



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de
Meteorología e Hidrología
del Perú - SENAMHI

INFLUENCIA DE LA NIÑA MODOKI EN LAS LLUVIAS DE OTOÑO SOBRE EL ECUADOR Y NORTE DEL PERU

LIMA, ENERO 2016



CONTENIDO

I. RESUMEN.	2
II. INTRODUCCION.....	2
III. MARCO TEORICO	3
IV. DATOS Y METODOLOGIA.....	5
V. RESULTADOS	11
VI. CONCLUSIONES.....	16
VII. BBLIOGRAFIA.....	17

INFLUENCIA DE LA NIÑA MODOKI EN LAS LLUVIAS DE OTOÑO SOBRE EL ECUADOR Y NORTE DEL PERU

Juan Bazo Zambrano¹, Yury Escajadillo Fernandez², Gabriela Quiroz Mosquera²

¹ Cruz Roja del Perú

² Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENAMHI

1. RESUMEN

El presente estudio aborda las lluvias en el Ecuador y Norte del Perú asociadas al enfriamiento de la temperatura superficial del mar en el Pacífico Ecuatorial, flanqueadas zonalmente por aguas cálidas, patrón denominado “La Niña Modoki”.

La información utilizada en el presente estudio comprende información observada de lluvia del territorio Peruano e información estimada por satélite; los resultados estadísticos obtenidos al 95% de confiabilidad, concluyen que las lluvias acumuladas registradas en Otoño (marzo – mayo) están asociadas a eventos de la “Niña Modoki”, teniendo estos acumulados de lluvia una correspondencia positiva con la ocurrencia de este evento.

2. INTRODUCCION

Recientemente, eventos relacionados con El Niño y La Niña Modoki han venido siendo más recurrentes que los eventos tradicionales “ENSO” durante los últimos decenios (Ashok et al., 2007). En tal sentido, en el Plan Operacional Institucional del SENAMHI se ha contemplado la elaboración del presente estudio “Influencia de La Niña Modoki en las lluvias de otoño sobre el Ecuador y Norte del Perú”, el cual intenta inferir el impacto de la Niña Modoki en los acumulados de lluvia para el otoño (Marzo – Mayo) en el Ecuador (en base a información estimada) y en norte del país.

Es de vital importancia conocer y estudiar todas las facetas del ENSO, e inferir los impactos; en esta oportunidad se hace un esfuerzo en analizar y responder cuales son los efectos en los acumulados de lluvia para esta faceta del ENSO con fines de planificación, predicción y toma de decisiones.

3. MARCO TEORICO

A continuación se repasan algunas definiciones importantes involucradas en el desarrollo del presente estudio.

ENSO (El Niño Southern Oscillation) :

Oscilación Oceano-Atmosférica que modula gran parte del clima en Sudamérica, teniendo impactos variados como lluvias intensas (Grimm and Tedeschi, 2009) que devienen en impactos socioeconómicos.

Así mismo, existen diferentes tipos de ENSO, basados en los patrones de la temperatura superficial del mar, los cuales fueron analizados en distintos estudios (Trenberth et al., 2002; Larkin and Harrison, 2005; Ashok et al., 2007; Hill et al., 2009).

Niña Modoki y sus características

La Niña Modoki es una faceta del ENSO, caracterizada por el enfriamiento de la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial, flanqueado por masas superficiales de mar cálidas en el oeste y este del Pacífico, este patrón modifica la circulación atmosférica normal, la cual está muy relacionada con los mecanismos de teleconexión, tales como la circulación de Walker y los trenes de onda del Pacífico. En la **Figura 1** podemos apreciar el patrón espacial de la Niña Modoki, representada por el tercer modo del PCA (Principal-Component Analysis) aplicados a los datos de reanálisis de temperatura superficial (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature Version 4-ERSST) en el trimestre Marzo-Mayo (1981-2015).

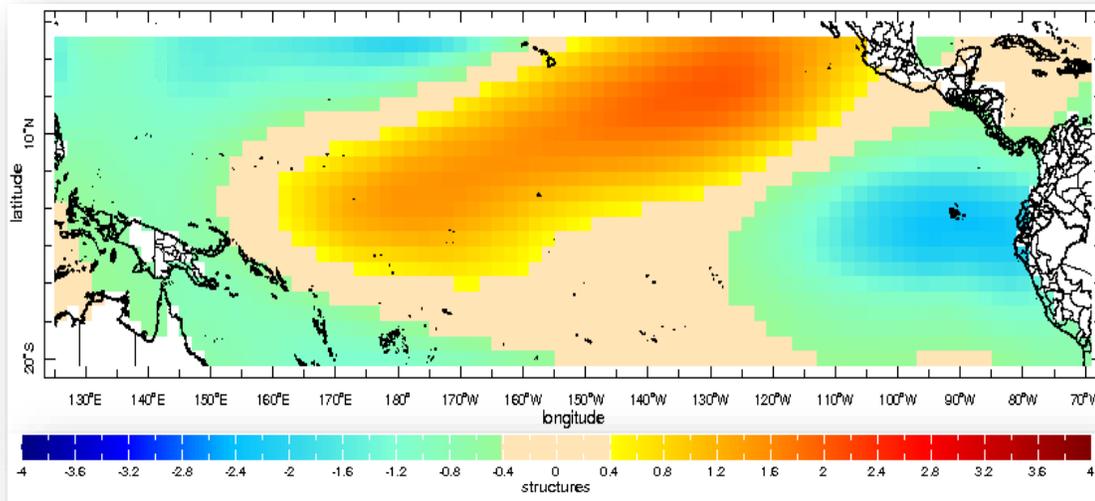


Figura 1: Modo 3 del Análisis de Componentes Principales aplicados a la Temperatura superficial del mar del ERSST versión 4 para el trimestre Marzo – Mayo. (1981-2015) / Varianza explicada de 15.3%.

Finalmente, según el Índice EL Niño Modoki (EMI, siglas en inglés) propuesta por Ashok et al., 2007, es representada por la siguiente formula (a) y **Figura 2:**

$$EMI = SST_A - 0.5 * SST_B - 0.5 * SST_C(a)$$

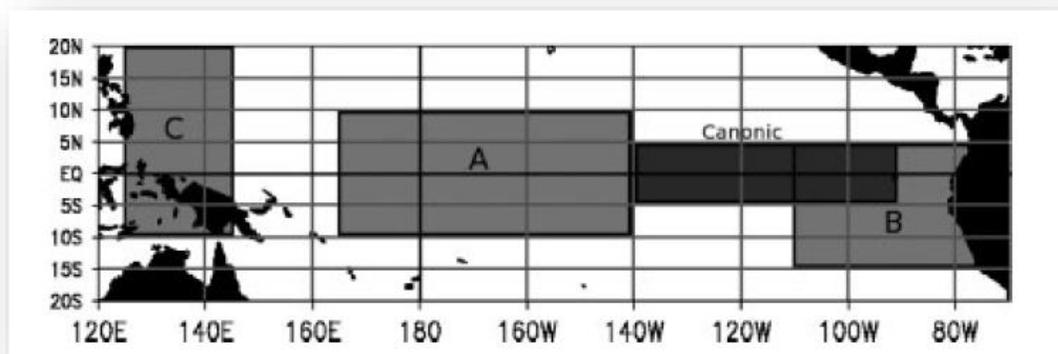


Figura 2: Áreas sobre el Pacífico Ecuatorial A, B, C y Canonic – Tedeschi et al. 2012

Define la Niña Modoki como aquellos valores en que el EMI alcanza valores menores a siete veces su desviación estándar; no obstante, se propone un nuevo criterio (Tedeschi et al., 2012) para la definición de la Niña Modoki mediante este índice, adicionando al

criterio original que la anomalía en la región “A” (**Ver Figura 2**) debe ser menor a siete veces la desviación estándar.

Simulación de Montecarlo:

Dentro del análisis de estadístico para la investigación del clima existen muchos métodos para realizar un test de hipótesis que conlleva a resolver problemas como la significancia estadística de un resultado el cual tiene una explicación física de trasfondo. La idea de esta metodología es realizar simulaciones estadísticas en el computador asumiendo una hipótesis nula (H_0) verdadera; estas simulaciones sirven para construir una distribución empírica “S” bajo la H_0 . Esta distribución empírica se utiliza para encontrar un valor crítico “kp” (K posición) el cual se comprara con el valor objeto de análisis. (Hans von Storch y Francis W. Zwiers , Statistical Analysis in Climate Research. Cambridge University ,2003)

Para el presente estudio se tomó como referencia las simulaciones de Montecarlo para hallar la significancia de los valores medios de lluvia en eventos La Niña Modoki en otoño (Marzo – Mayo).

4. DATOS Y METODOLOGÍA

4.1. DATOS

A continuación se detallan las herramientas, materiales y datos utilizados para el análisis de los eventos la “Niña Modoki” sobre las lluvias en el Ecuador y norte Perú.

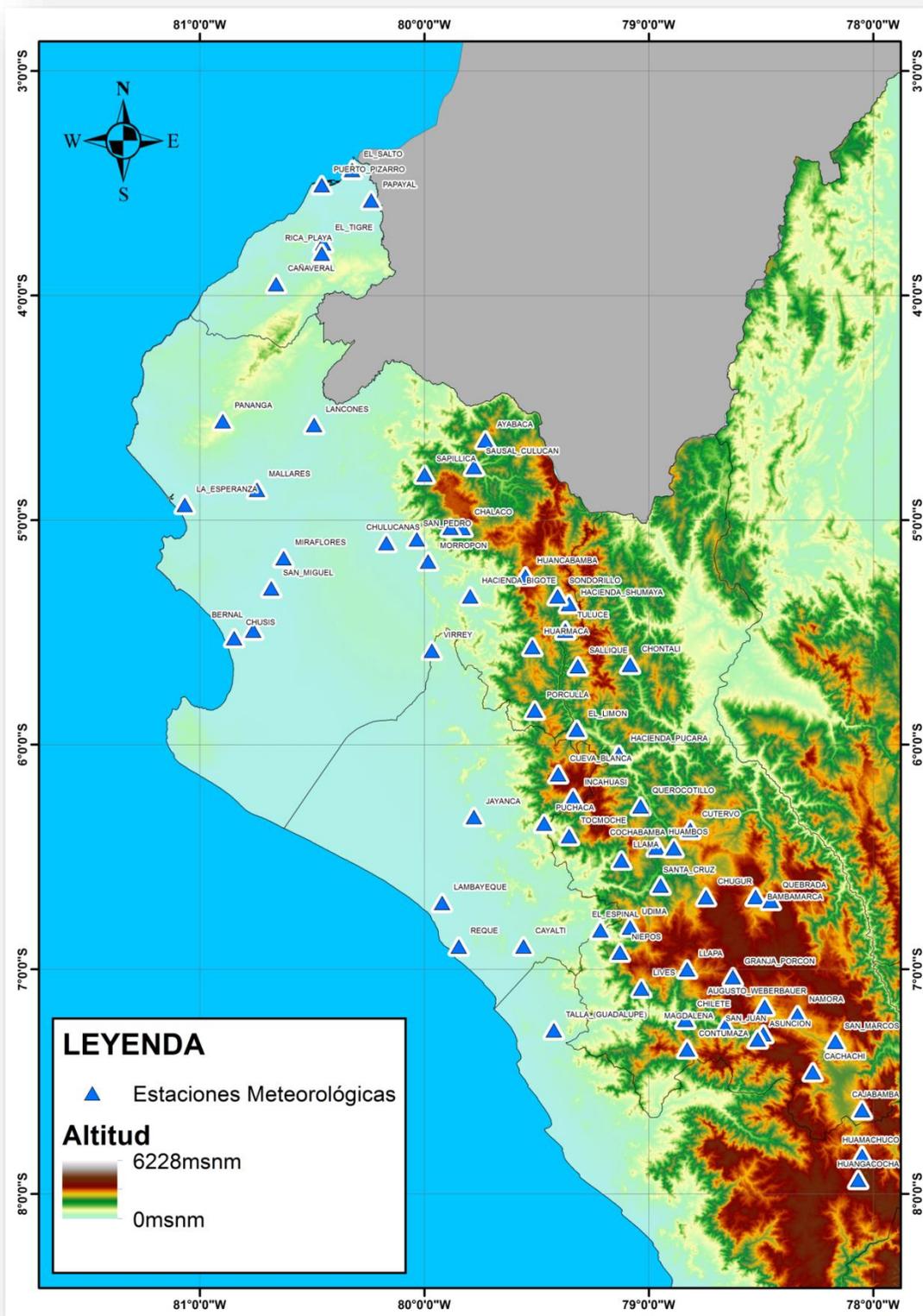
El análisis para el estudio está basado en datos la temperatura superficial del mar, precipitación estimada por satélite y valores obtenidos de las estaciones meteorológicas de la red del Senamhi. (**Ver Tabla 1 y 2, y mapa 1**).

CODIGO	ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (msnm)
100126	SAN_PEDRO	-5.08472	-80.03389	309
100136	TALLA_(GUADALUPE)	-7.27111	-79.42333	105
103016	EL_TIGRE	-3.76694	-80.45028	61
103036	RICA_PLAYA	-3.81333	-80.4575	113
103038	PUERTO_PIZARRO	-3.50833	-80.45722	7
103040	PAPAYAL	-3.57611	-80.23722	45
103041	EL_SALTO	-3.44056	-80.32194	6
103042	CAÑAVERAL	-3.94889	-80.66083	159
104014	PANANGA	-4.55917	-80.89806	500
104016	LANCONES	-4.57611	-80.49139	123
104079	MALLARES	-4.86417	-80.74556	29
104090	LA_ESPERANZA	-4.93194	-81.06778	6
105012	BERNAL	-5.49139	-80.7625	7
105013	VIRREY	-5.58083	-79.96722	264
105015	HACIENDA_BIGOTE	-5.33889	-79.79639	827
105063	SAN_MIGUEL	-5.30389	-80.68194	20
105070	CHULUCANAS	-5.10167	-80.16944	87
105100	MIRAFLORES	-5.16944	-80.62694	30
105105	CHUSIS	-5.52528	-80.84722	6
105106	MORROPON	-5.18361	-79.98361	109
106042	CAYALTI	-6.89778	-79.55889	70
106046	REQUE	-6.89806	-79.84722	15
106047	JAYANCA	-6.32167	-79.77944	65
106052	EL_ESPINAL	-6.82556	-79.21639	450
106071	PUCHACA	-6.35028	-79.46694	800
106108	LAMBAYEQUE	-6.70361	-79.92139	12
100015	BAMBAMARCA	-6.6775	-78.52528	2577
100092	NIEPOS	-6.92528	-79.12917	2424
100105	PORCULLA	-5.84722	-79.50833	1971
100113	QUEBRADA_SHUGAR	-6.69472	-78.4575	3400
104019	SAPILLICA	-4.79639	-79.99972	1406
104058	AYABACA	-4.64389	-79.72861	2830
104059	SAUSAL_CULUCAN	-4.7625	-79.77944	1015
105014	SANTO_DOMINGO	-5.03361	-79.88361	1475
105016	CHALACO	-5.03389	-79.83	1791

Tabla 1: Estaciones Meteorológicas utilizadas

CODIGO	ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (msnm)
105022	SONDORILLO	-5.33889	-79.40667	1900
105023	TULUCE	-5.49139	-79.37278	1920
105024	HACIENDA_SHUMAYA	-5.37278	-79.35583	2050
105025	SALLIQUE	-5.65028	-79.31694	1750
105055	HUANCABAMBA	-5.25028	-79.55028	3177
105057	EL LIMON	-5.93194	-79.32194	1255
105064	HUARMACA	-5.56475	-79.51978	2244
105065	CHONTALI	-5.64361	-79.08472	1652
106019	LLAPA	-6.99972	-78.83028	2900
106037	INCAHUASI	-6.23722	-79.33889	2650
106053	LLAMA	-6.51472	-79.12278	2079
106054	HUAMBOS	-6.4575	-78.96556	2213
106056	SANTA_CRUZ	-6.62667	-78.94861	2039
106057	CUTERVO	-6.3786	-78.8158	2616
106058	COCHABAMBA	-6.4603	-78.8889	1642
106060	CUEVA_BLANCA	-6.1313	-79.4045	3300
106061	TOCMOCHE	-6.40667	-79.35583	1450
106065	HACIENDA_PUCARA	-6.0419	-79.1342	1000
106067	QUEROCOTILLO	-6.27389	-79.03722	1956
106068	UDIMA	-6.81306	-79.08444	2377
106077	CHUGUR	-6.67778	-78.74556	2701
107002	GRANJA_PORCON	-7.03389	-78.62667	3261
107005	SAN_JUAN	-7.28806	-78.49111	2469
107006	SAN_MARCOS	-7.32194	-78.16944	2298
107008	CAJABAMBA	-7.62694	-78.05056	2612
107009	HUAMACHUCO	-7.83028	-78.05083	3290
107017	MAGDALENA	-7.25417	-78.66056	1257
107018	ASUNCION	-7.3121	-78.5155	2194
107028	AUGUSTO_WEBERBAUER	-7.16661	-78.4848	2660
107037	NAMORA	-7.20333	-78.33889	2782
107052	CONTUMAZA	-7.35583	-78.83028	2610
107055	LIVES	-7.08472	-79.03389	1800
107058	CHILETE	-7.2242	-78.8376	859
107068	CACHACHI	-7.4575	-78.27111	3267
107092	HUANGACOCCHA	-7.93722	-78.06833	3780

Tabla 2: Estaciones Meteorológicas utilizadas



Mapa 1: Distribución espacial de las Estaciones Meteorológicas.

Los datos de temperatura superficial del mar fueron obtenidos de NOAA ERSST V3 (Smith et al., 2008), así mismo, se obtuvo información de radiación de onda larga (OLR, siglas en ingles), variable estimada en el tope de la atmosfera por el Advance Very High Resolution Radiometer (AVHRR) que administra el Centro de Predicción Climática de la NOAA; los datos estimados de precipitación se obtuvieron del Tropical Rainfall Measuring (TRMM.V7).

El trimestre marzo-mayo considerados como eventos de “Niña Modoki” fueron tomados en referencia al indice EMI para la estación de invierno. Ashok et al., 2007 (**Ver Tabla 3**)

	MAM (years)
La Niña Modoki (LNM)	1989-1999-2000-2001-2008-2011-2012

Los

Tabla 3: Ocurrencia de Niñas Modoki por año, para la estación de otoño (Marzo – Mayo)

softwares y /o Herramientas utilizados en el presente estudio son:

- Microsoft Excel.
- Sistema Estadístico Climático del Senamhi.
- Biblioteca de datos y entorno de programación virtual del International Research Institute for Climate and Society.
- Matlab.
- ArcGis.

3.1. METODOLOGIA

Como primer paso se verificó los estados medios de la Niña Modoki mediante compuestos de temperatura superficial del mar, Radiación de Onda Larga y su correspondencia con la lluvia estimada para el trimestre Marzo – Mayo.

Posteriormente, se recopiló el record histórico de precipitación observada en la zona norte del país para luego aplicar un análisis de compuestos y grado de significancia

estadística (Simulaciones de Montecarlo); de esta manera logramos detectar si las precipitaciones responden a un escenario Niña Modoki de manera positiva.

El procedimiento detallado fue de la siguiente manera:

- a) Selección del record histórico de lluvias en el periodo Marzo – Mayo y luego estandarizarlas.
- b) Selección de los años “Niña Modoki” y extracción de las lluvias acumuladas en dicho periodo para luego promediarlas (compuesto).
- c) Alterando el record de acumulados de lluvias (ítem a) del trimestre Marzo - Mayo se generaron 1000 simulaciones aleatorias por cada record.
- d) A los datos obtenidos de las series aleatorias se les aplicó el mismo procedimiento del ítem “b”.
- e) Se calcula el percentil 95 de los resultados del ítem “d” por cada simulación, el cual nos da el nivel de significancia.
- f) Finalmente el valor promedio original (ítem b) se compara con el resultado del percentil calculado en el ítem (e), debiendo ser el valor original mayor al valor del percentil para que este sea estadísticamente significativo.

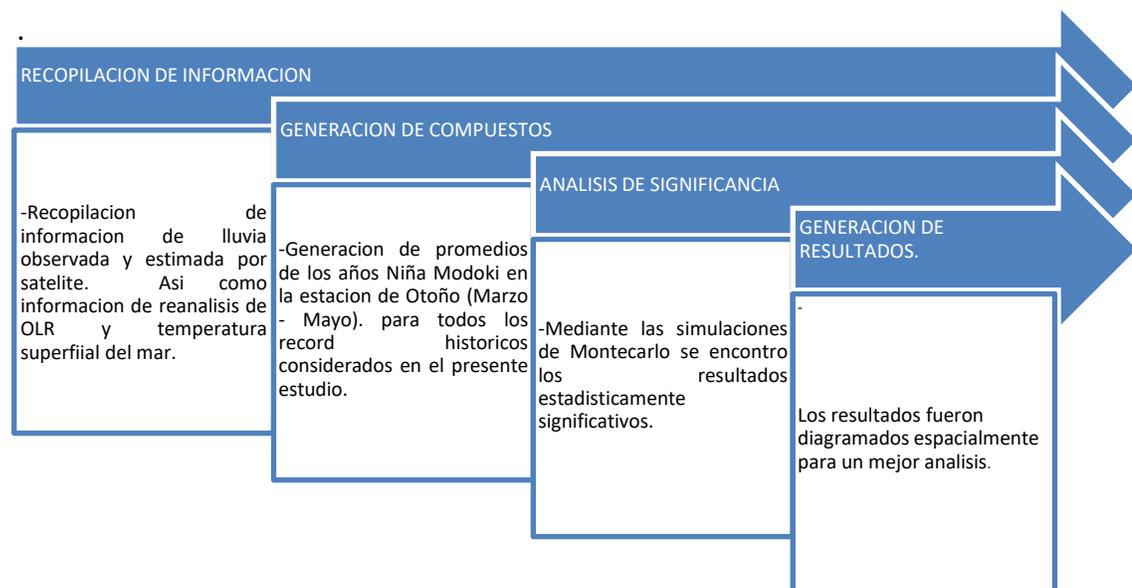


Diagrama 1: Resumen del procedimiento

5. RESULTADOS

El promedio de temperatura superficial (estandarizada) de mar para el trimestre Marzo – Mayo de los eventos “Niña Modoki” representaron de manera adecuada la estructura termal de la superficie del mar, aguas frías en el pacifico ecuatorial flanqueada de aguas cálidas en los extremos este y oeste del pacifico. **(Ver Figura 3)**

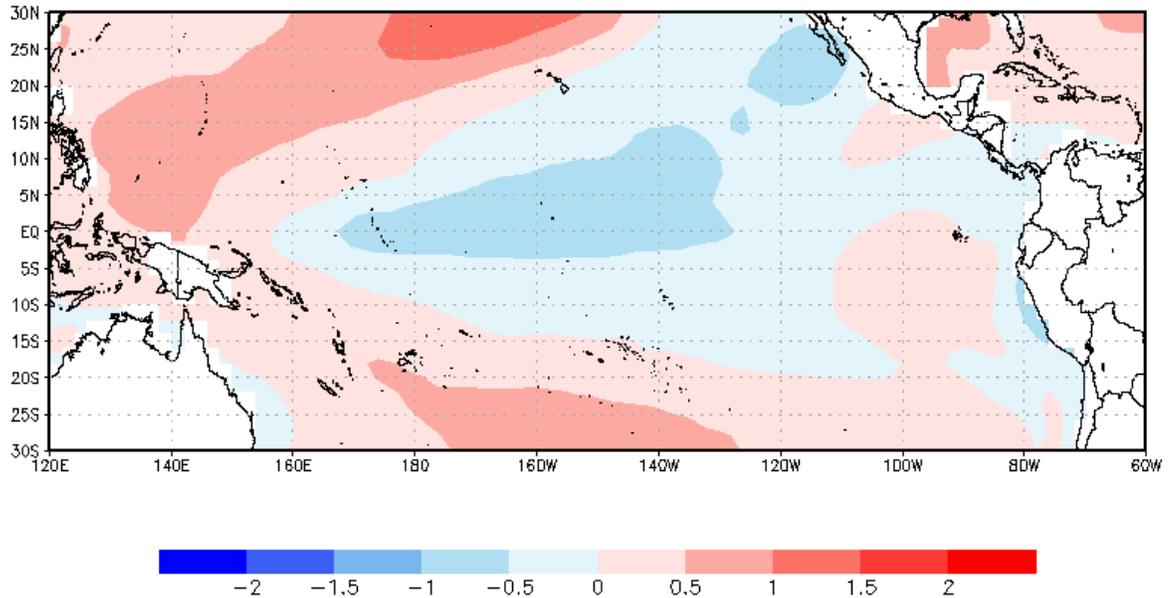


Figura 3: Temperatura Superficial estandarizada del mar promedio (compuesto) en los Años Niña Modoki (Marzo – Mayo)

Así mismo, el compuesto de Radiación de Onda Larga estandarizada y lluvia estimada por satélite demuestran el comportamiento medio de cobertura nubosa y precipitación en un evento “Niña Modoki” promedio. Se observan valores positivos de OLR. en el extremo oeste del pacifico ecuatorial (aproximadamente entre los 150°este y 140°oeste) y valores positivos sobre Indonesia y este del pacifico ,abarcando el país de Ecuador y el norte Peruano. **(Ver Figura 4).**

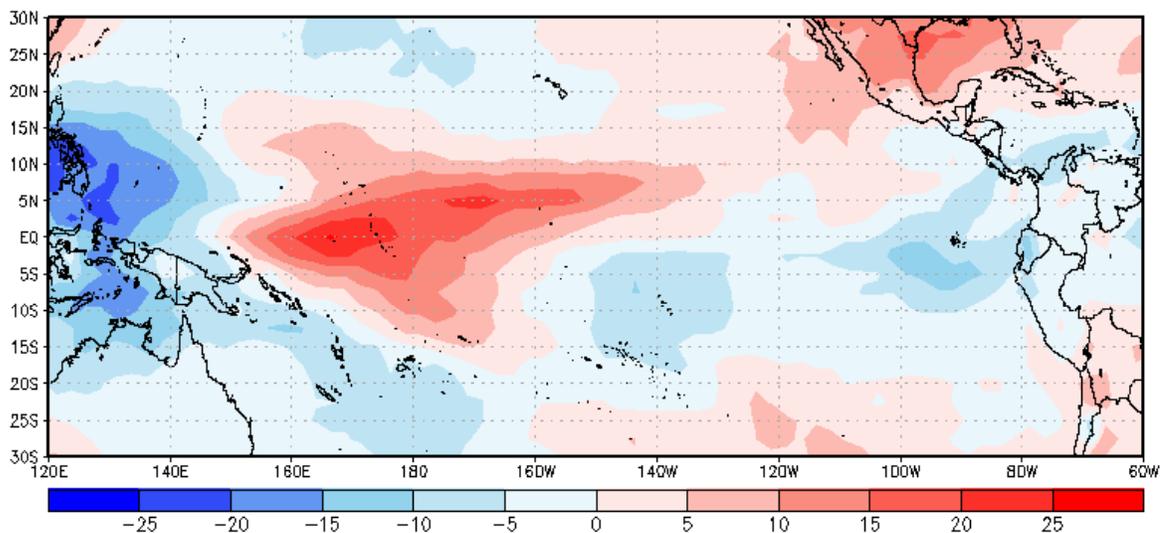


Figura 4: Radiación de Onda Larga promedio estandarizada (compuesto) en los Años Niña Modoki (Marzo – Mayo)

El compuesto de lluvia estimada (TRMM) es consistente con los resultados de OLR, observándose anomalías positivas en el sector este del pacifico ecuatorial (Ecuador y norte del Perú) y anomalías negativas sobre los 150° este y 140° oeste. En el sector peruano las precipitaciones con mayor intensidad quedan localizadas en el extremo norte involucrando los departamentos de Piura Tumbes. (Ver figura 5 y 6)

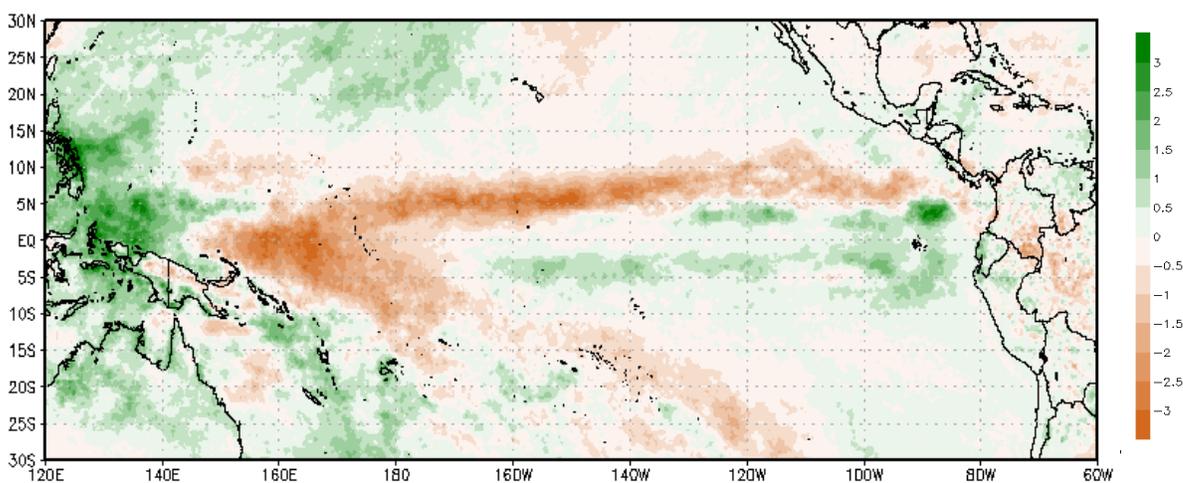


Figura 5: Lluvia estimada (TRMM) promedio (mm/day) en los Años Niña Modoki (Marzo – Mayo)

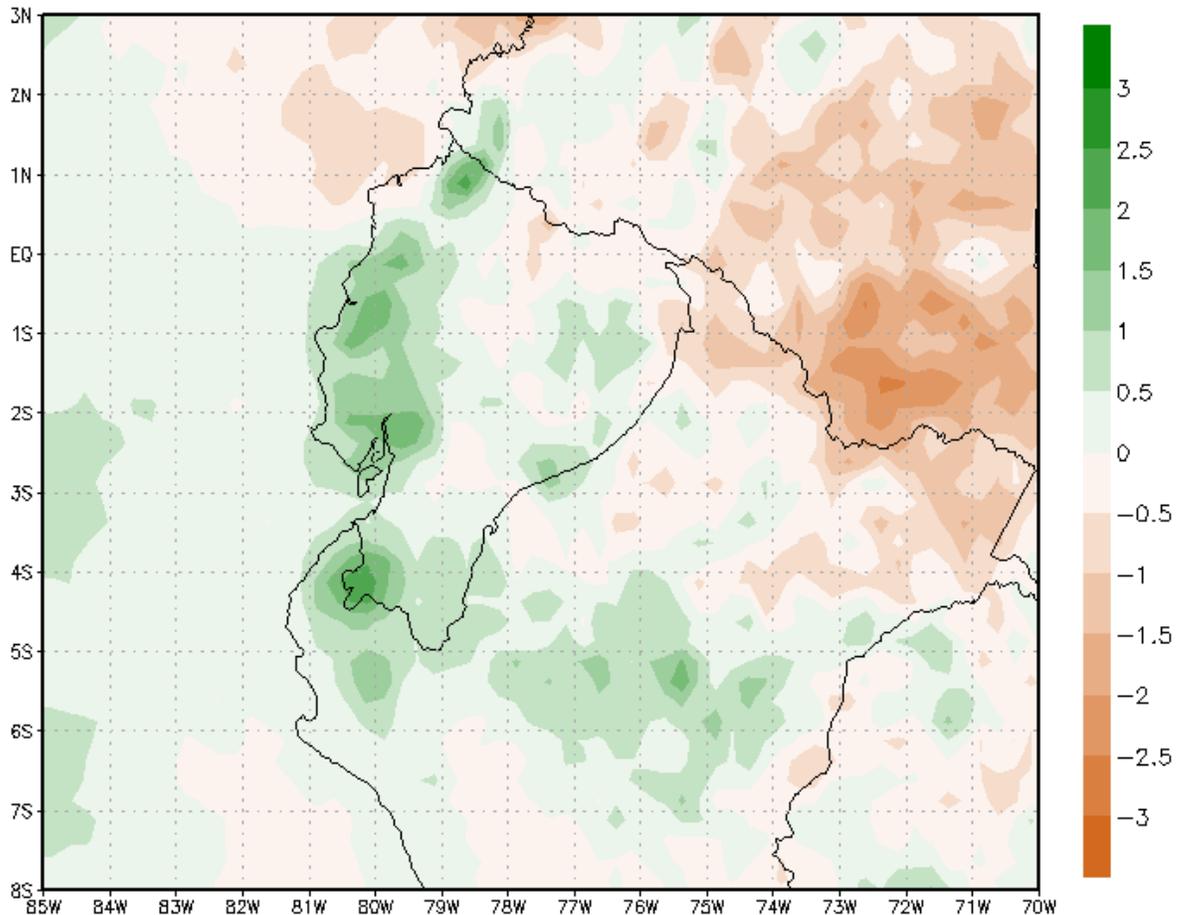


Figura 6: Lluvia estimada (TRMM) promedio en los Años Niña Modoki (Marzo – Mayo), para la zona norte del país.

Respecto al análisis de la información observada y los años Niña Modoki, se generó la **figura 7** para diferenciar el comportamiento normal de las lluvias (boxplots) y las lluvias promedio en años Niña Modoki (Línea negra). Es evidente que las lluvias acontecidas en los años Niña Modoki, en promedio, son superiores al valor medio climático en el norte del país, no obstante la **figura 7** no muestra los resultados estadísticamente significativos.

Los resultados al 95% de confianza muestran que 21 estaciones (**Ver Tabla 4**) del norte del país tuvieron valores significativos, encontrándose la mayoría de estaciones en las zonas altas del norte del país. (**Ver Figura 7**).

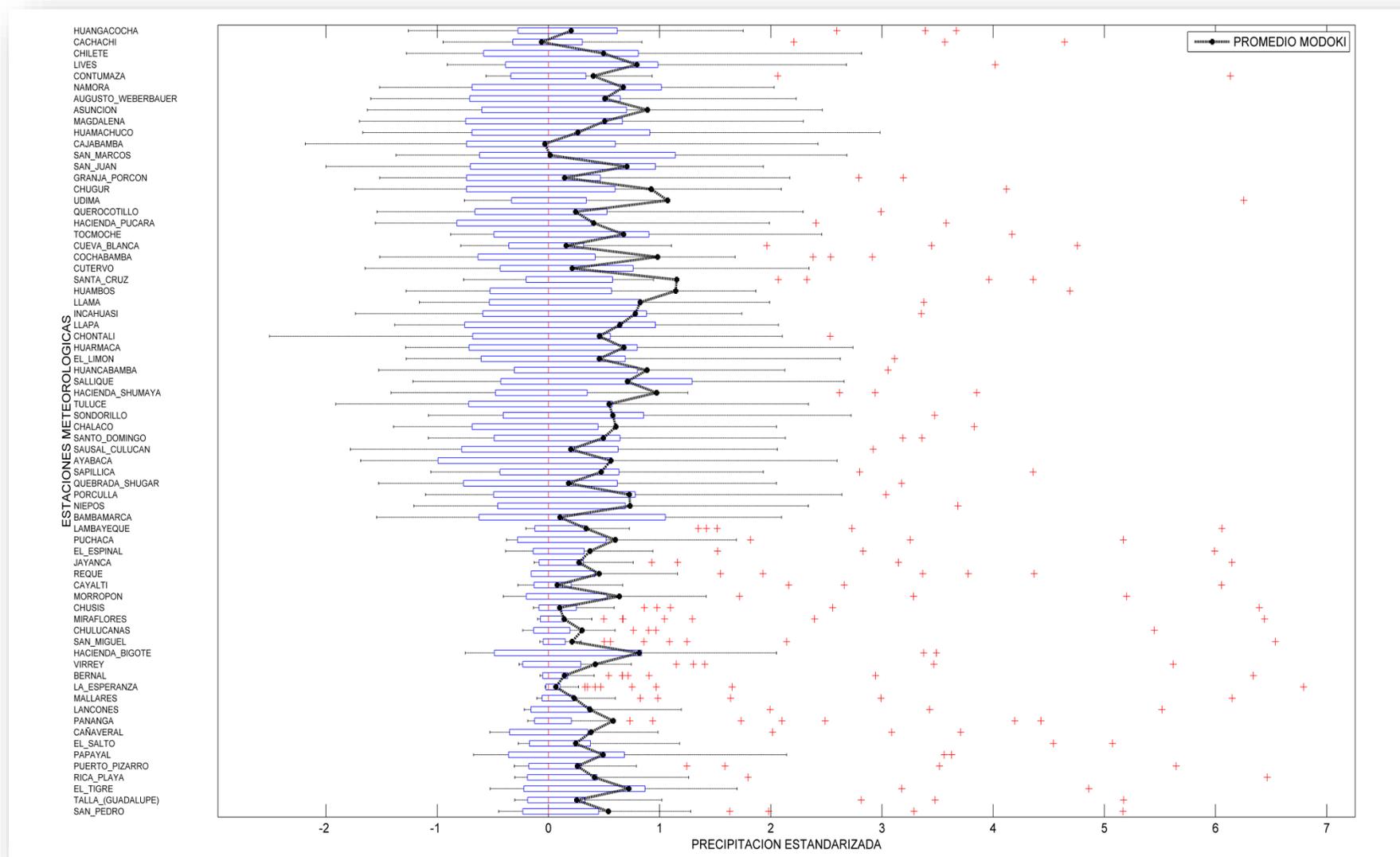
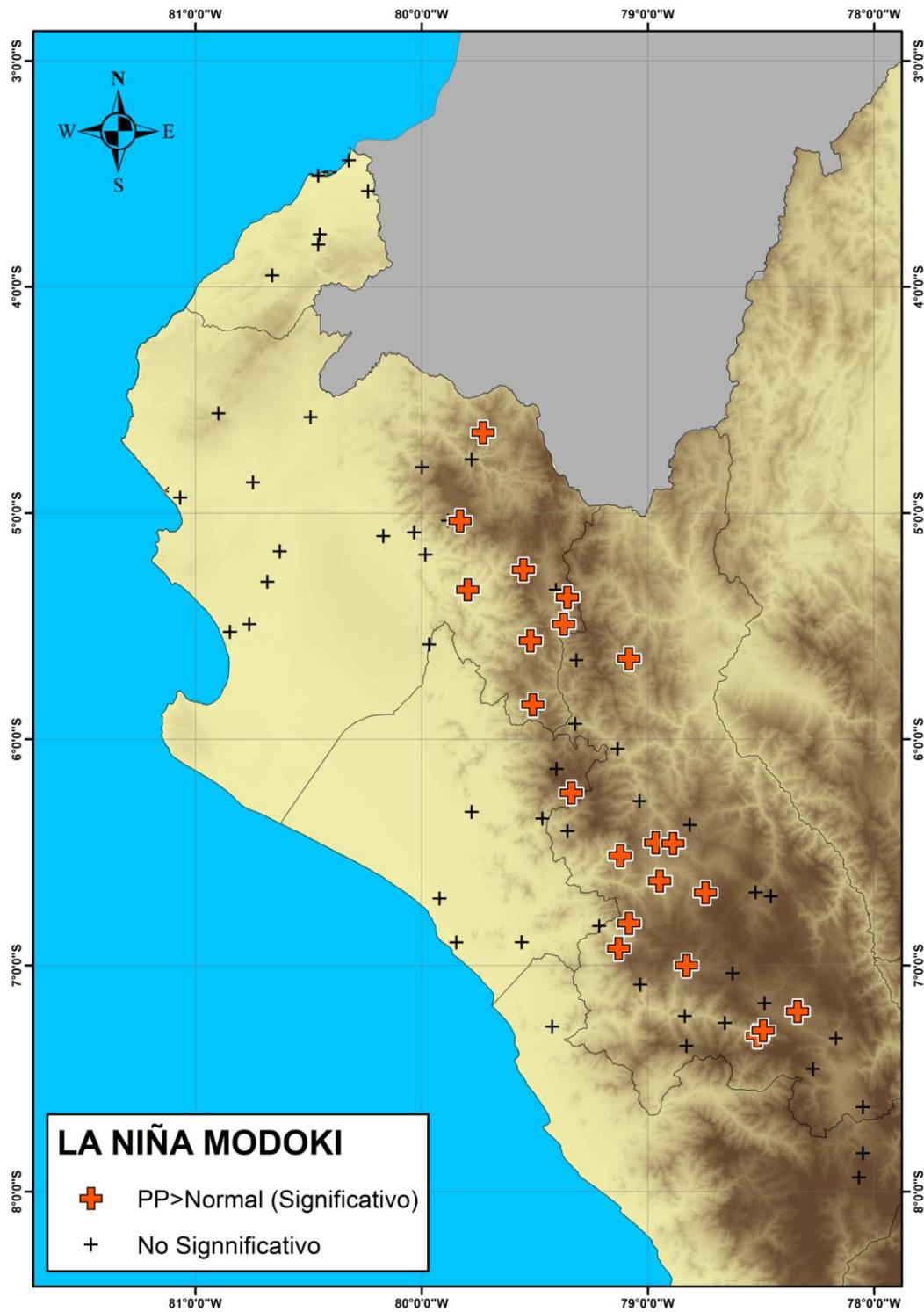


Figura 7: Distribución de lluvias estandarizada para otoño (Boxplot azul) y lluvia promedio (Línea negra) en años Modoki para las 70 estaciones meteorológicas analizadas.



Mapa 2: Estaciones Meteorológicas con resultados significativos al 90% de confianza (en rojo).

ESTACION	CLIMATOLOGIA (mm)	PROMEDIO -NIÑA MODOKI (mm)
HACIENDA_BIGOTE	268.2	396.4
NIEPOS	424.1	529.9
PORCULLA	438.2	631.4
AYABACA	615.7	766.3
CHALACO	460.5	562.5
TULUCE	409.2	468.0
HACIENDA_SHUMAYA	317.2	422.1
HUANCABAMBA	183.7	217.8
HUARMACA	486.2	603.9
CHONTALI	405.8	462.3
LLAPA	361	431.7
INCAHUASI	210.1	270.6
LLAMA	391.4	519.4
HUAMBOS	279.7	428.8
SANTA_CRUZ	328.5	509.2
COCHABAMBA	294.8	418.8
UDIMA	418.3	721.4
CHUGUR	510.4	765.5
SAN_JUAN	343.3	421.6
ASUNCION	328.1	503.1
NAMORA	247.4	321.7

Tabla 4: Estaciones Meteorológicas con promedios significativos.

6. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos con los datos de lluvia **estimada (TRMM)** infieren que el sector occidental de Ecuador y norte del Perú presentan en promedio valores sobre lo normal en otoño para un contexto de la Niña Modoki, no obstante estos resultados no representan un resultado contundente por ser información estimada.
- Los resultados obtenidos en base a los registros observados tienen una base estadística, no obstante, se debe tener en cuenta que estos resultados tienen un nivel de confianza del 95%.
- En el **mapa 2** muestra que los resultados significativos se encuentran en las zonas altas, representando solo el 30% de las estaciones analizadas; una hipótesis a

esta configuración podría deberse a la climatología o régimen de lluvias para el periodo Marzo-Mayo que son diferenciadas (Costa y Sierra) espacialmente.

7. BIBLIOGRAFIA

- Ashok, K., S. K. Behera, S. A. Rao, H. Weng, and T. Yamagata (2007), El Niño Modoki and its possible teleconnection, *J. Geophys. Res.*, 112, C11007.
- Cai, W., and T. Cowan (2009), La Niña Modoki impacts Australia autumn rainfall variability, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L12805.
- Tedeschi RG, Cavalcanti IFA, Grimm AM. 2013. Influences of two types of ENSO on South American precipitation. *Int. J. Climatol.* 33: 1382–1400.
- Weng, H., Ashok, K., Behera, S. K., Rao, S. A., & Yamagata, T. (2007). Impacts of recent El Niño Modoki on dry/wet conditions in the Pacific rim during boreal summer. *Climate Dynamics*, 29(2-3), 113-129.
- Livezey RE, Chen WY. 1983. Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques. *Monthly Weather Review* 111: 46–59.