li, Z. (2022). *Application of Wavelet Analysis to Correlation Between Sunspot Activity and Precipitation in Yunnan Province*. 2, 224–229. <https://doi.org/10.5220/0011918400003612>
- Edmonds, I., & Killen, P. (2025). Is the variability of ENSO due to frequency modulation by the long term variation in solar activity? *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 269, 106490. <https://doi.org/10.1016/J.JASTP.2025.106490>
- Google, C. /Airbus, M. T. (2025). *Vista satelital de la sede del Proyecto Especial Binacional Puyango-Tumbes (PEBPT), Tumbes, Perú*. <https://earth.google.com>

- Gutiérrez R., & Ishitsuka, J. (2011). Estudio de las explosiones solares utilizando la base de datos obtenida con el radio polarímetro de Huancayo a 9,4 GHz. *Instituto Geofísico del Perú*.
<https://repositorio.igp.gob.pe/bitstreams/80d7eb10-b826-4947-be47-5297fbfeee42/download>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación [Versión PDF]* (Mc Graw Hill Education, Ed.).
<https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- Kodera, K., & Thiéblemont, R. (2016). *Solar cycle modulation of ENSO variability*.
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2016EGUGA..1810702K/abstract>
- Lean, J. L., & Rind, D. H. (2008). How natural and anthropogenic influences alter global and regional surface temperatures: 1889 to 2006. *Geophysical Research Letters*, 35(18), 18701.
<https://doi.org/10.1029/2008GL034864;WGROU:STRING:PUBLICATION>
- L'heureux, M., Johnson, N., & Tippett, M. (2024). UNA VISIÓN GENERAL DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR RELATIVA PARA EL MONITOREO Y LA PREDICCIÓN DE EL NIÑO-OSCILACIÓN* DIVULGACIÓN CIENTÍFICA. *Boletín científico El Niño*, 11(9).
<https://repositorio.igp.gob.pe/server/api/core/bitstreams/79d58128-d513-4908-ab22-4139e045da69/content>
- Lin, H., Wu Z., Zhou, T., & Chen, X. (2019). Solar cycle modulation of ENSO variability in a coupled climate model. *Climate Dynamics*, 52, 2349–2362.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00382-018-4271-1>
- Lin, Y., & Weng, T. (2024). Development of wavelet-based machine learning models for predicting long-term rainfall from sunspots and ENSO. *Applied Water Science*, 14(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/S13201-023-02051-9/FIGURES/13>
- Liu, J., Liu, S. lin, Medhat, M. E., & Elsayed, A. M. M. (2023). Wavelet transform theory: The mathematical principles of wavelet transform in gamma spectroscopy. *Radiation Physics and Chemistry*, 203, 110592.
<https://doi.org/10.1016/J.RADPHYSICHEM.2022.110592>

- Loyola, E., & Salazar, V. (2022). *Correlación estadística de estaciones meteorológicas convencionales y automáticas durante el periodo 2014-2021*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9720>
- Martin, S. (2023). Observations key to understanding solar cycles: a review. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 10, 1177097. <https://doi.org/10.3389/FSPAS.2023.1177097/EPUB>
- McClintock, W. E., Rottman, G. J., & Woods, T. N. (2005). Solar-Stellar Irradiance Comparison Experiment II (SOLSTICE II): Instrument concept and design. *Solar Physics*, 230(1-2 SPEC. ISS.), 225–258. <https://doi.org/10.1007/S11207-005-7432-X/METRICS>
- McPhaden, M. J., Zebiak, S. E., & Glantz, M. H. (2006). ENSO as an Integrating Concept in Earth Science. *Science*, 314(5806), 1740–1745. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1132588>
- Miñope, C. (2024). *Análisis interanual de la temperatura del aire y su relación con los moduladores atmosféricos y oceánicos en la costa peruana* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6563>
- Molavi, M., & Eskandari, S. (2025). Analyzing the cyclical impact of sunspot activity and ENSO on precipitation patterns in Gilan province: a wavelet-based approach. *Scientific Reports* 2025 15:1, 15(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-05797-1>
- Morales, M. (2024). Teleconexión de la variabilidad térmica del agua de mar en las regiones niño 3.4, niño 1+2 y los impactos registrados durante el niño 1982/1983, 1997/1998 y 2016/2017-Región de Ancash. *Repositorio Institucional - UNS*. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/5030>
- Muñoz, J. (2020). *Estudio y metodología del tratamiento de series climáticas para el análisis de tendencias de la temperatura en la provincia de Alicante* [Tesis de grado, Universidad Miguel Hernández]. <http://dspace.umh.es/handle/11000/8730>

- NASA. (2025). *Sunspots and Solar Flares*. <https://spaceplace.nasa.gov/solar-activity/sp/>
- NOAA. (2025a). *Climate Prediction Center - ONI*. https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php?utm_source=chatgpt.com
- NOAA. (2025b). *Climate Prediction Center - ONI*. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- NOAA. (2025c). *NOAA's Climate Prediction Center*. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>
- NOAA Climate Prediction Center. (s/f). *ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions – Definition of Niño Regions*. Recuperado el 5 de octubre de 2025, de https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php?utm_source=chatgpt.com
- NOAA. (2009). *Climate Variability: Oceanic Niño Index*. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-nino-index>
- ONU. (2024). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Ormaza-González, F. I., Espinoza-Celi, M. E., & Roa-López, H. M. (2022). Did Schwabe cycles 19–24 influence the ENSO events, PDO, and AMO indexes in the Pacific and Atlantic Oceans? *Global and Planetary Change*, 217, 103928. <https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2022.103928>
- Physical Sciences Laboratory - NOAA. (2025). *Niño 1+2 SST Index from the HadISST1.1*. <https://psl.noaa.gov/data/timeseries/month/Nino12/>
- Pikovsky, A., Rosenblum, M., & Kurths, J. (2001). *Synchronization: A universal concept in nonlinear sciences* (Universidad de Cambridge, Ed.; Primera). Prensa de la Universidad de Cambridge.

[https://kyl.neocities.org/books/\[TEC%20PIK\]%20synchronization%20-%20a%20universal%20concept%20in%20nonlinear%20sciences.pdf](https://kyl.neocities.org/books/[TEC%20PIK]%20synchronization%20-%20a%20universal%20concept%20in%20nonlinear%20sciences.pdf)

Polanco, J. (2022). Análisis espectral de wavelet: una concisa revisión. *Revista de Climatología*, 22, 51–95. <https://paos.colorado.edu/research/wavelets/>

Rayner, N. A., Parker, D. E., Horton, E. B., Folland, C. K., Alexander, L. V., Rowell, D. P., Kent, E. C., & Kaplan, A. (2003). Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(14). <https://doi.org/10.1029/2002JD002670>,

Rincón, L., & De Jesús, V. (2024). *Una introducción a las series de tiempo* (Primera). Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.researchgate.net/profile/Veronica-De-Jesus-Romo/publication/391942700_Introduccion_a_las_series_de_tiempo/links/682dfda3d1054b0207f0ac05/Introduccion-a-las-series-de-tiempo.pdf

Rodríguez, J. (2024). La radiación solar en extremo ultravioleta: implicaciones en la atmósfera de la Tierra. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 46, e20230212. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0212>

Royal Observatory of Belgium. (2025). *Sunspot number series: latest update*. <https://www.sidc.be/SILSO/home>

Takahashi, K., & Rodríguez, A. la C. G. (2025). Calor peligroso y mortal: El Niño y cambio climático en el Perú. *Boletín científico El Niño*, 12(01), 11. www.weather.gov/safety/heat-index

Torrence, C., & Compo, G. P. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(1), 61–78. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2)

Valencia, J., Arteaga, R., Vásquez, M., & Quevedo, A. (2022). Relleno de datos diarios faltantes en registros de series climatológicas temporales. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(4), 617–629. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V13I4.2514>

Valverde, L. (2025). *Desastres y brechas de implementación: Estudio del proceso de reconstrucción de la infraestructura educativa en Piura entre julio de 2020 y*

enero de 2023, tras el Fenómeno de El Niño Costero [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/32370>

Yavuzsoy, E., & Omer, Y. (2024). Comparative Evaluation of Niño1+2 and Niño3.4 Indices in Terms of ENSO Effects Over the Euro-Mediterranean Region. *International Journal of Climatology*, 44(16), 5839–5856.
<https://doi.org/10.1002/JOC.8669>; WEBSITE: WEBSITE: RMETS

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	2
Anexo 2. Matriz de operacionalización de las variables	4
Anexo 3. Instrumentos de recojo de datos	6
Anexo 4. Ciclos solares 19 al 25 según SILSO	10
Anexo 5. Datos empleados en la investigación	11
Anexo 6. Construcción del conjunto de datos SSN–ATS (1950–2024)	18

Anexo 1. Matriz de consistencia

Título	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Metodología
Actividad solar y su relación con el evento climatológico El Niño Oscilación del Sur (1+2), 1950 – 2024	General	General	General	Independiente	Tipo de investigación: Básica Enfoque: El enfoque es cuantitativo. Alcance: Exploratoria, descriptiva y correlacional Diseño: No experimental Índices globales Población: Series temporales de la actividad solar (SSN) y de la anomalía de temperatura superficial del mar (ATS, Niño 1+2) en el periodo 1950–2024 Muestra: La totalidad de registros disponibles de ambas series en el periodo de estudio (1950–2024).
	¿Existe una relación estadísticamente significativa entre la actividad solar y los eventos Niño (1+2) entre 1950 al 2024?	Explorar una posible relación estadística entre la actividad solar y los eventos Niño (1+2) entre 1950 al 2024	La actividad solar y los eventos Niño 1+2 registrados entre 1950 al 2024 se correlacionan significativamente	Actividad solar	
	Específicos	Específicos	Específicas	Dependiente	
	Problema específico 1 ¿Cómo es la relación estadística global entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2? Problema específico 2 ¿Cuáles son las relaciones localizadas en el tiempo y frecuencia entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2? Problema específico 3 ¿Cuáles son los desfases temporales entre las manchas solares y las anomalías del índice ATS?	Objetivo específico 1 Evaluar la relación estadística global entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2. Objetivo específico 2 Identificar las relaciones localizadas en el tiempo y frecuencia entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2 Objetivo específico 3 Determinar los desfases temporales entre las manchas solares y las anomalías del índice ATS	Hipótesis específica 1 La relación estadística global entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2, es significativa Hipótesis específica 2 Las relaciones localizadas en el tiempo y frecuencia entre el número de manchas solares y el índice ATS 1+2, son significativas Hipótesis específica 3 Las manchas solares presentan un desfase significativo respecto a las anomalías del índice ATS	Evento Niño (1 + 2)	

Continuación

	<p>Problema específico 4 ¿Cómo es la coherencia espectral entre las manchas solares y las precipitaciones en el departamento de Tumbes en los periodos 1983 al 2024 y 1964 al 2024?</p>	<p>Objetivo específico 4 Analizar la coherencia espectral entre las manchas solares y las precipitaciones en el departamento de Tumbes en los periodos 1983 al 2024 y 1964 al 2024</p>	<p>Hipótesis específica 4 La coherencia espectral entre las manchas solares y las precipitaciones en el departamento de Tumbes en los periodos 1983 al 2024 y 1964 al 2024, es significativa</p>	<p>Índices locales</p> <p>Población: Registros históricos de precipitación mensual de las estaciones del PEBPT (Campamento Sede) y CIA Tumpis.</p> <p>Muestra: La totalidad de registros disponibles de ambas estaciones dentro de sus respectivos periodos de operación.</p>
--	---	--	--	--

Anexo 2. Matriz de operacionalización de las variables

Variable independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Actividad solar	Comprende fenómenos relacionados con la actividad magnética solar desarrollada en la fotosfera. Las manchas solares son zonas de menor temperatura relativa, pero mayor actividad magnética. La presencia de las manchas solares corresponde y cuantifican la actividad solar (NASA, 2025).	La variable se operativizará mediante una ficha de observación con una columna para el año, otra para el mes y otra para las anomalías en la temperatura del agua de mar, representada por el número SSN correspondiente	Magnitud	Número de manchas solares	Razón
				Media móvil	Razón
			Tiempo	Periodicidad	Razón
				Fase de ciclo solar	Razón
				Variabilidad temporal	Razón
				Desfase temporal	Razón

Continuación

Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Evento Niño (1+2)	Se define como las anomalías de la temperatura superficial del agua de mar (SST) en la región más oriental y cercana a Sudamérica (NOAA, 2025b)	La variable se operativizará mediante una ficha de observación con una columna para el año, otra para el mes y otra para las anomalías en la temperatura del agua de mar, representada por el número ATS correspondiente	Magnitud	Magnitud térmica	Razón
				Episodios Niño (1+2)	Razón
			Tiempo	Periodicidad	Razón
				Variabilidad temporal	Razón
				Desfase temporal	Razón

Anexo 3. Instrumentos de recojo de datos

Variable independiente: Actividad solar

Ficha de observación

Este instrumento permite registrar el número de manchas solares por meses.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1950												
1951												
1952												
1953												
1954												
1955												
1956												
1957												
1958												
1959												
1960												
...												
2020												
2021												
2022												
2023												
2024												

En la investigación, la ficha se replicó cubriendo desde 1950 a 2024, periodo que comprende 900 meses.

Variable dependiente: Eventos Niño (1 + 2)

Ficha de observación

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1950												
1951												
1952												
1953												
1954												
1955												
1956												
1957												
1958												
1959												
1960												
...												
2020												
2021												
2022												
2023												
2024												

En la investigación, la ficha se replicó cubriendo desde 1950 a 2024, periodo que comprende 900 meses.

Ficha de observación

Precipitación total mensual en la Estación Campamento Sede del PEBPT

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1983												
1984												
1985												
1986												
1987												
1988												
1989												
1990												
...												
2020												
2021												
2022												
2023												
2024												

Esta ficha de observación se replicó para cubrir las precipitaciones desde enero 1983 hasta diciembre del 2024.

Ficha de observación

Precipitación total mensual en la Estación CIA Tumpis del PEBPT

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1964												
1965												
1966												
1967												
1968												
1969												
1970												
1971												
...												
2020												
2021												
2022												
2023												
2024												

Esta ficha de observación se replicó para cubrir las precipitaciones desde enero de 1964 hasta diciembre del 2024.

Anexo 4. Ciclos solares 19 al 25 según SILSO

La Tabla 10 permite identificar la correspondencia temporal entre fases de alta y baja actividad solar y los periodos de ocurrencia de eventos El Niño en la región Niño 1+2.

Tabla 10

Caracterización de los ciclos solares 19–25 según SILSO y su contexto de actividad relevante para el análisis del Niño 1+2.

Ciclo Solar	Inicio (mínimo)	Máximo	Fin (mínimo)	Duración (años)	Comentario general
19	Abril 1954	Marzo 1958	Octubre 1964	10.5	Ciclo muy intenso, con elevada radiación UV y actividad geomagnética.
20	Octubre 1964	Noviembre 1968	Junio 1976	11.7	Actividad solar moderada, fase de recuperación posterior al ciclo 19.
21	Junio 1976	Diciembre 1979	Septiembre 1986	10.3	Alta actividad; coincidió con eventos Niño fuertes (1976–1983).
22	Septiembre 1986	Julio 1989	Agosto 1996	9.9	Ciclo corto y vigoroso; máximo bien definido a fines de los 80.
23	Agosto 1996	Noviembre 2001	Diciembre 2008	12.3	Moderado, con doble máximo débil en 2002–2003.
24	Diciembre 2008	Abril 2014	Diciembre 2019	11.0	Actividad reducida, mínimo profundo en 2019–2020.
25	Diciembre 2019	≈2024–2025*	—	—	Ciclo actual, en fase ascendente, con máximo estimado 2024–2025.

Anexo 5. Datos empleados en la investigación

Número de manchas solares (SSN)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1950	143.9	134.3	155.4	160.6	150.5	118.3	128.9	120.6	72.7	87.0	77.7	76.7
1951	85.0	84.8	79.3	131.7	153.7	142.4	87.2	86.5	117.7	73.3	74.2	65.0
1952	57.9	32.4	31.5	41.7	33.6	52.0	56.1	77.8	40.4	34.2	31.8	48.9
1953	37.9	5.9	14.7	39.6	18.3	31.5	12.7	33.6	28.0	12.3	2.5	3.9
1954	0.4	0.8	15.8	2.7	1.2	0.4	7.3	12.6	2.3	10.5	13.4	11.3
1955	33.4	29.9	7.3	16.4	41.3	45.2	38.2	58.0	60.8	83.0	126.3	108.8
1956	104.1	175.6	167.7	156.7	193.4	165.1	182.7	240.2	245.4	219.9	285.0	272.0
1957	233.7	184.5	222.8	248.0	233.0	284.3	265.1	223.7	334.0	359.4	298.6	339.0
1958	286.7	233.6	270.0	277.6	248.2	242.9	271.0	283.5	285.1	256.9	215.6	265.7
1959	307.7	202.6	263.0	231.3	243.6	238.9	211.9	282.6	205.6	157.7	175.6	177.1
1960	207.2	149.9	144.6	172.7	169.3	156.0	172.4	190.0	180.1	117.3	126.9	121.2
1961	82.1	65.4	75.2	86.9	72.3	109.5	99.3	79.2	90.1	53.7	46.5	56.9
1962	55.1	71.7	64.9	65.9	61.9	59.6	31.4	31.5	72.7	56.1	38.8	33.2
1963	28.7	35.2	24.8	41.7	61.1	51.2	28.7	47.5	55.2	50.1	33.7	21.6
1964	22.6	25.3	24.1	12.9	14.3	13.5	4.8	13.8	7.0	9.2	11.1	22.1
1965	25.4	20.8	17.5	10.2	34.5	23.3	17.3	13.3	24.5	29.1	22.8	24.7
1966	40.3	35.3	36.4	69.0	64.2	67.7	80.2	72.6	71.1	81.2	81.0	99.8
1967	157.0	132.6	158.3	98.4	122.5	95.4	129.5	151.8	108.7	125.0	133.6	179.0
1968	172.5	158.5	130.5	115.0	180.0	156.2	136.2	154.8	166.0	152.5	121.7	155.5
1969	147.8	170.5	192.3	151.1	169.9	150.1	137.1	138.8	129.3	135.4	132.4	138.6
1970	157.9	180.8	145.7	155.1	180.5	151.3	159.3	131.7	140.8	122.6	134.8	118.2
1971	129.2	111.8	85.9	101.6	81.5	70.7	114.7	87.0	71.3	73.4	89.5	116.5
1972	87.0	125.3	113.5	89.6	113.9	124.7	108.3	108.9	90.7	86.9	59.2	64.3
1973	61.8	60.9	65.4	81.8	60.3	56.1	33.2	36.6	84.1	43.7	34.3	33.3
1974	39.4	37.3	30.9	57.5	56.3	51.5	79.1	47.9	57.2	67.2	35.9	29.6
1975	27.3	16.7	16.9	7.7	13.1	16.7	40.4	56.7	20.3	13.6	27.9	11.6
1976	11.9	6.4	31.5	27.3	18.2	17.9	2.9	24.1	20.0	29.7	7.9	22.3
1977	23.8	33.3	13.0	19.0	27.0	54.9	30.6	43.0	62.4	62.1	41.6	61.4
1978	73.7	132.6	108.4	141.2	117.1	134.6	99.7	82.4	195.7	177.1	138.5	173.9
1979	235.9	194.7	195.3	143.7	190.3	211.7	225.7	201.4	266.9	263.6	259.5	249.6
1980	226.1	219.4	178.7	232.2	254.7	222.7	192.9	191.7	219.6	233.3	209.5	246.9
1981	156.6	189.9	196.6	225.3	194.7	131.6	205.3	242.5	245.3	216.2	186.0	195.4
1982	149.8	230.9	221.1	170.3	119.3	163.7	139.4	161.9	167.4	134.3	127.5	169.0
1983	115.5	73.1	88.7	109.6	132.5	131.5	108.9	96.0	69.9	72.5	45.7	45.6
1984	74.8	110.2	116.7	90.4	96.9	65.1	55.7	35.0	22.6	12.6	26.5	21.4
1985	17.8	20.7	16.9	20.4	32.4	28.3	39.9	10.1	4.3	22.0	17.9	15.8
1986	2.8	27.9	13.8	22.4	16.1	0.6	18.1	9.9	5.1	40.1	15.4	5.8
1987	9.8	3.4	17.4	46.0	39.1	18.8	38.2	47.9	42.2	63.4	48.8	29.1
1988	70.5	45.4	91.2	108.8	74.2	124.3	131.4	139.4	142.7	156.5	156.8	231.2
1989	210.1	208.7	170.4	166.3	195.4	284.5	180.5	232.0	225.1	212.2	238.2	211.4

Continuación

1990	227.4	171.8	191.7	189.7	175.2	153.3	191.1	252.1	169.1	199.4	178.8	197.1
1991	195.3	240.3	197.0	197.6	166.9	224.7	240.2	240.8	168.9	197.1	159.5	212.6
1992	198.3	230.7	151.0	142.2	94.3	98.5	114.2	91.9	94.0	133.4	129.6	122.0
1993	81.4	127.8	102.4	94.4	78.8	69.6	80.4	62.5	31.2	71.1	48.2	68.4
1994	84.9	54.9	47.5	27.4	29.8	39.7	50.6	34.3	40.5	67.1	29.5	32.2
1995	32.6	45.8	46.3	21.6	19.4	22.5	20.4	18.2	15.7	30.6	14.0	14.9
1996	13.3	7.7	12.6	6.8	7.6	16.5	11.8	19.7	3.0	0.7	24.9	14.0
1997	7.4	11.0	12.1	23.0	25.4	20.8	12.9	35.7	59.7	32.8	50.4	55.5
1998	44.5	50.2	82.0	70.6	74.0	90.5	96.7	121.1	132.0	78.5	97.3	119.2
1999	86.0	98.0	103.5	93.6	149.6	207.2	173.5	142.3	106.3	168.7	188.3	116.8
2000	133.1	165.7	217.7	191.5	165.9	188.0	244.3	180.5	156.0	141.6	158.1	143.3
2001	142.6	121.5	165.8	161.7	142.1	202.9	123.0	161.5	238.2	194.1	176.6	213.4
2002	184.6	170.2	147.1	186.9	187.5	128.8	161.0	175.6	187.9	151.2	147.2	135.3
2003	133.5	75.7	100.7	97.9	86.8	118.7	128.3	115.4	78.5	97.8	82.9	72.2
2004	60.6	74.6	74.8	59.2	72.8	66.5	83.8	69.7	48.8	74.2	70.1	28.9
2005	48.1	43.5	39.6	38.7	61.9	56.8	62.4	60.5	37.2	13.2	27.5	59.3
2006	20.9	5.7	17.3	50.3	37.2	24.5	22.2	20.8	23.7	14.9	35.7	22.3
2007	29.3	18.4	7.2	5.4	19.5	21.3	15.1	9.8	4.0	1.5	2.8	17.3
2008	4.1	2.9	15.5	3.6	4.6	5.2	0.6	0.3	1.2	4.2	6.6	1.0
2009	1.3	1.2	0.6	1.2	2.9	6.3	5.5	0.0	7.1	7.7	6.9	16.3
2010	19.5	28.5	24.0	10.4	13.9	18.8	25.2	29.6	36.4	33.6	34.4	24.5
2011	27.3	48.3	78.6	76.1	58.2	56.1	64.5	65.8	120.1	125.7	139.1	109.3
2012	94.4	47.8	86.6	85.9	96.5	92.0	100.1	94.8	93.7	76.5	87.6	56.8
2013	96.1	60.9	78.3	107.3	120.2	76.7	86.2	91.8	54.5	114.4	113.9	124.2
2014	117.0	146.1	128.7	112.5	112.5	102.9	100.2	106.9	130.0	90.0	103.6	112.9
2015	93.0	66.7	54.5	75.3	88.8	66.5	65.8	64.4	78.6	63.6	62.2	58.0
2016	57.0	56.4	54.1	37.9	51.5	20.5	32.4	50.2	44.6	33.4	21.4	18.5
2017	26.1	26.4	17.7	32.3	18.9	19.2	17.8	32.6	43.7	13.2	5.7	8.2
2018	6.8	10.7	2.5	8.9	13.1	15.6	1.6	8.7	3.3	4.9	4.9	3.1
2019	7.7	0.8	9.4	9.1	9.9	1.2	0.9	0.5	1.1	0.4	0.5	1.5
2020	6.2	0.2	1.5	5.2	0.2	5.8	6.1	7.5	0.6	14.6	34.5	23.1
2021	10.4	8.2	17.2	24.5	21.2	25.0	34.3	22.0	51.3	37.4	34.8	67.5
2022	55.3	60.9	78.6	84.0	96.5	70.3	91.4	74.6	96.0	95.5	80.5	112.8
2023	144.4	111.3	123.3	97.6	137.4	160.5	160.0	114.8	134.2	99.9	107.1	113.5
2024	126.0	123.0	103.7	137.0	172.1	164.1	196.8	216.0	141.1	165.8	154.1	154.6

Nota. Tabla elaborada en base a data tomadas del Royal Observatory of Belgium (2025)

Valores de las anomalías de la temperatura superficial (ATS)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1950	-1.20	-1.27	-0.68	-1.22	-0.61	-0.91	-1.10	-0.15	-0.77	-0.88	-1.64	-0.93
1951	0.14	-0.56	-0.22	0.30	0.75	1.50	2.20	1.61	1.38	1.27	1.27	0.49
1952	0.20	-0.02	0.33	-0.51	-0.05	-0.22	-0.95	-0.32	-0.37	-0.23	-0.66	-0.36
1953	-0.22	0.39	0.80	1.13	1.29	0.89	0.82	1.11	0.97	0.25	0.28	-0.12
1954	-1.09	-0.47	-0.27	-2.17	-1.92	-1.37	-1.58	-0.98	-1.36	-1.54	-1.07	-1.43
1955	-0.29	-1.18	-0.60	-0.46	-1.20	-1.03	-0.67	-0.82	-1.01	-1.73	-1.57	-1.31
1956	-1.04	-0.69	0.13	-0.23	-0.57	-0.42	0.13	-0.34	-0.53	-0.68	-0.88	-1.05
1957	-1.31	0.16	1.34	1.38	2.16	2.25	2.14	1.48	1.78	1.43	1.29	1.09
1958	0.73	0.99	0.86	1.47	1.07	1.06	0.80	-0.06	0.19	0.28	0.14	-0.17
1959	-0.12	0.07	0.93	0.72	0.42	0.24	-0.24	-0.46	0.15	-0.06	0.07	-0.23
1960	-0.35	-0.40	-0.18	-0.82	-0.32	-0.69	-0.58	-0.26	-0.03	-0.74	-0.90	-0.51
1961	0.13	0.64	-0.04	-0.30	-0.26	-0.26	-0.86	-0.48	-0.71	-0.45	-0.35	-0.39
1962	-0.33	-0.44	-1.40	-1.66	-0.54	-0.63	-0.77	-0.31	-0.28	-0.89	-0.86	-1.24
1963	-0.31	-0.50	-0.02	-0.54	0.10	-0.04	0.24	0.54	0.66	0.32	-0.00	-0.14
1964	-0.63	-1.02	-1.00	-0.86	-2.05	-1.23	-1.12	-1.09	-0.34	-1.25	-0.74	-0.98
1965	-0.43	0.07	0.61	1.69	2.16	1.98	1.72	1.55	1.07	0.80	0.84	0.91
1966	0.77	-0.03	-1.06	-1.08	-0.75	-0.76	-0.35	-0.35	-0.44	-0.43	-0.58	-0.85
1967	-0.82	-0.40	-0.66	-0.27	-0.68	-0.44	-0.70	-1.14	-1.18	-1.53	-1.40	-1.56
1968	-1.16	-0.97	-1.17	-1.32	-1.44	-0.99	-0.23	0.24	0.80	0.08	-0.01	0.28
1969	-0.08	-0.21	0.79	1.22	1.91	1.71	0.62	0.12	0.41	0.99	0.78	0.72
1970	0.45	-0.44	-0.88	-0.71	-0.88	-1.07	-1.82	-1.30	-0.89	-0.64	-0.99	-1.04
1971	-1.08	-1.44	-0.97	-0.23	-0.95	-0.85	-0.52	-0.98	-0.69	-0.80	-0.79	-0.75
1972	-0.15	0.41	0.78	1.14	1.32	2.25	2.66	2.88	1.95	1.73	1.69	1.91
1973	1.33	0.06	-0.37	-0.82	-1.04	-0.91	-1.08	-1.29	-1.14	-0.98	-0.92	-1.05
1974	-0.82	-0.80	-0.16	0.02	0.34	0.23	0.16	0.08	-0.44	-1.17	-0.74	-1.13
1975	-0.88	-0.74	0.22	0.28	-0.47	-0.58	-0.32	-0.64	-1.04	-1.23	-1.59	-1.49
1976	-0.88	-0.35	0.17	0.59	0.81	1.56	2.02	1.81	1.23	0.76	0.44	0.25
1977	0.29	-0.14	-0.38	-0.68	-0.45	0.08	0.03	-0.52	-0.50	-0.19	-0.29	-0.56
1978	-0.07	-0.35	-0.77	-0.37	-0.54	-0.86	-0.40	-0.64	-0.30	-0.43	0.04	0.23
1979	0.23	-0.58	-0.25	0.51	0.27	0.76	0.45	0.50	1.02	0.67	0.12	-0.34
1980	-0.10	-0.25	0.02	-0.00	0.25	0.21	-0.44	-0.44	-0.11	-0.52	-0.68	-1.13
1981	-1.29	-0.83	-0.19	-0.31	-0.22	-0.06	-0.56	-0.55	-0.24	-0.52	-0.55	-0.17
1982	-0.12	-0.35	-0.72	-0.51	0.08	0.27	0.60	1.09	2.01	2.28	3.08	3.20
1983	2.73	2.03	2.34	3.36	4.10	4.56	3.93	3.11	2.07	1.02	0.56	0.22
1984	-0.29	-0.77	-0.41	-0.25	-1.11	-0.92	-0.54	-0.52	-0.36	-0.61	-0.18	-0.50
1985	-0.77	-1.13	-0.59	-1.38	-1.41	-1.25	-1.04	-1.02	-0.83	-0.82	-0.92	-0.75
1986	-0.59	-0.35	-0.84	-0.86	-0.82	-0.90	-0.14	0.17	-0.13	0.14	0.28	0.53
1987	0.77	1.02	1.15	1.51	1.35	1.06	1.19	0.91	1.31	1.50	0.90	0.89
1988	0.09	-0.27	-0.52	-0.90	-1.09	-1.96	-1.54	-1.59	-1.43	-1.26	-0.65	-0.97
1989	-0.28	0.05	-0.45	-0.49	-1.16	-0.73	-0.44	-0.46	-0.47	-0.29	-0.38	-0.43

Continuación

1990	-0.33	-0.27	-0.41	-0.33	-0.23	-0.05	-0.87	-0.61	-0.28	-0.73	-0.55	-0.44
1991	-0.09	-0.10	0.00	-0.68	-0.01	0.24	0.60	-0.00	0.16	0.42	0.63	0.45
1992	0.36	0.44	0.92	1.72	1.83	0.71	-0.05	-0.24	-0.50	-0.26	-0.25	-0.31
1993	0.03	0.20	0.53	0.83	1.13	0.88	0.32	0.21	0.12	0.32	-0.23	-0.29
1994	-0.07	-0.33	-1.13	-1.22	-0.91	-0.59	-0.82	-0.90	-0.05	0.65	0.59	0.68
1995	0.91	0.24	-0.57	-0.99	-1.01	-0.53	-0.25	-0.52	-0.28	-0.41	-0.26	-0.68
1996	-0.61	-0.32	-0.07	-1.27	-0.82	-1.07	-0.98	-0.46	-0.53	-0.80	-0.79	-1.03
1997	-0.56	-0.03	0.82	0.98	2.16	3.17	3.63	3.98	4.05	4.00	4.12	4.27
1998	3.55	2.88	2.88	3.00	3.01	2.00	1.31	0.94	0.31	0.12	-0.21	-0.14
1999	-0.23	0.05	0.29	-0.78	-0.43	-0.55	-0.65	-0.51	-0.97	-0.76	-1.11	-1.06
2000	-0.89	-0.47	-0.56	0.46	-0.29	-0.65	-0.57	-0.59	-0.34	-0.49	-0.70	-0.55
2001	-0.76	-0.33	0.35	0.42	-0.64	-0.86	-0.70	-0.77	-1.20	-1.14	-0.94	-1.12
2002	-0.94	-0.30	0.62	0.33	0.18	-0.40	-0.44	-0.26	0.04	0.57	0.78	0.69
2003	0.10	-0.21	-0.49	-0.90	-1.35	-0.91	-0.58	0.08	-0.43	-0.07	0.29	0.31
2004	-0.03	-0.20	-0.34	-0.45	-0.96	-0.69	-0.70	-0.44	-0.10	0.11	0.39	0.27
2005	0.03	-0.61	-1.15	-0.36	0.22	-0.15	-0.06	-0.30	-0.61	-1.05	-1.41	-1.19
2006	-0.69	0.33	-0.27	-0.89	-0.39	-0.19	0.18	0.51	0.78	1.20	0.91	0.62
2007	0.57	0.06	-0.65	-1.05	-1.47	-1.40	-0.94	-1.36	-1.34	-1.65	-1.95	-1.63
2008	-0.80	-0.16	0.33	0.50	-0.32	0.26	0.47	0.67	0.32	-0.17	-0.21	-0.33
2009	-0.17	-0.31	-0.85	0.00	0.17	0.54	0.70	0.66	0.22	0.22	0.14	0.49
2010	0.36	0.04	-0.04	0.51	0.39	0.14	-1.05	-1.23	-1.29	-1.53	-1.38	-1.03
2011	-0.61	0.07	-0.43	-0.05	0.25	0.37	0.27	-0.20	-1.01	-0.71	-0.80	-0.68
2012	-0.39	0.40	-0.02	0.48	0.43	0.99	0.82	0.27	0.04	-0.39	-0.46	-0.61
2013	-0.70	-0.32	-0.38	-1.32	-1.44	-1.44	-1.36	-0.76	-0.77	-0.16	-0.50	-0.25
2014	0.37	-0.67	-0.51	-0.25	0.74	1.17	1.04	0.67	0.15	0.34	0.57	0.14
2015	-0.16	-0.62	-0.01	0.64	1.59	2.19	2.32	2.08	2.48	2.38	2.21	2.09
2016	1.82	1.09	1.10	0.29	0.45	0.52	-0.06	0.19	0.25	-0.03	-0.08	0.02
2017	0.33	0.92	1.56	0.49	0.25	0.20	-0.46	-0.76	-1.28	-1.32	-1.44	-1.54
2018	-1.25	-0.43	-1.30	-0.81	-0.46	-0.47	-0.08	-0.54	0.12	0.30	0.69	0.79
2019	0.67	0.66	-0.18	0.36	0.24	-0.11	-0.36	-0.29	-0.68	-0.71	0.02	-0.19
2020	-0.12	-0.03	-0.44	0.03	-0.24	-0.43	-1.09	-0.43	-0.85	-0.99	-0.87	-0.76
2021	-0.58	-0.74	-0.50	-0.96	-0.73	0.08	-0.14	-0.16	-0.29	-0.60	-0.98	-1.29
2022	-0.90	-1.14	-0.59	-1.04	-1.04	-0.82	-0.54	-0.23	-0.77	-1.37	-0.92	-0.67
2023	-0.35	-0.14	1.00	2.50	1.69	2.39	2.45	2.55	2.04	1.80	1.94	1.38
2024	1.14	1.08	-0.06	-0.11	-0.41	-0.48	-0.44	-0.62	-0.58	-0.47	-0.14	-0.44

Nota. Tabla elaborada en base a data tomada del Physical Sciences Laboratory - NOAA (2025)

Datos proporcionados por el PEBPT



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

Despacho Viceministerial de
Desarrollo de Agricultura Familiar
e Infraestructura Agraria y Riego



"Decenio de Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"





PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL - ESTACIÓN CAMPAMENTO SEDE (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1983	541.9	661.0	641.0	748.5	746.1	438.4	175.4	0.5	6.8	11.3	0.0	25.2
1984	0.0	154.1	112.6	34.9	0.7	2.4	0.0	0.0	0.0	17.6	1.4	0.0
1985	4.5	3.8	31.2	1.9	10.2	2.1	2.4	0.0	0.0	1.5	0.0	5.8
1986	56.5	8.7	2.5	168.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	3.8
1987	120.9	281.9	279.0	58.4	4.2	0.0	0.0	7.0	1.8	0.7	0.0	0.0
1988	14.6	26.3	0.6	9.7	0.2	0.0	0.0	0.0	1.1	0.4	1.4	0.0
1989	84.7	149.3	55.7	18.6	1.1	1.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0
1990	2.8	47.4	5.3	3.2	1.0	2.5	0.0	0.0	0.0	3.6	0.7	0.6
1991	0.4	54.8	39.0	4.9	31.0	0.5	0.5	0.3	0.8	0.0	0.8	5.4
1992	38.6	147.9	550.4	452.5	79.5	0.0	0.0	1.7	2.9	0.4	2.8	2.4
1993	12.1	161.3	75.0	51.3	23.2	0.0	0.1	0.4	0.6	0.8	0.0	11.4
1994	111.7	28.0	53.8	23.5	3.9	0.1	0.9	0.2	3.4	0.4	0.0	5.2
1995	63.8	90.2	47.7	0.3	4.9	0.0	0.3	0.0	0.0	0.6	10.5	1.4
1996	23.2	33.0	15.4	21.0	0.0	0.3	0.4	0.2	0.0	4.6	0.9	0.0
1997	0.5	28.7	144.1	55.6	20.9	3.5	13.0	0.0	0.0	5.7	119.3	438.8
1998	353.1	1022.8	339.0	326.3	141.9	0.9	2.5	0.0	0.0	3.3	0.0	4.6
1999	10.8	82.5	224.8	82.2	66.2	1.1	2.4	0.2	1.2	1.4	0.0	2.4
2000	10.3	36.4	64.2	66.4	26	1.8	0.2	1.5	0.7	0	0	3.7
2001	33.0	70.3	194.6	56.8	1.0	0.4	1.3	0.0	0.7	0.1	2.4	0.7
2002	1.6	211.9	292.8	99.5	0.1	0.8	0.0	0.8	1.3	2.3	0.5	5.7
2003	22.9	28.0	12.1	6.5	3.1	0.9	3.1	0.5	0.0	0.0	0.0	60.8
2004	9.4	23.6	31.0	59.2	5.7	0.7	0.8	0.0	0.9	3.3	0.0	1.8
2005	4.6	5.1	59.3	19.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.4	0.0	6.5
2006	33.6	267.2	56.6	8.4	1.1	0.0	0.9	1.4	0.0	1.2	1.5	10.6
2007	70.7	4.0	58.1	4.0	3.0	0.2	0.4	1.1	0.0	0.3	3.5	2.4
2008	128.7	270.5	105.9	25.5	0.6	2.0	0.2	0.0	0.8	0.1	0.1	0.0
2009	117.5	168.7	27.3	20.5	5.5	1.4	0.0	0.8	1.0	0.0	3.2	3.0
2010	17.8	187.4	180.8	94.9	1.2	1.4	0.2	0.0	0.0	0.0	2.4	2.0
2011	21.8	43.9	3.8	38.5	13.3	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.2	1.0
2012	80.1	155.0	95.1	74.8	3.0	0.0	0.4	0.0	0.0	2.9	1.9	1.5
2013	15.3	43.9	105.1	26.0	2.2	1.6	1.0	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0
2014	42.4	29.7	1.9	4.6	53.0	7.9	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	3.7
2015	11.4	38.0	330.6	25.4	39.4	1.3	0.0	0.0	0.3	6.5	1.2	3.0
2016	27.1	241.0	174.4	70.0	0.1	2.0	0.0	0.8	1.3	0.0	0.0	6.3
2017	143.9	90.9	337.4	58.6	35.0	0.2	0.0	0.3	0.9	2.9	0.1	0.7
2018	12.8	30.0	8.8	0.3	33.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3	1.2	34.2
2019	66.3	87.7	34.3	17.8	0.3	0.3	0.2	0.9	0.0	1.1	0.4	23.2
2020	34.3	141.6	63.2	7.6	0.5	0.9	1.9	0.2	0.4	0.0	1.0	5.2
2021	65.7	12.8	76.1	12.9	13.4	2.4	1.1	0.9	0.1	6.3	3.7	10.7
2022	19.1	19.4	53.7	16.5	9.5	0.9	0.0	0.0	0.0	5.6	0.5	0.3
2023	20.6	38.0	309.7	133.3	12.8	13.4	1.9	10.3	0.0	6.2	2.5	23.2
2024	34.7	198.2	21.6	1.6	6.8	1.2	0.4	0.0	1.3	0.0	0.0	5.4

Panamericana Norte Km 4.5 Tumbes
T: (051) 072 525356
www.gob.pe/pebpt
www.gob.pe/midagri



Continuación

 PERÚ		Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego		Despacho Viceministerial de Desarrollo de Agricultura Familiar e Infraestructura Agraria y Riego		 PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL PUTANGUE TUMBES						
"Decenio de Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres" "Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"												
PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL - ESTACIÓN CIA TUMPIS (mm)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964	72.4	4.9	91.6	54.8	0.0	0.0	T	T	0.0	0.0	0.0	0.0
1965	0.0	3.1	303.1	135.1	30.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7
1966	30.6	3.2	29.5	0.3	0.0	T	0.0	T	T	3.1	0.6	T
1967	57.1	111.5	T	12.4	T	T	T	T	0.0	8.6	0.0	0.0
1968	1.0	0.0	1.1	0.3	0.0	0.0	T	T	0.0	T	T	0.0
1969	13.0	22.9	149.3	153.6	97.8	43.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
1970	41.0	71.4	15.1	T	19.5	0.0	0.0	0.0	0.0	22.9	0.0	0.0
1971	12.1	81.2	59.1	20.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1972	14.9	80.1	266.5	159.7	14.2	25.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1973	313.0	85.1	40.4	53.5	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
1974	0.2	6.1	8.3	12.4	20.3	7.3	0.0	0.0	0.6	9.9	0.6	0.8
1975	31.1	27.3	228.7	82.2	1.6	1.8	2.8	6.2	2.3	2.4	2.3	0.0
1976	225.2	130.1	136.4	44.2	18.7	12.7	0.0	7.2	0.3	0.4	0.0	0.3
1977	30.5	115.2	63.9	80.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1978	12.3	19.1	77.4	5.0	3.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	3.9
1979	43.8	18.2	50.4	12.5	0.2	0.0	1.1	T	0.0	0.0	0.0	0.0
1980	12.0	11.5	26.8	97.8	2.3	0.0	0.0	0.0	T	1.7	7.4	25.5
1981	0.0	65.2	67.9	46.5	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
1982	0.2	0.4	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	46.7	32.1
1983	397.8	460.7	339.3	480.4	540.3	348.9	289.3	100.5	54.2	10.6	0.0	40.2
1984	0.0	237.8	76.8	41.5	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.7
1985	5.7	3.2	34.3	0.7	11.8	2.1	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0
1986	138.7	120.1	4.2	67.9	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	7.0
1987	211.0	435.3	316.4	161.8	3.6	0.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
1988	15.8	33.0	11.4	3.3	3.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.0	2.3	9.4
1989	151.9	320.3	75.5	45.1	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0
1990	8.2	40.4	26.0	7.4	4.3	0.7	1.1	0.7	0.0	2.2	0.0	0.0
1991	5.4	57.5	55.8	3.0	5.5	1.5	0.5	0.4	0.0	0.3	0.6	21.1
1992	55.8	250.8	611.7	462.4	188.0	0.8	0.0	0.1	1.7	1.6	0.0	6.3
1993	15.8	249.2	133.3	73.5	35.6	3.2	3.6	1.1	0.7	10.3	0.0	6.2
1994	100.9	139.8	92.0	35.9	2.4	1.9	0.8	0.3	0.1	0.3	0.8	24.7
1995	70.3	86.2	36.9	4.8	18.7	0.0	2.7	1.4	0.0	0.0	9.4	11.8
1996	26.6	40.4	48.5	8.3	0.1	0.9	0.5	0.1	0.0	1.1	1.2	3.4
1997	17.9	20.8	73.6	96.6	30.5	5.3	2.6	0.5	13.9	81.3	81.1	210.1
1998	579.3	764.8	549.2	215.4	73.0	7.6	1.6	2.0	2.0	5.1	0.0	4.3
1999	6.5	158.9	112.3	281.0	48.2	2.4	1.4	0.6	1.8	0.2	0.0	9.7
2000	3.2	111.8	134.0	112.9	101.4	6.0	0.3	0.0	0.6	0.0	0.0	9.9
2001	63.2	53.3	300.7	68.9	11.9	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	8.1

Continuación



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

Despacho Viceministerial de
Desarrollo de Agricultura Familiar
e Infraestructura Agraria y Riego



PROYECTO ESPECIAL
BINACIONAL
PUYANGO TUMBES

“Decenio de Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”
“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

2002	7.8	198.3	338.3	213.6	3.3	0.0	0.0	0.0	0.8	0.6	0.0	23.2
2003	96.9	81.8	37.2	10.5	0.4	2.5	3.2	1.0	0.8	0.0	0.0	14.8
2004	10.9	124.1	53.3	72.5	5.6	0.0	2.2	0.0	1.0	1.5	0.4	0.7
2005	1.1	17.4	102.9	17.9	0.2	0.0	0.0	0.9	0.0	1.9	3.1	3.1
2006	53.5	306.5	112.1	5.0	0.7	1.3	1.5	1.5	2.4	0.7	4.0	5.5
2007	94.6	8.5	90.9	43.4	1.2	0.0	1.4	0.8	1.1	1.0	5.1	4.2
2008	138.2	328.7	181.1	58.0	12.7	2.9	0.7	0.5	1.3	2.7	2.6	0.0
2009	191.5	200.3	89.0	5.8	2.3	0.8	0.2	1.6	1.5	0.8	0.8	0.8
2010	94.7	178.1	218.1	121.8	5.1	5.0	2.7	0.3	0.9	0.3	1.1	6.6
2011	45.7	64.0	3.4	114.8	0.4	1.4	1.3	0.1	0.6	0.4	1.2	9.8
2012	135.9	280.5	190.3	112.3	24.8	10.7	0.4	0.3	0.1	2.0	4.4	3.5
2013	28.3	54.4	150.9	8.7	6.2	0.8	1.3	1.0	0.3	5.8	0.1	2.6
2014	85.5	54.8	12.1	7.2	51.0	22.1	1.7	10.8	1.2	6.1	1.1	19.4
2015	25.7	114.7	344.4	180.6	109.4	3.8	4.0	0.7	0.0	7.4	4.0	3.8
2016	33.0	327.3	247.7	129.3	0.6	6.8	0.0	0.6	0.0	0.4	0.6	11.0
2017	144.9	276.3	326.8	249.7	111.4	3.5	0.7	2.4	1.2	3.1	0.0	0.3
2018	34.1	113.6	4.4	0.5	24.7	0.0	0.3	0.5	0.5	0.3	0.8	65.5
2019	108.6	212.3	229.6	108.8	3.1	0.5	1.2	1.4	0.0	0.9	1.2	33.4
2020	14.1	116.9	113.4									
2021	67.2	37.3	192.3	44.1	13.9	1.5	0.1	0.7	0.2	4.8	3.1	5.5
2022	13.3	12.1	64.0	18.6	2.2	3.5	0.9	0.6	0.0	1.3	0.1	1.6
2023	83.2	39.5	448.7	163.8	33.9	1.7	1.4	1.2	0.4	4.5	2.3	22.6
2024	76.9	245.3	22.6	9.3	7.7	1.5	2.1	0.0	3.0	1.0	0.0	17.5

Panamericana Norte Km 4.5 Tumbes
T: (051) 072 525356
www.gob.pe/pebpt
www.gob.pe/midagri



BICENTENARIO
DEL PERÚ
2021 - 2024

Anexo 6. Construcción del conjunto de datos SSN–ATS (1950–2024)

El presente anexo documenta el procedimiento seguido para elaborar la base de datos utilizada en los análisis de correlación y coherencia entre la actividad solar y la anomalía térmica superficial (ATS) en la región Niño 1+2. Todas las etapas del procesamiento se han incluido con el fin de asegurar la transparencia, replicabilidad y trazabilidad del estudio.

1. Fuentes de datos originales

Se emplearon dos series mensuales independientes:

1. Número de manchas solares (SSN):

Serie mensual provista por el *World Data Center for the Sunspot Index and Long-term Solar Observations* (SILSO), con valores correspondientes al número internacional de manchas solares.

2. Anomalía Niño 1+2 (ATS):

Corresponde a la anomalía mensual de la temperatura superficial del mar en la región Niño 1+2 (0–10°S, 90–80°W), obtenida del *NOAA Physical Sciences Laboratory* (PSL), basada en el producto HadISST1.1 y calculada respecto de la climatología 1981–2010.

Ambas series cubren el periodo 1950–2024 y fueron combinadas en un único archivo para facilitar su procesamiento.

3. Suavizado mediante media móvil centrada

Con el fin de eliminar fluctuaciones de alta frecuencia y destacar variaciones interanuales, se aplicó la media móvil a ambas series:

- SSN 13 m : número de manchas solares suavizado.
- ATS 9 m : anomalía Niño 1+2 suavizada a 9 meses
- ATS 3 m : anomalía Niño 1+2 suavizada a 3 meses

El promedio se calculó sobre ventanas temporales simétricas respecto a cada mes con un mínimo de $\text{min_periods} = 7$ observaciones válidas dentro de cada ventana para obtener un valor suavizado, evitando la pérdida excesiva de datos en los extremos de la serie.

4. Estandarización (Z-score)

Para efectos comparativos entre series de distinta magnitud física, se aplicó una estandarización mediante Z-score:

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

Donde Z es el valor estandarizado, x el valor real, \bar{x} el promedio y σ la desviación estándar. Mediante esta relación se generaron las series estandarizadas:

- SSN 13m_Z
- ATS 9m_Z
- ATS_3m_Z