

EL NIÑO Y LA PRECIPITACIÓN EN LOS ANDES DEL PERÚ

PABLO LAGOS¹, YAMINA SILVA¹ & ELSA NICKL²

¹Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú; ²Department of Geography, University of Delaware
plagos@geo.igp.gob.pe

RESUMEN

El Niño está asociado con fuertes precipitaciones en la costa norte del Perú debido al calentamiento cíclico de las aguas superficiales del océano en la región vecina a la costa. En general, la costa del Perú es muy seca y solamente llueve en la costa norte del Perú durante los eventos El Niño. En la región de los Andes Peruanos la precipitación es estacional, con lluvias fuertes durante los meses de verano del hemisferio sur (Diciembre –Marzo). Se observa una variabilidad estacional e interanual de las lluvias en la región andina con lluvias excesivas en algunos años y déficit de lluvias en otros años. Durante los últimos años, esta variabilidad estacional e interanual con excesivas lluvias y sequías ha sido asociada con El Niño, por algunos investigadores locales y difundida por los medios de comunicación.

El propósito de esta investigación es evaluar si existe alguna relación significativa entre las fuertes lluvias y sequías observadas en la región andina del Perú y las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Océano Pacífico ecuatorial, particularmente durante los eventos El Niño. Se seleccionaron en el estudio los datos de precipitación registrados en la región andina desde la década del 50 hasta el 2002 y las series históricas de TSM calculadas en las cuatro regiones geográficas definidas como Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4 en el Pacífico ecuatorial. En el análisis se utilizó la técnica de correlación lineal para establecer la relación precipitación-TSM. La evaluación de esta relación es de particular interés por que si existiera una relación coherente, estos resultados podrían ser utilizados en el pronóstico estacional de lluvias y caudales de los ríos en la región andina.

Los resultados que se documentan en este estudio indican que existen tres subregiones en la región andina con características climáticas ligeramente distintas, las subregiones norte, centro y sur. Al aplicarse la técnica de correlación lineal a la serie completa de datos, se encontró que las precipitaciones tienden a ser moderadamente mayores/menores que sus promedios multianuales en el extremo norte de la subregión norte, durante los meses de diciembre a enero, neutra en la subregión central y ligeramente menores/mayores que sus promedios en la subregión sur, principalmente en el mes de febrero, cuando las anomalías de la TSM son positivas/negativas en la región Niño 1+2. Esta relación se atenúa en la subregión norte cuando se considera sucesivamente las regiones Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4, mientras que la relación se acentúa en la región centro y sur cuando se considera sucesivamente las anomalías positivas/negativas de la TSM en las regiones Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4, principalmente en febrero.

Para los años con eventos El Niño, los coeficientes de correlación entre las lluvias en la región andina y los índices para la región Niño 3.4 se asemeja al caso en que se consideran todos los años y la región Niño 1+2, excepto que los índices de correlación son mayores en las subregiones norte y sur. Para el caso de la subregión sur, los máximos valores de correlación ocurren en el mes de marzo. Para los años con eventos fríos, no existe una relación coherente.

En el análisis de correlación también se incluyeron los datos de precipitación de la costa norte, encontrándose que la precipitación en esta región está altamente correlacionada con las anomalías de la TSM en la región Niño 1+2, confirmando los resultados de otros investigadores.

INTRODUCCIÓN

El Niño en el Perú ha estado asociado con fuertes precipitaciones en la costa norte durante el calentamiento anómalo estacional del agua superficial del mar en el extremo oriental del Océano Pacífico y contiguo a la costa norte del Perú. Este calentamiento anómalo que se inicia cerca de la Navidad y

que tiene una duración de tres a cuatro meses, fue asociado con una corriente de norte a sur a lo largo de la costa norte, a la cual los navegantes del área de Paita, -5° S, denominaron “Corriente de El Niño” (Carrillo, 1892). El término “Fenómeno El Niño” recién empezó a utilizarse en la década de 1960, por los investigadores locales de Perú y

Ecuador, cuando se tuvo disponible una mayor información de la TSM en la región ecuatorial del Pacífico y hubo evidencias que el calentamiento del Pacífico ecuatorial se extendía desde la costa de Sudamérica hasta la región central del Pacífico durante los eventos El Niño.

En los últimos treinta años, el término El Niño ha evolucionado en su significado, ya que ha dejado de ser considerado como un evento que ocurre a escala local o regional, para ser considerado como evento de macroescala cuando se refiere a la conexión de este con la Oscilación del Sur, conduciendo a una confusión en su uso (Aceituno, 1992). Para aclarar esta situación, el Comité Científico para la Investigación del Océano (SCOR), en 1982, formó un grupo de trabajo SCOR WG 55 para que se defina El Niño (SCOR, 1983). Esta definición era coincidente con el concepto original que se tenía en el Perú, pero no fue aceptado por la comunidad científica internacional.

Como la región Niño 3, (5°N - 5°S y 150°O - 90°O) (Figura 1), ha sido el área de mayor interés debido a la capacidad predictiva de las anomalías de la TSM y su impacto en el clima extra tropical a través de los procesos de teleconexión, la definición de El Niño considera las anomalías de la TSM en la región Niño 3, definición que los científicos de la Agencia Meteorológica del Japón han venido utilizando. Recientemente, el Centro para la Predicción del Ambiente de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ha introducido un nuevo índice de la TSM basado en las anomalías de la TSM en la región Niño 3.4, (5°N - 5°S y 170°O - 120°O), área ubicado ligeramente más al oeste que la región Niño 3. En base a este nuevo índice se han propuesto varias definiciones de El Niño (Trenberth, 1997). Últimamente, la División del Servicio Climatológico de la NOAA ha puesto en práctica una nueva definición de El Niño para sus trabajos de monitoreo operacional y para propósitos de pronóstico. De acuerdo a esta definición "El Niño" es un fenómeno en el Océano Pacífico ecuatorial caracterizado por una desviación positiva de la TSM con respecto a su normal (con periodo base de 1971-2000) en la región Niño 3.4 mayor o igual en magnitud a 0.5°C, promediado durante tres meses consecutivos.

Sin embargo, si el interés científico se encuentra en la región del Pacífico sudoriental adyacente a la costa peruana, para propósitos de monitoreo, predicción y aplicación, esta nueva definición confunde y en algunas situaciones específicas contradice a la definición original. Por ejemplo, en el año 2003, las anomalías de la TSM en la región Niño 3.4 fueron mayores a 0.5°C, por lo cual se consideró un evento El Niño, de acuerdo a la nueva definición, sin embargo las anomalías de la TSM en la región adyacente a la costa norte del Perú no mostraron ninguna anomalía significativa por lo que fue considerado un año normal. Este tipo de situaciones crea una confusión puesto que los tomadores de decisiones y el público en general no hacen ninguna distinción. También puede darse el caso que el calentamiento en la región Niño 3.4 califica ser denominado un evento El Niño y en la región adyacente a la costa norte del Perú se observe un enfriamiento, como ocurrió en el año 1966. En este estudio se utiliza las dos definiciones de "El Niño".

En los Andes Peruanos, el periodo de lluvias coincide con la estación de primavera y el verano del hemisferio sur. Se inicia en setiembre y finaliza en abril. El inicio y la intensidad de las lluvias varía de un año a otro y en algunos años la variabilidad interanual puede estar asociada con eventos extremos, tales como lluvias excesivas o déficit de lluvias, ocasionando desastres. Estos eventos extremos observados en la región andina fueron asociados con eventos El Niño por algunos investigadores locales y esta asociación fue difundida por los medios de comunicación. Sin embargo, esta relación entre los eventos climáticos extremos y El Niño no está bien establecido.

Muchos trabajos han sido dedicados a estudiar la variabilidad de las precipitaciones en diferentes zonas de América del sur y su relación con El Niño (Aceituno, 1988; 1989; Diaz, et al, 1998; Grimm, et al, 2000; 2002; Montecinos, et al, 2000; Pisciotano, et al, 1994). Una de las zonas más estudiadas es la región Amazónica (Liebmann y Marengo, 2001; Marengo, et al, 2001), pero muy pocos han sido realizados en la región andina (Vuille, 1999; Villacís, 2001). Algunos trabajos de Ropelewski y Halpert (1987,1989) han relacionado patrones de precipitación a escala global con El Niño-Oscilación del sur.

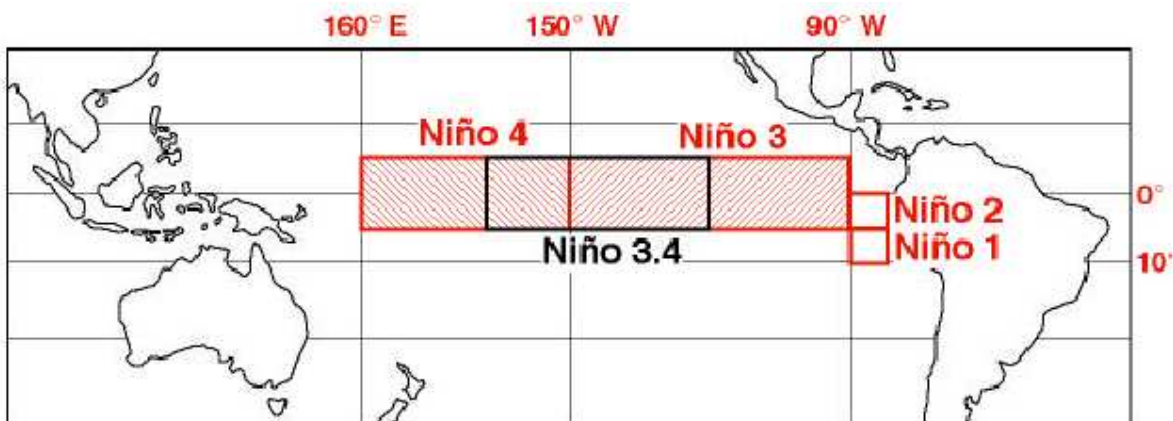


Figura 1: Regiones Niño

En este artículo se describe el resultado del análisis de la relación entre las anomalías de las lluvias en la región andina y las anomalías de la TSM en las regiones Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4 ubicadas en el Océano Pacífico ecuatorial. Se utilizaron las series de tiempo de las lluvias registradas en una red de estaciones pluviométricas durante el periodo 1950-2002. Se construyeron índices climáticos de precipitación para el análisis de correlación con los índices climáticos de la TSM.

Los resultados del análisis indican que existe características subregionales distintas y que la relación entre las anomalías de precipitación y las anomalías de la TSM son moderadas positiva y negativamente solo en los extremos norte y sur de las subregiones norte y sur de los Andes, respectivamente, principalmente durante el mes de mayor precipitación. Para los años con eventos El Niño, esta relación se acentúa, los coeficientes de correlación se incrementa, principalmente al mes siguiente del mes de mayor precipitación. Para los años con eventos fríos, no existe una relación coherente.

DATA

Precipitación

Se seleccionaron datos de precipitaciones acumuladas mensuales de 44 estaciones con registros durante el periodo 1950 a 2002. Veintitrés de estos están localizadas en los aeropuertos y pertenecen a la Corporación Peruana de Aviación Civil (CORPAC) y los datos de 21 estaciones fueron compilados por el IGP de diferentes fuentes. La

Tabla 1 muestra la lista de las estaciones en la región andina de norte a sur cuyos datos fueron utilizados en el presente estudio.

Temperatura Superficial del Mar (TSM)

Datos mensuales de TSM (Reynolds y Smith, 1994) basados en los índices El Niño para las regiones Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4 elaborados por el Centro de Predicción Climática de la NOAA que cubre el período de 1950 a 2003 fueron utilizados en el estudio. Las anomalías de TSM y precipitación fueron calculadas basándose en la climatología construida para el período 1961-1990.

Los datos mensuales de la TSM para los años cálidos y fríos según la clasificación propuesto por el Centro de Predicción Climática (CPC) de la NOAA para los eventos Niño/Niña se obtuvieron del portal Web de la NOAA. En la tabla 2 se muestra la relación de los años fríos y cálidos.

Esta clasificación de eventos Niño/Niña realizado por la NOAA basándose en la TSM de la región Niño 3.4, no necesariamente coincide con la clasificación obtenida según la definición de SCOR (SCOR, 1983; Trenberth, 1997) basándose en la TSM registradas en las estaciones costeras de Perú. Esta relación se muestra en la Tabla 3. Se ha añadido en esta tabla la relación de los años cálidos y fríos aplicando la definición de SCOR a los datos de la TSM de la región Niño 1+2.

La climatología de la presión a nivel del mar, los vientos y humedad del aire que se utilizaron en el estudio provienen de los datos conocidos como reanálisis de NCEP/NCAR (Kalnay et al. 1996) para el periodo de 1979 a 1998.

Tabla 1:
Lista de estaciones en la sierra peruana

	Estación	Longitud	Latitud	Altitud
		°W	°S	msnm
1	Ardilla	80.43	4.52	150
2	Frías	79.90	4.83	1700
3	Aranza	79.98	4.85	1300
4	Canchaque	79.60	5.37	1200
5	Chachapoyas	77.87	6.23	2435
6	Cajamarca	78.47	7.13	2622
7	Huaraz	77.60	9.36	2760
8	Huanuco	75.75	9.90	1860
9	Upamayo	76.28	10.92	4080
10	Pachacayo	75.72	11.81	3550
11	Yauricocha	75.91	11.96	4375
12	Huayao	75.32	12.03	3313
13	Chichicocha	75.61	12.17	4500
14	Pampas	74.86	12.39	3260
15	Huancavelica	74.98	12.78	3680
16	Ayacucho	74.22	13.13	2749
17	Cusco	71.98	13.55	3249
18	Crucero	70.03	14.33	4400
19	Chuquibambilla	70.73	14.80	3970
20	Huaraya-Moho	69.47	15.38	3890
21	Juliaca	70.15	15.48	3826
22	Lagunillas	70.65	15.77	4200
23	Laraqueri	70.05	16.13	4100
24	Juli	69.45	16.22	3820
25	Arequipa	71.55	16.32	2520
26	Desaguadero	69.03	16.57	3812
27	Mazo Cruz	69.72	16.75	4050

Tabla 2.
Lista de los eventos El Niño y eventos fríos, según NOAA utilizado en el estudio.

Eventos El Niño

51	57/58	58/59	63/64	65/66	68/69	69/70	72/73	76/77	77/78	79/80
82/83	86/87	87/88	90/91	94/95	91/92	92/93	93/94	94/95	97/98	02/03

Eventos La Niña

50/51	54/55	55/56	64/65	70/71	73/74	74/75	75/76	83/84	84/85	88/89
95/96	98/99	99/00	00/01							

Tabla 3.
Lista de los eventos El Niño, según SCOR

Niño 1+2	51	57	65	72	76	82/83	87	92	97/98
Paíta	-	-		72/73	76	82/83	87		97/98
Chicama	51	57/58	65	72/73	76	82/83	87	91/92	97/98

Eventos fríos

Niño 1+2	50	54/55	62	64	67	68	70/71	73	75	85	88	96	99	01	03
Paíta	-	-	-		66	68									
Chicama	50						70/71								

METODOLOGÍA

Con el propósito de establecer la relación entre las dos variables, precipitación observada en la región andina y la TSM observada en el Océano Pacífico ecuatorial, el estudio se inicia construyendo los índices climáticos de precipitación, los cuales se obtienen restando su climatología de los valores mensuales. Estos residuos son las anomalías que divididas por su desviación estándar se transforman en anomalías normalizadas y son los que se utilizan como índices climáticos de precipitación.

Se aplica la técnica de correlación lineal de Pearson para relacionar los índices de precipitación y los índices de la TSM definidas para las regiones Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4 (ver Figura 1). Se realiza el análisis primero considerando todos los años y luego considerando los años identificados con eventos El Niño de acuerdo a las definiciones de SCOR (SCOR, 1983) y de la NOAA (2002). Con el propósito de entender mejor la dinámica de la atmósfera a escala regional, se analizan las climatologías de los vientos y humedad del aire en los niveles bajos (850mb, aproximadamente 1500 m), medios (500mb, aproximadamente 5000 m) y altos (aproximadamente 12 000 m) de la atmósfera, así como la presión atmosférica reducida a nivel del mar.

EL CICLO ANUAL

Las climatologías o promedios mensuales multianuales para cada una de las estaciones pluviométricas se calcularon sobre la base del período 1961-1990 y se muestran en forma de barras en la Figura 2 para seis estaciones pluviométricas representativas de la región andina, Frías y Cajamarca en la sierra norte, Chichicocha y Huayao en la sierra central y, Juliaca y Lagunillas en la sierra sur. Estos gráficos muestran el comportamiento del ciclo anual, para el año hidrológico de agosto a julio. La distribución mensual en esta climatología se caracteriza por tener los máximos valores entre los meses de enero a

marzo con ligeras variaciones en su distribución.

Una de las características principales del régimen de lluvias en la región andina es que las precipitaciones se inician, por lo general, a principios de la primavera (setiembre) y finalizan en otoño (mayo), presentando una marcada estación lluviosa durante el verano y un periodo seco durante el invierno. Las precipitaciones se incrementan paulatinamente desde setiembre hasta llegar a sus máximos valores en los meses de enero-marzo, para luego disminuir drásticamente en el mes de abril. Esta distribución espacial y temporal de las lluvias en la región andina siguen los patrones de las precipitaciones estacionales a escala regional (Figuroa y Nobre, 1990). La Figura 3, muestra los gráficos de Boxplots para las climatologías de las precipitaciones de las seis estaciones representativas. Estos gráficos proporcionan una gran cantidad de información sobre las características, la variabilidad y el rango completo de los datos, principalmente sobre los cuartiles superiores e inferiores, la mediana y los dos valores extremos.

El comportamiento climatológico de las lluvias está asociado al desplazamiento estacional norte-sur y este-oeste de los sistemas anticiclónicos del Pacífico y Atlántico sur, que permiten la formación de la vaguada, durante el verano, en el continente. Esta también está relacionada con el desplazamiento estacional norte-sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), con la convección y el transporte de humedad desde la Amazonía y la formación de núcleos de altas presiones en niveles altos de la atmósfera, conocido como la Alta de Bolivia (Virji, 1981, Silva Días et al, 1983).

Durante la estación de invierno, cuando las lluvias son escasas en la sierra del Perú, los anticiclones del Océano Pacífico sur y del Océano Atlántico sur, áreas con presión alta, se encuentran más intensos y cerca del continente (Figura 4 a), mientras que en el verano estos sistemas se alejan del continente permitiendo que las presiones en estas áreas bajen y se forme una vaguada, áreas con bajas presiones,

cuyo centro se ubica sobre el norte de Argentina y Paraguay, conocida como “la baja del Chaco” (Figura 4 b). En niveles bajos de la atmósfera (850mb) los flujos predominantes durante el invierno son del este (Figura 5a). Durante el verano estos flujos se ven intensificados y con una componente meridional, haciendo que sea mayor el transporte de humedad desde la cuenca amazónica hacia la cordillera de los Andes (Figura 5b).

En los niveles medios de la atmósfera (500mb), predomina en el invierno una circulación anticiclónica elongada (estirada) zonalmente, con su centro en los 12°S-55°W, permitiendo que la circulación al norte de los 10°S, sea del este pero con poco contenido de humedad (Figura 6a) y al sur de los 12°S sea del oeste (aire seco). Durante el verano, el centro anticiclónico se hace mas meridional con su centro en los 25°S-70°W, aumenta el contenido de humedad sobre la amazonía y se establece una convergencia de los vientos al norte del Perú, favoreciendo el flujo de humedad desde el este (Figura 6b).

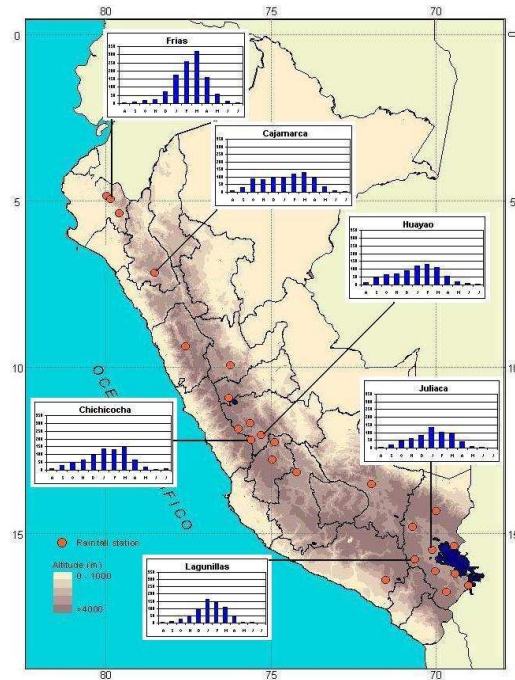


Figura 2: Climatología de la precipitación en 6 estaciones representativas

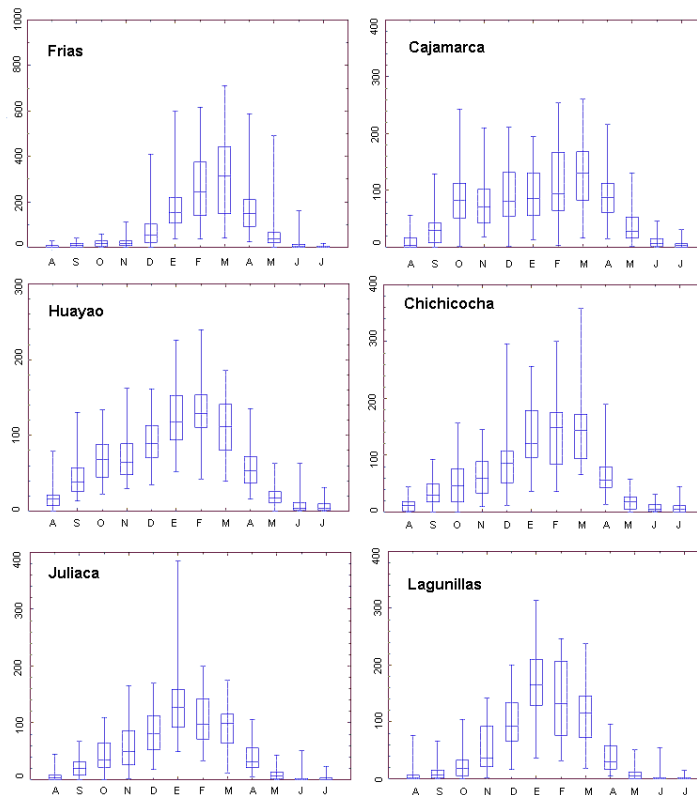


Figura 3. Boxplots de las precipitaciones en los Andes del Perú

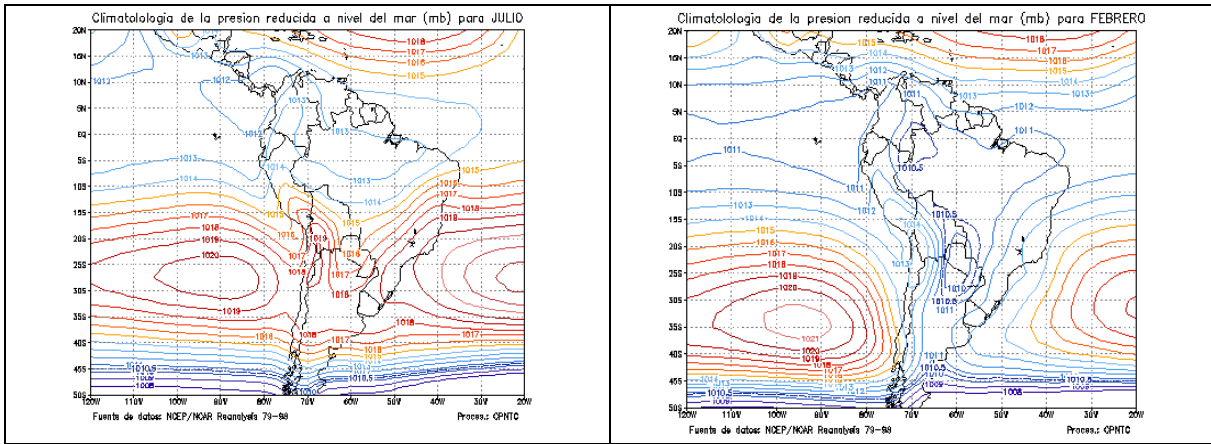


Figura 4: Climatología de presión reducida a nivel del mar:
a) para julio, b) para febrero

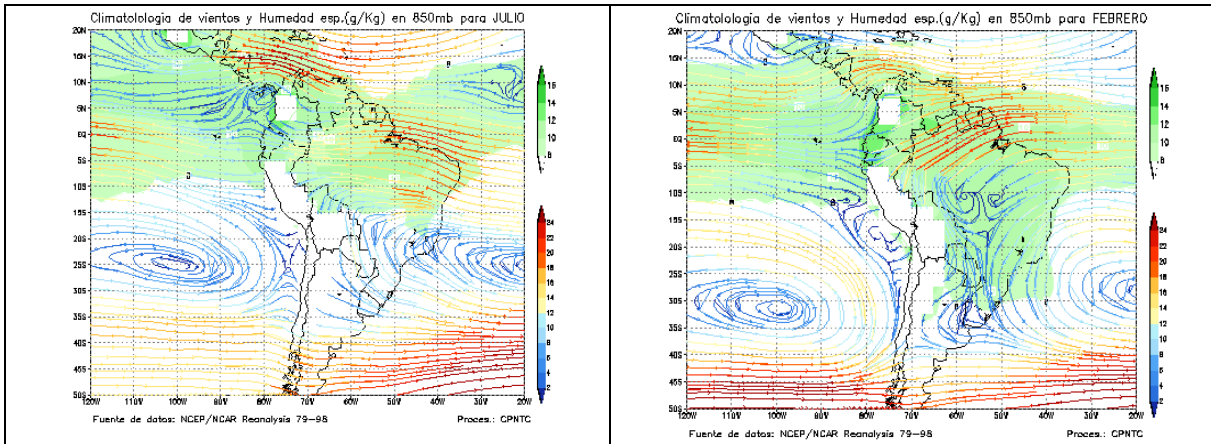


Figura 5: Climatología de humedad y vientos a 850mb:
a) para julio, b) para febrero

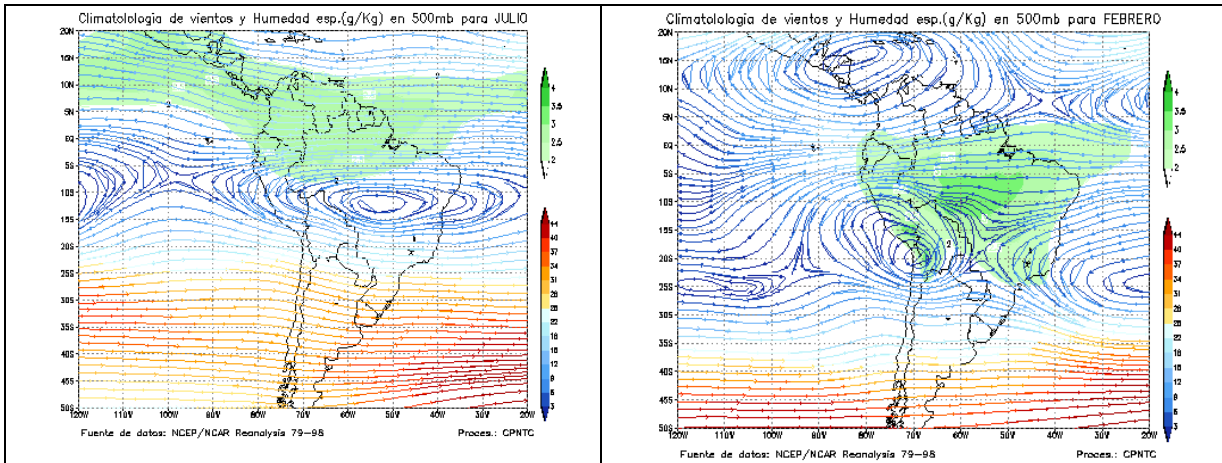


Figura 6: Climatología de humedad y vientos a 500mb (aprox. 5000msnm):
a) para julio, b) para febrero

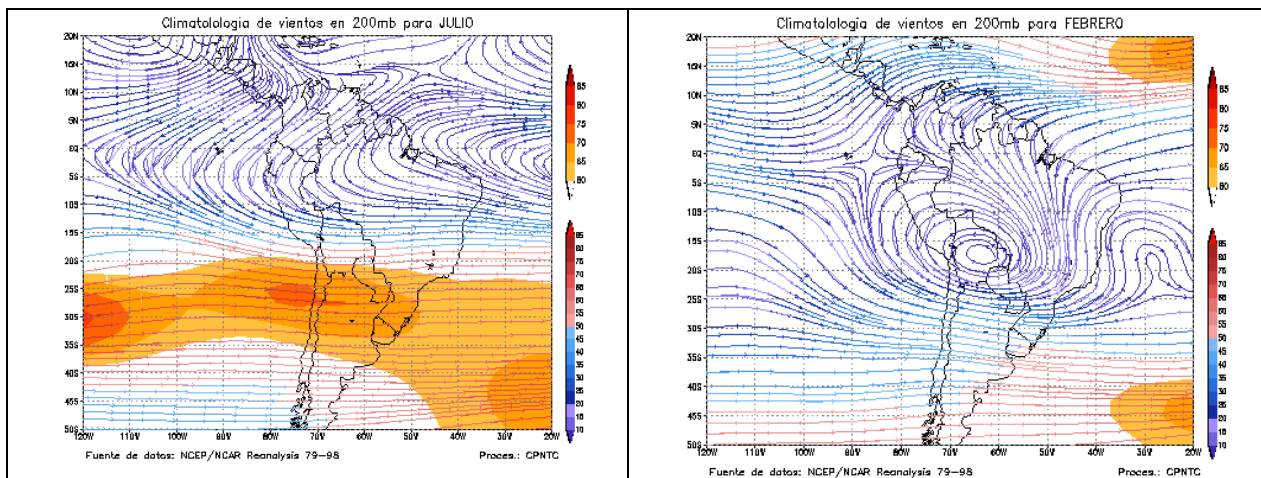


Figura 7: Climatología de vientos a 200mb (aprox. 12 000msnm):
a) para julio, b) para febrero

En los niveles altos (200mb), aproximadamente a los 12 000 m de altura, en el invierno, los flujos predominante al sur de los 5°S son del oeste (Figura 7a). A partir del mes de octubre se forma, en la región central del continente, un centro anticiclónico (10°S-62°W) que en los meses siguientes se desplaza hacia el sur oeste hasta posicionarse, durante el verano, sobre Bolivia (18°S-65°W) (Figura 7b) para luego dispersarse en mayo.

LA VARIABILIDAD INTERANUAL

Con la información de la climatología o ciclo anual, el siguiente paso consistió en calcular las anomalías o desviaciones con respecto a su climatología de las series de tiempo de precipitación mensual observadas en cada uno de las estaciones. Los resultados de estos cálculos muestran una gran variabilidad de mes a mes. Con el propósito de visualizar mejor los años húmedos y secos se procedió a suavizar las anomalías mensuales mediante el procedimiento de promedios corridos de seis meses. Este procedimiento se aplicó a todas las estaciones que se incluyen en el estudio. El resultado para las seis estaciones representativas se muestra en la Figura 8. Estos gráficos muestran con claridad la variabilidad interanual, los años húmedos pueden identificarse cuando las anomalías de precipitación exceden positivamente su desviación estándar, y los años secos se identifican cuando las anomalías de precipitación exceden negativamente su desviación estándar.

El propósito del presente estudio no es explicar las causas la de la variabilidad interanual

de las precipitaciones, sino la relación de estas con El Niño. Sin embargo, conviene comentar sobre las características de la circulación atmosférica regional durante los períodos muy lluviosos y muy secos.

La circulación atmosférica durante la estación de lluvias (enero-marzo) para los años considerados como muy secos, presenta anomalías de vientos del sur- este en la selva central y norte del Perú, en los niveles bajos de la atmósfera. Se observa también una circulación anticiclónica al sur este de Brasil. En los niveles altos, predominan las anomalías de los vientos del oeste.

Durante los años lluviosos, en los niveles bajos de la atmósfera, se observa una ligera intensificación de los vientos del este en la Amazonía central favoreciendo el ingreso de humedad para la región centro y norte del Perú. Se observa también una significativa intensificación de la circulación anticiclónica al sureste de Brasil. Esta circulación aparentemente favorece las precipitaciones en la sierra central y sur del Perú. Mientras que en los niveles altos se intensifican los vientos del este, que esta relacionado con la intensificación de la Alta de Bolivia. Esta condición es más favorable para la intensificación de las lluvias en la sierra sur.

Durante los eventos El Niño y La Niña, según la clasificación de la NOAA, la circulación atmosférica a escala sinóptica también se altera. Durante los eventos cálidos, en la atmósfera baja, los vientos del este se muestra ligeramente más débil, mientras que en los niveles altos se observa una anomalía del oeste en los vientos sobre el centro y norte

del Perú, condición desfavorable para las precipitaciones en la sierra central y sur. Por otro lado, durante los eventos fríos, los vientos alisios se ven ligeramente más intensa, y la zona anticiclónica que se observa al sureste de Brasil se muestra más intensa, mientras que en la alta atmósfera, los vientos del este se intensifican, principalmente sobre el sur de Perú y Bolivia favoreciendo la formación de la Alta de Bolivia.

ANÁLISIS

Los índices climáticos de precipitación que se construyeron utilizando el procedimiento que se describe en la Sección 3 son los que se utiliza en el análisis de correlación. Estos índices de precipitación son cantidades que no tienen dimensión, al igual que los índices climáticos de

la TSM en las diferentes regiones El Niño. Examinando cuidadosamente los índices de precipitación se puede identificar los años con fuertes precipitaciones y los años con sequías. Igualmente, los índices El Niño permiten identificar los años cálidos y fríos. El propósito del estudio es examinar si los índices de precipitación construidos para la región andina están o no relacionados con los índices El Niño en el Pacífico ecuatorial.

En el análisis de correlación se utilizan 4 índices El Niño correspondientes a las regiones geográficas Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4, y un índice de precipitación para cada estación. Cada índice de precipitación se correlaciona con los 4 índices El Niño para los meses de octubre a marzo.

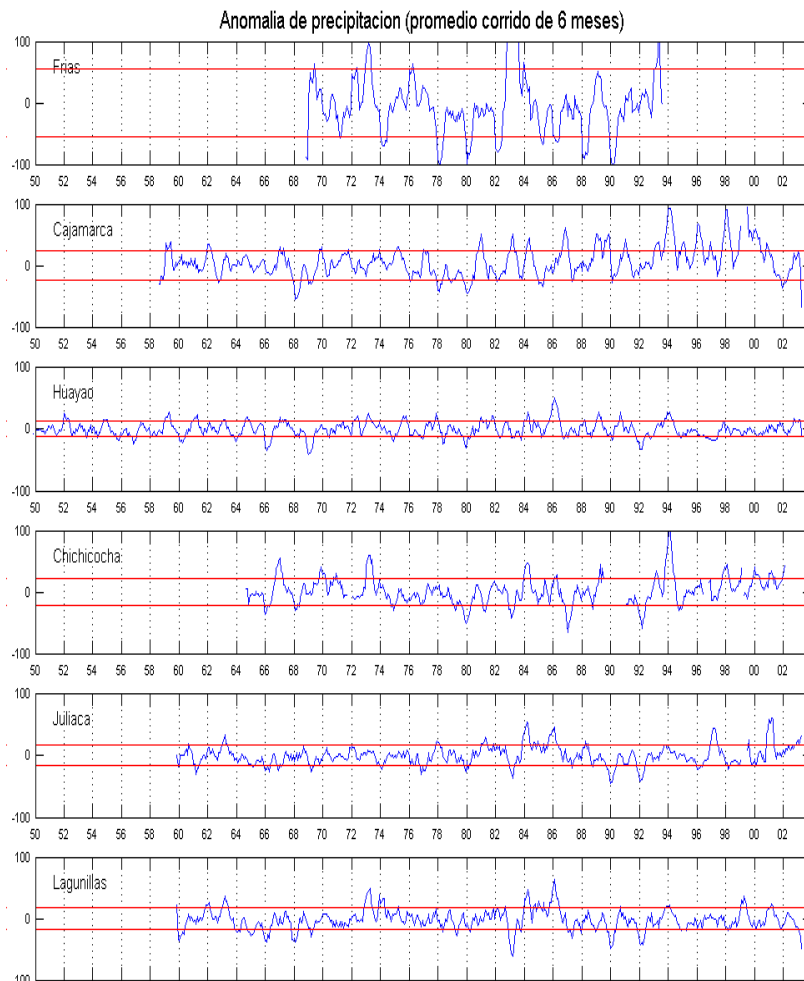


Fig. 8: Variabilidad interanual de las precipitaciones (promedios corridos de 6 meses)

El resultado del análisis de correlación es una matriz de veinticuatro por el número de estaciones. En el análisis se ha agregado a las 27 estaciones de la región andina, 10 estaciones de la costa y 7 estaciones de la selva. Las 24 columnas corresponden a los 6 meses de octubre a marzo para cada uno de las 4 regiones El Niño. Esta matriz se muestra en la Tabla 4. Los elementos de esta matriz son los coeficientes de correlación. Los valores de correlación igual a 0.8 y 0.9 están de color fucsia, los valores igual a 0.7 están de color rojo, los valores igual a 0.6 están de color naranja y los valores igual a 0.5 están de color amarillo. Los coeficientes de correlación con valores negativos de -0.3 a -0.7 están resaltados con 3 colores que se muestra en la leyenda.

De esta tabla se deduce que en la región andina existe tres subregiones con características climáticas diferentes, las subregiones norte, centro y sur.

Los coeficientes de correlación entre los índices de precipitación y los índices de la TSM para la región Niño 1+2, considerando todo los años, es moderadamente positivo (la precipitación tiende a ser moderadamente mayor que el promedio) en el extremo norte de la subregión norte de los Andes, durante los meses de noviembre a marzo; es neutro en la subregión central de los Andes y es ligeramente negativo (la precipitación tiende a ser ligeramente menor que el promedio) en la región sur, particularmente en febrero. La correlación entre los índices de precipitación y el índice de la TSM para la región Niño 3.4 es débilmente positivo en la subregión norte, neutro en la subregión central y moderadamente negativo en la subregión sur, particularmente en febrero. Los coeficientes de correlación entre los índices de precipitación y los índices de la TSM para la región Niño 4 es muy pequeño en la subregión norte y moderadamente negativo en la subregión centro y sur, particularmente en febrero.

El análisis de correlación también se aplicó para los años con eventos El Niño, según la Tabla 2. El resultado que se presenta en la Tabla 5, muestra que la correlación entre los índices de precipitación y el índice de la TSM para la región Niño 3.4 es fuertemente positivo en el extremo norte de la subregión norte de los Andes, neutro en la subregión central y moderadamente negativo en la subregión sur, particularmente en marzo. Para los años con eventos fríos, según la Tabla 2,

los resultados indican que la correlación entre los índices de precipitación y el índice de la TSM para la región Niño 3.4 no es nada coherente ni en el espacio ni en el tiempo, excepto en la región norte que es moderadamente negativo, particularmente en enero.

El análisis de correlación se extendió a la región de la costa y la región de la selva peruana. Los resultados indican que las pocas lluvias que se registran en la costa norte están relacionadas fuertemente con el calentamiento del mar, principalmente en los meses de enero a marzo. Durante los eventos El Niño, según la definición de la NOAA y principalmente del SCOR, la relación se intensifica, confirmando los resultados de estudios previos (Woodman, 1999). Durante los eventos fríos según la definición de la NOAA, no existe una relación coherente, como era de esperar, por cuanto aun en los años normales la ocurrencia de lluvias es prácticamente nula. El análisis de correlación aplicado a las estaciones de la selva peruana indica que no existe una relación entre las variaciones de las lluvias estacionales y el calentamiento anómalo del mar en el Pacífico ecuatorial, excepto en las estaciones de Yurimaguas y Tarapoto en el mes de noviembre durante los eventos fríos y en las estaciones de Puerto Maldonado en los meses de enero a febrero, también durante los eventos fríos.

PRINCIPALES RESULTADOS

Los principales resultados del estudio indican que las variaciones en la estacionalidad de las precipitaciones en la región de los Andes Peruanos no están relacionadas con las anomalías del mar en el Pacífico ecuatorial durante los años con anomalías del mar con intensidad hasta moderada, excepto en el extremo norte de la sierra norte cuando el calentamiento del mar se manifiesta frente a la costa norte, y en la sierra central y sur cuando el calentamiento se manifiesta en la región del Pacífico ecuatorial central y occidental. Durante los años con eventos El Niño el escenario descrito en líneas arriba se intensifica y la relación con la sierra sur se desplaza en el tiempo de febrero a marzo. Durante los años con eventos fríos, la relación no es coherente ni en espacio ni en el tiempo.

ESTACION	DURANTE EL NIÑO (NCEP, REGION 3.4)							DURANTE LA NIÑA (NCEP, REGION 3.4)						
	O	N	D	J	F	M	A	O	N	D	J	F	M	A
Tumbes	0.32	0.58	0.60	0.86	0.75	0.94	0.68	0.18	0.12	0.48	-0.22	-0.39	0.33	0.12
Talara	0.00	0.53	0.50	0.69	0.76	0.66	0.47	-0.11	-0.09	-0.07	0.24	-0.16	0.13	0.11
Piura	-0.12	-0.02	0.58	0.73	0.67	0.78	0.46	-0.27	-0.26	0.18	-0.32	-0.07	0.47	-0.10
Chiclayo	-0.07	0.28	0.54	0.80	0.46	0.24	0.51	-0.16	-0.39	0.18	-0.20	0.24	0.64	-0.13
Talla	0.42	0.22	0.62	0.46	0.51	0.66	0.52	0.08	-0.05	0.41	-0.56	-0.03	-0.15	-0.12
Trujillo	0.17	0.65	0.58	0.11	0.36	0.34	0.45	0.00	0.00	-0.07	0.38	0.02	0.15	0.10
Chimbote	0.09	0.43	0.38	0.68	0.37	0.20	0.35	0.24	0.01	0.32	0.39	0.15	0.52	-0.07
Lima	-0.42	-0.09	0.32	0.02	-0.26	0.06	0.03	-0.23	0.08	-0.15	-0.12	0.23	0.26	0.48
Pisco	0.28	0.00	0.11	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.05	-0.42	-0.04
Tacna	-0.10	-0.08	0.47	0.75	0.55	-0.15	0.07	-0.29	0.07	0.02	-0.43	-0.05	-0.10	-0.05
Ardilla	0.58	0.50	0.82	0.82	0.72	0.91	0.82	0.21	-0.70	0.36	-0.55	0.05	0.16	0.19
Frias	0.45	0.32	0.67	0.82	0.17	0.29	0.47	0.38	-0.10	-0.14	-0.61	0.05	-0.23	0.19
Aranza	0.44	0.57	0.41	0.51	0.33	0.49	-0.22	0.28	0.05	0.55	-0.57	0.39	-0.10	0.52
Canchaque	0.27	0.51	0.61	0.85	0.30	0.87	0.31	0.12	0.26	0.10	-0.46	0.06	0.05	0.54
Chachapoya	-0.19	0.10	0.54	0.51	-0.26	0.11	0.07	0.37	0.11	0.57	-0.52	0.24	-0.13	-0.32
Cajamarca	-0.21	0.19	0.44	0.55	0.14	0.13	0.36	-0.39	-0.62	0.52	-0.03	-0.21	0.06	-0.46
Huaraz	0.11	0.15	0.22	0.20	-0.14	0.10	0.45	-0.35	-0.60	-0.05	-0.16	0.09	0.46	-0.03
Huanuco	-0.24	-0.12	-0.38	0.51	0.48	0.25	-0.27	0.00	0.11	-0.16	-0.12	0.26	-0.31	-0.13
Upamayo	-0.18	-0.02	0.13	-0.08	-0.12	-0.01	0.06	0.11	0.28	-0.05	-0.16	-0.41	0.34	-0.35
Pachacayo	-0.02	-0.14	-0.08	-0.03	-0.08	-0.32	-0.33	-0.33	0.13	-0.37	-0.02	-0.56	0.47	0.46
Yauricocha	-0.15	-0.10	0.36	-0.13	-0.05	-0.10	-0.29	-0.14	-0.23	-0.40	0.02	-0.31	-0.06	0.01
Huayao	-0.09	-0.22	0.12	0.05	-0.08	-0.43	-0.22	-0.10	0.30	-0.39	0.18	-0.10	0.26	-0.54
Pampas	0.43	0.15	-0.39	-0.12	0.20	-0.25	-0.06	-0.37	0.16	-0.56	-0.12	0.00	-0.44	0.11
Chichicoch	0.12	0.00	-0.06	0.14	-0.26	-0.32	0.03	-0.19	0.18	-0.15	-0.25	-0.07	0.10	-0.24
Huancaveli	0.25	0.64	0.38	0.02	-0.05	-0.18	0.07	0.22	0.39	-0.46	-0.56	-0.26	-0.16	-0.23
Ayacucho	-0.09	0.15	-0.07	-0.31	-0.30	-0.34	-0.14	0.24	0.12	-0.47	-0.52	0.00	-0.38	0.57
Cusco	-0.30	0.11	0.06	-0.08	0.19	-0.63	-0.44	0.41	-0.29	-0.12	0.21	0.33	0.11	0.29
Crucero	-0.02	-0.30	-0.08	-0.31	0.28	-0.20	-0.03	-0.04	0.18	-0.09	0.32	0.15	0.25	0.29
Chuquibamb	-0.32	-0.12	0.18	-0.66	-0.23	-0.56	-0.21	0.04	0.30	-0.32	0.47	0.12	0.55	-0.56
Huaraya Mo	-0.26	0.11	-0.15	-0.50	-0.30	-0.64	-0.20	0.28	0.29	0.08	0.44	0.34	0.10	-0.43
Juliaca	-0.23	0.32	-0.13	-0.42	0.21	-0.73	-0.52	0.16	0.33	0.05	0.19	0.36	0.13	0.23
Lagunillas	-0.04	-0.17	-0.11	-0.28	-0.06	-0.67	-0.23	-0.03	0.16	-0.24	-0.02	-0.02	0.23	-0.58
Laraqueri	-0.38	-0.03	-0.29	-0.31	-0.12	-0.82	0.06	-0.09	0.19	-0.08	-0.35	-0.24	0.07	-0.36
Juli	0.02	0.00	0.03	-0.39	-0.13	-0.68	-0.49	-0.11	0.24	-0.23	-0.43	-0.49	-0.12	-0.47
Arequipa	0.25	-0.33	-0.08	-0.04	-0.09	-0.19	-0.24	0.24	0.01	0.42	-0.28	0.11	-0.01	-0.14
Desaguader	0.29	-0.09	0.02	-0.11	0.34	-0.85	-0.06	0.05	0.56	0.00	0.25	0.17	0.42	-0.44
Mazo Cruz	-0.20	0.04	-0.08	-0.18	-0.06	-0.62	0.21	0.24	0.18	0.06	-0.42	0.02	-0.13	-0.45
Iquitos	0.31	0.44	0.49	0.03	0.31	-0.08	0.14	0.08	-0.43	0.10	-0.24	0.12	-0.06	0.21
Yurimaguas	-0.16	-0.11	-0.29	0.15	-0.25	-0.27	0.04	-0.02	-0.62	0.20	-0.41	0.25	-0.07	0.13
Tarapoto	-0.27	-0.26	-0.18	-0.04	0.03	-0.24	0.25	0.17	-0.53	0.44	-0.23	0.04	-0.17	-0.27
Juanjui	-0.17	-0.41	-0.20	0.11	0.02	-0.21	-0.24	0.07	0.39	0.19	0.14	-0.35	0.02	-0.43
Pucallpa	-0.21	-0.26	0.01	-0.30	-0.49	-0.31	0.01	0.19	-0.06	-0.27	0.23	-0.14	-0.14	0.07
Tingo Mari	-0.63	0.13	0.07	0.21	0.38	-0.22	0.22	0.42	0.18	-0.22	-0.15	-0.40	-0.20	-0.07
Pto Maldon	0.02	0.07	-0.08	0.14	0.03	0.39	-0.09	0.35	-0.10	-0.08	0.60	0.57	0.39	0.39

LEYENDA:	
0.5 a 0.6	
0.6 a 0.7	
0.7 a 0.8	
0.8 a 0.9	
-0.3 a -0.5	
-0.5 a -0.6	
-0.6 a -0.7	
de 0.7 a -0.8	

Tabla 5. Correlación entre Precipitación y TSM en la región El Niño 3.4 durante eventos cálidos y fríos

CONCLUSIÓN

El análisis de la variabilidad estacional e interanual de las precipitaciones en la región de los Andes Peruanos que aquí se presenta tiene como objetivo documentar la naturaleza de la variabilidad de las lluvias e investigar las posibles causas de esta variabilidad. Este esfuerzo se inicia primero tratando de establecer si existe alguna relación entre la variabilidad de las precipitaciones con la variabilidad de la TSM en cuatro regiones conocidas como Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4 (Figura 1), en el Pacífico ecuatorial. Para estas regiones se han construido índices climáticos globales de la TSM que se utilizan para hacer el seguimiento de la evolución de los eventos El Niño.

En el análisis se utilizó las técnicas de correlación lineal para establecer la posible relación, primero, la relación entre la variabilidad de las Precipitación en los Andes con la variabilidad de la TSM en el Pacífico ecuatorial utilizando los datos de todos los años disponibles, y segundo solo con los años en que se registraron los eventos El Niño y los eventos fríos.

Los resultados que se documenta en este estudio revelan lo siguiente:

1. La definición de El Niño propuesto por la NOAA en función de las anomalías de la TSM en la región Niño 3.4 trae

- confusiones para los tomadores de decisiones en los países de la costa occidental de Sudamérica, particularmente Ecuador y Perú. La definición que se debe seguir adoptando es lo que propuso SCOR en función de las anomalías de la TSM en la región ecuatorial cerca de la costa de Sudamérica.
2. Existen tres subregiones en la región andina con características climáticas ligeramente distintas, las subregiones norte, centro y sur
 3. El comportamiento de las lluvias varían de subregión en subregión, la máxima precipitación del ciclo anual ocurre en enero en la subregión sur, en febrero en la subregión centro y en marzo en la subregión norte.
 4. Existe una gran variabilidad estacional e interanual de las precipitaciones en toda la región andina.
 5. Las variaciones de las precipitaciones en la región de los Andes Peruanos no están relacionadas con las variaciones de la TSM en el Pacífico ecuatorial, excepto en el extremo norte y extremo sur de la sierra durante años con moderadas y fuertes anomalías de la TSM.
 6. La diferencia en el comportamiento de las lluvias en las diferentes subregiones probablemente se debe a que cada subregión esté relacionado con procesos climáticos sinópticos o globales diferentes.
 7. La moderada respuesta de la variabilidad de precipitación en las subregiones extremas del norte y del sur a las anomalías de la TSM en el Pacífico ecuatorial durante los eventos cálidos y fríos no es simétrica. La correlación entre los dos índices de precipitación y TSM durante los eventos fríos no es clara ni coherente.
 8. Existe un desplazamiento temporal de un mes entre la respuesta climática de la subregión sur al calentamiento o enfriamiento moderado en el Pacífico ecuatorial, que se observa en febrero, y la respuesta a los eventos cálidos y fríos que se observa en marzo.
 9. La moderada relación existente entre la variabilidad de las precipitaciones en la subregión sur, particularmente en el Altiplano Peruano, con el calentamiento o enfriamiento del mar en las regiones Niño 3.4 y Niño 4, probablemente se deba a un mecanismo de teleconexión.
 10. La relación existente entre las precipitaciones en la costa norte del Perú con el calentamiento del mar frente a la costa durante los eventos El Niño y las relaciones que se han identificado en el presente estudio podría ser útil en el pronóstico estadístico estacional de las lluvias en la costa norte y en las zonas extremas de las subregiones norte y sur de los Andes.

REFERENCIAS

Aceituno, P., 1988: On the functioning of the Southern Oscillation in the South America sector. Part I: Surface climate. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 505-524.

Aceituno, P., 1989: On the functioning of the Southern Oscillation in the South America sector. Part II: Upper-air circulation. *J. Climate* 2, 341-355.

Aceituno, P., 1992; El Niño, the Southern Oscillation and ENSO: confusing names for a complex ocean-atmosphere interaction; *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 73, 483-485.

Carrillo, Camilo, 1892, Sociedad Geográfica de Lima

Díaz, A.E, C.D. Studzinski, and C.R. Mechoso, 1998: Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. *J. Climate*, 11, 251-271.

Grimm, A.M., V.R. Barros and Doyle M.E., 2000: Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate*, 13, 35-58.

Correlación entre Precipitación y TSM en el Niño 1+2

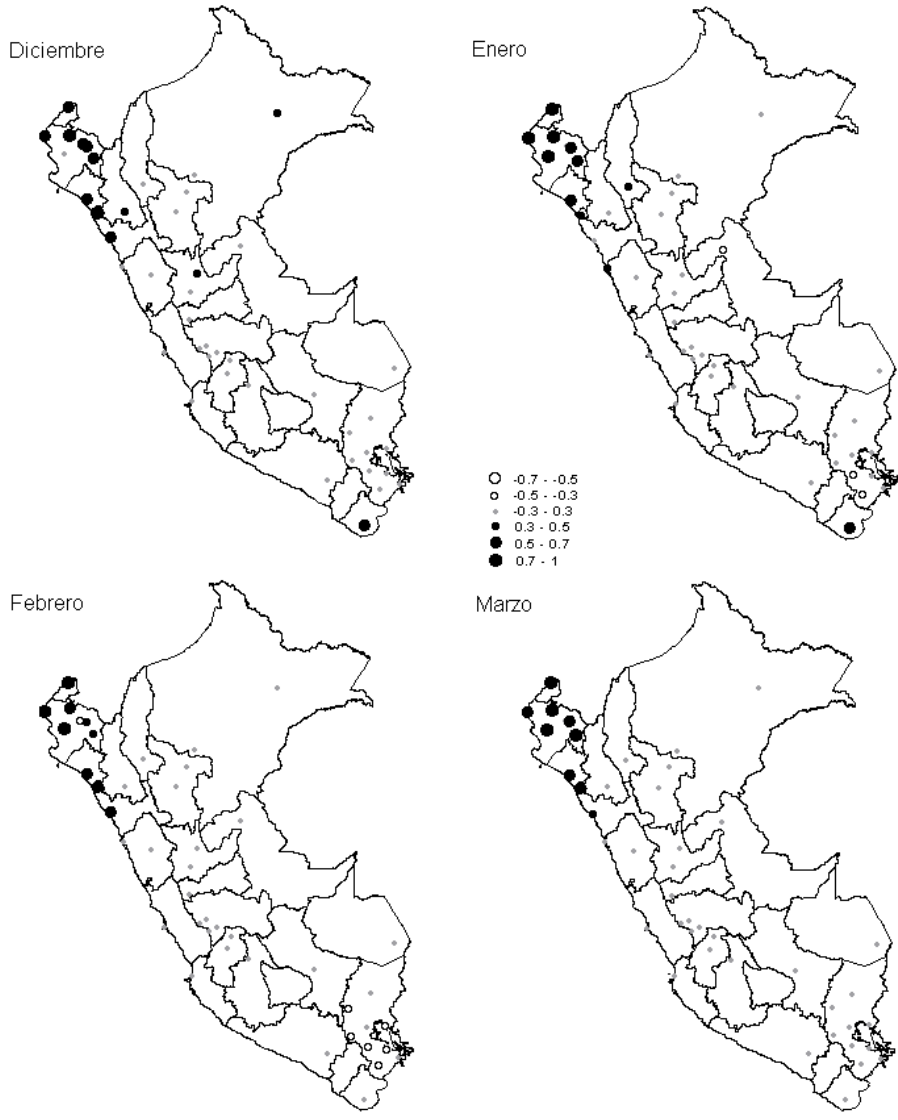


Figura 9. Correlación entre Precipitación y TSM en El Niño 1+2

Correlación entre Precipitación y TSM en El Niño 3

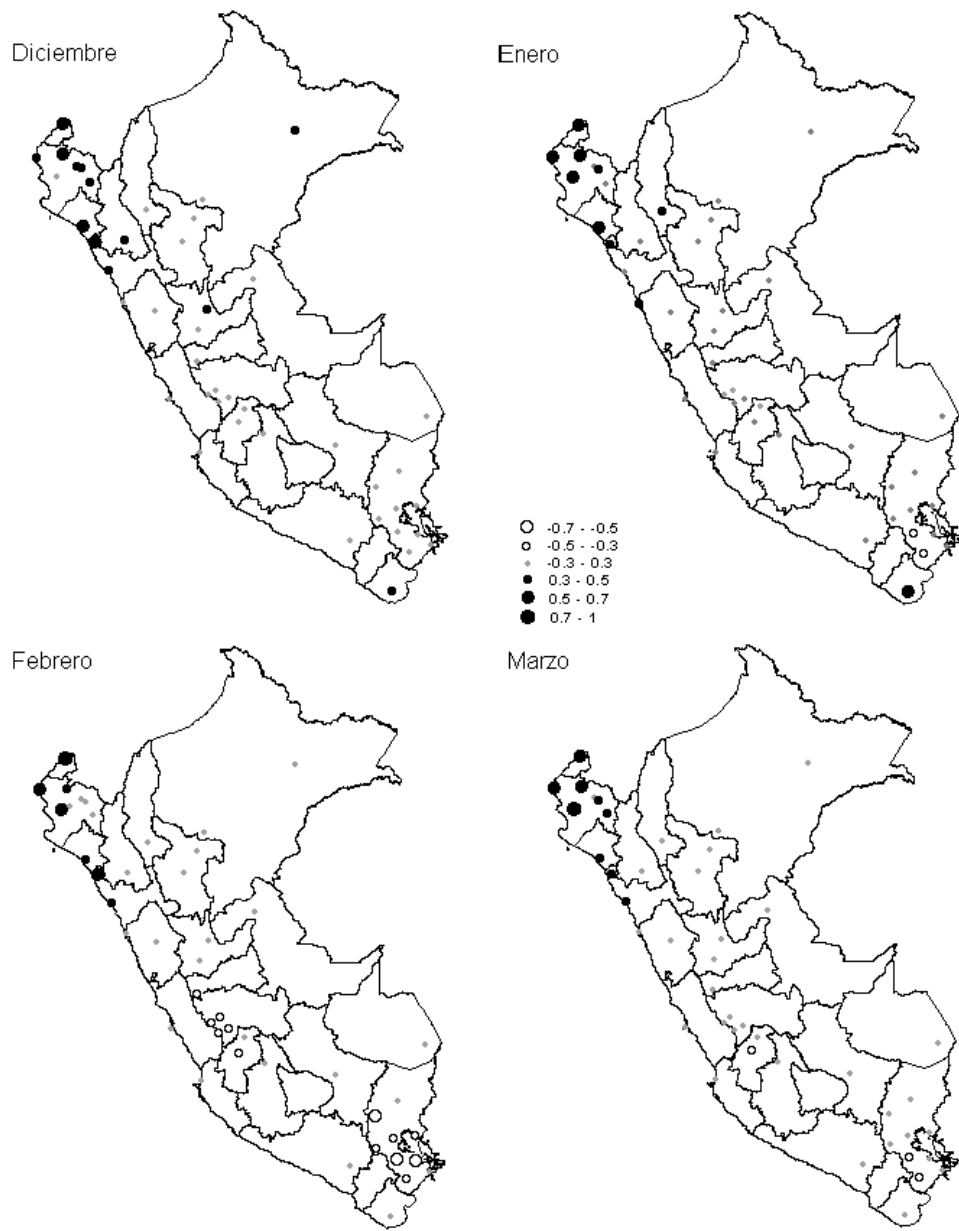


Figura 10. Correlación entre Precipitación y TSM en El Niño 3

Correlación entre Precipitación y TSM en El Niño 3.4

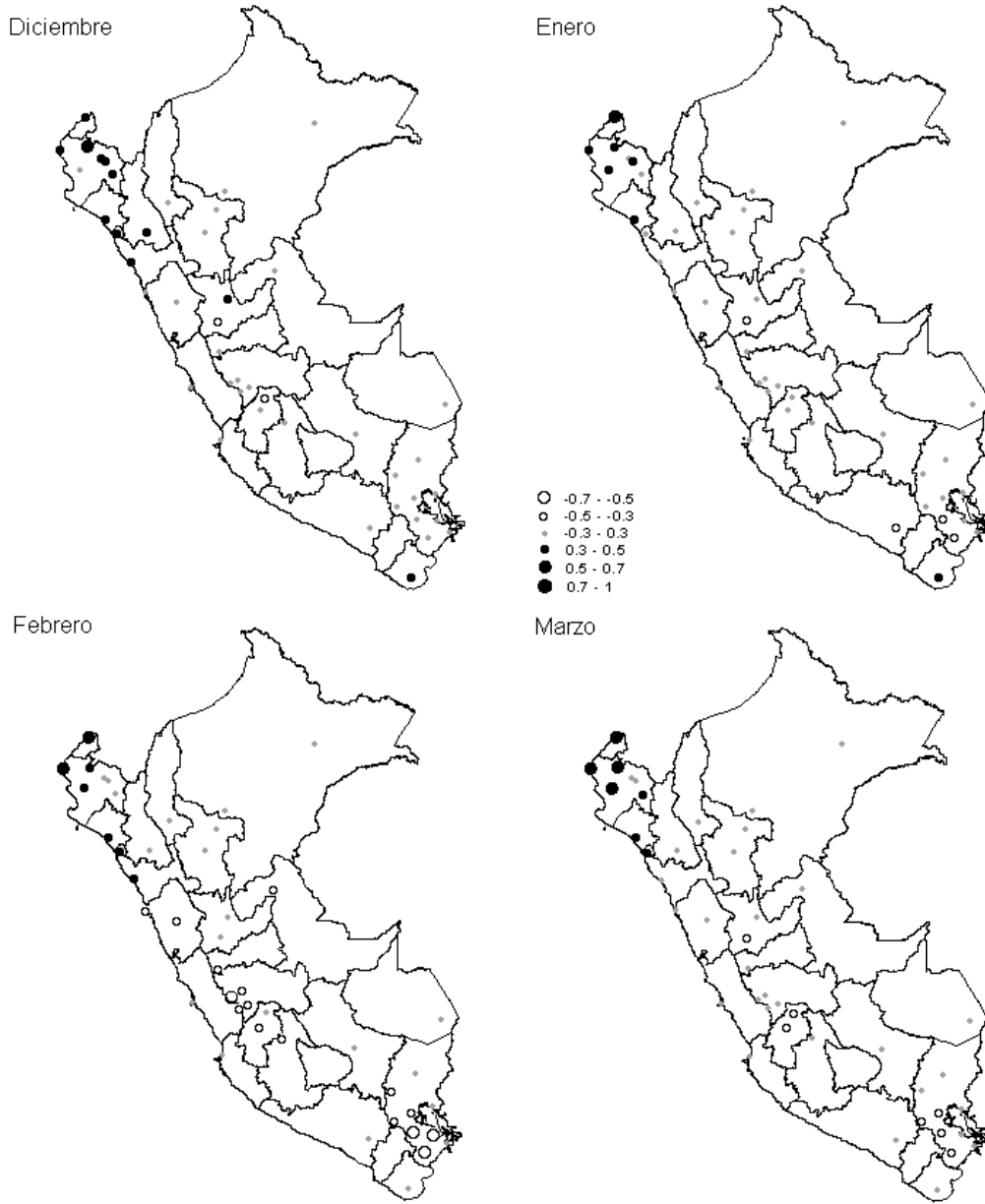


Figura 11. Correlación entre Precipitación y TSM en El Niño 3.4

Correlación entre Precipitación y TSM en El Niño 4

Diciembre



Enero



Febrero



Marzo

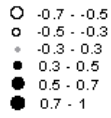


Figura 12. Correlación entre Precipitación y TSM en El Niño 4

- Figuroa S.N., C.A. Nobre, 1990:** Precipitation distribution over central and western tropical south América. *Climanálise*, Vol. 5, Nº 6, 36-45.
- Grimm, A.M., I.F.A.Cavalcanti, C.A.C. Castro, 2002:** Importância relativa das anomalias de temperatura da superfície do mar na produção das anomalias de circulação e precipitação no Brasil num evento El Niño. *Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, (en CD), Foz de Iguaçu-PR, Sociedade Brasileira de Meteorologia.
- Kalnay, E., y Coauthors, 1996:** The NCEP-NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.
- Liebmann B., J.A. Marengo, 2001:** Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. *J. Climate*, 14, 4308-4318.
- Marengo, J.A., B. Liebmann, V.E. Kousky, N.P. Filizola, I.C. Wainer, 2001:** Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. *J. Climate*, 14, 833-852.
- Montecinos, A., A. Diaz, and P. Aceituno, 2000:** Seasonal diagnostic and predictability of rainfall in Uruguay. *J. Climate*, 13, 746-758.
- NOAA, 2002,** El Niño Definition adopted by the NWS Climate Services Division on El Niño Definition Workshop held on December 2, 2002, Silver Spring, Maryland.
- Pisciottano, G., A. Diaz, G. Gazes and C.R. Mechoso, 1994:** EN- Southern Oscillation impact on rainfall in Uruguay. *J. Climate*, 7, 1286-1302.
- Reynolds, R. W. and T. M. Smith, 1994:** Improved global sea surface temperature analyses. *J. Climate*, 7, 929-948.
- Ropelewski, C.F., M.S. Halpert, 1987:** Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115,1606-1626.
- Ropelewski, C.F., M.S. Halpert, 1989:** Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. *J. Climate*, 2, 268-284.
- Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) Working Group 55, 1983: "Prediction of El Niño" in SCOR Proceedings, Vol 19, p. 47-51.
- Silva Dias, P.L., Shubert, L.W., DeMaria M., 1983:** Large scale response of tropical atmosphere to transient convection. *J. Atmos. Sci.*, 40, 2689-2707.
- Trenberth, K.E, 1997:** The Definition of El Niño. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 78, 2771-2777.
- Villacís, M.E., Galárraga S. R. y Francou B., 2001:** Influencia de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) sobre la precipitación en los Andes centrales del Ecuador. III Encuentro de las Aguas, Bolivia.
- [http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/III EncAguas/contenido/trabajos_rojo/TC-054.htm](http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/III%20EncAguas/contenido/trabajos_rojo/TC-054.htm)
- Virji H., 1981:** A preliminary study of summertime Tropospheric circulation patterns over south America estimated from cloud wind. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 599-610.
- Vuille, M.; Bradley, R. y Keimig, F.; 1999:** Climate Variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic sea surface temperature anomalies; *Journal of Climate* - in press. Aceptado 20 de Octubre de 1999.
- Web, Portal:
- http://www.nws.noaa.gov/om/csd/workshop/El_nino.shtml
- http://www.cpc.noaa.gov:80/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.html
- Woodman, R. , 1999:** Modelo Estadístico para el pronóstico de las precipitaciones en la costa norte. Presentados en el I encuentro de Universidades del Sur (RUPSUR), Piura. Disponible en: <http://www.igp.gob.pe/rupsur.pdf>