

EL ABC DE LOS ÍNDICES USADOS EN LA IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN CUANTITATIVA DE EL NIÑO - OSCILACIÓN DEL SUR (ENSO)*

The ABC of Indexes used in the Identification and Quantitative Definition of El Niño-South Oscillation (ENSO)

José Manuel Guevara Díaz

RESUMEN:

El interés sobre el fenómeno El Niño Oscilación del Sur, ENSO, se aprecia por la enorme cantidad de artículos publicados sobre lo que es considerado como la más importante variabilidad climática interanual en los actuales momentos, así como por los efectos de este fenómeno en las condiciones meteorológicas, las actividades económicas y sobre las poblaciones. Para identificar y definir el ENSO se han diseñados numerosos índices, unos con base en las características atmosféricas o del mar, o bien, por combinaciones de ambas. El objetivo de este trabajo es discutir los principales índices empleados por las instituciones oficiales, privadas o por investigadores individuales, enfatizando sobre su formulación matemática y correcta aplicación en la identificación y conceptualización del ENSO en su fase caliente (El Niño) y su fase fría (La Niña) considerando que el cálculo de la mayoría de tales índices no son claramente explicados, son empleados sin mencionar su correcta interpretación, o poseen

* Recibido: 07-12-2007.

Aceptado: 04-03-2008.

igual denominación, pero difieren en modificaciones mediante suavizado o por normalización y estos últimos, por procedimientos diferentes. El cuadro resumen (anexo B) que hemos diseñado, permitirá al lector una rápida visión de los diferentes índices empleados y los criterios para identificar cuantitativamente las fases caliente y fría del ENSO. Entre tales criterios, sólo uno emplea conjuntamente la anomalía de la temperatura de la superficie del mar y el índice de la Oscilación del Sur.

PALABRAS CLAVE: Índice, registros, El Niño, La Niña, El Niño Oscilación del Sur-ENSO, IOS, temperatura.

ABSTRACT:

The interest on the phenomenon of El Niño-South Oscillation (ENSO) is manifested in the quantity of articles published on the theme. It is considered as the most important climatic variation internationally at the present moment, also important for its effects on meteorological conditions, economic activities and populations. In order to identify and define ENSO, several indexes have been designed, some based on atmospheric or oceanic conditions or else as a combination of both. The objective of the present work is precisely to discuss the main indexes employed by official and private institutions or by individual researchers. It is also to emphasize its mathematical formulation and its correct application in the identification and conceptualization of ENSO in its warm stage (La Niña), considering that calculations in the majority of these indexes are not fully clearly explained. These indexes are employed without mentioning their correct interpretation or when they have equal denominations, but they differ when modified in softening values or by normalization by different procedures. The summary graphics (see B) we have designed will allow the reader a quick review of the different indexes employed and of the criteria employed to quantitatively identify the warm and cold stages of ENSO. Among such criteria, only one of them employs both the abnormal temperature of the surface of the sea and the South Oscillation Index.

KEY WORDS: Index, records, El Niño, La Niña, oscillation, south, SOI, temperature.

INTRODUCCIÓN

El interés sobre el fenómeno El Niño Oscilación del Sur, abreviado por su acrónimo ENSO, que ocurre de manera cíclica, pero no periódica en el océano pacífico ecuatorial oriental y central, se aprecia por la enorme cantidad de publicaciones sobre lo que es aceptado en climatología, como la más importante variabilidad climática en los actuales momentos, así como por los efectos de este evento tropical en las condiciones meteorológicas cercanas y muy alejadas de su lugar de origen, especialmente sobre la temperatura, la precipitación, la circulación del viento, corrientes marinas y sobre las actividades humanas íntimamente relacionadas con el tiempo meteorológico que son afectadas por el ENSO.

El Niño es un calentamiento en las aguas superficiales de la porción oriental y central del océano Pacífico ecuatorial, ocurre entre 2 a 7 años, con duración de unos 9 a 18 meses, mientras que la Niña el fenómeno contrario, un enfriamiento, con similares períodos y duración. Al comprobarse que tal calentamiento y enfriamiento del pacífico, estaba íntimamente conectado con el "sube y baja" de la presión atmosférica en estaciones distantes de Taití y Darwin, se dio un gran paso en la comprensión de lo que es el mejor ejemplo de una interacción entre la atmósfera y el océano, en el Pacífico, surgiendo de inmediato el término más apropiado de esa interacción "El Niño-Oscilación del Sur" o simplemente el ENSO, siendo, desde entonces, aceptado que El Niño es la fase caliente, y la Niña, la fase fría de un mismo y complejo proceso de interacción atmósfera-océano.

El objetivo de este trabajo es discutir dichos índices enfatizando sobre su formulación matemática y correcta aplicación en la identificación y conceptualización cuantitativa del ENSO en

su fase cálida y en su fase templada considerando que el cálculo de tales índices no es claramente explicado, o bien, muchas veces son empleados sin mencionar su correcta interpretación. ¿Se entiende sin lugar a dudas que se diga, por ejemplo: "El ONI es la media móvil de 3 meses de la anomalía de la superficie del mar en la región Niño 3.4?" Quedan interrogantes sobre: ¿Qué es eso de región Niño 3.4?; ¿la anomalía obtenida de la superficie del mar, es en relación con la media de la serie utilizada o es en relación con algún período de referencia?, y de serlo, ¿Cuál es ese período? Tampoco queda claro, y es en español, cuando una publicación oficial de El Centro de Predicción Climática, (CPC, de la NOAA, agosto, 2007) dice que "La Niña es determinada por el **promedio de TSM** de los **tres meses anteriores** de **unos -0,5°C**, para la región Niño 3.4". Además de ser imprecisa, es incorrecta, no es la TSM, (abreviación de la temperatura de la superficie del mar) sino la ATSM, (anomalía de la temperatura de la superficie del mar), tampoco la Niña es identificada por la media de tres meses, tal media es apenas el valor de un índice a ser utilizado en una secuencia del índice. En cuanto a "unos -05 °C" la imprecisión no requiere comentarios. Con el índice de la Oscilación del Sur, ocurre igual problema, uno de los cuales lo encontramos en el excelente trabajo de Rasmusson y Carpenter (1982) se refieren al índice $[T-D]_N$, sin previamente definirlo, ni identificar sus componentes. Lo único sobre el concepto es cuando, en forma muy general, dicen: "El índice convencional de la Oscilación del Sur (SOI) es usualmente calculado como la diferencia entre estaciones de presión que representan centros opuestos del sube y baja de presión de Indonesia-Pacífico del Sur" (p. 356). O bien, en el trabajo de Aceituno (1989) sobre la relación de la Oscilación del Sur y los vientos en altura sobre América del Sur, pero al referirse al índice

de la Oscilación del Sur dice que "es la diferencia de la presión atmosférica en Taití y Darwin como la tabula Parker en 1983".

Estos ejemplos y mucho más que podrían citarse, justifican por sí mismo la importancia de este trabajo, especialmente, para aquellos que se inician en el estudio del ENSO como causa de variabilidad de la zona tropical y teleconexión climatológica.

En anexo B se presenta un cuadro-resumen diseñado para obtener una rápida visión de los diferentes índices empleados y sus características, para identificar cuantitativamente las fases calientes y frías del ENSO.

También fundamentales, son los anexos (A₁ a A₄) donde se clarifican las diferentes maneras de calcular el índice de la Oscilación del Sur, y su comparación con los índices publicados por los organismos internacionales, o científicos renombrados como Kevin Trenberth, en las regiones Niño, (figura 1) especificando el uso del período de referencia cuando de anomalías se trata y su diferencia con la anomalía que se enseña en estadística general. En cuanto a los términos y acrónimos, se emplearán indistintamente en español e inglés, con preferencia en uno u otro, sin establecer reglas, por ejemplo: ENSO o ENOS; IOS o SOI; ONI o ION, etc.

LAS REGIONES NIÑO

Es imprescindible presentar previamente, lo que se denominan "Las regiones Niño" directamente conectadas con los índices térmicos oceánicos. Se trata de cuatro zonas en el océano Pacífico oriental y central a lo largo de la línea ecuatorial, entre la costa oeste de América del Sur y el meridiano de 180° o línea del cambio de la fecha. (Figura 1).

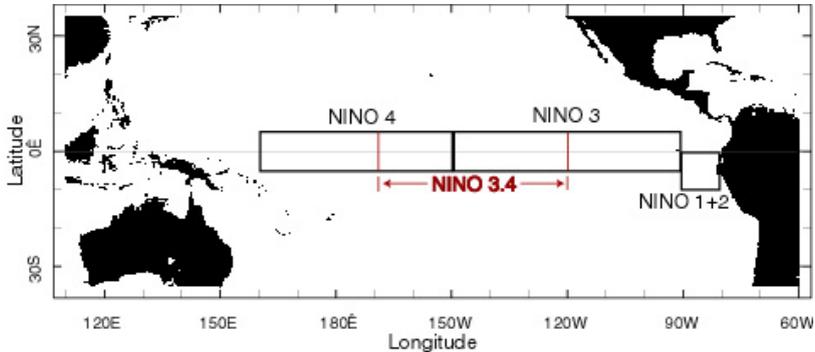


Figura 1. Regiones Niño en el océano Pacífico ecuatorial, Overview of the ENSO system: Monitoring. (IRI, 2007)

En estas "regiones Niño" están ubicados instrumentos de observación de diferentes elementos meteorológicos, y boyas marinas, y se realiza permanente observación satelital dentro de la red de observación del ENSO. En el cuadro 1, se pueden observar las regiones Niño con sus respectivas dimensiones.

Cuadro 1. Regiones o zonas Niño, dimensiones e índices asociados

Región	Latitud	Longitud	Índices ENSO
Región Niño 1+2 (N1+2)	0° a 10° S	80°W a 90°W	N1+2
Región Niño 3 (N3)	5°N a 5° S	90°W a 150°W	N3
Región Niño 4 (N4)	5°N a 5° S	120°W a 170°W	N4
Región Niño 3.4 (N.,4)	5°N a 5° S	160°W a 150°W	N3.4 o N3+4

Datos parciales de la temperatura superficial del mar (TSM o SST) y sus anomalías (ATSM o SSTA) para las regiones Niño, están en el anexo A. El período de referencia o base que tiende a ser utilizado en el cálculo de los diferentes índices Niño es el 1971-2000.

Identificación cuantitativa de El Niño y La Niña basado en la temperatura del Océano Pacífico

Los índices basados en la anomalía de la temperatura de la superficie del océano Pacífico ecuatorial que son utilizados como criterios o conceptos para identificar cuantitativamente El Niño y La Niña son todos calculados como promedios móviles, y se describen a continuación:

a) El Criterio del Servicio Meteorológico del Japón (JMA, Japan Meteorological Agency). Emplea el **índice Niño 3** (o índice JMA) calculado mediante el promedio móvil de las anomalías de la temperatura superficial del mar (ATSM, referidas al período 1971/2000), de cinco meses consecutivos en la región Niño3. Un Niño o Niña ocurre cuando hay una **secuencia de al menos 6 índices mensuales Niño 3, cada uno con valor igual o mayor que 0,5 °C (igual o menor que -0,5 °C) en la región Niño 3 del Pacífico ecuatorial (5° N a 5° S y 90° W a 150°W).**

Según lo definido, el índice Niño 3 de JMA de un mes i , se expresa por la media móvil de 5 meses, conformada por la anomalía del mes, A_i , los dos meses anteriores A_{i-2} y A_{i-1} , y las anomalías de los dos meses siguientes al mes dado, A_{i+1} y A_{i+2} :

$$\text{Índice Niño3 del mes } i = (A_{i-2} + A_{i-1} + A_i + A_{i+1} + A_{i+2})/5 \quad (1)$$

Donde,

A_i , ATSM del mes dado, donde se colocará la media móvil.

A_{i-2} , A_{i-1} , ATSM de los 2 meses precedentes al mes dado.

A_{i+1} , A_{i+2} , ATSM de los 2 meses siguientes al mes dado.

Las anomalías, ATSM, son calculadas en relación con la media de referencia del período 1971/2000.

El cuadro 2a contiene las temperaturas mensuales de la superficie del mar, sus anomalías respecto al período de

referencia 1971-2000, el índice Niño 3 calculado, y el publicado por el JMA, para la región Niño 3:

Cuadro 2a. Temperatura mensual de la superficie del mar, °C, (TSM); su anomalía, °C (ATSM) e índice Niño 3 del JMA. Período de referencia, 1971-2000

	2006			2007								
	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.
TSM °C	25,9	26,1	26,4	26,5	26,4	26,7	26,9	26,4	25,9	24,9	24,0	23,7
Media de referencia	24,9	25,0	25,1	25,6	26,4	27,1	27,4	27,1	26,4	25,6	25,0	24,9
ATSM °C	1,00	1,10	1,3	0,9	0,1	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5	-0,7	-1,0	-1,2
Media móvil 5 años °C	--	--	0,9	0,6	0,3	-0,1	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	--	--
Valor Tabulado por JMA	1,0	1,0	0,9	0,6	0,3	-0,1	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	--	--

Fuente de los datos de temperatura: Tokyo Climate Center, JMA, 2007.

Dado que pudiese interpretarse de manera diferente el concepto del índice Niño3, ejemplificaremos con el cálculo del índice para el mes de febrero 2007 del cuadro 2a.

$$\text{Índice Niño 3} = (A_{i-2} + A_{i-1} + A_i + A_{i+1} + A_{i+2})/5$$

$$\begin{aligned} \text{Índice Niño 3, febrero 2007: } & (1,3 + 0,9 + 0,1 - 0,4 - 0,5)/ \\ & 5 = + 0,3 \end{aligned}$$

Entonces, el índice N3 de febrero 2006 es +0,3 (promedio de la anomalía de febrero 2007, las anomalías de sus dos meses anteriores (diciembre 2006 y enero 2007) y la de los dos meses siguientes (marzo y abril de 2006).

Identificación de un evento ENSO con el índice Niño3 de JMA

Observando los índices del cuadro 2a sólo hay tres índices consecutivos con -0,5 o menores que -0,5 (desde mayo hasta julio),

por consiguiente, no se identifica la presencia de una Niña, pero sí se aprecia su desarrollo hacia una Niña, aplicando el criterio de Servicio Meteorológico Japonés.

Una observación: "El Niño Outlook" en <http://www.imarpe.gob.pe/tsm/ENSO/pronosticos> proporciona periódicamente la información actualizada sobre el índice Niño 3 y el pronóstico respectivo. Sus índices se obtienen aplicando la fórmula (1), pero calculan las anomalías en relación con un **período de referencia** diferente, 1979-2004. Dado que el mismo organismo al calcular anomalías con períodos diferentes, crea confusión, se emplearán los mismos datos de temperatura del cuadro 2a para formar el cuadro 2b y calcular los índices mensuales de la región Niño 3 del JMA, tal como lo hace "El Niño Outlook". En la última línea se observan los valores tabulados oficiales para la comparación.

Cuadro 2b. Temperatura mensual de la superficie el mar, °C, TSM; su anomalía, °C (ATSM) e índice Niño 3 del JMA en El Niño Outlook. Período de referencia, 1979-2004

	2006					2007						
	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.
TSM °C	25,9	26,1	26,4	26,5	26,4	26,7	26,9	26,4	25,9	24,9	24,0	23,7
Media de referencia	24,9	25,0	25,1	25,6	26,4	27,1	27,4	27,1	26,4	25,6	25,0	24,9
ATSM °C	1,00	1,10	1,3	0,9	0,1	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5	-0,7	-1,0	-1,2
Media móvil 5 años °C	--	--	0,9	0,6	0,3	-0,1	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	--	--
Valor Tabulado por JMA	1,0	1,0	0,9	0,6	0,3	-0,1	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	--	--

Fuente de los datos: El Niño Monitoring Indice, Tokyo Climate Center, JMA, 2007.

b) El criterio de Trenberth (1997). Emplea el índice Niño 3.4, referido a la región Niño 3.4 (5° N a 5° S y 120°W a 170°W). Este índice es la media móvil de 5 meses de las anomalías de la

temperatura de la superficie del mar, en relación con la media del período 1950-1979. Trenberth considera que este índice representa la anomalía promedio de la temperatura de la superficie del mar desde el meridiano 180° hasta la costa de América del Sur. Un evento Niño ocurre cuando hay una secuencia de al menos 6 índices, cada uno con valor mayor o igual que 0,4° C (y una Niña, menor o igual que -0,4°C). Aplicando este criterio, Trenberth (1977) afirma que El Niño ocurre 31% de las veces y la Niña, el 25%.

El IRI, (The International Research Institute for Climate and Society) en "Defining Enso" en su página Web IRI, (2007) <http://iri.columbia.edu/climate/ENSO> al responder la pregunta, ¿cuán alto debe ser el valor del índice y por cuanto tiempo debe persistir para que un NIÑO o NIÑA sea identificado?, describe el mismo criterio de Trenberth en la región Niño 3.4, pero utiliza el período de referencia 1951-1980 y con datos de TSM de Kaplan. El IRI informa sobre la evolución y predicción de los eventos ENSO en el océano Pacífico.

Según lo definido anteriormente, el índice Niño 3.4 de Trenberth o IRI, de cualquier mes se expresa por la misma fórmula del Servicio Meteorológico del Japón, pero el período de referencia para calcular las anomalías es 1950-1979.

$$\text{Índice Niño 3.4} = (A_{i-2} + A_{i-1} + A_i + A_{i+1} + A_{i+2})/5 \quad (1)$$

Donde,

A_i , ATSM del mar del mes dado.

A_{i-2} , A_{i-1} , ATSM, de los 2 meses precedentes al mes dado.

A_{i+1} , A_{i+2} ATSM, de los 2 meses siguientes al mes dado.

Todas las anomalías, calculadas en relación con la media de referencia del período 1950/1979.

Es decir, el índice Niño 3.4 calculado con el criterio de Trenberth es la media móvil de: la anomalía del mes, la de los dos

meses anteriores y las anomalías de los dos meses siguientes al mes dado. En el cuadro 2c, con las TSM y sus medias de referencia se calculan los índices mensuales N3, 4, según Trenberth, y se pueden comparar con los índices tabulados para la región 3.4 publicados por CAS-UCAR (2007), colocados en la última fila:

Cuadro 2c. Temperatura mensual de la superficie del mar, °C, (TSM); su anomalía, °C (ATSM) e índice Niño 3.4 de Trenberth. Período referencia 1950-1979

	2006			2007								
	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.
TSM °C	25,9	26,1	26,4	26,5	26,4	26,7	26,9	26,4	25,9	24,9	24,0	23,7
Media de referencia	25,0	25,1	25,3	25,7	26,5	27,2	27,5	27,1	26,5	25,7	25,1	25,0
ATSM °C	+0,9	+1,0	+1,1	+0,8	0,0	-0,5	-0,5	-0,7	-0,6	-0,8	-1,1	-1,3
Media móvil 5 años °C	+0,8	+0,9	+0,8	+0,5	+0,2	-0,2	-0,5	-0,6	-0,7	-0,9	-	-
Valor Tabulado por JMA	+0,8	+0,9	+0,8	+0,5	+0,2	-0,2	-0,5	-0,6	-0,7	-0,9		

Fuente de los datos de temperatura NCEP- NOAA; y de los índices tabulados: Climate Index CAS UCAR, 2007.

Trenberth (1997, p 2773) también emplea el índice Niño 3, calculado con media móvil de 5 años, pero con umbral de $\pm 0,4$ °C como criterio para identificar un ENSO. Véase Cuadro resumen en anexo B.

c) **El índice Océánico El Niño (ONI). Criterio del Centro de Predicción Climática, (NCEP) de NOAA**, es conocido corrientemente como El Niño oceánico. El ONI (Oceanic Niño Index) se obtiene mediante el **promedio móvil** de la anomalía de la temperatura de la superficie del mar, en relación con el período de referencia 1971-2000, con tres meses sucesivos: la anomalía del mes, la anomalía del mes que le antecede y la del mes que le sigue, en la región Niño 3.4 (5° N a 5° S y 120°W a 170°W) "ENSO

cycle, recent evolution, current status and prediction" (NOAA, 2007).

De este concepto se escribe la expresión del índice ONI:

$$\text{Indice ONI} = (A_{i-1} + A_i + A_{i+1})/3 \quad (2)$$

Donde,

A_i , es la ATSM del mes

A_{i-1} , y A_{i+1} , ATSM de los meses precedentes y siguientes al mes dado.

Un ONI es el promedio móvil de las anomalías de la superficie del mar de tres meses consecutivos, siendo el ONI de enero, por ejemplo, el constituido por la anomalía de enero, febrero, y la anomalía de diciembre del año anterior (DEF); el segundo ONI de tres meses, EFM, y así sucesivamente hasta el último ONI del año, con los datos de los meses noviembre, diciembre, y enero del año siguiente, (NDE).

En el 2005, el índice ONI fue adoptado por acuerdo oficial entre Canadá, México y USA, y se convirtió en el criterio estándar más utilizado para el monitoreo, evolución y predicción del ENSO en el océano Pacífico. Dos años antes, en 2003, NOAA lo había adoptado como concepto operacional de El niño y La Niña, y en colaboración con las siguientes instituciones: Scripps Institute of Oceanography, the Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies, the Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies, the International Research Institute for Climate Prediction, the National Center for Atmospheric Research, y la universidad de Washington.

Aplicando el concepto del índice ONI de la NOAA, la definición cuantitativa de El Niño, La Niña y El ENSO quedan simplificadas de la manera siguiente: Un **Niño o evento Niño**, la secuencia en la región Niño 3.4, en el Océano Pacífico ecuatorial, de al menos 5 ONI, cada uno con magnitud mayor o igual que $0,5^\circ\text{C}$. **Una Niña o evento Niña**, la secuencia en la región Niño 3.4, en el Océano Pacífico ecuatorial, de al menos 5 ONI, cada uno con magnitud

igual o menor que $-0,5^{\circ}\text{C}$. Un **ENSO o evento ENSO** es la secuencia en la región Niño 3.4, en el Océano Pacífico ecuatorial de al menos 5 ONI consecutivos, cada uno con valor mayor o igual que $0,5^{\circ}\text{C}$ (un Niño) o igual o menor que $-0,5^{\circ}\text{C}$ (una Niña), es decir, que para cumplir con el criterio se requiere información de las anomalías de la temperatura del mar durante siete **meses** consecutivos.

En el cuadro 3, en la última línea está el "Índice Oceánico el Niño", ONI, para 1950 como lo publica NOAA (2007), y difieren de los calculados por nosotros por no disponer de las nuevas series de temperatura de ERSST.v.3 (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature), pero, el cuadro es útil para propósito metodológico. Por ejemplo, ONI de febrero 1951, si las anomalías fuesen apropiadas:

$$(-1,04 - 0,07 - 0,7)/3 = -0,60$$

ONI de febrero 1951, con anomalías correctas: $(-1,13 - 0,98 - 0,95)/3 = -0,9$

En el anexo B, se indica una muestra de índices ONI a partir de datos de ERSST.v3.

Cuadro 3. Temperatura mensual de la superficie del mar, $^{\circ}\text{C}$, (TSM); su anomalía, $^{\circ}\text{C}$ (ATSM) e índices ONI de NOAA en 1950. Período de referencia 1971-2000

	1950			1951								
	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul	Ag.	Sep.
TSM $^{\circ}\text{C}$	25,03	25,42	25,54	24,47	26,62	26,44	17,74	27,54	27,53	27,48	27,44	27,02
Media de referencia $^{\circ}\text{C}$	25,52	26,39	26,41	26,40	26,63	27,06	27,57	27,53	27,44	27,01	26,68	26,41
ATSM $^{\circ}\text{C}$	-0,49	-0,97	-0,87	-0,93	-0,01	-0,52	0,17	0,01	0,09	0,47	0,76	0,61
Indice Trenberth $^{\circ}\text{C}$	-0,75	-0,82	-0,65	-0,68	-0,45	-0,27	-0,07	0,03	0,30	0,39	0,56	0,73
Indice Tabulado $^{\circ}\text{C}$	-0,75	-0,82	-0,66	-0,68	-0,45	-0,28	-0,07	0,03	0,30	0,39	0,56	0,73

Fuente de los datos de temperatura e índices tabulados: NCEP- NOAA (2007). Estos índices no coinciden con los calculados ya que los tabulados se obtienen con los datos de ERSST.v.2, y desde noviembre 2007, con los datos de la versión 3.

d) **Criterio de SCOR WG 55.** (Scientific Committee for Oceanic Research Working Group) El concepto de El Niño establecido por el comité Científico de Investigaciones Oceanográficas (SCOR) y enunciado por Lagos *et al* (2007) en el foro conmemorativo de los 50 años del Servicio Hidrometeorológico del Perú, no menciona ninguna de las regiones Niño, aunque más cercana a 1+2, establece que: El Niño es la aparición de agua anormalmente cálida a lo largo de la costa del Ecuador y Perú hasta incluso Lima a 12° S, cuya anomalía promedio de la temperatura de la superficie del mar esté por encima de una o más desviaciones estándar durante al menos cuatro meses consecutivos observadas en tres o más de cinco estaciones costeras peruanas (Talara, Puerto Chicana, Chimbote, Isla Don Martín y El Callao). Este concepto no fue aceptado por la comunidad científica internacional y quedó restringido a la zona mencionada.

Por otra parte, Caviedes y Waylen (1998), investigadores del Grupo de Estudios sobre El Niño, del departamento de Geografía de la Universidad de Florida, USA, consideran las estaciones de Puerto Chicama y Callao en Perú, representativas de las regiones El Niño 1 y El Niño 2, (N1+2) al tiempo que se apartan del concepto mayoritario sobre El Niño, al afirmar que el fenómeno "El Niño es una noción que se refiere *–prima facie–* al calentamiento oceánico del Pacífico ecuatorial frente a las costas del Ecuador y el norte del Perú y a su secuela de invasiones de masas de aire húmedo marítimo y lluvias torrenciales que caen en un ambiente normalmente árido o semi-árido. Un calentamiento oceánico sólo en el Pacífico central (región Niño 3 o Niño 4); o descensos del SOI no acompañados por calentamiento oceánico; o con las secuelas mencionadas, no puede ser indicador de una condición El Niño y conduce a grave error en llamar "El Niño" a meses o años en los cuales esta condición del aire o el océano no ha estado presente".

Todd Mitchell (JISAO, 2004), del Joint Institute for the Study of Atmosphere and Ocean, prefiere denominar a la temperatura de la superficie del mar por encima de la normal, en el Pacífico ecuatorial, como la fase caliente de ENSO, y El Niño, como el período durante el cual la TSM está por encima de la normal a lo largo de la costa de Perú y Ecuador.

e) **Índice Trans-Niño (TNI) de Trenberth y Stepaniak.** El índice Trans-Niño, TNI, es la diferencia entre los índices mensuales normalizados Niño 1+2 y Niño 4, y esta diferencia, suavizada (s) con media móvil de 5 meses, y luego, normalizada (n) con la desviación estándar **anual** de las serie de esas diferencias, con el período de referencia 1950/1979. Trenberth y Stepaniak (2001)*, Stepaniak (2002).

$$\text{TNI} = [\text{Niño } (1+2)_N - \text{Niño } 4_N]_{S,N} \quad (3)$$

Este mismo período 1950/1979 es el utilizado para el cálculo de las medias, desvíos y desviación estándar de los índices: N1+2, N4, N3.4 y TNI.

El índice TNI sin suavización ni normalización se expresa por (4):

$$\text{TNI} = [\text{Niño } (1+2)_N - \text{Niño } 4_N] \quad (4)$$

En las fórmulas (3) y (4), el subíndice n, indica que los índices N1+2 y N4, están normalizados con la desviación estándar del período 1950/1979. Los subíndices S,N, después del corchete,

* En el artículo original de 2001 Trenberth y Stepaniak dicen que TNI es: “The difference in normalized anomalies of SST between Niño 1 +2 and Niño 4 regions” y la escriben: $\text{TNI} = (\text{Niño } 1+2_N - \text{Niño } 4_N)$, es decir, no suavizaban ni normalizaban la diferencia entre las anomalías normalizadas en las regiones 1+2 y 4, que es lo mismo que decir que el ITN no era suavizado ni normalizado.

indican que el índice TNI está suavizado con media móvil de 5 meses y luego, estandarizado con la desviación estándar del período 1950/1979.

La expresión (3) que parecía muy sencilla, muestra su estructura compleja en la fórmula (5) siendo muy similar a la estructura del índice IOS NOAA a discutir más adelante en fórmula (6).

$$TNI = \frac{\left(\frac{TSM_{(1+2)} - TSM_{(1+2)ref}}{S_{(1+2)ref}} \right) - \left(\frac{TSM_4 - TSM_{4ref}}{S_{4ref}} \right) suavizada}{S_{anual} \left[\frac{(TSM_{1+2} - TSM_{(1+2)ref})}{S_{(1+2)ref}} - \frac{(TSM_4 - TSM_{4ref})}{S_{4ref}} \right] suavizada} \quad (5)$$

Donde:

$TSM_{(1+2)}$, TSM_4 temperatura mensual de la superficie del mar en un año dado en la región Niño 1+2 y en la región Niño4, respectivamente.

$TSM_{(1+2)ref}$ TSM_{4ref} Media de la temperatura mensual de la superficie del mar de referencia en la región Niño 1+2 y en la región Niño 4, respectivamente

$S_{(1+2)ref}$, S_{4ref} desviación estándar mensual de la TSM en período de referencia, 1950/1979 en región N1+2 y región N4, respectivamente. "Suavizada" en el numerador, significa que se le aplica media móvil de 5 meses a todo el numerador

$$S_{anual} \left[\frac{(TSM_{1+2} - TSM_{(1+2)ref})}{S_{(1+2)ref}} - \frac{(TSM_4 - TSM_{4ref})}{S_{4ref}} \right] suavizada$$

desviación estándar anual de la diferencia estandarizada y suavizada, de todos los meses, no de un mes particular, del período de referencia 1950/1979, es decir, **la desviación estándar del**

numerador, pero anual, no la desviación estándar del mes. Esa desviación estándar es poblacional, en su cálculo se divide por el número de datos y no por $(n-1)$.

Los pasos para calcular TNI disponiendo de las series temperatura mensual de la superficie del mar (TSM) en las regiones Niño 1+2 y Niño 4 son indicados por Stepaniak (2002) y se enumeran a continuación:

1. Para cada mes de cada año, en la región N1+2 y en la región N4, se calcula la anomalía mensual de la temperatura de la superficie del mar (ATSM): $ATSM = (TSM - TSM_{ref})$, donde TSM_{ref} , es la media mensual de referencia del período 1950/1979 en cada región. Estas series de anomalías se suavizan con promedio móvil de 5 meses, y se tienen **series de anomalías suavizadas de 5 meses, centradas en el mes intermedio**, es decir, las series de **los índices Niño1+2 y Niño4**.
2. Los índices Niño 1+2 y Niño 4, se normalizan al dividirlos por su respectiva desviación estándar en el período de referencia 1950/1979 (y se tienen series de índices **normalizados**: $(Niño\ 1+2)_n$ y $(Niño\ 4)_n$).
3. Se establece la diferencia entre ambos índices: $[(Niño\ 1+2)_n - (Niño\ 4)_n]$ y se tiene la serie de diferencias de anomalías estandarizadas o serie de índice TNI inicial de Trenberth y Stepaniak, (2001).
4. El índice TNI inicial se suaviza mediante el **promedio móvil de 5 meses**. Por ejemplo, el índice TNI que será colocado en marzo, será el promedio de 5 índices TNI iniciales: el del mes de marzo, enero, febrero, abril y el TNI de mayo.
5. Cada índice TNI suavizado por media móvil de 5 meses, se normaliza al dividirlo entre la desviación estándar de la

misma serie de TNI suavizados del período de referencia 1950-1979, **pero con la desviación estándar anual**, obtenida **con las series de TNI de todos los meses**, no con la serie de TNI de un mes particular, y se tiene la serie de TNI suavizada y normalizada para cada mes.

En cuadro 4, ejemplos de índices TNI y N 3, 4 en meses de los años 1998 y 1999.

Cuadro 4. Índices Trans-Niño y N3.4 en 1998 y 1999
Período de referencia 1950-1979

	1998			1999								
	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.
TNI _n	2.316	2.279	2.516	2.492	2.138	1.745	1.193	0.519	-0.029	-0.248	-0.312	-0.154
N3.4	-1.820	-1.906	-1.998	-1.868	-1.718	-1.408	-1.210	-1.039	-1.134	-1.148	-1.251	-1.392

Fuente de los datos: http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/TNI_N34/index.html#Sec5

Para la representación, los datos del TNI se escriben en una columna empezando por el mes de enero del primer año (promedio móvil constituido de los datos de enero, de los dos meses antes y los dos meses después de enero) hasta el último dato de la serie, en diciembre. Habrá un evento ENSO, en su fase caliente, El Niño, si hay una **secuencia de al menos 6 TNI cada uno con valores igual o mayor que 0,4°C**; y un evento ENSO, en su fase fría, La Niña, si hay una secuencia de al menos 6 TNI, cada uno con valores igual o menor que -0,4°C).

La motivación de Trenberth y Stepaniak (2001) al crear el TNI, era combinarlo con el índice 3.4 normalizado, para expresar

el carácter diferencial de la naturaleza del ENSO y su evolución.

Ya que cada evento ENSO es diferente tanto en su característica como en la manera que evoluciona y con estos dos índices concretizan su objetivo. Consideran que el índice Niño 3.4 normalizado representa la TSM media a lo largo del Pacífico ecuatorial oriental desde el meridiano 180° hasta la costa de América de Sur, mientras que el índice Trans-Niño, (TNI) representa el gradiente de la temperatura de la superficie del mar, TSM, en la misma zona. Trenberth y Stepaniak (2001) con el índice TNI demuestran que El Niño entre 1950 y 1979 tendía a desarrollarse primero a lo largo de la costa occidental de América del Sur y se iba extendiendo hacia el oeste, pero eventos recientes aprecian un desarrollo en el Pacífico central y expansión hacia el Este. Sin embargo, según Hanley *et al* (2003, p.1250 y p.1256): "la suma del TNI con el 3.4 es insuficiente para un índice mejorado" y recomiendan combinar el índice N3.4; N4 o uno de los IOS con el JMA.

f) **El índice de Oscilación Peruano (IOP).** Surge con el objetivo de estudiar la variabilidad del ENSO en las condiciones marítimas cercanas al Perú, muy diferentes a las regiones Niño 3 y 3.4. Según Tam (s/f), el índice se construyó integrando la información de cinco estaciones costeras: Chicama (07°42'00" S, 79°27'00" W), Chimbote (09°04'00" S, 78°36'00" W), Huacho (10°16'00" S, 78°36'00" W), Callao (12°13'00" S, 77°09'00" W), e Ilo (18°01'00" S, 5°09'00" W) y se calcula mediante análisis ortogonal representado por la primera componente principal (PC1) que explica el 87,4 % de la varianza. El IOP fue diseñado por Sara Purca en 1965 en su tesis doctoral según Quispe y Purca (2007), donde la temperatura mensual estandarizada de la superficie del mar es el primer componente principal. Aplicaciones de IOP estan

en Purca *et al* (s/f) y Tam (s/f), pero en ninguno se detalla sobre su cálculo, ni siquiera en el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), donde labora la autora del índice.

Identificación cuantitativa de El Niño y La Niña basado en la diferencia de presión atmosférica entre dos puntos del océano Pacífico

g) **El índice de la Oscilación del Sur (IOS, SOI).** El Niño y la Niña ocurren en conexión con un sube y baja de la presión atmosférica en el océano Pacífico tropical Occidental y el Pacífico tropical oriental (Bjerknes, 1969). Este sube y baja u oscilación fue descubierta por Sir Gilbert Walker en 1924 y por ocurrir en el Hemisferio Sur, lo denominó Oscilación del Sur. Los datos de Jakarta y Darwin, en Indonesia, y los de Valparaíso y Santiago de Chile en el Pacífico del Este, fueron empleados por Walker. También se han utilizado como índices de la Oscilación del Sur, las presiones individuales de Taití, Darwin y Jakarta, con el inconveniente que sólo se representa una parte de los centros de acción y son más determinantes las influencias locales sobre la fluctuación del índice. Hoy día es aceptado que la presión atmosférica de Papeete en Taití (17°35S - 149°37W) y Darwin, en Australia, (12°26S-130°52°E) representan adecuadamente los polos opuestos de esa oscilación y son estas las estaciones empleadas, en los conceptos del índice de la Oscilación del Sur que se discutirán a continuación.

La Oscilación del Sur, entonces, es una fluctuación interanual irregular de gran escala que refleja un intercambio de masa atmosférica entre la baja presión atmosférica ecuatorial de Indonesia y el anticiclón subtropical del Pacífico del Sur- este

(Trenberth, 1997). El índice de la Oscilación del Sur (IOS) es el más empleado y conocido en la identificación de El Niño y La Niña, siendo definido como la **diferencia** de presión atmosférica (al nivel del mar) **estandarizada**, entre la estación Papelee, Taití, en la Polinesia Francesa, y la estación de Darwin, en Australia.

El índice IOS, a su vez, describe la intensidad de los vientos alisios del Este que fluyen en el océano Pacífico: IOS alto y positivo, alisio fuerte; IOS alto y negativo, alisio con dirección opuesta. Entre las presiones anuales de las localidades de Taití y Darwin, la correlación lineal es de (-0,731) para el período 1951/1980, pero desciende a -0,527 al considerar la serie más larga 1866/2000.

Tres expresiones de la Oscilación del Sur utilizando la diferencia de presiones estandarizadas de los mismos lugares, Taití y Darwin, serán discutidas: 1) IOS NOAA, la fórmula empleada por The Climate Prediction Center y el Servicio Meteorológico de los Estados Unidos de América (The Weather Meteorological Service, WMS) ambos dependientes de la NOAA (2007); empleada también por el CRU, (Climate Research Unit, Universidad de East Anglia, UK) y el Servicio Meteorológico de Japón, (JMA), pero con diferente período de referencia; 2) IOS Troup, calculada por la fórmula de Troup (1965), empleada por el Servicio Meteorológico de Australia, (BOM, Bureau of Meteorology); 3) el IOS Trenberth, calculada mediante la fórmula diseñada por Kevin Trenberth (1984, 1997) y empleada en CAS, UCAR (2007) (Climate Analysis Section, University Corporation for Atmospheric Research) Boulder Colorado, TX, USA.

Los tres índices mencionados participan de las siguientes características comunes:

- a) Se fundamentan en la diferencia de presión atmosférica reducida al nivel del mar de las estaciones Papelee, Taití (17°35S-149°37W) en la Polinesia Francesa y Darwin (12°26S-130°52' E) en Australia.
- b) Son índices mensuales normalizados (estandarizados) con medias y desviación estándar calculados con series de períodos de referencia (período base, de normalización, de estandarización) pre establecidos, y permiten que los índices se mantengan constante aunque la serie aumente con el tiempo, es decir, la media y desviación estándar de referencia es fija, no dependen del número de datos de las series.

Lo único que distingue a las formulaciones de los índices de la Oscilación del Sur es **la manera de la estandarización**, y se resume a continuación:

- El IOS NOAA, contiene doble estandarización. El índice es la estandarización de la diferencia de anomalía mensual estandarizada, de la presión atmosférica reducida al nivel del mar, en Taití y Darwin.
- El índice IOS de Troup es la diferencia de anomalía mensual de la presión atmosférica reducida al nivel del mar, en Taití y Darwin, estandarizada con la desviación estándar de esa diferencia.
- Y el índice IOS de Trenberth, la diferencia de anomalía mensual estandarizada de la presión atmosférica reducida al nivel del mar, en Taití y Darwin, empleando la desviación estándar, no de las series mensuales, sino de las series anuales de estas localidades.

g1) **La fórmula IOS NOAA** tiene la siguiente expresión:

$$IOS = \frac{\left(\frac{PT_{mes}}{ST_{ref}}\right) - \left(\frac{PD_{mes}}{SD_{ref}}\right)}{S\left[\left(\frac{PT_{mes}}{ST_{ref}}\right) - \left(\frac{PD_{mes}}{SD_{ref}}\right)\right]} \quad (6a)$$

La fórmula (6a) queda simplificada en 6b:

$$IOS = \frac{P_s T_{mes} - P_s D_{mes}}{S[P_s T_{mes} - P_s D_{mes}]_s} \quad (6b)$$

Al considerar que la presión estandarizada de un mes en Taití y Darwin, es

$$P_s = \frac{(P_{mes} - \bar{P}_{ref})}{S_{ref}}$$

Donde:

PT_{mes} , PD_{mes} , presión atmosférica mensual en un año dado, en Taití y Darwin, respectivamente.

PT_{ref} , PD_{ref} , presión atmosférica media mensual en período de referencia 1951/1980 en Taití y Darwin, respectivamente.

ST_{ref} , SD_{ref} , desviación estándar mensual de la serie de presión atmosférica en período de referencia, 1951/1980 en Taití y Darwin, respectivamente. ST_{ref} , SD_{ref} son poblacionales, es decir, en su cálculo se divide entre el número de datos y no entre (n-1).

$$S\left[\left(\frac{PT_{mes} - PT_{ref}}{ST_{ref}}\right) - \left(\frac{PD_{mes} - PD_{ref}}{SD_{ref}}\right)\right]$$

Desviación estándar de la diferencia estandarizada del período de referencia 1951/1980, es decir, la desviación estándar del numerador de la expresión, **no** la desviación estándar de la

diferencia de las presiones. Esta desviación estándar es poblacional, en su cálculo se divide por el número de datos y no por (n-1).

El Servicio Meteorológico de Japón, (JMA), emplea la fórmula 6, pero con el período de referencia 1971-2000. Véase cálculo para enero en anexo A2.

En las fórmulas 6a y 6b se aplica una doble estandarización ya que, el numerador es la diferencia normalizada de la presión atmosférica reducida al nivel del mar entre Taití y Darwin y el denominador, la desviación estándar de la serie de esa misma diferencia, en relación con el período de referencia, 1951/1980. Por consiguiente, **el índice IOS NOAA es la estandarización de la diferencia de anomalía estandarizada de la presión atmosférica mensual en Taití y Darwin.**

En anexo A1 se calculan los índices del mes de enero a partir de las serie de Taití y Darwin aplicando la fórmula (6a) y se comparan con los índices que publica NOAA/National Weather Service, Climate Prediction Center, CPC (2007) y UCAR (2007).

En anexo A2, la misma fórmula, pero con período de referencia 1971-2000, como lo calcula el JMA.

Para que no quede dudas en el manejo de la fórmula de la NOAA: se ejemplifica con el cálculo del IOS para el mes de enero de 1980, con resultado de + 0,3:

$$IOS = \frac{\left(\frac{1011,0 - 1010,8}{1,33}\right) - \left(\frac{1005,9 - 1006,26}{1,19}\right)}{1,54} = +0,3$$

La misma fórmula pero con período de referencia diferente, 1971-2000, tal como la emplea el Servicio Meteorológico Japonés, (JMA):

$$IOS = \frac{\left(\frac{1011,0 - 1011,0}{1,39}\right) - \left(\frac{1005,9 - 1006,6}{1,34}\right)}{1,70} = +0,3$$

g2) **El índice IOS por la Fórmula de Troup.** Troup (1965) diseña su fórmula del IOS y su índice es tabulado por el Servicio Meteorológico de Australia, BOM. Su numerador es la diferencia de las anomalías de las presiones atmosféricas reducidas al nivel del mar entre Taití y Darwin, y su denominador, la desviación estándar de la serie de esa misma diferencia. Tanto la media como la desviación estándar, deben ser calculadas con los datos mensuales del período de referencia 1933/1992. Por consiguiente, el índice IOS de Troup es la diferencia de anomalía mensual de la presión atmosférica reducida al nivel del mar, en Taití y Darwin, estandarizada con la desviación estándar de esa diferencia.

$$IOS = \frac{(PT_{mes} - PT_{medrefmes}) - (PD_{mes} - PD_{medrefmes})}{S[(PT_{mes} - PT_{medrefmes}) - (PD_{mes} - PD_{medrefmes})]_{ref}} \quad (7a)$$

$$(7) \text{ se simplifica escribiendo: } IOS = \frac{(AT - AD)}{S[AT - AD]} \quad (7b)$$

(Anomalía Taití-anomalía Darwin) / desviación estándar de las diferencias de anomalías)

Donde:

PT_{mes} , presión atmosférica del mes al nivel del mar en un año dado en Taití

PD_{mes} , presión atmosférica del mes al nivel del mar en un año dado en Darwin

$PT_{medrefmes}$ y $PD_{medrefmes}$, presiones media del mes del período de referencia en Taití y Darwin

S [(PT-PT)-(PD-PD)] ref, desviación estándar de la serie de diferencias de anomalía de la presión mensual entre Taití y Darwin en el período de referencia. Debe ser poblacional, no muestral.

$(PT_{\text{mes}} - PT_{\text{med ref mes}})$, $(D_{\text{mes}} - D_{\text{med ref mes}})$, anomalía en hPa de la presión atmosférica en Taití y en Darwin en período referencia 1933/1992.

AT y AD, anomalía de la presión atmosférica en Taití y en Darwin, hPa.

S[AT-AD], la desviación estándar de la diferencia entre las anomalías de presiones reducidas al nivel del mar. Los datos del BOM son multiplicados por 10 por convención. Esto no lo creemos necesario.

Aplicando la fórmula de Troup (7a) para enero de 1980, el IOS calculado fue +0,32 (que multiplicado por 10 = +3,2, tal como lo publica BOM).

$$IOS = \frac{(1011,0 - 1010,87) - (1005,9 - 1006,44)}{2,1} = \frac{0,13 - (-0,54)}{2,1} = +0,32$$

En anexo A3 se calculan los índices de Troup para enero a partir de las serie de Taití y Darwin aplicando la fórmula (7a) y coinciden con los índices que publica el Bureau of Meteorology, (2007). En el "Glossary" del Bureau of Meteorology, (BOM) 2007 escriben la fórmula (7a) ligeramente diferente, pero con resultados similares:

$$SOI = 10 \frac{[Pdiff - Pdiffav]}{SD(Pdiff)} \quad (8)$$

Pdiff = (promedio del mes de Prnm en Taití) - (promedio del mes de prnm en Darwin)

Pdiffav = Promedio mensual de referencia de Pdiff

$SD(P_{diff}) =$ Desviación estándar mensual de P_{diff}

$P_{anm} =$ presión atmosférica reducida al nivel del mar

En el denominador, escriben $SD(P_{diff})$, es igual a $SD[P_{diff} - P_{diffav}]$, la desviación estándar del numerador, ya que una serie no cambia su desviación estándar, si le restan una constante, como es P_{diffav} .

g3) **Índice IOS por la fórmula de Trenberth.** Trenberth (1984) escribe el IOS de una manera aparentemente sencilla en (9) y corresponde a la diferencia de las anomalías normalizadas de las presiones atmosféricas reducida al nivel del mar, entre Taití y Darwin, pero empleando las desviaciones estándar de las series **anuales** de presión atmosférica de Taití y Darwin, en lugar de las desviaciones estándar de las series mensuales de esas localidades.

$$IOS = [T_n - D_n] \quad (9)$$

Donde:

$$T_n = (PT_{mes} - PT_{med\ mes\ ref}) / ST_{anual\ ref}$$

$$D_n = (PD_{mes} - PD_{med\ mes\ ref}) / SD_{anual\ ref}$$

PT_{mes} , PD_{mes} ; presión atmosférica del mes al nivel del mar en un año dado en Taití o Darwin

$PT_{med\ mes\ ref}$, $PD_{med\ mes\ ref}$, las presiones media del mes, en período de referencia en Taití o Darwin

$ST_{anual\ ref}$ y $SD_{anual\ ref}$, desviación estándar media **anual** de la presión de Taití o Darwin en el período de referencia, (no la mensual).

Si este índice utilizara las desviaciones estándar de las series **mensuales** de Taití y Darwin, coincidiría exactamente con la diferencia de presiones normalizadas ente Taití y Darwin, es decir, sería igual a $(Z_T - Z_D)$, donde $Z = (P - P_{mes}) / S_{mes}$

El índice de la Oscilación del Sur calculado por la fórmula de Trenberth (1984) para enero de 1980 correspondió a + 1,1:

$$\text{IOS} = [0,40 - (- 3.4)] = 1,1$$

Donde:

$$T_n, = (1011,0 - 1010,8) / 0,5 = +0,40$$

$$D_n, (1005,9 - 1006,3) / 0,6 = -0,67$$

UCAR (2007) en página denominada "Climate Indices", advierte que el índice que publican (el de Trenberth) "**difiere ligeramente**" del IOS del Climate Prediction Center (de la NOAA 2007) por la normalización utilizada, y más adelante, en página titulada "Southern Oscillation Index based upon annual standardization" escriben que el IOS "**difiere** de los calculados por Climate Prediction Center, al utilizar factores de normalización basados en medias anuales". En verdad, esta advertencia, si bien establece una diferencia entre los índices IOS, tampoco es clara, ya que al hablar de normalización basados en medias anuales, incluye tanto a la media como a la desviación estándar. Lo correcto es decir que las desviaciones estándar de referencia, que utilizan en las normalizaciones de la presión atmosférica de Taití y de Darwin, son desviaciones de **la serie de la presión atmosférica anual** del período de referencia, (1951-1980), una para Taití y la otra para Darwin, y no las desviaciones de la serie de las presiones del mes en ambas localidades, y que no se utilizan en la fórmula. Las medias en la normalización que emplean, siguen siendo las medias de Taití y Darwin de las series del período de referencia. Trenberth en (1984) utilizó el período de referencia (base o normal) 1941-1980, pero los índices que publica UCAR (2007), son para el período 1951-1980, (igual que el período usado en el IOS de NOAA). En consecuencia, será este el período de referencia que se utilizará, tal como se aplica en el anexo A4.

Suavización de los índices de la Oscilación Sur

La suavización del IOS ya había sido propuesta y aplicada por Trenberth (1984) en la correlación entre las series de Taití y Darwin normalizadas, y la correlación entre la temperatura de la superficie del mar y el índice IOS, con el propósito de eliminar la variación no asociada al ENSO. Mientras Ropelewski and Jones (1987) sugirieron suavizamiento de los IOS alegando la alta variabilidad del índice en varios de sus meses. Posteriormente, Ropelewski and Harpert (1996) aplican **suavización por media móvil de 5 meses** al IOS-NOAA y si estos persisten por cinco o más meses con desviación estándar de -1, queda identificado un año Niño, y con +1, un año Niña.

En opinión de McPhaden (2004), del Tropical Atmospheric Ocean Project (TAO/TRITON) parte del sistema de observación del océano Pacífico ecuatorial, TOGA, (Tropical Oceans and Global Atmosphere Program) fundamental para el estudio del ENSO y de su predicción, los índices IOS que emplean las estaciones de Taití y Darwin, presentan el inconveniente que por provenir sólo de dos puntos, están sujetos a ser influidos por condiciones locales, y para darle mayor consistencia, sugiere que sean **suavizados mediante media móvil de 5 meses** y así lo aplica en la evolución de El Niño ocurrido en los años 2002 y 2003. Hanley *et al* (2003) en la comparación entre índices del ENSO, aplican suavizamiento por media móvil de cinco meses a los índices de las regiones El Niño, pero media móvil de 13 meses al IOS.

Lo importante a destacar es que cualquiera de las formulaciones para expresar la Oscilación del Sur es suficientemente aceptable para el estudio e investigación de El Niño y La Niña, quedando, en consecuencia, la selección en manos del usuario, tanto del índice, como del procedimiento de suavización,

aunque la experiencia aconseja la conveniencia de la media móvil de 5 meses. En cualquier caso, es obligante que la fórmula utilizada y el método de suavización empleado, sean indicados en la investigación.

h) **El Índice Multivariado del ENSO (MEI)**. Es un complejo índice diseñado por Klaus Wolter (1987) de NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center (CDC), para expresar el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur, ENSO, empleando componentes principales con seis variables: temperatura de la superficie del mar, temperatura del aire, presión atmosférica al nivel del mar, nubosidad, componente zonal del viento y componente meridional del viento. Los datos de estas variables son publicadas en ICOADS (Internacional Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set, (anteriormente, COAD). Los sitios de ubicación de donde provienen los datos de las variables utilizadas en el MEI son señalados por Wolter y Timlin (1998) en la figura 2.

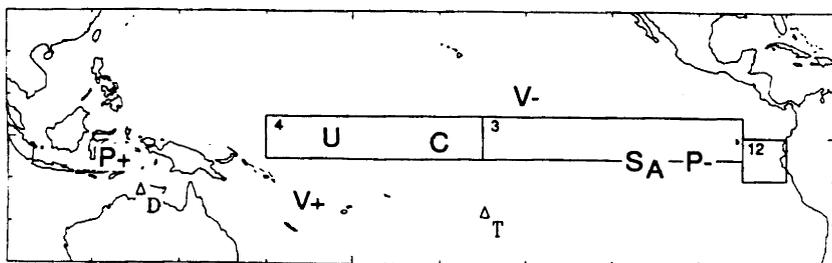
Según Wolter (1987) y Wolter and Timlin (1998) el índice MEI sería un promedio ponderado de los rasgos del ENSO de las variables empleadas en su cálculo, y es obtenido mensualmente para los dos meses precedentes. Por la metodología empleada, el MEI es el primer componente principal no rotado, de las seis variables utilizadas. Mediante la normalización con el período de referencia 1950-93, el índice MEI se hace comparable con otros índices ENSO.

El MEI es una media móvil de dos meses: así, el primer valor del año es el promedio de diciembre del año anterior y enero; el segundo, de enero y febrero,..., hasta noviembre y diciembre del año siguiente. Diferente a los IOS previamente discutidos, los índices con signos positivos representan la fase caliente del ENSO (El Niño) y los negativos del MEI, la fase fría (La Niña).

Durante un evento caliente o Niño, hay sucesión de índices mayores que +0,5, y en la fase fría, una sucesión de MEI menores que -0,5.

El índice MEI y su actualización, está en la Web bajo la responsabilidad de Klaus Wolter: <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/index.html/>.

Figura 2. Ubicación de las variables empleadas en el índice multivariado ENSO, MEI



Fuente: Wolter y Timlin (1998).

P+ y P-, presión. Diferencia entre la presión al nivel del mar en los sitios más occidental y oriental del Pacífico ecuatorial, respectivamente.

U, anomalía de la componente zonal del viento. V+, y V-, anomalía de la componente meridional del viento (viento del sur, positivo, viento del norte, negativo).

S_A, ubicación media de la temperatura de la superficie del mar y de la anomalía de la temperatura del aire.

C, anomalía de la nubosidad, en la región Niño 4.

T, Taití y D, Darwin. 1; 2; 3; 4, regiones Niño 1+2; 3, y 4, respectivamente.

Identificación cuantitativa de El Niño y la Niña basado en el nivel del mar en el Pacífico

i) **El índice del nivel del mar, SSHA o Niño A.** El nivel del mar en el Pacífico es incorporado después de la acumulación de

datos observada desde 1982 por el satélite Topes/Poseidón, y desde 1991 por Europeas Remote Sensing Satellites ERS-1, ERS-2 y Envisat. La anomalía del nivel del mar era considerado un dato complementario en la identificación del ENSO, pero actualmente, es un índice de similar categoría que los basados en la anomalía de la temperatura del mar. El índice de la anomalía de la altura del nivel del mar es representado como Niño-SSHA o simplemente Niño A, que siguiendo a los índices de la temperatura del mar, mantienen los cuatro índices Niño agregándole la letra mayúscula A (de altimetría, altura) y son normalizados con un valor fijo de 7 cm: índice Niño1+2A; índice Niño 3A; índice Niño 3.4A e índice Niño 4A. Por ejemplo, los índices del 26 de abril 1992 en las regiones Niño 1+2; 3; 3.4 y 4, eran respectivamente: 1,271; 1,114; 0,714 y -0,029, bajo efectos de El Niño 1992; y el 30 de noviembre de 2007: -0,343; 0,229; 0,629 y 1,586, bajo efecto de un evento La Niña.

Ahora se sabe que la mitad del aumento del nivel del mar se debe al incremento de la temperatura de la superficie del mismo, por su expansión térmica, de allí la altura en las costas peruana fue de 30 cm en presencia de El Niño 1997. Por otra parte, el modelo basado en las cadenas de Markov empleado por Xue *et al* (2003) emplea la anomalía del nivel del mar, conjuntamente con la ATSM y anomalía de la tensión del viento superficial en dinas/cm², ha demostrado ser exitoso en la predicción del ENSO. Valores semanales de los índices Niño A se publican en la página web de DEOS mantenida por Scharoo (2007).

Clasificación de los eventos ENSO por su intensidad

Por la intensidad de los eventos ENSO en su fase caliente, Quinn, Zopf, Short y Yang, citados por Rasmusson and Carpenter

(1982) clasificaron al Niño en tres categorías: **débil, moderado y fuerte**. Para la Niña, rangos similares, pero, con valores negativos. Empleando estos rangos y basados **en la media de la secuencia de Índice Oceánico El Niño, ONI**, iguales o mayores que $0,5^{\circ}\text{C}$ para El Niño y $0,5^{\circ}\text{C}$ para La Niña, se tiene la clasificación del ENSO por su intensidad (cuadro 5), donde, además, se incluyen ejemplos de cada categoría, en Niños y Niñas. Cuando se dice que un evento El Niño o La Niña es muy fuerte, se refiere además a los efectos que ocasiona en los diferentes aspectos climáticos-geográficos.

Cuadro 5. Clasificación de Niños y Niñas por su intensidad, empleando el índice ONI

Categoría	Ejemplo	Categoría	Ejemplo
Débil, 0,5 a 0,9	El Niño 1963	Débil, -0,5 a -0,9	La Niña 1995/96
Moderado, 1,0 a 1,4	El Niño 1986/1987	Moderado, -1,0 a -1,	La Niña 1988/89
Fuerte, >1,4	El Niño 1997/1998	Fuerte, <-1,4	

Fuente: Modificado de Quinn, Zopf, Short y Yang, citados por Rasmusson and Carpenter (1982).

Índices complementarios de variables del sistema climático relacionados con el ENSO

Los índices que denominaremos complementarios, no son empleados directamente para la identificación del ENSO, pero su conocimiento complementa significativamente su comprensión. Se discutirán los índices: radiación de ondas largas (OLR o bien, OLR

tropical); anomalía del viento del Este a 850 hPa; anomalía del viento a 200 hPa; volumen de agua caliente tropical (WWV); mensual de la termoclina; anomalía del contenido de calor en las capas del Pacífico ecuatorial; nivel del mar y la lengua fría, (CTI, Cold Tongue Index).

a) **El índice de radiación de longitud de ondas largas tropical (OLR tropical, o simplemente OLR).** Se refiere a la radiación emitida de ondas largas por el tope de las nubes en el océano Pacífico tropical, expresado como anomalías en W/m^2 , constituye una medida de la temperatura de ese tope nuboso y de la actividad convectiva. Donde OLR es negativo, el tope de la nube es alto, indicando la presencia de convección y potencialmente, zonas más lluviosas, mientras que si el OLR es positivo, restringe las convecciones, la nubosidad y las posibilidades de precipitación.

El OLR proviene de observaciones satelitales en la zona 5°N-5°S y 180°E-180°W y se calcula por la media de 3 valores en relación con la media de su período de referencia 1979-2000. Mientras el Servicio Meteorológico del Japón lo calcula en relación con el período 1971-2000, con mediciones en la zona 5°N-5°S 170°E-170°W, próximo a la línea del cambio de fecha, zona donde se aprecia la actividad convectiva y su interacción con los eventos ENSO. Por ejemplo, en los meses de enero a mayo de El Niño 1987, se registraron anomalías de OLR negativas en W/m^2 de: -30,5; -21,7; -26,4; -24,1 y -29,4. Valores anuales mayores que 280 W/m^2 son considerados altos (asociados con regiones de convecciones del océano Pacífico y también con zonas cálidas) y menores que 200 W/m^2 , bajos, (asociados con zonas frías)

b) **El índice de la anomalía del viento del Este a 850 hPa.** El viento a niveles bajos, 850 hPa, (alrededor a 1500 msnm), responde a las anomalías de la presión atmosférica. El viento alisio

o mejor, el viento predominante del Este, se hace más fuerte durante la Niña y más débil durante El Niño, e incluso, de dirección opuesta, como ocurrió durante junio a octubre con El Niño de 1977, cuando la componente que normalmente es del este, era del oeste.

Anomalías positivas (más altas que el promedio de referencia, 1979/1995) son componentes del viento desde el este. (En los vientos altos, 200 hPa, es lo contrario, la componente del Este es negativa). La componente zonal (E-W) del viento a 850 hPa lo considera Aceituno (1993) un índice de la intensidad de los alisios en el océano Pacífico Central. En anexo G se indican los datos del viento a 850 hPa, sus anomalías y anomalías estandarizadas, como lo presenta The Climate Prediction Center de NOAA.

c) **El índice de la anomalía del viento a 200 hPa.** Permite apreciar el patrón del viento zonal en la alta troposfera, 200 hPa, y comparar con el flujo al nivel isobárico menor, de 850 hPa, con anomalías opuestas. El mayor interés por este flujo de viento del oeste en altura sobre los trópicos, expresado por su anomalía, se explica por la relación encontrada con la circulación en las zonas extratropicales. Sus anomalías positivas, se refieren a viento desde el oeste.

d) **Índice del volumen de agua caliente tropical (WV).** Esta relacionado con el ENSO y se define como el volumen de agua con temperatura por encima de la isoterma de 20°C, en la zona del Pacífico ecuatorial entre 5°N a 5°S y 120°E a 80°W. Índices mensuales son calculados por Australian Bureau of Meteorology Research Center Ocean Analyses (BMRC) <http://www.bom.gov.au/bmrc/ocean/results/climocan.htm>, así como sus anomalías, al remover el ciclo estacional con base en el período 1980-2002. La anomalía del volumen de agua caliente tropical es

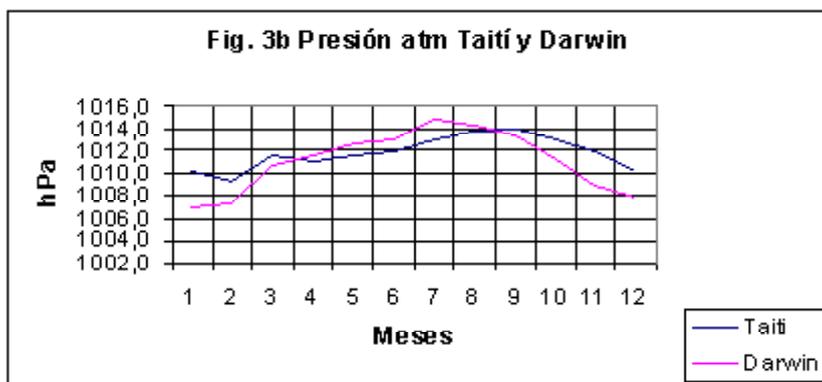
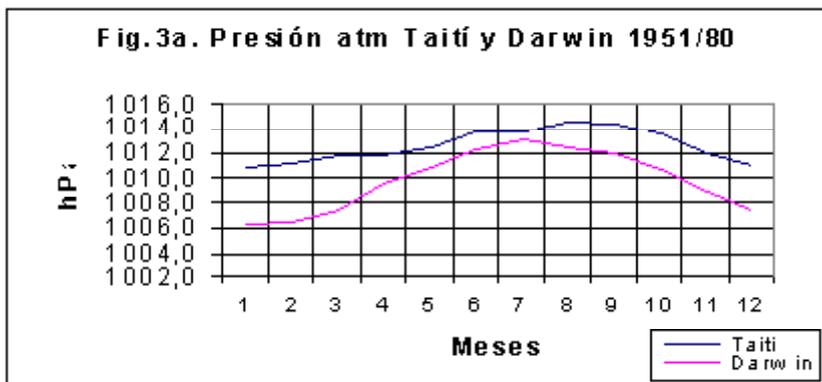
un **índice del contenido de calor** en el Pacífico ecuatorial. Por ejemplo, la anomalía de WVV de enero de 1980 fue $7,6 \times 10^{14} \text{ m}^3$ en relación con el volumen de la media de referencia de $2,6 \times 10^{15} \text{ m}^3$.

e) **El índice de la pendiente mensual de la termoclina.** La termoclina es la capa de transición entre las aguas más calientes superficiales y las aguas mucho más frías debajo. La isoterma de 20°C en las profundidades del océano Pacífico ecuatorial se emplea para expresar la termoclina, está en condiciones normales a unos 50 m de profundidad en el Pacífico de este y va descendiendo hasta unos 150 m en el Pacífico del oeste. La diferencia entre la isoterma de 20°C en el Pacífico occidental (150° a 160°W) y el oriental (90° a 140°) es el índice de la pendiente mensual de la termoclina; es mínima durante el calentamiento del océano (El Niño) y máxima, durante su enfriamiento (La Niña). Es decir, durante El Niño la termoclina se profundiza y disminuye la surgencia costera, mientras en la fase fría es lo opuesto (igual que el nivel del mar).

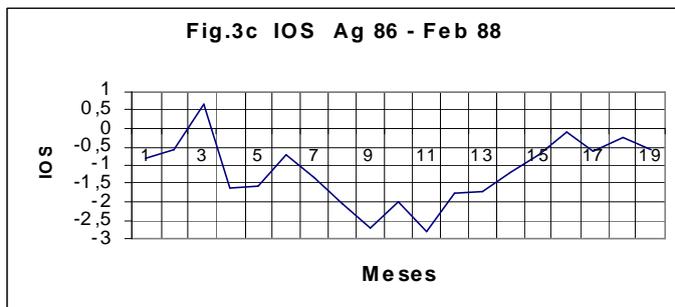
f) **El índice de la lengua Fría, (CTI, Cold Tongue Index).** Se refiere a la media de la anomalía de la temperatura de la superficie del mar en la zona comprendida entre 6°N a 6°S y 90°W a 180°W en el océano Pacífico ecuatorial. Es utilizado en el monitoreo del ENSO y su asociación se aprecia por la alta correlación con la Oscilación del Sur, $-0,82$.

Representación del ENSO mediante el IOS y umbrales de identificación

Previamente a la representación del IOS, veamos el comportamiento de las presiones atmosféricas, en Taití y Darwin (figura 3a y 3b) y el IOS, en el período 1951-1980, (figura 3c):



En la figura 3a, se aprecia que en todos los meses la presión es mayor en Taití que en Darwin. En la figura 3b, en un año de la serie, 1987, Darwin es mayor que Taití durante 5 meses, y en la figura 3c, desde agosto 1986 hasta febrero 1987, once meses tienen índice negativo, expresando un evento El Niño. Los tres gráficos, son representaciones tradicionales de datos que no requieren explicaciones adicionales, lo cual sí es necesario cuando la representación de un evento ENSO, considera el índice IOS, como una diferencia de anomalía de presión atmosférica estandarizada, como se trata a continuación:



Cuadro 6. Índices de la Oscilación del Sur, 1977-1990 e indicación de la transposición de los primeros datos

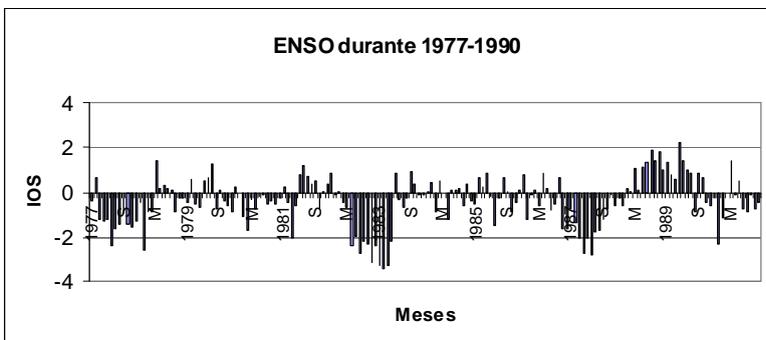
Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Transposición
1977	-0,4	0,64	-1,22	-1,33	-1,17	-2,34	-1,58	-1,44	-0,98	-1,42	-1,52	-1,24	-0,4
1978	-0,45	-2,58	-0,85	-0,91	1,43	0,17	0,31	0,14	0,06	-0,82	-0,25	-0,25	0,64
1979	-0,46	0,55	-0,5	-0,7	0,47	0,67	1,27	-0,71	0,11	-0,38	-0,63	-0,88	-1,22
1980	0,26	-0,01	-1,07	-1,74	-0,33	-0,73	-0,22	-0,1	-0,57	-0,37	-0,49	-0,25	-1,33
1981	0,25	-0,43	-2,04	-0,64	0,8	1,22	0,73	0,39	0,52	-0,74	0,01	0,38	-1,17
1982	0,86	-0,06	0,04	-0,45	-0,69	-2,44	-1,95	-2,69	-2,18	-2,29	-3,1	-2,44	-2,34
1983	-3,29	-3,41	-3,28	-2,18	0,82	-0,35	-0,7	-0,25	0,88	0,36	-0,06	-0,09	-1,58
1984	0,02	0,45	-0,86	0,47	-0,03	-1,18	0,06	0,1	0,17	-0,63	0,36	-0,39	-1,44
1985	-0,53	0,69	0,26	0,83	-0,21	-1,5	-0,24	0,7	0,01	-0,82	-0,43	0,1	-0,98
1986	0,79	-1,18	-0,11	0,08	-0,6	0,82	0,15	-0,81	-0,54	0,66	-1,61	-1,58	-1,42
1987	-0,74	-1,36	-2,06	-2,74	-2,04	-2,82	-1,77	-1,71	-1,17	-0,72	-0,1	-0,63	-1,52
1988	-0,24	-0,62	0,12	0,01	1,08	0,08	1,14	1,31	1,92	1,37	1,82	1,03	-1,24
1989	1,29	0,78	0,57	2,27	1,41	0,97	0,84	-0,84	0,85	0,62	-0,43	-0,59	-0,45
1990	-0,26	-2,3	-1,11	-0,01	1,38	-0,08	0,51	-0,74	-0,82	-0,15	-0,71	-0,41	-2,58

Para representar el ENSO con las series de índices mensuales de la Oscilación del Sur, lo primero a realizar es una **transposición** de los índices, es decir, colocarlos en una columna, mes a mes para cada año, y obtener la sucesión de los 12 meses por años, hasta el final de la serie, como se ejemplifica en el cuadro 6, (IOS-NOAA, 1977-1990 y período de referencia 1981/1990). El índice de enero de 1977, febrero de 1977, marzo 1977, hasta diciembre

1977; continuar con 1978: enero 1978, febrero 1978...diciembre, 1978, así sucesivamente hasta terminar la secuencia en diciembre del último año de la serie en diciembre 1990 con -0,41.

El resultado es la figura 4, donde el índice IOS representa el ENSO y también la intensidad de los vientos del Este. Los índices negativos, El Niño, y los índices positivos, La Niña. Para identificar la presencia de un Niño o Niña, se requiere una **secuencia de al menos 6 meses, o 6 IOS**, cada uno con al menos 0,5, siguiendo la metodología empleada con los índices térmicos de las regiones Niño. Por ejemplo, MacPhaden, (2004), con índices IOS y en leyenda de su figura 1 (pág. 679, 2004) afirma que la "magnitud de 0,5 es sombreada para enfatizar la relación con el índice Niño 3.4" (cuyo umbral, como hemos mencionado es 0,5°C y sucesión de 6 meses).

Figura 4. Índices IOS (1977-1990). Índices negativos, representan la fase caliente (El Niño) y positivos, la fase fría del ENSO (La Niña)



En dos fuentes hemos encontrado umbrales del IOS para identificar un evento El Niño: (a) en Kiladis and Von Loon (1988) al considerar un Niño como la secuencia de tres trimestres con

anomalía de la temperatura de la superficie del mar positiva, y al menos un trimestre con $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ o más que su temperatura media, en la región entre 4° del Ecuador y 160° W de la costa de Sur América; y con índices de Oscilación del Sur negativos, y al menos un trimestre con IOS menor que -1 . Para la Niña, de manera similar con signos opuestos. Un trimestre o estación, es la media de tres meses, empezando con febrero, marzo y abril, y así sucesivamente, hasta noviembre, diciembre y enero del año siguiente. Las anomalías de la temperatura, es en relación con la media de cada trimestre del período de 29 años, 1951-1979. Con este criterio identificaron 26 Niños y 20 Niñas desde 1877 a 1982. b) Ropelewski y Halpert (1996) también establecen criterio basado en el IOS para identificar eventos ENSO. Consideran la ocurrencia de un Niño o fase caliente, a la sucesión de al menos 5 meses consecutivos con **desviación estándar, menor que $-0,5$ en la media móvil** de 5 meses del índice IOS NOAA, y La Niña, o fase fría, mayor que $+0,5$. Con este criterio identifican 21 Niño y 17 años Niña desde 1882 hasta 1988.

En cuanto a la representación del ENSO, parece que la mejor manera es utilizar conjuntamente un índice de la temperatura, como el ONI, y otro de la presión atmosférica, como uno de los IOS, ambos índices en barras y sus respectivas media móviles (índices suavizados), en curvas. Para que el gráfico se lea y entienda más fácilmente, es conveniente cambiarle el signo al IOS para que coincida la variación del IOS con signo opuesto, con la fase caliente del ENSO (índice positivo de la anomalía de la temperatura superficial del mar) y así destacar la interacción atmósfera-océano, mediante los dos índices. Un evento El Niño o La Niña se identificará en el gráfico con el índice ONI ya explicado y mediante el IOS por dos maneras:

- (a) por el criterio de Ropelewski y Harpert (1996) por la sucesión de al menos **cinco IOS suavizado** con media

móvil de 5 meses, cada uno con **desviación estándar** de -0,5 o menos, y La Niña con +0,5 o más.

- (b) mediante la sucesión de al menos 5 **meses con IOS suavizado** con media móvil de 5 meses que posean -0,5 o menos, para El Niño y +0,5 o más, para la Niña. Para la representación, los signos de los IOS se invertirán.

Modelos del ENSO para su predicción

Las investigaciones sobre El ENSO condujeron a la predicción de su ocurrencia, duración y magnitud, para la prevención de sus efectos en las diferentes zonas donde ya se sabe es un visitante periódico, aunque irregular. Diversos modelos se han desarrollado en diferentes instituciones internacionales, con mayor o menor éxito, pero todos en el camino a su perfeccionamiento en la medida que la información sea más confiable y los soportes técnicos permitan el manejo de tal información. Resultado de los diferentes modelos del ENSO para las regiones Niño están disponible en IRI, Internacional Research Institute, Columbia University, USA, 2007. Summary of ENSO models Forecast http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/currentinfo/SST_table.html#table.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se explicaron y ejemplificaron los cálculos de los principales índices utilizados para identificar y cuantificar el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur, ENSO, con la intención que los interesados en las ciencias ambientales y estudiantes universitarios de climatología, entiendan y apliquen con propiedad dichos índices. A los expertos, que trajinan cotidianamente estos índices, no va dirigido este trabajo, pero, les invita a recordar los detalles que deben incluir para llegar a una audiencia más numerosa.

Las series de observaciones durante largo período revelan que El Niño y La Niña se desarrollan en el Océano Pacífico durante abril a junio y alcanzan su máxima intensidad de diciembre a febrero, durando 9 a 12 meses y hasta 2 años o más, repitiendo con ciclo de 2 a 7 años. Cuando se dice El Niño y La Niña, son términos que se refieren a un calentamiento o enfriamiento de la gran zona del océano Pacífico oriental y central tropical, y no solamente a las costas occidentales de la América del Sur. El Niño y La Niña son las fases caliente y fría que junto a la Oscilación del Sur constituyen un evento de interacción global de la atmósfera en el océano, denominado "El Niño Oscilación del Sur-ENSO" o ENOS. También se habla de El Niño neutro, como una tercera fase de El ENSO y corresponde a un año en el cual no se cumple la condición El Niño o La Niña.

De los índices que emplean la temperatura de la superficie del mar, el índice ONI parece que tendrá mayor utilización, habido acuerdo internacional reciente entre los tres países norteamericanos: Canadá, México y Estados Unidos de América para su empleo.

El uso de un solo índice en la identificación de las fases caliente y fría de ENSO, no es suficiente, especialmente en caso de ENSO moderado y débil. De allí la explicación que las listas con años Niño y Niña difieran, ya que depende de si un índice incluye o excluye un evento dado.

Sobre los índices de las regiones o zonas Niño: Niño 1+2, (N1+2); Niño 3, (N3); Niño 3.4 (N3.4) cuya ubicación se presenta en la figura 1, es común la interrogante, ¿Cuál de los índices utilizar? La respuesta es: el que mantenga una mayor correlación o crosscorrelación directa o inversa, con la variable en estudio y en función de la fase del ENSO en estudio.

Todos los índices discutidos que expresan la Oscilación del Sur, emplean los datos de las estaciones de Taití (alta presión

atmosférica subtropical) y Darwin (centro de baja presión atmosférica de Indonesia), que controlan dicha oscilación. Entre los datos anuales de esas estaciones, existe una correlación negativa de 0,731, es decir, en términos medio, cuando en Taití la presión es alta, en Darwin se experimenta una presión menor, y viceversa.

Se debe recordar la experiencia de Chen (1982): que el IOS Taití-Darwin es adecuado para investigaciones de diagnósticos de la Oscilación del Sur, mientras que para pronóstico, es preferible utilizar las presiones de Eastern Island (27°S-109° W) y Rapa (28°S-144°W).

Se dice con frecuencia que el índice de la Oscilación del Sur es la presión atmosférica de Taití normalizada, menos la presión atmosférica de Darwin normalizada: $[(P_T - P_{Tm})/S_{PT}] - [(P_D - P_{Dm})/S_{PD}]$, pero tal afirmación es falsa, ninguno de los tres índices de la Oscilación del Sur (IOS NOAA, Troup y Trenberth) emplea tal expresión.

El IOS NOAA, (como los demás IOS) es adimensional, aunque pareciera que en el denominador hubiese la unidad hPa. Tal unidad no existe, debido a que al estandarizar, se resta la media en hPa en el numerador, pero, por ser cero, es omitida.

De los tres índices de la Oscilación del Sur: IOS NOAA, Troup y Trenberth, no hay preferencia por ninguno, puesto que todos expresan satisfactoriamente dicha Oscilación. El índice de Troup como lo publica el Servicio Meteorológico Australiano, es multiplicado por 10, por convención, pero para mantener las magnitudes proporcionales con los otros índices, se recomienda evitar tal multiplicación.

El índice de Oscilación Peruano, IOP, no se basa en la presión como el IOS, sino en la temperatura de estaciones costeras del Perú. El Instituto del Mar del Perú (IMARPE), mantiene en su Web tabla con datos incompletos sin ninguna explicación.

Aunque se repite con frecuencia que el ENSO es un fenómeno de interacción océano atmósfera, solamente hemos encontrado dos criterios que emplea conjuntamente un índice oceanográfico, (anomalía de la superficie del mar) y un índice atmosférico, (IOS) para identificar el ENSO. (a) El criterio de Kiladis y Von Loon (1988) y (b) El criterio de Ropeleswki y Harpert (1996) pero ninguno tabulado como los índices individuales. Dos índices también emplea Trenberth y Stepaniak, TNI y N 3, 4, pero ambos con base en la temperatura de la superficie del mar.

El índice de Trenberth y Stepaniak, TNI, no fue ejemplarizado en su cálculo, por no ser adecuado en la identificación de los eventos ENSO individuales. Tampoco el índice MEI, por no tener disponibilidad de las variables que en su cálculo se requieren.

El índice de más reciente utilización es el **Niño A**, basado en la altura del nivel del mar y normalizado, no por un período de referencia dado, sino con el valor fijo de 7 cm.

El cuadro resumen en anexo B, constituye una condensación de los índices empleados en la actualidad para caracterizar los eventos ENSO. Su empleo servirá de valiosa ayuda para cualquier inicio de investigación, aplicación y enseñanza de tales índices. De igual manera, la fuente de datos relacionados con los índices de El ENSO, en anexo C, permitirá acceder a ellos con facilidad.

El empleo de anomalías o anomalías estandarizadas en la temperatura de la superficie del mar y en la presión atmosférica en la determinación de los índices de la TSM e IOS se aplica para que la comparación de observaciones en dos lugares sea correctamente realizada. Por ejemplo, una anomalía de 1,8°C puede tener poca importancia cerca de la costa ecuatoriana, pero altamente significativa en el océano Atlántico occidental. En cambio, una anomalía estandarizada de 1,8°C tiene la misma significación relativa en ambos lugares, y en consecuencia, la comparación es la correcta.

Se recomienda suavizar las medias mensuales de los índices IOS para eliminar influencias de otros fenómenos no relacionados con la Oscilación del Sur. Véase Trenberth (1984) y (1997).

El valor de la correlación lineal y de la correlación cruzada entre datos originales, no cambia si se calcula con sus anomalías o con sus anomalías estandarizadas. Tampoco cambia la autocorrelación de una serie de datos originales, empleando sus anomalías o sus anomalías estandarizadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceituno P. (1993). *El Niño l'oscillation Australe, et ENSO: des mots qui pretend á confusion pour une interaction complexe entre l'océan et l'atmosphère - La météorologie*. 8va. N° 3, pp. 44-46.
- Bureau of Meteorological Office (BOM), (2007). *The Climate Glossary*. Documento en línea. Disponible en <http://www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml> [Consultado: 2007/5/1].
- Caviedes, Cesar y Peter Waylen. (1998). Respuestas del Clima de América del Sur a las Fases de ENSO. En *Seminario Internacional sobre El Niño Consecuencias climáticas e hidrológicas del evento El Niño a escala regional y local. Incidencia en América del Sur*. Organizado INAMHI del Ecuador y por el ORSTOM, Francia. Documento en línea. Disponible en: <http://www.unesco.org/phi/libros/enso/caviedes1.html>. [Consultado: 2007/5/2].
- Chen, W. Y. (1982). Assessment of Southert Oscillation sea Level Pressure Indices. *Mon. Wea. Rev.*: 110: 800-807 p.
- IRI (2007). *Overview of the ENSO System: Monitoring*. Documento en línea. Disponible en: <http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/monitoring.html> [Consultado: 2007/6/12].
- Japan Meteorological Agency (JMA) (Aug 2007). *El Niño Outlook*. Documento en línea. Disponible en: <http://www.imarpe.gob.pe/tsm/ENSO/pronosticos/Nov202006/JMA> [Consultado: 2008/5/14].

- Kiladis, George and Harrys Von Loon (1988). The Southern Oscillation. Part VII. Meteorological anomalies over the Indian and Pacific sectors associated with the extremes oscillation. *Mon. GEA. REM.* Vol. 116, pp. 120-136.
- Lagos, P.; Silva, Trasmonte y K. Mosquera (2007). *Consideraciones en el Pronóstico de los Eventos El Niño en el Perú.* Foro Científico. Documento en línea. Lima, 23 de marzo de 2007. Disponible en: <http://www.senamhi.gob.pe/pdf/conferencia/PabloLagos.pdf> [Consultado: 2008/1/15].
- MacPhaden, Michael (2004). *Evolution of the 2002/03 El Niño.* *Amer. Met. Soc.*, pp. 677-695.
- McPhaden, Michael. (2007). *Equatorial Pacific Warm Water Volume.* TAO Project Office NOAA/Pacific Marine Environmental Laboratory, Seattle, WA. USA.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) – NWS – NCEP – CPC. (2002). *Frequently Asked Questions.* Climate Prediction Center, Camp Springs, Maryland. Documento en línea. Disponible en: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/Readme.index.htm> [Consultado: 2008/9/5/23].
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) – NWS – NCEP – CPC. (2004). *Data: sst.* Climate Prediction Center, Camp Springs, Maryland. Disponible en: <ftp://ftpprd.ncep.noaa.gov/pub/cmb/sst/> [Consultado: 2004/3/29].
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) – NWS – NCEP – CPC. (2004). *Monthly Atmospheric and SST Indices: Monthly Sea Surface Temperature.* Climate Prediction Center, Camp Springs, Maryland. 20/08/2002. Disponible en: <ftp://ftpprd.ncep.noaa.gov/pub/cpc/wd52dg/data/indices/sstoi.indices> [Consultado: 2004/5/29].
- Climate Prediction Center (2007). *Montly Atmospheric Climatic Indices.* Camp Springs, Maryland. Documento en línea. Disponible en: <http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/> [Consultado: 2007/3/18].

- NOAA. (2007), Earth System Research Laboratory, Physical Science Division. *Multivariate ENSO*. Disponible en: <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/> [Consultado: 2008/5/30].
- Nul, Jan. (2004). *Historic Oceanic Niño Index (ONI) & El Niño Winter & Spring Impacts on United States Weather Patterns*. Golden Gate Weather Services. Documento en línea. Disponible en: <http://ggweather.com/ENSO/oni.htm> [Consultado: 2007/4/17].
- Quispe, Carlos y Purca, Sara (2007). *Previsión de la temperatura superficial del mar frente a la costa peruana mediante un modelo autorregresivo integrado de media móvil*. *Rev. peru biol.* [online]. ago. 2007, Vol.14, No.1 p.109-115. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid [Consultado: 2008/2/14].
- Ropelewski, Chester, and P. D. Jones, (1987): *An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index..* *Mon. Wea. Rev.* Vol. 115, pp. 2.161-2.165.
- Ropelewski, Chester and Michael Halpert (1996). Quantifying Southern Oscillation precipitation relationships. *Journal of Climate*. 9, pp. 1.043-1.059.
- Rasmusson, Eugene and Thomas Carpenter (1982). *Variations in tropical sea surface wind field associated with the Southern Oscillation/El Niño*. *Montly Weather Review*. Vol. 110, pp. 334-384.
- Scharroo Remko. (2007). *El Niño observed by ERS/Envisat altimetry*. Documento en línea. Disponible en <http://rads.tudelft.nl/enso/> [Consultado: 2007/5/12].
- Stepaniak, David (2002). *TNI (Trans-Niño Index) and N3.4 (Niño 3.4 Index)*. Documento en línea. Disponible en: http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/TNI_N34/index.html#Sec4 [Consultado: 2007/5/2].
- Tam, Jorge (s/f). *Modelado de los efectos de ENOS sobre la temperatura del mar peruano*. IMARPE, Instituto del Mar del

- Perú. Disponible en: <http://www.senamhi.gob.pe/pdf/conferencia/JorgeTam.pdf> [Consultado: 2008/1/2].
- Todd, Mitchell, (2004). *Typical ENSO climate impacts*. Joint Institute for the Study of Atmosphere and Ocean (JISAO). Documento en línea. University of Washington, Seattle, WA. Disponible en: <http://www.jisao.edu.washington> [Consultado: 2007/8/22].
- Tokyo Climate Center, Japan Meteorological Agency. (2007). *El Niño Monitoring Indices*. en línea. Disponible en: <http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/elNiño/index/Readme.txt> [Consultado: 2007/2/2].
- Trenberth, K. E. (1997) The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, pp. 2.771-2.777.
- Trenberth, K. E. (1984) Signal versus noise in the. Southern Oscillation. *Montly Weather Review*. Vol. 112, pp. 326-332.
- Trenberth, K. E., and J. M. Caron, 2000: The Southern Oscillation revisited: Sea level pressures, surface temperatures and precipitation. *Journal of Climate*, 13, pp. 4.358-4.365.
- Trenberth, K. E., and David P. Stepaniak (2001) Indices of El Niño evolution. *Journal of Climate*, 14, pp. 1.697-1.701.
- Trenberth, K. E., and D. P. Stepaniak, (2001): A new index of El Niño related to decadal variability. *Subtle Signals* 1. Documento en línea. Disponible en: <http://www.decvar.org/newsletter/voll.1/trenberth.html> [Consultado: 2007/9/30].
- Troup, A. J., (1965). The Southern Oscillation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 91, pp. 490-506.
- UCAR. (2007). *Climate Indices*. En Climate Analysis Section Data Catalog, University Corporation for Atmospheric Research. Boulder Colorado, TX, USA. Documento en línea. Disponible en: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/> [Consultado: 2007/5/2].
- Wolter, K., (1987). The Southern Oscillation in surface circulation and climate over the tropical Atlantic, Eastern Pacific, and Indian Oceans as captured by cluster analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 26, pp. 540-558.

- Wolter, K., & M. S. Timlin. (1993). Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index. *Proc. of the 17th Climate Diagnostics Workshop*, Norman, OK, NOAA/NMC/CAC, NSSL, Oklahoma Clim. Survey, CIMMS and the School of Meteor., Univ. of Oklahoma, pp. 52-57.
- Xue, Y; Smith, T.; Reynolds, R. (2003). Interdecadal Changes of 30-Yr. SST normals during 1871-2000. *J. Climate*, 16, pp. 1.601-1.612.

José Manuel Guevara Díaz. Egresado de la Universidad Central de Venezuela como Licenciado en Geografía, obtiene maestría en la Universidad de Boston y posteriormente, doctorado en la UCV. Durante su labor educativa universitaria de pregrado ha dictado los cursos de Meteorología, Climatología, Geografía Física, Geografía de Venezuela, Geografía Regional y Trabajo de Campo. A nivel de postgrado, Climatología Urbana y Problemas Climáticos de Venezuela. Su obra escrita es diversa con artículos publicados en revistas nacionales y extranjeras y en libros como: Meteorología; La Geografía Regional, la Región y la Regionalización; Métodos

Anexo A1. Cálculo del índice IOS NOAA de enero con presión atmosférica, hPa, de Taití y Darwin en el período 1980-2005

Cálculo de la primera normalización para calcular el IOS						IOS calculado	IOS tabulado NOAA
Año	Taití,T	Darwin,D	Tn	Dn	Tn-Dn		
1980	1011,0	1005,9	0,128	-0,302	0,430	0,3	0,3
1981	1010,1	1005,1	-0,549	-0,974	0,425	0,3	0,3
1982	1012,9	1006,5	1,556	0,202	1,355	0,9	0,9
1983	1007,8	1009,8	-2,278	2,973	-5,251	-3,4	-3,4
1984	1011,7	1007,1	0,654	0,705	-0,051	0,0	0,0
1985	1011,3	1007,7	0,353	1,209	-0,856	-0,6	-0,6
1986	1010,8	1004,7	-0,023	-1,310	1,288	0,8	0,8
1987	1010,2	1007,1	-0,474	0,705	-1,179	-0,8	-0,8
1988	1011,9	1007,8	0,805	1,293	-0,489	-0,3	-0,3
1989	1012,6	1005,4	1,331	-0,722	2,053	1,3	1,3
1990	1011,1	1006,9	0,203	0,538	-0,334	-0,2	-0,2
1991	1011,8	1006,3	0,729	0,034	0,696	0,5	0,5
1992	1009,2	1010,1	-1,226	3,225	-4,451	-2,9	-2,9
1993	1009,5	1006,8	-1,000	0,454	-1,454	-0,9	-0,9
1994	1010,8	1006,7	-0,023	0,370	-0,392	-0,3	-0,3
1995	1010,6	1007,0	-0,173	0,621	-0,794	-0,5	-0,5
1996	1011,9	1005,7	0,805	-0,470	1,275	0,8	0,8
1997	1012,6	1007,3	1,331	0,873	0,457	0,3	0,3
1998	1007,3	1007,8	-2,654	1,293	-3,948	-2,6	-2,5
1999	1012,6	1004,9	1,331	-1,142	2,473	1,6	1,6
2000	1012,3	1006,7	1,105	0,370	0,736	0,5	0,5
2001	1013,5	1007,2	2,008	0,789	1,218	0,8	0,8
2002	1012,3	1007,2	1,105	0,789	0,316	0,2	0,2
2003	1010,8	1006,8	-0,023	0,454	-0,476	-0,3	-0,3
2004	1009,5	1007,5	-1,000	1,041	-2,041	-1,3	-1,3
2005	1011,3	1006,3	0,353	0,034	0,320	0,2	0,2
Medias y desviaciones estándar calculadas para el período de referencia 1951-1980							
Med ref	1010,8	1006,26					
S ref	1,33	1,19			1,54		

Fuente: Preparado por JMGD con datos de NOAA (2007). Sref. , desviaciones estándar de referencia, se refieren a: la desviación estándar de la presión del mes, en Taití, en Darwin, y a la desviación estándar de las diferencias de las anomalías estandarizadas, calculadas en el período de referencia, 1951-1980 y corresponden a 1,33 hPa, 1,19 hPa y 1,54 hPa, respectivamente.

Anexo A2. Cálculo del índice IOS NOAA de Enero por JMA con presión atmosférica, hPa, de Taití y Darwin en el período 1980-2005

Cálculo de la primera normalización para calcular el IOS						IOS calculado (Tn-Dn)/S(Tn-Dn)	IOS tabulado JMA
Año	Taití, T	Darwin, D	Tn	Dn	Tn-Dn		
1980	1011,0	1005,9	0,034	-0,518	0,551	0,3	0,3
1981	1010,1	1005,1	-0,615	-1,115	0,500	0,3	0,3
1982	1012,9	1006,5	1,402	-0,070	1,472	0,9	0,9
1983	1007,8	1009,8	-2,271	2,394	-4,666	-2,7	-2,7
1984	1011,7	1007,1	0,538	0,378	0,160	0,1	0,1
1985	1011,3	1007,7	0,250	0,826	-0,577	-0,3	-0,3
1986	1010,8	1004,7	-0,110	-1,414	1,303	0,8	0,8
1987	1010,2	1007,1	-0,543	0,378	-0,921	-0,5	-0,5
1988	1011,9	1007,8	0,682	0,901	-0,219	-0,1	-0,1
1989	1012,6	1005,4	1,186	-0,891	2,077	1,2	1,2
1990	1011,1	1006,9	0,106	0,229	-0,123	-0,1	-0,1
1991	1011,8	1006,3	0,610	-0,219	0,829	0,5	0,5
1992	1009,2	1010,1	-1,263	2,618	-3,881	-2,3	-2,3
1993	1009,5	1006,8	-1,047	0,154	-1,201	-0,7	-0,7
1994	1010,8	1006,7	-0,110	0,080	-0,190	-0,1	-0,1
1995	1010,6	1007,0	-0,255	0,304	-0,558	-0,3	-0,3
1996	1011,9	1005,7	0,682	-0,667	1,349	0,8	0,8
1997	1012,6	1007,3	1,186	0,528	0,659	0,4	0,4
1998	1007,3	1007,8	-2,632	0,901	-3,533	-2,1	-2,1
1999	1012,6	1004,9	1,186	-1,264	2,450	1,4	1,5
2000	1012,3	1006,7	0,970	0,080	0,890	0,5	0,5
2001	1013,5	1007,2	1,834	0,453	1,382	0,8	0,8
2002	1012,3	1007,2	0,970	0,453	0,517	0,3	0,3
2003	1010,8	1006,8	-0,110	0,154	-0,265	-0,2	-0,1
2004	1009,5	1007,5	-1,047	0,677	-1,724	-1,0	-1,0
2005	1011,3	1011,3	0,250	-0,219	0,469	0,3	0,3
Medias y desviaciones estándar calculadas para el período de referencia 1971-2000							
Med ref	1011,0	1006,6					
S ref	1,39	1,34			1,70		

Fuente: Preparado por JMGD con datos de presiones de NOAA (2007). Sref., desviaciones estándar de referencia, se refieren a la desviación estándar de la presión del mes, en Taití, en Darwin, y a la desviación estándar de las diferencias de las anomalías estandarizadas, calculadas en el período de referencia, 1971-2000 y corresponden a 1,39 hPa, 1,34 hPa y 1,70 hPa, respectivamente.

Anexo A3. Cálculo del índice IOS de enero por fórmula de TROUP con presión atmosférica de Taití y Darwin, hPa, en el período 1980-2005

Año	Taití,T	Darwin,D	Anom T	Anom D	Dif	IOS calculado	IOS BOM
					anom		
1980	1011	1005,9	0,127	-0,542	0,668	0,32	3.2
1981	1010,1	1005,1	-0,773	-1,342	0,568	0,27	2.7
1982	1012,9	1006,5	2,027	0,058	1,968	0,94	9.4
1983	1007,8	1009,8	-3,073	3,358	-6,432	-3,06	-30.6
1984	1011,8	1007,1	0,927	0,658	0,268	0,13	1.3
1985	1011,3	1007,6	0,427	1,158	-0,732	-0,35	-3.5
1986	1010,8	1004,7	-0,073	-1,742	1,668	0,79	8.0
1987	1010,2	1007,1	-0,673	0,658	-1,332	-0,63	-6.3
1988	1012	1007,8	1,127	1,358	-0,232	-0,11	-1.1
1989	1012,6	1005,4	1,727	-1,042	2,768	1,32	13.2
1990	1011,1	1006,9	0,227	0,458	-0,232	-0,11	-1.1
1991	1011,8	1006,3	0,927	-0,142	1,068	0,51	5.1
1992	1009,2	1010	-1,673	3,658	-5,332	-2,54	-25.4
1993	1009,5	1006,8	-1,373	0,358	-1,732	-0,82	-8.2
1994	1010,8	1006,7	-0,073	0,258	-0,332	-0,16	-1.6
1995	1010,6	1007	-0,273	0,558	-0,832	-0,40	-4.0
1996	1011,9	1005,7	1,027	-0,742	1,768	0,84	8.4
1997	1012,6	1007,3	1,727	0,858	0,868	0,41	4.1
1998	1007,3	1007,8	-3,573	1,358	-4,932	-2,35	-23.5
1999	1012,7	1005	1,827	-1,442	3,268	1,56	15.6
2000	1012,2	1006,7	1,327	0,258	1,068	0,51	5.1
2001	1013,5	1007,2	2,627	0,758	1,868	0,89	8.9
2002	1012,3	1007,3	1,427	0,858	0,568	0,27	2.7
2003	1010,8	1006,8	-0,073	0,358	-0,432	-0,21	-2.0
2004	1009,5	1007,5	-1,373	1,058	-2,432	-1,16	-11.6
2005	1011,3	1006,5	0,427	0,058	0,368	0,18	1.8
Medias y desviaciones estándar, calculadas para el período de referencia 1933-1992							
Med ref	1010,83	1006,26			O,00		
S ref	----	-----			2,1		

Fuente: Preparado por JMGD con datos de BOM (2007). Sref, la desviación estándar de referencia de la serie de diferencia de anomalías de Taití y Darwin, calculada en el período de referencia, 1933-1992 y corresponde a 2,1 hPa. Las desviaciones de los meses de Taití y Darwin no se utilizan.

Anexo A4. Cálculo del índice IOS de enero por fórmula de Trenberth con presión Atmosférica de Taití y Darwin, hPa, en el período 1980-2005

Año	Taití	Darwin	Años	Taití Anual	Darwin Anual	Tn	Dn	IOS [Tn-Dn]	IOS tabulad UCAR
1980	1011,0	1005,9	1961	1012,87	1010,05	0,3	-0,6	0,9	1
1981	1010,1	1005,1	1962	1013,01	1009,40	-1,5	-1,9	0,5	0,5
1982	1012,9	1006,5	1963	1012,68	1010,25	4,1	0,4	3,7	4,1
1983	1007,8	1009,8	1964	1012,98	1009,36	-6,1	5,9	-12,0	-12,6
1984	1011,7	1007,1	1965	1012,05	1010,59	1,7	1,4	0,3	0,5
1985	1011,3	1007,7	1966	1012,27	1010,31	0,9	2,4	-1,5	-1,3
1986	1010,8	1004,7	1967	1013,17	1009,83	-0,1	-2,6	2,5	2,7
1987	1010,2	1007,1	1968	1012,73	1009,55	-1,3	1,4	-2,7	-2,8
1988	1011,9	1007,8	1969	1011,93	1010,11	2,1	2,6	-0,4	-0,4
1989	1012,6	1005,4	1970	1012,65	1009,38	3,5	-1,4	5,0	5,1
1990	1011,1	1006,9	1971	1013,33	1008,86	0,5	1,1	-0,5	-0,6
1991	1011,8	1006,3	1972	1012,21	1010,56	1,9	0,1	1,9	1,9
1992	1009,2	1010,1	1973	1013,05	1009,26	-3,3	6,4	-9,7	-10,1
1993	1009,5	1006,8	1974	1013,24	1008,83	-2,7	0,9	-3,6	-3,7
1994	1010,8	1006,7	1975	1013,66	1008,82	-0,1	0,7	-0,8	-0,9
1995	1010,6	1007,0	1976	1012,65	1009,66	-0,5	1,2	-1,7	-1,8
1996	1011,9	1005,7	1977	1011,59	1010,38	2,1	-0,9	3,1	3,1
1997	1012,6	1007,3	1978	1012,23	1009,97	3,5	1,7	1,8	1,7
1998	1007,3	1007,8	1979	1012,60	1010,22	-7,1	2,6	-9,6	-10,1
1999	1012,6	1004,9	1980	1012,23	1009,95	3,5	-2,3	5,8	6
2000	1012,3	1006,7				2,9	0,7	2,2	2,2
2001	1013,5	1007,2				5,3	1,6	3,8	3,5
2002	1012,3	1007,2				2,9	1,6	1,4	1,5
2003	1010,8	1006,8				-0,1	0,9	-1,0	-1
2004	1009,5	1007,5				-2,7	2,1	-4,7	-5,1
2005	1011,3	1006,3				0,9	0,1	0,9	0,9
Medias mensuales y desviaciones estándar anuales calculadas para el período de referencia 1951-1980									
Med ref	1010,8	1006,3							
S ref				0,50	0,60				

Fuente: Preparado por JMJD con datos de UCAR (2007). Las desviaciones estándar del mes no se utilizan, sino la desviación estándar de referencia de la **presión anual** en Taití y en Darwin, calculadas para el período de referencia, 1951-1980 y corresponden a 0,5 hPa y 0,6 hPa respectivamente.

Anexo B. Cuadro resumen: índices para cuantificar El Niño-Oscilación del Sur (ENSO)

Institución o Investigador	Índice	Variable	Período de referencia	Método de suavización o normalización	Criterio Niño Secuencia	Criterio Niña Secuencia
JMA	JMA	ATSM	1971/2000	Med móvil 5 m	6 índices = 0,5°C	6 índices = 0,5°C
Trenberth	Niño 3	ATSM	1950/1979	Med móvil 5 m	6 índices = 0,4°C	6 índices = 0,4°C
	Niño3.4	ATSM	1950/1979	Med móvil 5 m	6 índices = 0,4°C	6 índices = 0,4°C
NOAA	ONI	ATSM	1971/2000	Med móvil 3 m	5 índices = 0,5°C	5 índices = 0,5°C
	1+2; 3, 3.4 y 4	ATSM	1950-1980	Med móvil 3 m	5 índices = 0,5°C	5 índices = 0,5°C
		ATSM	1950-1980	Med móvil 3 m	5 índices = 0,5°C	5 índices = 0,5°C
SCOR WG 55	SCOR	ATSM	¿?	S, desviación estándar	4 índices = 1 S en 4 estaciones peruanas	4 índices = 1S en 4 estaciones peruanas
Purca	IOP	ATSM	¿?	Normalización	¿?	¿?
Trenberth y Stepaniak*	TNI	ATSM	1950/1979	Med móvil 5 m Normalización	Expresa evolución de El Niño	Expresa evolución de La Niña
	Ind 3.,4	ATSM	1950/1979	Med móvil 5 m Normalización	6 índices = 0,4°C	6 índices = 0,4°C
NOAA	IOS	P	1951-1980	Normalización	Varía con autores. Tendencia a emplear clases de índices térmicos	Varía con autores. Tendencia a emplear clases de índices térmicos
BOM	IOS	P	1933-1992	Normalización		
Trenberth	IOS	P	1951-1980	Normalización		
JMA	IOS	P	1971-2000	Normalización		
Wolter	MEI	P,T m,Ta, V, N	1950/1993	Normalizado	Sucesión = 0,5°C	Sucesión = 0,5°C
Kiladis y Von Loon	ATSM e	ATSM	1951-1979	Normalización Med móvil 5 m	a) 3 trimestres + y 1 trimestre = 0,5°C b) IOS - y 1 trimestre < -1	a) 3 trimestres - y 1 trimestre = - 0,5°C b) IOS + y 1 trimestre > 1
	IOS	[T-D]	1951-1979	Normalización Med móvil 5 m		
Ropelewski y Harpert	IOS	[T-D]	1951-1980	Normalización Med móvil 5 m	5 S = -0,5	5 S = + 0,5
DEOS	Niños A 1+2A; 3A, 3.4A 4A	Nivel del mar	7 cm	Normalización	¿?	¿?

Fuente: Guevara D, JM con información de diversas fuentes indicadas en la primera columna. Ejemplo de Interpretación, primera fila: El índice es JMA o Niño 3 del Servicio Meteorológico del Japón, aplicado a la región Niño 3. Emplea la anomalía de la temperatura de la superficie del mar en relación con la media del período 1971-2000. Es una media móvil de 5 meses. Un evento ENSO ocurre cuando hay una secuencia de al menos 6 índices cada uno igual o mayor que 0,5°C (un Niño) o menor que -0,5°C (una Niña). IMARPE, Instituto del Mar del Perú. P, Tm, Ta, V, N y S: Presión atmosférica, temperatura del mar, temperatura del aire, viento, nubosidad y desviación estándar del índice IOS suavizado de 5 meses, respectivamente. Purca, Sara Purca; DEOS, Department of Earth Observation and Space Systems of the Faculty of Aerospace Engineering, Delf, Netherlands

de estimación y ajuste de datos climáticos, y su más reciente,
Historia de la Escuela de Geografía de la UCV.
Correo electrónico: jmguevara@cantv.net.

ANEXO C

Fuente de datos relacionados con índices de El Niño Oscilación del Sur, ENSO

- A) **Temperatura y Anomalía de la superficie del mar en las regiones Niño; Niño 1+2; Región Niño 2; Región Niño 4; Región Niño 3.4. NOAA, CPC, Monthly Atmospheric and SST Indices.** <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices>.
- B) **Temperaturas media mensual de la superficie del mar, Anomalías, e Índices Niños del JMA en las región Niño 1+2; Región Niño 3; Región Niño 4; Región Niño 3.4 y Región Oeste. IOS.** Download El Niño Monitoring indices. Tokio Climate Center. Período:1949-2007. <http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/elniño/index/>
- C) **Índice ONI para la región Niño 3.4. NOAA, Climate Prediction Center, Cold and Warm episodes by season.** Período 1950-2007. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml
- D) **Índice Niño 3.4 de Trenberth Período(1950-1999) De UCAR.** http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/TNI_N34/index.html#Sec5
- E) **Índice TransNiño, ITN, de Trenberth y Stepaniak. UCAR Período 1950-1999** http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/TNI_N34/index.html#Sec5
- F) **Presión Atmosférica al nivel del mar, anomalía y presión estandarizada de Taití y de Darwin.** NOAA,CPC, NOAA, CPC. Monthly Atmospheric and SST Indices. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indice>

- G) **Índice de la Oscilación del Sur Troup, presión mensual de la presión atmosférica en Taití, y Darwin.** BOM, Bureau of Meteorology, National Climate Centre Climate Analysis Section. <http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtml.shtml>
- H) **Presión Atmosférica al nivel del mar, Taití.** Período(1866-2006) (filename file. Soi tah. dat) http://www.cru.uea.ac.uk/ftpdata/soi_tah.dat. Climate Research Unit, UK.
- I) **Presión Atmosférica al nivel del mar, Darwin.** Climate Research Unit, UK (Período1866-2006) (filename file.soi dar. dat). http://www.cru.uea.ac.uk/ftpdata/soi_dar.dat
- J) **Índice de la Oscilación del Sur NOAA.** Climate Research Unit, UK, Período:1866-2006 (filename file. Soi dat). <http://www.cru.uea.ac.uk/ftpdata/soi.dat>
- K) **Índice MEI.** NOAA Earth System Research Laboratory. Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time Series.<http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/List/#mei>