

Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y
Estudios Ambientales IDEAM-Subdirección de
Meteorología

18 de septiembre de 2014



*Aspectos teóricos de la Metodología del Análisis
Compuesto (AC) aplicada a estudios de
variabilidad climática*

Fragmentos tomados del Manual de usuario del software de inferencia estadística para el análisis de teleconexiones “JAZIKU”¹



Elaborado por: Inés Sánchez R.

Revisado por : Franklyn Ruiz

Xavier Corredor

VoBo. -----

Bogotá D.C., Septiembre de 2014

¹Jaziku is statistical inference software for the teleconnections analysis, (version 0.9). (2013) IDEAM, Colombia. Jaziku is a free and open source software GPLv3. <http://hg.ideam.gov.co:8000/meteorologia/jaziku/summary>

Corredor Llano X., and Sánchez Rodríguez I. C.. Jaziku - Statistical Inference Software for the Teleconnections Analysis in: Science and Technology Infusion Climate Bulletin NOAA's National Weather Service 38 th NOAA Annual Climate Diagnostics and Prediction Workshop College Park, MD, 21-24 October 2013

Contents

Contents	4
1 Acerca de la información inicial	5
1.1. Variable Dependiente	5
1.2. Variable Independiente	7
2 Análisis compuesto y Tablas de contingencia	31
2.1. Construcción e interpretación de la Tabla de contingencia	32
Bibliografía	35

Capítulo 1

Acerca de la información inicial

Con el fin de automatizar el proceso de uso de la metodología de análisis de compuesto, es necesario seleccionar las variables dependientes e independientes. Son variables dependientes, todas las variables meteorológicas que deben estar relacionadas con los principales índices de la variabilidad climática, que mas adelante se describen (variable independiente interna).

1.1. Variable Dependiente

Se trata de utilizar las variables de mayor interés en el territorio nacional, la Tabla 1.1 muestra las variables pre-definidas para el software, los valores para los cuales se estima es el rango de validez y las unidades típicas en las que deben ser incluidas las series de tiempo en Jaziku. En esta etapa el programa efectúa varias verificaciones a fin de tener la seguridad de que los valores son razonables de acuerdo con el comportamiento de las variables meteorológicas, de lo contrario se rechazan los datos [18].

Este tipo de verificación para las variables presión, humedad relativa y temperatura se corresponde con la sugerida por León (2007, [18]) en el documento: “Control de Calidad Automático de datos Meteorológicos”, la cual restringe las observaciones para que estén dentro de un conjunto de límites de tolerancia (límites blandos), que fueron seleccionados para el área comprendida entre los 30°N y -20°N, de acuerdo con las especificaciones físicas de la variable que determinan en algunos casos límites fijos, por ejemplo la humedad relativa es una variable acotada entre 0 y 100 %, o que bien se pueden referir a límites climatológicos determinados estadísticamente, que pueden variar geográfica y/o temporalmente (tomado de [18]). En el caso de las variables número de días con lluvia y de la variable precipitación se analizaron las condiciones mas usuales de la climatología para todo el país, de acuerdo al Atlas Climatológico Nacional del IDEAM[20].

Cuadro 1.1: Tipo de calculo, rango de validez y unidades típicas en las cuales la variable dependiente debe ser incluida en Jaziku

Variable	Abreviación	Unidades	Rango de variación	Modo de Calculo	Umbrales por defecto para 3 categorías	Umbrales por defecto para 7 categorías
Precipitación	PPT	mm	$0 \text{ mm} \leq \text{PPT} \leq 3500 \text{ mm}$	Promedio sin nulos	90 % y 110 %	<i>Sa: PPT ≥ 170 %</i> <i>Ma: 140 % $\leq \text{PPT} < 170$ %</i> <i>Wa: 110 % $\leq \text{PPT} < 140$ %</i> <i>Normal: 90 % $< \text{PPT} < 110$ %</i> <i>Wb: 60 % $< \text{PPT} \leq 90$ %</i> <i>Mb: 30 % $< \text{PPT} \leq 60$ %</i> <i>Sb: 0 % $< \text{PPT} \leq 30$ %</i>
Numero de días con lluvia	NDPPT	#	Numero de días que sea valido para el mes y año correspondiente, es decir, varia entre 0 a 31 para enero, a 28 o 29 para Febrero (dependiendo de si el año es bisiesto o no), a 31 para Marzo, a 30 para Abril, a 31 para para Mayo, a 30 para Junio ,a 31 para Julio, a 31 para Agosto, a 30 para Septiembre ,a 31 para Octubre, a 30 para Noviembre, a 31 para Diciembre	Promedio sin nulos	P33-P66	<i>No aplica</i>
Temperatura del aire (media, Máxima y Mínima Diaria))	TEMP, TMIN, TMAX	°C	- $15^{\circ}\text{C} \leq \text{TEMP, TMIN, TMAX} \leq 50^{\circ}\text{C}$	Promedio sin nulos	-1°C y 1°C	<i>Sa: 2.0°C $\leq T < 5.0^{\circ}\text{C}$</i> <i>Ma: 1.5°C $\leq T < 2.0^{\circ}\text{C}$</i> <i>Wa: 1°C $\leq T < 1.5^{\circ}\text{C}$</i> <i>Normal: -1°C $< T < 1^{\circ}\text{C}$</i> <i>Wb: -1.5°C $< T \leq -1^{\circ}\text{C}$</i> <i>Mb: -2°C $< T \leq -1.5^{\circ}\text{C}$</i> <i>Sb: -5°C $< T \leq -2^{\circ}\text{C}$</i>
Presión	PATM	mb	$400 \text{ mb} \leq \text{PATM} \leq 1100 \text{ mb}$	Promedio sin nulos	P33-P66	<i>No aplica</i>
% HR	AHR	-	$0\% \leq \text{AHR} \leq 100\%$	Promedio sin nulos	P33-P66	<i>No aplica</i>
Caudal	RUNOFF	m3/s	$0 \leq \text{Runoff} \leq 3000$	Promedio sin nulos	P33-P66	<i>No aplica</i>

De igual manera la variable dependiente puede ser externa, en tal caso el usuario debe definir en el runfile límites de validez, etiquetas para cada una de las fases que representan las categorías y umbrales para el análisis compuesto, así como su nombre en abreviación (ejemplo: ValorDolar=USD) (ver ??).

1.2. Variable Independiente

El clima usualmente es entendido como el conjunto de condiciones medias del tiempo atmosférico, agrupadas por épocas del año, no obstante no es usual que los valores promedios mensuales de las variables meteorológicas que los definen sean siempre estáticos, distintos fenómenos pueden influir en su variabilidad en alteraciones reflejadas a través de las anomalías climatológicas. Importantes estudios ya han sido realizados con el objetivo de identificar dichas afectaciones, no obstante un esquema muy completo de las teleconexiones más importantes para la precipitación del país es el presentado por Montealegre (2009,[21]), quien seleccionó del océano y de la atmósfera los componentes del sistema climático que mayormente inciden en la variabilidad interanual de la precipitación del país y quien igualmente aceptó como hipótesis: “que los procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala, así como la variabilidad interanual de los océanos Pacífico Tropical y Atlántico Norte y Sur tienen una significativa relación con el comportamiento de la precipitación en Colombia”, así como además examinó la sensibilidad de los índices que sintetizan estos procesos, de manera tan cuidadosa como para poder seleccionar los de mayor conveniencia para la detectar dicha asociación.

Montealegre (2009,[21]) analizó cerca de cincuenta de las variables que presentan los centros mundiales especializados, las que clasificó en 7 grandes grupos¹, así como algunas otras producto del análisis de la correlación espacial; dado que encontró que es posible que algunos de estos índices caractericen el mismo proceso desde ángulos diferentes, en su estudio evitó tal redundancia mediante un cuidadoso proceso de selección que le permitió concluir que los fenómenos de mayor afectación y sus respectivos índices más relevantes, para analizar de teleconexiones son:

Fenómeno ENOS

1. Índice de la Oscilación del sur (SOI1)
2. Índice de la Oscilación del sur (SOI_TROUP)
3. Índice Oceánico del Niño (ONI1) ,unicamente valido para resoluciones de análisis de tipo trimestrales
4. Índice Multivariado del fenómeno del Niño (MEI)
5. Índice Oceánico del Niño – corrección de 2012 (ONI2) ,unicamente valido para resoluciones de análisis de tipo trimestrales

¹(Atmosféricas, Precipitación, ENOS, Temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico, TSM en el Atlántico y De otra índole)

6. La temperatura superficial del mar en la regiones 1+2,3,3.4 y 4 (SST12, SST3, SST34 y SST4, respectivamente)
7. Anomalía de la temperatura superficial del mar en las regiones 1+2,3,3.4 y 4 (ASST12, ASST3, ASST34 y ASST4, respectivamente)
8. Anomalía de Vientos de la Alta troposfera tropical 200 mb (W200)
9. Anomalía de Vientos de la baja troposfera tropical 850 mb Pacífico oeste (W850w)
10. Anomalía de Vientos de la baja troposfera tropical 850 mb Pacífico este (W850e)
11. Anomalía de Vientos de la baja troposfera tropical 850 mb Pacífico central (W850c)
12. Oscilación del Atlántico Norte 1. Índice de la oscilación del atlántico norte (NAO)

Oscilación Cuasibienal

1. Índice de la Oscilación Cuasibienal (QBO) , velocidad del viento a 30mb

OLR – Radiación de onda larga saliente

1. Valor de la radiación de onda larga saliente (OLR)

Temperatura del mar Caribe

1. Carribbean Index (CAR),unicamente valido para resoluciones de análisis de tipo trimestrales

Piscina Cálida del mar Caribe y del hemisferio norte

1. Monthly anomaly of the ocean surface area Ocean region $>28.5^{\circ}\text{C}$ (WHWP)

Indice del dipolo del Amazonas

1. Humedad atmosférica del dipolo del Amazonas (ARH)

Del estudio de Montealegre (2009,[21]) , son tomados como sobresalientes e incluidos como variables independientes predefinidas dentro de Jaziku todas excepto la ZCIT, por no poseer índice numérico para su evaluación. A continuación se presenta un breve descripción de cada índice y las Tablas 1.2 a 1.5, informa al usuario los rangos para los cuales el software acepta su ingreso tanto para 3 como para 7 categorías, así como los umbrales utilizados por defecto para el análisis compuesto (ver 2).

Cuadro 1.2: Rango de validez en el cual la variable independiente debe ser incluida en Jaziku

Índice	Unidades	Rango de variación	Fuente	Condición por encima de lo normal	Condición por debajo de lo normal
ONI1	Anomalia [Anom-°C]	$-5 \leq \text{ONI} \leq 5^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears_1971-2000_climo.shtml	La Niña: cuando es menor o igual a -0.5[21]	El Niño: cuando es mayor o igual a 0.5[21]
ONI2	Anomalia [Anom-°C]	$-5 \leq \text{ONI} \leq 5^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml	La Niña: cuando es menor o igual a -0.5 [25]	El Niño: cuando es mayor o igual a 0.5 [25]
SOI	Anomalia estandarizada [Std Anom]	$-7 \leq \text{SOI} \leq 7^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi	El Niño: cuando es menor a -0.9*	La Niña: cuando es mayor a 0.9*
SOI_TROUP	Anomalia Estandarizada [Std Anom]	$-35 \leq \text{ONI} \leq 35^1$ [4]	http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtml.shtml	El Niño: cuando es menor a -8 [4]	La Niña: cuando es mayor a 8 [4]
W200	Anomalia Estandarizada [Std Anom]	$-7.5 \leq \text{W200} \leq 7.5^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/zwnd200	El Niño: Cuando es menor al p33*	La Niña: Cuando es mayor al p66*
W850w	Anomalia [Anom-m/s]	$-7.5 \leq \text{W850w} \leq 7.5^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/wpac850	El Niño: cuando es menor al p33	La Niña: cuando es mayor al p66
W850c	Anomalia [Anom-m/s]	$-21 \leq \text{W850c} \leq 21^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/wpac850	El Niño: cuando es menor p33	La Niña: cuando es mayor p66
W850e	Anomalia [Anom-m/s]	$-15.1 \leq \text{W850e} \leq 15.1^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/wpac850	El Niño: cuando es menor p33	La Niña: cuando es mayor p66
SST3	[°C]	$-60 \leq \text{SST3} \leq 60^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices	La Niña: Cuando es menor o igual a p33	El niño: Cuando es mayor o igual a p66

¹ Criterio: 2 veces el máximo y mínimo de la serie

*Ver descripción del índice

Nota: Estos índices son actualizados a enero de cada año y para cuando se trata de valores trimestrales (Índices CAR y ONI, por ejemplo), se hace en Marzo-Abril de cada año

Cuadro 1.3: Rango de validez en el cual la variable independiente debe ser incluida en Jaziku

Índice	Unidades	Rango de variación	Fuente	Condición por encima de lo normal	Condición por debajo de lo normal
SST4	[°C]	$-60 \leq \text{SST4} < 60^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices	La Niña: Cuando es menor o igual a p33[21]	El niño: Cuando es mayor o igual a p66[21]
SST12	[°C]	$-60 \leq \text{SST12} < 60^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices	La Niña: Cuando es menor o igual a p33[21]	El niño: Cuando es mayor o igual a p66[21]
ASST3	Anomalía [Anom-°C]	$-7 \leq \text{ASST3} < 7^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices	La Niña: Cuando es menor a -0.4 la desviación estándar (sd)[21]	El niño: Cuando es mayor a 0.4 la desviación estándar (sd)[21]
ASST3.4	Anomalía	$-5.6 \leq \text{ASST3.4} < 5.6^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices	La Niña: Cuando es menor a -0.4 la desviación estándar (sd)[21]	El niño: Cuando es mayor a 0.4 la desviación estándar (sd)[21]
ASST4	Anomalía [Anom-°C]	$-3 \leq \text{ASST4} < 3^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices	La Niña: Cuando es menor o igual a -0.4 la desviación estándar (sd)[21]	El niño: Cuando es mayor o igual a 0.4 la desviación estándar (sd)[21]
ASST12	Anomalía [Anom-°C]	$-10 \leq \text{ASST12} < 10^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices	La Niña: Cuando es menor a -0.4 la desviación estándar (sd)[21]	El niño: Cuando es mayor a 0.4 la desviación estándar (sd)[21]
OLR	Anomalía Estandarizada [Std Anom]	$-5.2 \leq \text{OLR} < 5.2^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/olr	El Niño cuando es menor a -0.1*	La Niña cuando es mayor a 0.2*
NAO	Anomalía estandarizada [Std Anom]	$-11.9 \leq \text{NAO} < 11.9$	https://climatedataguide.ucar.edu/sites/default/files/climate_index_files/nao_station_monthly.txt	Cuando es menor a -1*	Cuando es mayor a 1*

¹ Criterio: 2 veces el máximo y mínimo de la serie

*Ver descripción del índice

Nota: Estos índices son actualizados a enero de cada año y para cuando se trata de valores trimestrales (Índices CAR y ONI, por ejemplo), se hace en Marzo-Abril de cada año

Cuadro 1.4: Rango de validez en el cual la variable independiente debe ser incluida en Jaziku

Índice	Unidades	Rango de variación	Fuente	Condición por encima de lo normal	Condición por debajo de lo normal
QBO	30 mb Wind Shear [m/s]	$-40 \leq \text{QBO} \leq 40$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/qbo.u30.index	Cuando es menor a -4^*	Cuando es mayor a 4^*
CAR	Anomaly [Anom-°C]	$-1.3 \leq \text{CAR} \leq 1.3$ ¹	http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/CAR.data	Cuando es menor a p33[21]	Cuando es mayor a p66[21]
AREA_WHWP	Area anomaly scaled by $10e6 \text{ km}^{*2}$	$13 \leq \text{AREA_WHWP} \leq 14$ ¹	http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/whwp.data	Cuando es menor al p33	Cuando es mayor al p66
MEI	—	$-4 \leq \text{MEI} \leq 4$ ¹	http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html	El Niño: cuando es mayor al p66	La Niña: cuando es menor al p33
ARH	[%]	$-100 \leq \text{ARH} \leq 100$ ¹	Tomado de Montealegre (2009,[21])	Cuando es menor al p33	Cuando es mayor al p66

¹ Criterio: 2 veces el máximo y mínimo de la serie

*Ver descripción del índice

Nota: Estos índices son actualizados a enero de cada año y para cuando se trata de valores trimestrales (Índices CAR y ONI, por ejemplo), se hace en Marzo-Abril de cada año

Cuadro 1.5: Rango de validez en el cual la variable independiente debe ser incluida en Jaziku

Índice	Unidades	Rango de variación	Fuente	Categorías
ONI1	Anomalía [Anom-°C]	$-5 \leq \text{ONI} \leq 5$ ¹	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears_1971-2000_climo.shtml	Sa: $\text{ONI} \geq 1.5$ Ma: $1 \leq \text{ONI} < 1.5$ Wa: $0.5 \leq \text{ONI} < 1$ Normal: $-0.5 < \text{ONI} < 0.5$ Wb: $-1 < \text{ONI} \leq -0.5$ Mb: $-1.5 < \text{ONI} \leq -1$ Sb: $\text{ONI} \leq -1.5$
ONI2	Anomalía [Anom-°C]	$-5 \leq \text{ONI} \leq 5$ ¹	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml	Sa: $\text{ONI} \geq 1.5$ Ma: $1 \leq \text{ONI} < 1.5$ Wa: $0.5 \leq \text{ONI} < 1$ Normal: $-0.5 < \text{ONI} < 0.5$ Wb: $-1 < \text{ONI} \leq -0.5$ Mb: $-1.5 < \text{ONI} \leq -1$ Sb: $\text{ONI} \leq -1.5$
SOI	Anomalía estandarizada [Std Anom]	$-7 \leq \text{SOI} \leq 7$ ¹	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi	Sa: $\text{SOI} \geq 2.86$ Ma: $2.86 > \text{SOI} \geq 1.62$ Wa: $1.62 > \text{SOI} \geq 1$ Normal: $*1 > \text{SOI} > *-1$ Wb: $-1 \geq \text{SOI} > 1.62$ Mb: $-1.62 \geq \text{SOI} > -2.86$ Sb: $\text{SOI} \leq -2.86$
SOI_TROUP	Anomalía Estandarizada [Std Anom]	$-35 \leq \text{ONI} \leq 35$ [4]	http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml	Sa: $\text{SOI Troup} \geq 23$ Ma: $23 > \text{SOI Troup} \geq 13$ Wa: $13 > \text{SOI Troup} \geq 8$ Normal: $8 > \text{SOI Troup} > -8$ Wb: $-8 \geq \text{SOI Troup} > -13$ Mb: $-13 \geq \text{SOI Troup} > -23$ Sb: $\text{SOI Troup} \leq -23$

¹ Criterio: 2 veces el máximo y mínimo de la serie

*Ver descripción del índice

Nota: Estos índices son actualizados a enero de cada año y para cuando se trata de valores trimestrales (índices CAR y ONI, por ejemplo), se hace en Marzo-Abril de cada año

Sa: Strong above; Ma: Moderate above; Wa: Weak above; Normal; Wb: Weak below; Mb: Moderate below; Sb: Strong below

Cuadro 1.6: Rango de validez en el cual la variable independiente debe ser incluida en Jaziku

Índice	Unidades	Rango de variación	Fuente	Categorías
ASST3	Anomalía [Anom-°C]	$-7 \leq \text{ASST3}$ $\leq 7^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices	Sa: ASST > 1sd Ma: $0.6\text{sd} < \text{ASST} \leq 1\text{sd}$ Wa: $0.4\text{sd} < \text{ASST} \leq 0.6\text{sd}$ Normal: $-0.4\text{sd} \leq \text{ASST} \leq 0.4\text{sd}$ Wb: $-0.6\text{sd} \leq \text{ASST} < -0.4\text{sd}$ Mb: $-1\text{sd} \leq \text{ASST} < -0.6\text{sd}$ Sb: ASST < -1sd
ASST3.4	Anomalía	$-5.6 \leq \text{ASST3.4}$ $\leq 5.6^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices	Sa: ASST > 1sd Ma: $0.6\text{sd} < \text{ASST} \leq 1\text{sd}$ Wa: $0.4\text{sd} < \text{ASST} \leq 0.6\text{sd}$ Normal: $-0.4\text{sd} \leq \text{ASST} \leq 0.4\text{sd}$ Wb: $-0.6\text{sd} \leq \text{ASST} < -0.4\text{sd}$ Mb: $-1\text{sd} \leq \text{ASST} < -0.6\text{sd}$ Sb: ASST < -1sd
ASST4	Anomalía [Anom-°C]	$-3 \leq \text{ASST4}$ $\leq 3^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices	Sa: ASST > 1sd Ma: $0.6\text{sd} < \text{ASST} \leq 1\text{sd}$ Wa: $0.4\text{sd} < \text{ASST} \leq 0.6\text{sd}$ Normal: $-0.4\text{sd} \leq \text{ASST} \leq 0.4\text{sd}$ Wb: $-0.6\text{sd} \leq \text{ASST} < -0.4\text{sd}$ Mb: $-1\text{sd} \leq \text{ASST} < -0.6\text{sd}$ Sb: ASST < -1sd
ASST12	Anomalía [Anom-°C]	$-10 \leq \text{ASST12}$ $\leq 10^1$	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices	Sa: ASST > 1sd Ma: $0.6\text{sd} < \text{ASST} \leq 1\text{sd}$ Wa: $0.4\text{sd} < \text{ASST} \leq 0.6\text{sd}$ Normal: $-0.4\text{sd} \leq \text{ASST} \leq 0.4\text{sd}$ Wb: $-0.6\text{sd} \leq \text{ASST} < -0.4\text{sd}$ Mb: $-1\text{sd} \leq \text{ASST} < -0.6\text{sd}$ Sb: ASST < -1sd

¹ Criterio: 2 veces el máximo y mínimo de la serie

*Ver descripción del índice

Nota: Estos índices son actualizados a enero de cada año y para cuando se trata de valores trimestrales (índices CAR y ONI, por ejemplo), se hace en Marzo-Abril de cada año

Sa: Strong above; Ma: Moderate above; Wa: Weak above; Normal; Wb: Weak below; Mb:

Moderate below; Sb: Strong below

Principales índices de variabilidad climática que pueden ser utilizados:

- El índice Oceánico El Niño (ONI): Criterio del Centro de Predicción Climática, (NCEP, por sus siglas en inglés) de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, por sus siglas en inglés), 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)[12]. La fórmula más general del ONI es:

$$ONI = (A_i - 1 + A_i + A_i + 1)/3 \quad (1.1)$$

Donde, A_i , es la anomalía de la Temperatura Superficial del Mar del mes A_{i-1} , y A_{i+1} , anomalía de la Temperatura Superficial del Mar 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).

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, (para la región Niño 3.4 del Océano Pacífico ecuatorial) como una secuencia de al menos 5 ONI, cada uno con magnitud mayor o igual que 0,5 °C. Una Niña o evento La Niña, también para la región Niño 3.4 como la secuencia de al menos 5 ONI, cada uno con magnitud igual o menor que -0,5°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°C (un Niño) o igual o menor que -0,5°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 [12].

Desde diciembre de 2008 el ONI es calculado usando la versión 3b de la reconstrucción de la serie extendida de la temperatura superficial del mar (por sus siglas en inglés extended reconstructed sea surface temperature, ERSST). Una mayor información de este nuevo conjunto de datos es dada en

(http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)

- Índice Oceánico del Niño versión corregida de 2012: (Tomado de [6], la traducción es propia) Debido a la tendencia al calentamiento significativo en la región del Niño-3.4 desde el año 1950, El Niño y La Niña, que se definen por un solo período fijo de base de 30 años (por ejemplo, 1971-2000) está incorporando cada vez tendencias a largo plazo que no reflejan variabilidad interanual del ENOS. Con el fin de eliminar esta tendencia al calentamiento el CPC adoptó una nueva estrategia para la actualización del período base. Habrá múltiples períodos de base centrados de 30 años que se utilizarán para definir el ONI (como una desviación del promedio o "anomalía"). Estos períodos de base de 30 años se utilizan para calcular las anomalías de los sucesivos períodos de 5 años en el registro histórico. Entonces los valores del ONI durante 1950-1955 se basan en el período de base 1936-1965, los valores del ONI durante 1956-1960 se basan en el período de base de 1941-1970, y así sucesivamente. Esta nueva estrategia tiene dos ventajas claras:
 1. La clasificación de los episodios de El Niño y La Niña se mantendrá fija durante la mayor parte del registro histórico. Por lo tanto, los ajustes futuros al período base no modificará la clasificación de los episodios anteriores.
 2. Un período base centrado de 30 años significa que El Niño y La Niña se definen por su climatología contemporánea. Por ejemplo, el episodio de La Niña que se produjo a mediados de los años 1950 tendrán valores negativos ONI que son representativos de la climatología en ese momento y no una climatología futura.

En Jaziku el índice ONI2 (versión con la corrección de 2012) se corresponde con los episodios de al menos 5 trimestres consecutivos con valores del índice calculados por encima de (o debajo) $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. La fórmula es la misma que la del ONI1, referida a la anomalía de la TSM de los datos del ERSST.v3b (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature [29],[33],[24]) en la región El Niño 3.4 ($5\text{ }^{\circ}\text{N}$ - $5\text{ }^{\circ}\text{S}$, 120° - 170°W) pero como ya se dijo con períodos base centrados a 30 años actualizados cada 5 años.

(http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)

- Índice de la Oscilación del Sur: Los patrones de calentamiento y enfriamiento cíclicos de la atmósfera, que se desarrollan en las zonas del centro y del este del Pacífico, coexisten con un cambio significativo de la presión atmosférica a nivel del mar. Esta diferencia de presión corresponde a la denominada Oscilación del Sur (OS).

Cuando la presión atmosférica aumenta en el lado este del Pacífico (y desciende en el lado oeste), se dice que la OS está en su fase positiva (La Niña). Por el contrario, cuando la variación de la presión atmosférica cambia de sentido hacia la fase negativa (El Niño), la presión se eleva en el oeste y disminuye en el este. Esta alternancia entre las fases positiva y negativa del SOI, contribuye

a cambiar la intensidad de la circulación de los vientos descritos anteriormente, debido a que un aumento/ disminución de esta diferencia de presión causa que el aire superficial, que normalmente sopla hacia el oeste, se intensifique/ debilite dependiendo del signo del SOI imperante.

El Índice de Oscilación del Sur (SOI, por sus siglas en ingles), utiliza los registros de presión atmosférica de las estaciones meteorológicas de Darwin–Australia (lado oeste del Pacífico) y Papeete– Tahití (lado este del Pacífico). El SOI es negativo cuando los valores de presión atmosférica son relativamente más altos que la media normalizada sobre Indonesia y Australia (estación meteorológica de Darwin), y más bajos que la media normalizada sobre la Polinesia Francesa (estación meteorológica de Papeete). Si al mismo tiempo, se observan TSM más cálidas que lo normal sobre el Pacífico ecuatorial central y oriental, y ambas condiciones se mantienen por unos meses, podemos decir que nos encontramos en presencia de un evento El Niño en pleno desarrollo (tomado de [12]). Las anomalías de este índice son basadas respecto al periodo 1981-2010 y el SOI es calculado de la siguiente manera [8]:

$$\text{StandardDeviationTahiti} = \text{SQRT}(\text{SUMMATION}(1)/N) \quad (1.2)$$

Donde SUMMATION(1) es la suma de todos los ((TA) ** 2), N es el numero de meses y TA es la anomalía en Tahití, calculada como:

$$(\text{actual}(\text{SLP}) - \text{mean}(\text{SLP})) \quad (1.3)$$

Donde SLP es el la presión a nivel de superficie. Luego el valor de estandarizado de la anomalía en Tahití SLP y la desviación estándar en Darwin (Standard Deviation Darwin) son dados como:

$$\text{StandardizedTahiti} = (\text{ActualTahiti}(\text{SLP}) - \text{MeanTahiti}(\text{SLP})) \quad (1.4)$$

$$\text{StandardDeviationDarwin} = \text{SQRT}(\text{SUMMATION}(1)/N) \quad (1.5)$$

Donde de nuevo SUMMATION(1) es la suma de todos los ((DA) ** 2), N es el numero de meses y DA es la anomalía en Darwin, calculada como:

$$\text{Darwinanomaly} = (\text{actual}(\text{SLP}) - \text{mean}(\text{SLP})) \quad (1.6)$$

El valor de estandarizado de la anomalía en Darwin SLP y la desviación estándar en Darwin) son dados como:

$$\text{StandardizedDarwin} = (\text{ActualDarwin}(\text{SLP}) - \text{MeanDarwin}(\text{SLP})) \quad (1.7)$$

Por lo tanto para calcular la desviación estándar media se usa:

$$\text{MonthlyStandardDeviation}(\text{MSD}) = \text{SQRT}(\text{SUMMATION}(3)/N) \quad (1.8)$$

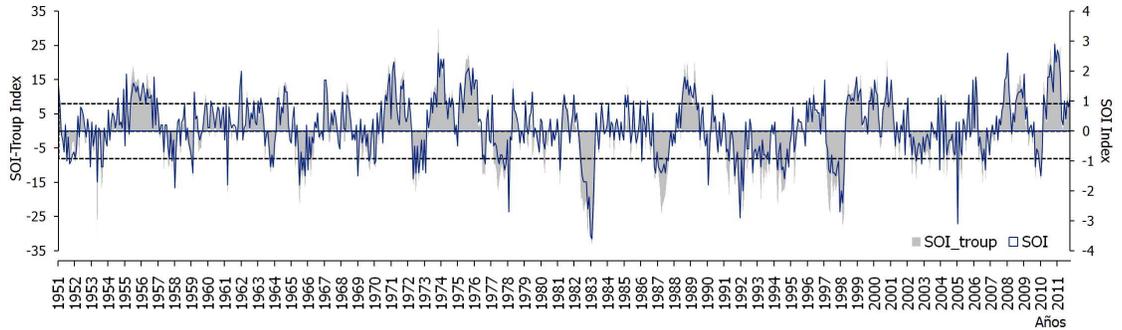


Figura 1.1: Índice de oscilación del sur, formulas SOI-Troup y SOI, note que la variabilidad es muy similar. Bandas de ± 8 que determinan las fases El Niño/La Niña del índice SOI-Troup.

En esta ultima expresión SUMMATION(3) es la suma de ((Standardized Tahiti - Standardized Darwin) ** 2), para que finalmente la ecuación del índice SOI sea:

$$SOI = (StandardizedTahiti - StandardizedDarwin)/MSD \quad (1.9)$$

Para determinar los umbrales que definen las categorías El Niño/La Niña, en la Fig.1.1, se muestra la serie de los índices SOI y SOI-Troup. Para este último es conocido que valores de ± 8 son los adecuados para determinar las categorías. Puede verse que la variabilidad de los índices prácticamente idéntica, cambiando como es de esperarse por el orden de magnitud. De acuerdo a esto se infiere a partir del rango de variación del índice SOI-Troup (-35,35) y el del índice SOI (-3.6 ,3.6), los valores de los umbrales utilizados por defecto en Jaziku deben ser -0.9 y 0.9 respectivamente.

- Índice de la oscilación del sur - SOI Troup: En Jaziku la versión del índice SOITroup, se corresponde con la utilizada por la Oficina de Meteorología del Gobierno Australiano [4], es calculado utilizando las diferencias de presión entre Tahití y Darwin, de tal manera que valores negativos inferiores a -8 a menudo indican episodios de El Niño (y lo contrario para La Niña), los que suelen ir acompañados de calentamiento sostenido de la parte central y oriental del Pacífico tropical y una disminución en la intensidad de los vientos alisios del Pacífico [4]. El índice SOITroup es la anomalía estandarizada de la diferencia de presión media al nivel del mar entre Tahití y Darwin, sigue la siguiente fórmula:

$$SOI = 10 \frac{[Pdiff - Pdiffav]}{SD(Pdiff)} \quad (1.10)$$

Donde Pdiff = (Presión media al nivel del mar en Tahití para el mes) - (Presión media a nivel del mar para el mes en Darwin) Pdiffav = Promedio de largo plazo de pdiff para el mes en cuestión SD (pdiff) = Desviación estándar a largo plazo de Pdiff para el mes en cuestión.

Aquí los valores promedio mensual multianual y los valores de las desviaciones estándar son calculadas referidos al período 1933 a 1992. La multiplicación por 10 es una convención [4], sin embargo con esta operación matemática el SOI fluctúa entre -35 a aproximadamente 35 y permite además que el valor del índice pueda ser citado como un número entero.

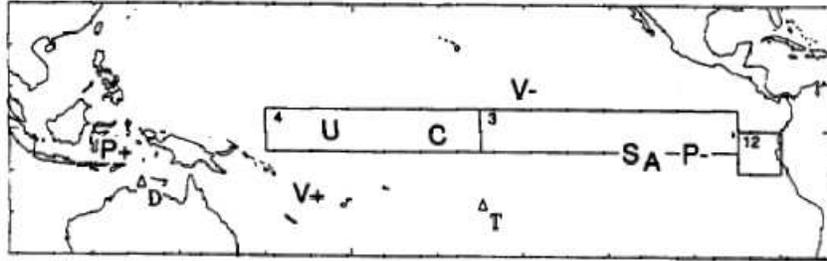
El cálculo del IOS es de resolución mensual, sus valores diarios o semanales no transmiten mucha información útil sobre el estado actual del clima [4] y en particular pueden variar marcadamente debido a los patrones diarios del tiempo, por lo que en consecuencia no son aconsejables para estudios con fines climatológicos [4].

- Índice Multivariado del ENSO(MEI): Es un complejo índice diseñado por Klaus Wolter (1987[32]) de NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center (CDC), para reconocer el fenómeno de El Niño- Oscilación del Sur, ENSO. Este índice emplea como componentes principales las 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[32]) en la Fig.1.2 . Según Wolter (1987[32]) y Wolter & Timlin (1993[?]) 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. En este caso índices con signos positivos representan la fase caliente del ENSO (El Niño) y los negativos del MEI, la fase fría (La Niña) (Tomado de [12]).

En la Fig.1.2 :

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



Fuente: Wolter y Timlin (1998).

Figura 1.2: Sitios de observación del MEI

U, la anomalía de la componente zonal del viento.

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

SA, ubicación de la temperatura media de la superficie del mar .

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

T, Taití y D, Darwin.

1; 2; 3; 4, las regiones El Niño 1+2; 3, y 4, respectivamente.

Para incluir la serie de tiempo del índice MEI, se aconseja al usuario utilizar las series de rangos del MEI disponible desde enero de 2001 en : <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei.ext/rank.ext.html>. Para interpretar esta nueva forma del índice se pueden utilizar los terciles o los quintiles, en este caso son usados los terciles, marcando positivo (fase El Niño) a los valores por encima del percentil 66, siendo negativo (fase La Niña) para valores por debajo del percentil 33 [9].

- Índice de la anomalía de Radiación de Onda Larga saliente: Las estimaciones del flujo radiativo en el tope de la atmosfera, además de ser muy útiles en los estudios de balance radiativo , para lo que originalmente fueron destinadas [22], también son de utilidad para la comprensión y monitoreo de los cambios en la circulación tropicalmente, especialmente cuando estos cambios están asociados al fenomeno ENOS. En los trópicos los valores de la OLR están fuertemente influenciados por la nubosidad y varían de acuerdo a la temperatura al tope de la atmosfera, de manera que en las zonas de intensa o frecuente convección (como zonas de monzones o de la ZCIT), son esperados valores bajos de la OLR, mientras que en zonas de escasa nubosidad (como de vientos alisios o en el este pacifico tropical), son esperados valores relativamente altos de la OLR. Estas propiedades de la OLR hacen que sean usadas para la estimación de la intensidad de la actividad convectiva y desde luego de la precipitación convectiva [22].

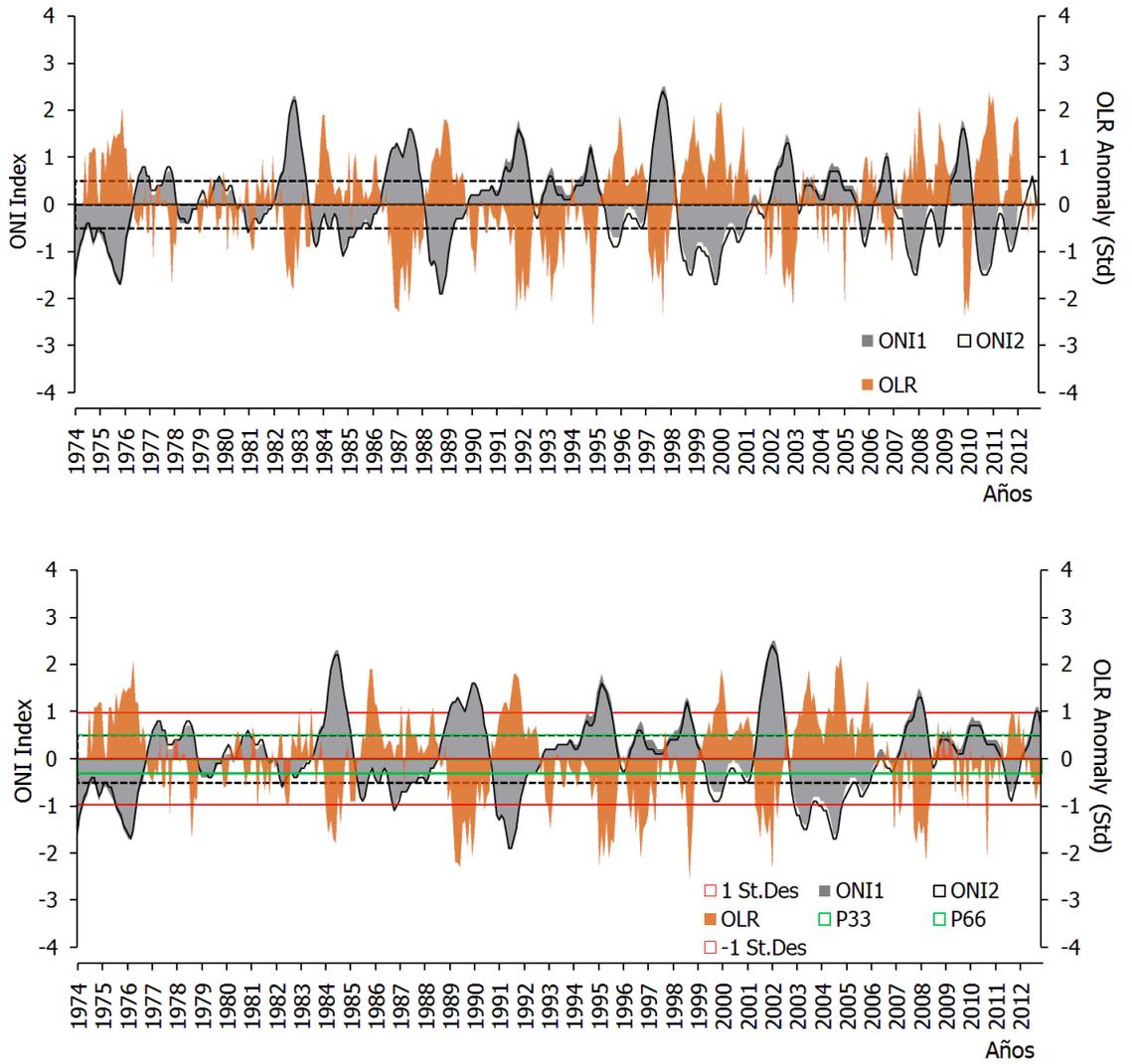


Figura 1.3: Series de tiempo del Índice ONI y de la anomalía de la OLR, en contraste con los intervalos de percentiles y desviaciones estándar de la serie de la anomalía de OLR, para fases El Niño /La Niña

En Jaziku esta variable se refiere a la radiación emitida de onda larga por el tope de las nubes en el océano Pacífico tropical, de acuerdo a lo anterior es una medida de la temperatura de ese tope nuboso y la actividad convectiva. Donde la OLR es negativa el tope de la nube es alto, indicando la presencia de convección y potencialmente, zonas más lluviosas, lo que en efecto está relacionado con la cobertura de nubes típica de una fase El Niño; Mientras que si la OLR es positiva, son restringidas las convecciones, la nubosidad y las posibilidades de precipitación [12], lo cual está asociado a condiciones La Niña. Esta relación se explica porque más (menos) actividad convectiva en la zona central y oriental del Pacífico ecuatorial implica un mayor (menor) enfriamiento (calentamiento) en el tope de las nubes, las cuales emiten mucho menos (más) radiación infrarroja hacia el espacio [1].

Estos datos son tomados por el sistema AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer, por sus siglas en inglés) del satélite de órbita polar de la NOAA17 y NOAA18 [1], en el área centrada a través del pacífico ecuatorial entre los 160°E a los 160°W de longitud. Los datos son convertidos en anomalía estandarizada [1], referida al periodo 1979-1995 [1]. A fin de determinar los umbrales que permiten establecer la categorías por encima de lo normal (La Niña) y por debajo de lo normal (El Niño), en la Fig.1.3, es mostrada la serie en contrastación con el Índice ONI y los valores de su desviación estándar y los percentiles 33 y 66 (p33 y p66, respectivamente). Nótese que en general la respuesta del índice se da de manera más inmediata para condiciones El Niño, puesto que para condiciones La Niña, incluso hay un rezago de algunos días a semanas, en la respuesta de la variable.

También se puede resaltar que la desviación estándar resulta ser un umbral demasiado alto y solo sería aplicable para eventos extremos. Finalmente en Jaziku son tomados por defecto los valores -0.1 y 0.2, por ser los valores positivo y negativo más pequeños y diferentes de cero, en los que se marco una anomalía de la OLR coincidente con la fase El Niño y La Niña, respectivamente, los percentiles 33 y 66 (-0.3 y 0.5, respectivamente), pueden ser también una buena opción, no obstante algunas fases moderadas del fenómeno no sería tenidas en cuenta.

- Temperatura superficial del mar en las regiones El Niño 1+2,3 y 4: Valioso indicador de la estructura térmica de la capa superior de los océanos. En consecuencia, se utiliza la TSM como variable explicativa de esta dinámica tomando en consideración también que esta variable está estrechamente relacionada con los procesos convectivos que se generan en la atmósfera que se yace sobre ella. Para la vigilancia de la variabilidad de la TSM en la franja tropical del Pacífico, se han establecido cuatro regiones muy bien definidas a saber (ver Fig. 1.4): Occidental (región Niño 4), Central (región Niño 3), Centro-occidental: (región Niño 3-4) y Oriental: (región Niño 1+2). En cada una de estas regiones se mide la temperatura de la superficie del mar en grados Celsius [21].

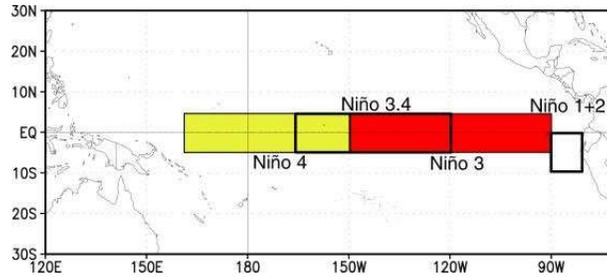


Figura 1.4: Regiones el Niño (Graphical depiction of the four Niño regions). Tomado de: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/nino_regions.shtml

Analizadas las estadísticas descriptivas de las variables explicativas y de sus relaciones de asociación, los ciclos y frecuencias comunes, la complejidad del proceso físico involucrado, el grado de asociación con las precipitaciones, su variabilidad y algunos otros aspectos clasificatorios, Montealegre 2009 [21] encontró que para el desarrollo del análisis Compuesto la TSM del Pacífico tropical centro occidental, (El Niño - región N-34) es uno de los índices más adecuados.

En Jaziku las series de temperatura superficial del mar utilizadas, se corresponden con la deducidas por el proyecto OISSTv2 (NOAA Optimum Interpolation (OI) Sea Surface Temperature (SST) V2, por sus siglas en inglés), con datos que comienzan en enero de 1982 y van hasta la actualidad [7], de resolución mensual y actualizadas mes a mes por la NOAA ². En los cálculos de los resultados del proyecto OISSTv2 se utilizan mediciones de la TSM in situ y por satélite, además de datos de TSM simulados por cobertura de hielo marino [10]. Antes de llevar a cabo la interpolación, los datos de satélite son ajustados utilizando el método de Reynolds (1988, [26]) y Reynolds y Marsico (1993,[27]), una descripción más completa de la interpolación óptima es dada en Reynolds y Smith (1994,[28]) y Reynolds, et al (2002,[25]).

En Jaziku por defecto la categoría por encima de lo normal asociada a una fase El Niño o por debajo de lo normal a la fase La Niña, son definidas por los percentiles 66 y 33 respectivamente, lo que en efecto es muy apropiado para análisis de teleconexiones por cambios en la estructura térmica de la capa

²Según el CPC [7], si se está interesado en valores históricos anteriores a enero de 1982, debe ser consultada la base de datos mensual del proyecto ERSST.V3B que también es actualizada a nivel mensual, pero que no es incluida en Jaziku, sin embargo el ONI versión de 2012 puede ser una opción para análisis que incluyen este periodo

superior del océano Pacífico tropical, para casos de estudio más específicos es recomendado el uso del índice ONI2.

- Anomalía de la Temperatura superficial del mar en las regiones El Niño 1+2,3 y 4: Adicional a las mediciones de TSM calculadas por OISSTv2, son determinadas sus anomalías, evaluadas como la diferencia entre un valor mensual cualquiera y su promedio climatológico o valor normal en el periodo 1982-2010. Como El Niño y La Niña son fenómenos de carácter oceánico, la comunidad científica ha desarrollado una gran cantidad de índices para caracterizar estos fenómenos. Probablemente los más utilizados en la actualidad son las anomalías de TSM en las regiones Niño 3 y Niño 3-4 [21]. Las categorías por debajo y encima de lo normal por defecto, son definidas por los percentiles 66 y 33 de la misma manera que para las variables SST12,SST34 ... (etc).
- Índice de la anomalía del viento a 200 hPa : Permite apreciar el patrón del viento zonal en la alta troposfera (200 hPa) en comparación con el flujo al nivel isobárico de 850 hPa, a razón de 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. (Tomado de [12]). Según Wang (2000,[31]) Las anomalías del viento zonal también muestran una fuerte señal ENSO en la troposfera superior del océano Pacífico ecuatorial oriental , en general un calentamiento (enfriamiento) de la TSM en el Pacífico ecuatorial oriental se asocia con anomalías en los vientos del este (oeste) en la troposfera superior del océano Pacífico ecuatorial oriental , lo mismo que condiciones anómalamente negativas(positivas) de la Oscilación del Sur (OS), que están relacionadas con una fase El Niño (La Niña) y consecuentemente con anomalías positivas (negativas) de la TSM en el Pacífico tropical, están fuertemente relacionadas con circulaciones anticiclónicas (ciclónicas) anómalas cerca al Ecuador en 200 mb (Arkin 1979 ,[2]).

En Jaziku los datos de esta variable interna, se corresponden con los tomados del CPC y son el resultado del promedio, de los promedios diarios de la anomalía del viento zonal en el área comprendida por 5°N-5°S y 165°W-110°W y referida al periodo 1979-1995, para los que un valor positivo del índice de viento zonal a 200mb implica una anomalía oeste. Con intervalos de 7 a 15 días, este índices es pronosticado por la NOAA , atreves del modelo GFS(Global Forecast System), cuyos resultados son mostrados en la paginas http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/zw/mrf.200.shtml

Según Arkin (1982, [2]), valores positivos de la anomalía están asociados a condiciones La Niña, mientras que negativos con condiciones El Niño, a fin de establecer los umbrales para la selección de las categorías por encima y por debajo de lo normal, en las Figs. 1.5, es mostrada la serie de la anomalía en función de los índices ONI e IOS (y los umbrales +/- 0.5 y +/-8, para cada índice), así como la serie misma, pero indicando en rojo una vez (y menos una

veces) la desviación estándar de la serie y en verde los percentiles 33 y 66 (p33 y p66, respectivamente). El análisis de las graficas permite concluir que para valores de +/- 0.5 del índice ONI y +/-8 del índice IOS, siempre la anomalía del viento en altura estuvo por encima de 0.1 (o por debajo de -0.1), así como que para condiciones El Niño, siempre hay un retraso de algunos días, mientras que para condiciones La Niña se da manera inmediata³, por lo que se considero utilizar los percentiles 33 y 66 de la serie, ratificando que para condiciones claras y establecidas de El Niño (o La Niña), la anomalía siempre estuvo por debajo de -0.4 (o encima de 0.4, respectivamente) y descartando algunos de los múltiplos de la desviación estándar, por ser un umbral demasiado alto. Cabe aclarar que la amplia variabilidad del índice hace que en meses (hasta trimestres) aislados y no relacionados con fases El Niño/La Niña según el ONI, se den condiciones por encima o por debajo de lo normal, para ello es recomendable que análisis asociadas al fenómeno ENOS se realicen de manera separada o en función del índice IOS únicamente.

- Anomalía de velocidad zonal del viento en 850 mb: Entre los índices que representan la anomalía de la circulación de Walker producida por el fenómeno ENOS (Bjerknes, 1969 [5]), esta la anomalía en 850-mb de los vientos alisios que representa el comportamiento cerca de la superficie, a diferencia de la anomalía zonal de los vientos a 200-mb en el Ecuador, que representa el comportamiento de la alta troposfera⁴, encontró que anomalías del viento a 850 mb en la región comprendida por las coordenadas 5° S–5° N, 120°–170° E del pacifico oeste, inducen anomalías de la TSM en la region El Niño 3 por hasta cuatro meses de rezago, mientras que mientras que las máximas correlaciones entre las anomalías del viento zonal del Pacífico oriental (region entre 5S-5N, 150–100W) y las anomalías de la TSM en la region el Niño3 se da para cero meses de rezago, con lo que el autor pudo concluir que la relación principal entre las anomalías en los vientos del oeste del Pacífico y las anomalías de TSM Nino-3 indica que el Pacífico occidental es una región importante para la inicialización de el fenómeno de El Niño [31].

Con el objetivo de que el usuario pueda tener la posibilidad de utilizar el software para explorar la relación entre la anomalía zonal del viento en cualquier región del Pacífico tropical en Jaziku son incluidas las series de la anomalía del viento a 850mb de las tres zonas ⁵, listadas a continuación y referidas a la

³Atendiendo a +/- 8 como limites del índice IOS para determinar una fase El Niño/La Niña). No obstante, no siempre que la anomalía está por encima de 0.1 (o por debajo de -0.1), se dio una fase La Niña (o El Niño, respectivamente)

⁴• Se ha demostrado que tales anomalías en los trópicos tienen efecto globales, ver Arkin 1979,[2]). En particular Wang (2002,[31]

⁵Que son congruentes con las zonas mostradas por Wang 2002[31]

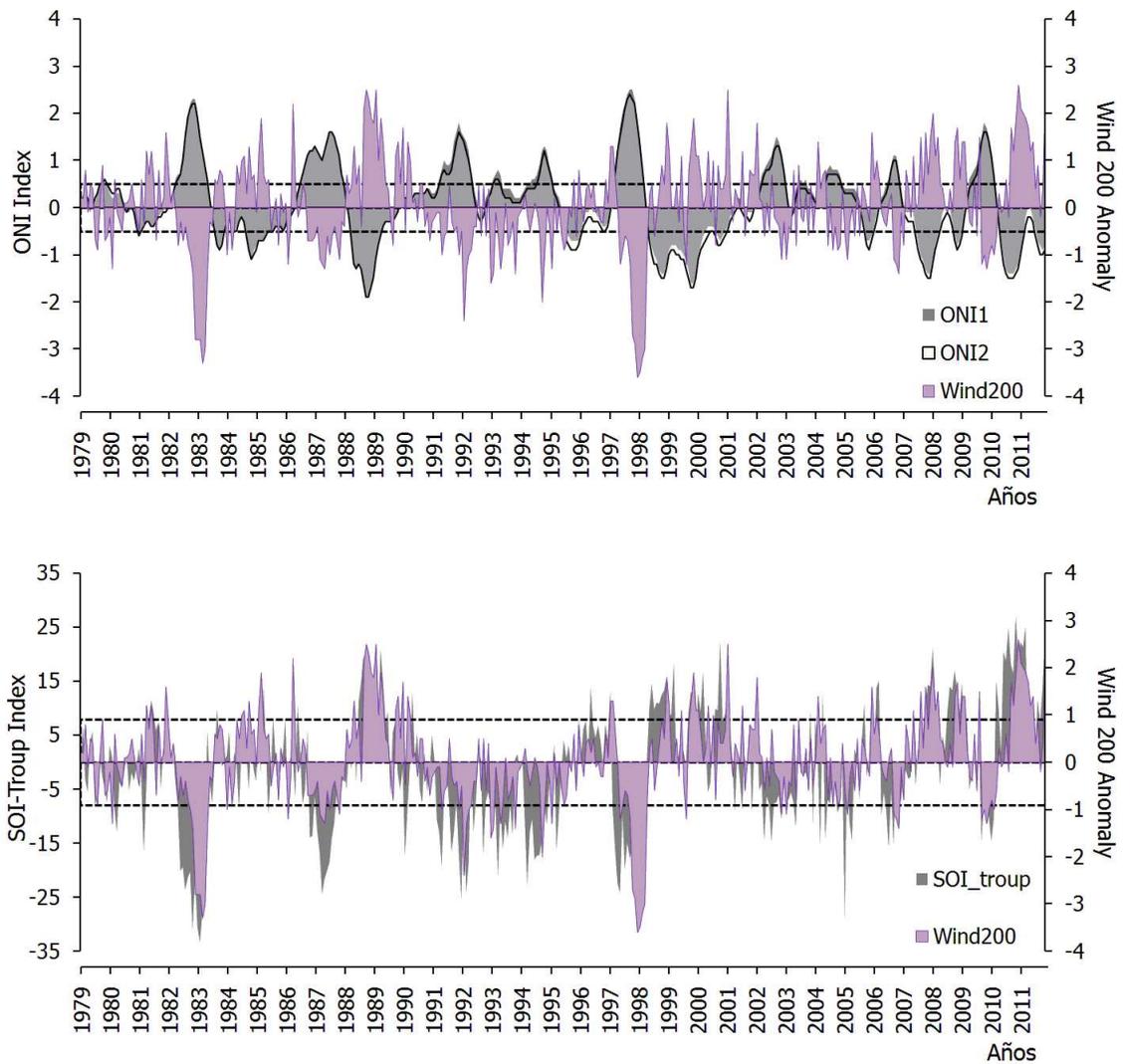


Figura 1.5: Series de tiempo del Índice ONI y de la anomalía del viento a 200 mb (W200), en contraste con los intervalos de percentiles y desviaciones estándar de la serie de W200, para fases El Niño /La Niña

climatología entre 1979-1995 [8]:

Pacífico oeste (135°E-180°W) 5°N-5°S

Pacífico central (175°W-140°W) 5°N-5°S

Pacífico este (135°W-120°W) 5°N-5°S

Las categorías por debajo y por encima de lo normal de esta variable, por defecto son definidas por los percentiles 33 y 66 de la serie (respectivamente). Para estudios de caso más específicos, se recomienda al usuario utilizar el índice ONI y su definición para las categorías El Niño / La Niña y determinar los umbrales más apropiados para capturar el cambio de la variable en función de las fases del fenómeno (ver 1.2,??).

- Índice de la Oscilación del Atlántico Norte: este fenómeno es un subí y baja a gran escala en la presión barométrica de las masas de aire atmosférico, situadas entre dos celdas, la de la alta presión subtropical del Atlántico (Azores), ubicada a los 38° de latitud y la baja presión polar del Ártico (Islandia) a los 60° de latitud. Esta oscilación tiene dos fases que se expresan mayoritariamente en invierno. La fase positiva sucede cuando las presiones barométricas del anticiclón de las Azores son más altas con respecto al valor promedio, mientras que las presiones en Islandia son aún más bajas de lo normal. Ésta marcada diferencia de presión intensifica los vientos del Oeste entre los 50° y 60° de latitud Norte produciendo tormentas que cruzan el Atlántico en dirección Nordeste [23]; Durante la fase negativa, las diferencias de presión entre las Azores e Islandia son menores. El "anticiclón" de las Azores está débil y la celda ciclónica de Islandia se encuentra poco activa; ambas se sitúan en latitudes más al Sur y, en consecuencia, los vientos del Oeste son más tenues y aportan menos humedad y calor sobre el Norte de Europa. La NAO fue identificada por primera vez en a principios del siglo XX por Sir Gilbert Walker (1924), según Hurrell & Deser (2009), no hay forma única para definir la estructura espacial de la NAO, según los autores no hay ningún índice universalmente aceptado para describir la evolución temporal del fenómeno. Hurrell y Deser, resaltan que entre los índices más modernos de la NAO se encuentran los que son derivados de la diferencia en superficie de las anomalías de presión entre algunas ubicaciones del norte y del sur del Atlántico norte (Stykkisholmur (Islandia) y Ponta Delgada (Azores), o Reykjavik [16]) y otros como los que utilizan la componente principal de la serie de tiempo de presión a nivel del mar [14]. Reconociendo las desventajas de utilizar índices deducidos de datos en superficie como la influencia de la escala sinóptica, en Jaziku es utilizado por defecto el índice de la NAO, deducido por Hurrell (1995, [15])⁶

6

• otro índice de interés puede ser el basado en la componente principal y análisis de las Funciones Ortogonales Empíricas sobre el sector 20 ° -80 ° N, 90 ° W-40 ° E [14]

(http://climatedataguide.ucar.edu/sites/default/files/cas_data_files/asp-hilli/nao_station_monthly_2.txt)

Este índice es la diferencia de presión normalizada a nivel del mar (SLP) entre Lisboa, Portugal y Stykkisholmur / Reykjavik, Islandia desde 1864⁷. Los valores positivos del índice NAO son típicamente asociados con valores por encima del promedio al oeste en las latitudes medias, con sistemas meteorológicos más intensos en el Atlántico Norte y buen tiempo sobre el oeste de Europa [30]. Con el objetivo de evitar que la serie este dominada por la una mayor variabilidad cada presión media mensual fue dividida por el promedio a largo plazo de la desviación estándar en el periodo 1865-1984 y los umbrales seleccionados para las categorías por debajo y encima de lo normal son 1 y -1, de acuerdo al uso que le dio Hurrell(2000, [13]) en el 12th Annual Symposium of National Academy of Sciences (Irvine), para distinguir las fases positiva y negativa, no obstante el usuario puede utilizar otros de su mayor preferencia.

- Índice de la Oscilación Cuasibienal: la QBO es una oscilación de largo plazo en el viento zonal de la baja y media estratosfera ecuatorial, con un período irregular que varía entre un poco menos de dos años (22 meses) y hasta casi tres años (34 meses), con una duración media de 28 meses [19]. Consiste en la alternancia de vientos del Este, dominantes durante una parte del período, con vientos del Oeste en el resto del período .

La Oscilación es detectable en casi todas las capas de la alta troposfera. Según Camargo y Sobel (2010,[17]), quienes utilizando el índice de la anomalía del viento a 30 mb desarrollado por The University of Berlin y disponible en : [http://www. geo.fu-berlin.de/en/ met/ag/strat/ produkte/qbo/ index.html](http://www.geo.fu-berlin.de/en/met/ag/strat/produkte/qbo/index.html)), que es un conjunto de datos construido a partir de observaciones de radiosonda de algunas estaciones en la franja ecuatorial (Canton Island, Gan/Maldive Islands, y Singapore), el índice del National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Prediction Center (NOAA/CPC) QBO index (disponible en [http://gcmd.nasa.gov /records/GCMD_ NOAA _NWS_ CPC _QBO.html](http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_NOAA_NWS_CPC_QBO.html)) así como composiciones desde 10°S a 10°N de los reanálisis del NCEP-NCAR (National Centers for Environmental Prediction–National Center for Atmospheric Research) y del European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ERA40 , en sus periodos disponibles y para las capas de 70, 50, 30, 20, and 10 hPa, establecen que el uso de la velocidad del viento zonal a 30hpa es apropiado para definir las fases de la QBO (tal cual como lo dice Gray (1984a,b)), puesto que el uso de otros niveles en su estudio si bien puede generar cambios importantes en los resultados no hay relación estadísticamente significativa entre la actividad ciclónica y los valores del viento zonal a otros niveles de presión. Teniendo en cuenta esto en Jaziku por defecto es usada esta variable como independiente para la definición de la QBO. Estos datos se

⁷En abril de 2003, la estación de Ponta Delgada dejó de operar, por ello a partir de tal fecha son utilizados los resultados del reanálisis del NCEP / NCAR para la rejilla , puesto que la correlación entre las series de datos observacionales de Ponta Delgada y aquellos construidos con NCEP / NCAR - reanálisis es de $\sim 0,99$ en el periodo 1948-2003 [30]

corresponden con los derivados del CDAS (Climate Data Assimilation System) y colcados a disposición por el NCEP/NCAR, aunque se resaltan otros estudios de interés en los que en vez de utilizar la velocidad zonal del viento en altura, es utilizada cizalladora del viento como lo hace Huesmann & Hitchmann (2001,[3]) quienes reportan las ventajas de utilizar un índice espacializado, respecto a uno de una estación puntual. Teniendo en cuenta que la amplitud de la QBO es de 20 m/s desde 5 hPa hasta 40 hPa pero decreciendo rápidamente a presiones por encima 50 hPa, detectables únicamente con radiosonda a por encima de 10 hPa e incluso llegando a ser de 5 m/s² en 1 hPa cerca a la estratosfera [19], los umbrales que sirven para establecer las categorías por debajo y por encima de lo normal de esta variable en Jaziku son de 4 m/s, que equivalen a 1/5 de la máxima amplitud y es muy cercana a la amplitud mínima para la detección de la oscilación en la capa más alta de la atmósfera.

- Temperatura del Mar Caribe: El índice CAR es el único que no hace referencia a una región extra-tropical del mar Caribe y que se representa directamente la variación de una variable de la superficie del mar. Este índice corresponde a las series de tiempo de las anomalías de la temperatura superficial del mar Caribe en la región mostrada en la Fig.1.6. Los datos son obtenidos del conjunto de datos del COADS entre 1951 y 1991, y de 1991-1951 del NCEP (disponible en <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/#CAR>). El índice se construye de la media suavizada por tres meses. Para efectos prácticos, se ha encontrado que este índice es pronosticado cada mes mediante un modelo inverso lineal ⁸(ver <http://www.esrl.noaa.gov/psd/forecasts/sstlim/forcar.html>) con resultados aceptables cada 3 meses (ver Fig.1.6)

- Piscina cálida del mar Caribe y del hemisferio norte: El índice de la anomalía de la isoterma de 28.5, lo que es reconocido como la piscina cálida del Atlántico (AWP) ocupa el Golfo de México, el Mar Caribe y el oeste del mar en la zona tropical del Atlántico Norte (TNA), su ciclo anual alcanza el máximo a fines del verano boreal. Teniendo en cuenta los efectos dominantes de El Niño y la variabilidad del gradiente Atlántico tropical meridional sobre la lluvia en el invierno y la primavera boreal, no es de extrañar la AWP juegue algunos roles en la distribuciones de las precipitaciones de verano en sus regiones circundantes. La AWP también

⁸Penland, C and Ludmila Matrosova (1997), On the prediction of tropical Atlantic sea surface temperatures, Proc. 21st Climate Diagnostics Workshop, Huntsville AL, 28 Oct. - 1 Nov, 1996

Penland, C., and L. Matrosova (1998), Prediction of tropical Atlantic sea surface temperatures using Linear Inverse Modeling, J. Climate, 483-496, March 1998

Penland, C., and L. Matrosova (2001), Expected and Actual Errors of Linear Inverse Modeling Forecasts, Monthly Weather Review, 129, 1740-1745

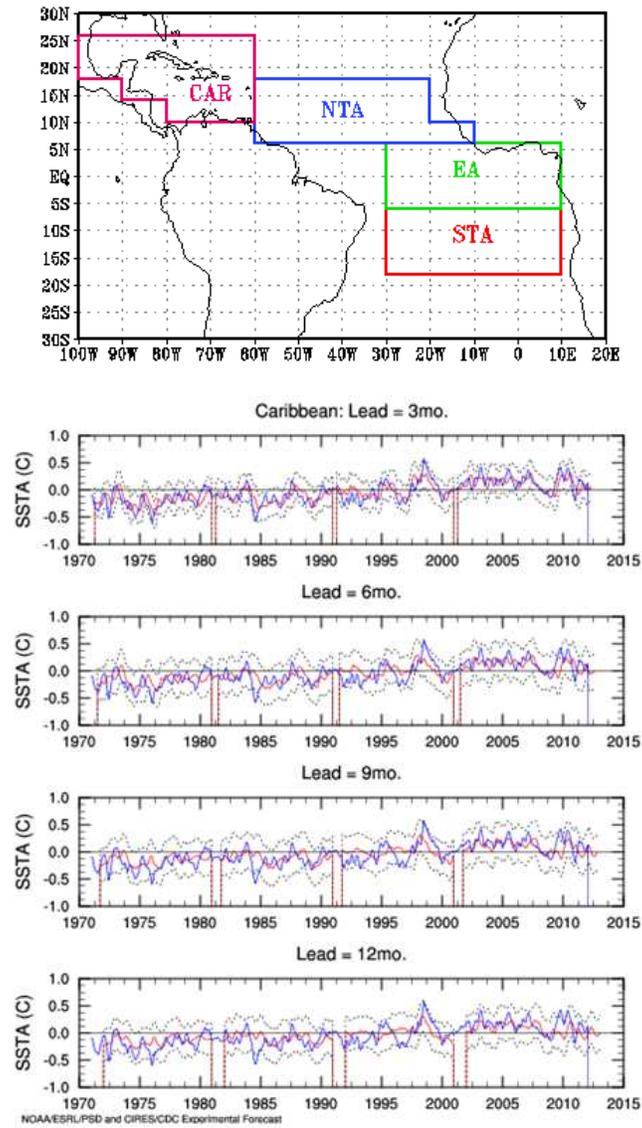


Figura 1.6: Ubicación de la zona tomada para la deducción del índice CAR (izq) y evaluación de los pronósticos de este índice (der) . Tomados de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/#CAR>

es conocida como la piscina cálida del Hemisferio Occidental (WHWP) y comprende la región cubierta por el agua más caliente que $28,5^{\circ}\text{C}$, se ha encontrado que sufre grandes variaciones anuales e interanuales en su área (Wang y Enfield 2001, 2003). El umbral de $28,5^{\circ}\text{C}$ fue escogido porque a escala troposférica facilita la convección profunda así como porque, a la profundidad de la isoterma de $28,5^{\circ}\text{C}$ en esta región se está muy cerca a la profundidad de la capa de mezcla.

A diferencia de la piscina cálida del Indo-Pacífico (Webster y Lukas, 1992), que se extiende a ambos lados del ecuador, la WHWP se encuentra en su totalidad al norte del ecuador. Intercalado entre Norte y Sur América y entre la zona tropical del Pacífico Norte y el Océano Atlántico. Según (Wang & Enfield, 2006) la WHWP es el segundo cuerpo más grande de agua más caliente en la tierra y alberga el segundo centro más importante de calentamiento adiabático de los trópicos durante el verano boreal (Wang y Enfield 2003). Wang y Enfield 2003 propusieron varios índices, para determinar la variabilidad de la WHWP como anomalías de la temperatura superficial del mar, no obstante con base en un análisis de las componentes del mar Nor-Pacífico este (ENP) y del mar de las Intra-americanas (IAS), así como que en el largo plazo las fluctuaciones del ciclo estacional de su área son comparables con la variación anual, definieron que el índice sería calculado como la anomalía del área dividida por el área climatológica.

Este índice no es pronosticado, pero su actualización se encuentra disponible en: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>.

- Dipolo Amazónico: Índice de meso-escala creado por Montealegre (2009 [21]) con base en el contraste de humedad observado en dos puntos de la selva Amazónica al nivel de la media Troposfera (dipolo del Amazonas), se trata del promedio de humedad en el Amazonas a 500hPa, región $2^{\circ}\text{N} - 73^{\circ}\text{W}$ y $6^{\circ}\text{S} - 68^{\circ}\text{W}$, provenientes del reanálisis NCEP/NCAR versión 1.

Capítulo 2

Análisis compuesto y Tablas de contingencia

En estadística las tablas de contingencia se emplean para registrar y analizar la relación entre dos o más variables, la asociación entre dos variables continuas está determinada por la distribución de probabilidad conjunta. En general esta distribución es desconocida, y en su defecto, se sustituye por la tabla de contingencia. Para construir esta tabla las variables continuas se dividen en categorías, la variable independiente X en M categorías y variable dependiente Y, en N categorías.

Cada pareja de valores (x_i, y_j) pertenece a una y sólo una de las $M \times N$ categorías conjuntas. Luego se calculan las frecuencias empíricas f_{ij} que son el número de parejas que pertenecen a la categoría ij . Si la asociación entre las dos variables es muy débil, la población de la $M \times N$ categorías conjuntas es similar (ver Fig.2.1) En un gráfico de tres dimensiones la superficie aparece plana porque los valores de X dentro de la categoría i pueden estar asociados indistintamente con valores que pertenecen a cualquiera de las N categorías de Y.

Si la asociación es fuerte (correlación), la superficie alcanza valores grandes a lo largo de una de las diagonales y valores bajos en las esquinas que no pertenecen a la diagonal y los valores altos se dan a lo largo de la diagonal mayor y en el caso de asociación negativa (correlación inversa), a lo largo de la diagonal menor (ver Fig.2.2).

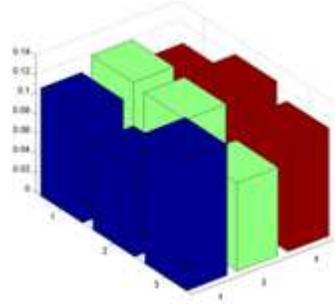


Figura 2.1: Ejemplo de variables no correlacionadas. Tomado de: [11]

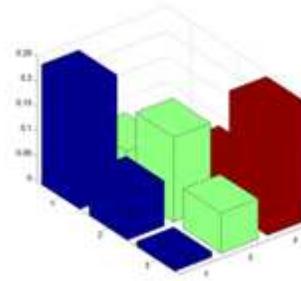


Figura 2.2: Ejemplo de variables correlacionadas. Tomado de: [11]

2.1. Construcción e interpretación de la Tabla de contingencia

Para construir una Tabla de contingencia que permita interpretar gráficos como los presentados en las Figs. 2.1y2.2, debe dividirse el conjunto de datos de la variable dependiente , en conjuntos seleccionados, por ejemplo los terciles por lo que se obtienen 3 categorías conjuntas que permiten cierto grado de resolución y un número manejable de posibilidades (igual para un numero seleccionado por el usuario o múltiplos de la desviación estándar). Del mismo modo la variable independiente es categorizada en 3 conjuntos que también permiten hacer una selección de 3 x 3 que frecuentemente es buscada para categorizaciones tales como: normal, arriba de lo normal y abajo de lo normal. Cuando se trata de un analisis con 7 categorías (7x7) se utilizan las subcategorías Fuerte, Moderado y Debil, de las categorías Arriba de lo normal y Debajo de lo normal.

Se trata entonces de encontrar las probabilidades empíricas a partir de

Cuadro 2.1: Ejemplo de Tabla de contingencia

categorias Vardep/VarIndp	Ind. Bajo	Ind. Normal	Ind. Alto
No. De dato debajo del primer tercil	OB-PA	OB-PA	OB-PA
No.de datos entre los dos terciles	ON-PA	ON-PA	ON-PA
No. De dato encima del primer tercil	OA-PA	OA-PA	OA-PA

la división de las frecuencias empíricas y el número total de parejas que se obtienen de ello. Es decir $p_{ij} = f_{ij} / n$, es la probabilidad empírica que una pareja de valores pertenezca a la categoría conjunta ij .

Entonces si se quiere hacer una validación cruzada entre un conjunto de observaciones como la variable independiente, o predictora y un conjunto de valores cuya proyección a futuro se desea pronosticar como variable dependiente, predictante. Las observaciones son divididas en terciles (o de acuerdo a los umbrales seleccionados por el usuario), dentro de las categorías de la variable explicativa como los valores bajos (Obs. Bajo), los valores normales (Obs. Normal) y valores altos (Obs. Alto), de manera que cada observación o valor tiene que pertenecer a una sola categoría y estas son excluyentes a su vez, lo que garantiza que las tres categorías agotan todas las posibilidades dentro de la “muestra” o conjunto de observaciones o valores tomados, para la categoría dentro de lo normal (valores normales) con tipos de variables independientes como la ONI, SST y ASST es excluyente e incluyente para los demás tipos incluso variables externas.

Cuando las categorías son terciles, cada categoría es un tercio del área total. Al considerar las parejas de (valor observado, valor pronosticado) son identificables nueve categorías excluyentes y exhaustivas, por ejemplo, un valor bajo de la observación puede estar asociado con un valor bajo (OB-PB), uno normal (OB-PN) o uno alto (OB-PA) del valor pronosticado, de ahí que en el caso trivial a cada categoría le corresponde un tercio del área total. Entonces si la variable explicativa es un índice cualquiera divisible en categorías alto, normal y bajo; y la explicada una variable meteorológica, es posible construir una Tabla de la frecuencia relativa de la variable explicada por debajo del primer tercil, por encima de este, o entre estos dos (que con frecuencia es llamado en lo normal “ON”), si es dado un índice alto, bajo o normal (ver Tabla 2.1) .

Generalmente, los valores individuales de p_{ij} o f_{ij} de la Tabla 2.1 (los valores OB-PA, OB-PN, OB-PB... , OA-PB) pueden ser expresados en términos de porcentajes, según la Ec.2.2

$$P_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sum_{j=1}^N f_{ij}} \quad (2.1)$$

Debe notarse que para eventos independientes, la probabilidad que ocurra simultáneamente es multiplicativa. Por lo tanto, la probabilidad de que una pareja (observación, pronóstico) corresponda a este caso es dada por la Ec.2.2

$$P_r \{Q_2 \cap P_3\} = P_r \{Q_2\} P_r \{P_3\} = 1/3 * 1/3 = 1/9 \quad (2.2)$$

Bibliografía

- [1] National Climatic Data Center -and NOAA. Outgoing Longwave Radiation OLR. <http://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/olr> Citado en Ene de 2013.En línea, 2013. 1.2
- [2] P A. Arkin. Relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-scale array. *Monthly Weather Review*, (107):1382 – 1386, 1979. 1.2, 4
- [3] Huesmann A.S and Hitchmann M.H. The stratospheric quasi bienal oscillation in the ncep reanalyses climatological structures. *Journal of Geophysical Research*, (106):859 – 874, 2001. 1.2
- [4] Australian Government. Bureau of Meteorology. <http://www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml> Citado en Ene de 2013.En línea, 2013. 1.2, 1.5, 1.2, 1.2
- [5] J. Bjerknes. Atmospheric teleconnections from equatorial pacific. *Monthly Weather Review*, (97):163 – 167, 1969. 1.2
- [6] Climate Prediction Center. Climate Predicion Center. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis-monitoring/ensostuff/> Citado en Ene de 2013.En línea. 1.2
- [7] Climate Prediction Center. Climate Predicion Center. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/> Citado en Ene de 2013.En línea, 2013. 1.2, 2
- [8] Climate Prediction Center. Climate Prediction Center. [/ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/Readme.index.html](http://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/Readme.index.html) Citado en Ene de 2013.En línea, 2013. 1.2, 1.2
- [9] Earth System Research Laboratory & National Oceanic and Atmospheric Administration. Dirección Nacional de Servicios Académicos Virtuales Seminario de Investigación. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei.ext/rank.ext.html> (En línea), 2011. 1.2

- [10] Environmental Modeling Center. Environmental Modeling Center. <http://www.emc.ncep.noaa.gov/research/cmb/sst-analysis/> Citado en *Ene de 2013. En línea*, 2013. 1.2
- [11] Eric J. Alfaro & F. Javier Soley. Uso de una Tabla de contingencia para Aplicaciones Climáticas. *Physical Oceanography Division, Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration*, 2003. 2.1, 2.2
- [12] J.M. Guevara Díaz. El abc de los índices usados en la Identificación y definición cuantitativa de El niño - oscilación del sur (ENSO). *Terra*, XXIV(35):85 –140, 2008. 1.2, 1.2, 1.2, 1.2, 1.2, 1.2
- [13] James W. Hurrell. The North Atlantic Oscillation. *National Center for Atmospheric Research. En: National Academy of Sciences 12th Annual Symposium FRONTIERS OF SCIENCE*, 2000. 1.2
- [14] James W. Hurrell and Clara Deser. North Atlantic Climate Variability: The role of the North Atlantic Oscillation. *Journal of Marine Systems*, (78):28 – 41, 2009. 1.2, 6
- [15] J.W. Hurrell. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation, regional temperatures and precipitation. *Science*, (269):676 – 679, 1995. 1.2
- [16] Geir Ottersen & Martin Visbeck James W. Hurrell, Yochanan Kushnir. *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*, volume 134, chapter An Overview of the North Atlantic Oscillation, pages 1812 – 1835. Copyright 2003 by the American Geophysical Union, 2003. 1.2
- [17] Camargo J.S and Sobel A.H. Revisiting the Influence of the Quasi-Biennial Oscillation on Tropical Cyclone Activity. *Journal of Climate*, (23):5810 – 5825, 2010. 1.2
- [18] G.E León Aristizábal. CONTROL DE CALIDAD AUTOMÁTICO DE DATOS METEOROLÓGICOS: IDEAM - 2007. *Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM - Subdirección de Meteorología*, page 51, 2007. 1.1
- [19] T. J. Dunkerton K. Hamilton P. H. Haynes Reynolds R.W. W. J. Randel J. R. Holtom M. J. Alexander 7 I. Hirota T. Horinouchi D. B. A. Jones J. S. Kinnersley C. Marquardt K. Sato M. P. Baldwin, L. J. Gray and M. Takahashi. The Quasi - Bienal Oscillation. *Reviews of Geophysics*, (39):179 – 229, 2001. 1.2
- [20] meteorología y estudios ambientales Ministerio de medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial & Instituto de hidrología. *Atlas Climatológico de Colombia*. IDEAM, 2005. 1.1

- [21] J.E Montealegre Bocanegra. Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala: Informe final de las actividades desarrolladas en el marco del contrato de prestación de servicios No IDEAM 022 - 2009. *Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM - Subdirección de Meteorología*, page 54, 2009. 1.2, 1.2, 1.2, 1.3, 1.4, 1.2, 1.2, 1.2
- [22] Muthuvel Celliah and Philip Arkin. Large - scale Interannual Variability of monthly outgoing longwave Radiation Anomalies over the global tropics. *Journal of Climate*, (5):371 – 389, 1992. 1.2
- [23] M. Signoret-Poillon y R. Garduño-López N. Sánchez-Santillán. La Oscilación del Atlántico Norte: un fenómeno que incide en la variabilidad climática de México. *INGENIERÍA Investigación y Tecnología*, 2:85–95, 2006. 1.2
- [24] NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration). Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ersst.v3b). <http://www.ncdc.noaa.gov/ersst/> Citado en Ene de 2013.En línea, 2013. 1.2
- [25] A. Rayner T. M. Smith D. C. Stokes Reynolds, R.W. and W. Wang. An improved in situ and satellite sst analysis for climate. *Journal of Climate*, (15):1609 – 1625, 2002. 1.2, 1.2
- [26] R.W. Reynolds. A real-time global sea surface temperature analysis. *Journal of Climate*, (1):75 – 86, 1988. 1.2
- [27] R.W. Reynolds and D. C. Marsico. An improved real-time global sea surface temperature analysis. *Journal of Climate*, (6):114 – 119, 1993. 1.2
- [28] R.W. Reynolds and T. M. Smith. Improved global sea surface temperature analyses. *Journal of Climate*, (7):929 – 948, 1994. 1.2
- [29] R.W. Reynolds Thomas C. Peterson Smith, T.M. and Jay Lawrimore. Improvements to NOAA’s Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880-2006). *Journal of Climate*, (21):2283 – 2296, 2008. 1.2
- [30] UCAR. Ucar - Climate Guide Ucar. <http://climatedataguide.ucar.edu/es/guidance/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based> Citado en Ene de 2013.En línea, 2013. 1.2, 7
- [31] CHUNZAI WANG. Atmospheric Circulation Cells Associated with the El Nino - Southern Oscillation. *Journal of Climate*, (15):399 – 419, 2002. 1.2, 1.2, 4, 5

- [32] K. Wolter. (Citado por Guevara Díaz (2008)). 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):540 – 558, 1987. 1.2
- [33] T. M. Smith Xue, Y. and R. W. Reynolds. Interdecadal changes of 30-yr SST normals during 1871-2000. *Journal of Climate*, (16):1601 – 1612, 2003. 1.2