

## VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE LA PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA ASOCIADA AL CICLO EL NIÑO, LA NIÑA – OSCILACION DEL SUR (ENSO)

Arango; C.; Dorado, J; Guzmán D.; Ruíz, J. F.  
Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático  
Subdirección de Meteorología – IDEAM

### RESUMEN

El estudio de los principales índices que caracterizan el ciclo ENSO, así como su afectación sobre la precipitación por trimestres, se realizó, mediante la aplicación del coeficiente de correlación de Pearson y su significancia estadística, para 1072 estaciones meteorológicas distribuidas en las regiones naturales de Colombia. Estas series fueron homogenizadas y completadas beneficiando la investigación con la disposición de series largas y representativas, a diferencia de los estudios previos que se realizaron sobre series individuales y de una longitud temporal menor. La metodología incluyó el uso de la técnica del Análisis Compuesto, identificando los índices con más alta correlación en cada trimestre para cada una de las regiones naturales. Los resultados mostraron que los índices ENSO estudiados correspondientes a los trimestres NDE, DEF y EFM son los de mayor correlación con la precipitación de dichos periodos, enmarcado contraste con los trimestres MAM, AMJ, MJJ y SON presentaron correlaciones cercanas a cero. La región Andina mostró estar mejor correlacionada con la mayoría de los índices, mientras, la Orinoquía y la Amazonía, presentaron correlaciones bajas. Cabe destacar que, los índices de la componente atmosférica del ENSO presentaron una correlación positiva, mientras que los índices de la componente oceánica presentaron una correlación negativa.

**PALABRAS CLAVES:** Precipitación, Variabilidad Climática, Análisis Compuesto.

### ABSTRACT

The study of the major indices that characterize the ENSO cycle and its involvement on the quarterly precipitation was performed by applying the Pearson correlation coefficient and its statistical significance, for 1072 stations distributed in the natural regions of Colombia. These series were homogenized and supplemented benefiting research the series arrangement of representative long, unlike previous studies that were performed on individual series and a smaller temporal length. The methodology included the use of composite analysis technique, identifying the highest correlation indices each quarter for each of the natural regions. The results showed that ENSO indices studied for NDE quarters, DEF and EFM are the most correlated with the precipitation of these periods, quarters framed contrast to MAM, AMJ, MJJ and SON showed correlations near zero. The Andina Region was shown to be better correlated with most indices, while the Orinoco and the Amazon, had low correlations. Notably, the indices of the atmospheric component of ENSO were positively correlated, while the oceanic component indices showed a negative correlation.

**KEY WORDS:** Precipitation, Climate Variability, Composite Analysis.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas (UN, 1997) define el clima de un lugar o región como “el conjunto de los elementos atmosféricos y sus variaciones en un periodo dilatado de tiempo”. Este periodo clásico propuesto por la Organización Meteorológica Mundial es de 30 años. El clima varía en el espacio en función de multitud de factores de carácter geográfico, tales como la latitud, la distancia al mar, la vegetación y la presencia o ausencia de sistemas orográficos, entre otros. Y varía en el tiempo, de estación en estación, de año en año y en escalas temporales mayores.

Las fluctuaciones del clima durante determinados periodos de tiempo se denominan variabilidad climática. Durante un año en particular, se registran valores por encima o por debajo de lo normal en cualquier variable meteorológica. La Normal Climatológica o valor *normal*, se utiliza para definir y comparar el clima y generalmente representa el valor promedio de una serie continua de mediciones de una variable climatológica durante un período de por lo menos 30 años. A la diferencia entre el valor registrado de la variable y su promedio se le conoce como *Anomalía*. La secuencia de estas oscilaciones alrededor de los valores normales, se conoce como variabilidad climática y su valoración se logra mediante la determinación de las anomalías (Montealegre, 2009)

El fenómeno ENSO causa enormes perturbaciones en la circulación atmosférica y oceánica del planeta, afectando el “tiempo” (corto plazo) y el clima (mediano y largo plazo) (Poveda, et al., 2002). El Niño y su fase opuesta La Niña, son las componentes oceánicas del ENSO y corresponden, en términos generales, a la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales relativamente más cálidas (El Niño) o más frías (La Niña) que lo normal en el Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia. (Montealegre, 2009). Estas alteraciones de la estructura térmica superficial y subsuperficial del océano están asociadas con el debilitamiento de los vientos alisios del este y con la Oscilación del Sur (la componente atmosférica del ENSO), correspondiente a una variación de la masa atmosféricas entre el oeste y el este del pacífico ecuatorial. Generalmente un centro de alta presión se localiza cerca de Tahití, mientras que un centro de baja presión se localiza en Indonesia y el norte de Australia, cerca de Darwin.

Las devastadoras sequías e inundaciones asociadas con los eventos ENSO son el resultado de las teleconexiones entre las fluctuaciones extremas de las temperaturas superficiales del mar en la cuenca del Pacífico tropical y los climas regionales (Renu & Sumant, 2006) y tienen un gran impacto socioeconómico que esta también muy relacionado con la vulnerabilidad de las poblaciones y de los sectores productivos. La importancia de los fenómenos ENSO ha llevado a varios autores a investigar los

efectos de este evento tropical en las condiciones meteorológicas sobre áreas cercanas o muy alejadas de su lugar de origen, especialmente sobre la temperatura, la precipitación, la circulación del viento, corrientes marinas y sobre el impacto que genera en las actividades humanas (Guevara, 2008). Para ello, se han establecido diferentes índices atmosféricos, oceánicos y carácter mixtos (oceánico-atmosféricos); se crearon igualmente las “Regiones Niño” que corresponden a 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.

En Colombia, entre la gran cantidad de investigaciones que se han realizado al respecto cabe mencionar la de Montealegre (2009) quien realizó un completo trabajo de caracterización de los fenómenos ENSO orientado a establecer su efecto sobre el clima y el medio natural de Colombia y a determinar su impacto socioeconómico. De igual manera, presenta una descripción de los índices de mayor uso en la vigilancia y seguimiento de los fenómenos del Ciclo ENOS, estableciendo que el índice relacionado con la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región niño 3 es el más indicado para establecer la de inicio y finalización de un fenómeno ENSO, por cuanto presenta una mayor variabilidad en comparación con otros índices oceánicos, como la temperatura superficial del mar en la región niño 3+4, lo que facilita el reconocimiento de fases extremas del ciclo. Por su parte, Pabón (2003, 2006) establece el impacto de los ciclos ENSO en diferentes regiones del país, principalmente en la sabana de Bogotá, utilizando como índices las anomalías de la TSM en la región Niño 1+2 y Niño 3 e identifica el impacto de las ondas intraestacionales en dicho fenómeno. También Poveda destaca la relación entre algunos índices ENSO y su relación con variables hidroclimáticas como precipitación y caudal (Poveda et al, 2002) y la aparición de algunas enfermedades de origen hídrico y transmitidas por vectores como la malaria, con la variabilidad de la TSM en la región Niño 3+4 (Poveda & Rojas, 1997).

Dada la gran diversidad de índices utilizados para realizar estudios sobre el efecto en el clima y el impacto sobre la economía y la sociedad derivada de los fenómenos del ciclo ENSO en Colombia, el presente trabajo se propone estudiar la correlación entre los índices oceánicos, atmosféricos y mixtos más utilizados a nivel mundial y la precipitación y temperatura en Colombia, haciendo especial énfasis en el índice ONI que es el más utilizado por la comunidad científica, a nivel mundial.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

Colombia está localizada entre las coordenadas 12° 30' 46" N y 4° 13' 30" S y 66° 50' 54" W y 79° 01' 23" W (Fig.1), limita al este con Venezuela y Brasil, al sur con Ecuador y Perú, al norte con el mar Caribe, al noroeste con Panamá, y por el oeste con el Océano Pacífico. Geológicamente, Colombia hace parte del Cinturón de Fuego del Pacífico. El territorio nacional se encuentra dividida en 5 regiones naturales, Caribe, Pacífico, Andina, Orinoquía y Amazonía, adicionalmente la parte insular perteneciente a las islas de San Andrés y Providencia (Ruíz et al, a, 2012).

### 2.2 Datos y materiales utilizados

Las series analizadas para este estudio, corresponden a datos mensuales de la variable precipitación, expresada en milímetros (mm) de 1072 estaciones (Fig.1), información suministrada por el IDEAM. El periodo analizado para ambas variables, 1971-2010, cumple con el registro mínimo de extensión (30 años), recomendado por la Organización Mundial de Meteorología (OMM, 1989), para estadísticas confiables.

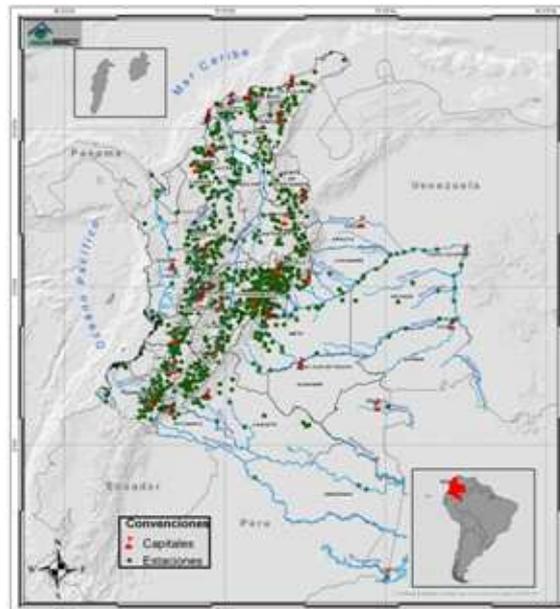


Figura 1. Distribución espacial de las estaciones de precipitación empleadas en este estudio

**2.2.1 Software Jazikü:** Jazikü es el software utilizado en la implementación de la metodología de Análisis Compuesto entre índices de variabilidad climática y variables meteorológicas en una escala puntual. Jazikü sigue la metodología de Análisis Compuesto propuesto por University Corporation for Atmospheric Research (UCAR)), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) & U.S. Department of Commerce (DOC); este software puede producir escenarios de probabilidad para

precipitación o de cualquier otra variable bajo la influencia de algún indicador; en este trabajo en particular se utilizaron índices tipo ENSO (Sánchez et. al., 2012).

## **2.3 Metodología**

Es bien sabida la influencia del ENSO sobre las componentes meteorológicas en Colombia, principalmente en la precipitación y la temperatura. Dicha influencia no se comporta de manera lineal ni homogénea en todas las partes del país, razón por la cual se hace particularmente complicado hacer predicciones climáticas a partir de un índice de predicción ENSO en particular.

En este sentido, se evaluaron las correlaciones entre la variabilidad de la precipitación en Colombia y la variabilidad de 16 índices de gran escala asociados al ciclo ENSO, utilizados como predictores; así mismo se desarrolló el Análisis Compuesto entre el índice ONI y la precipitación.

**2.3.1 Complementación de Datos.** El análisis climático necesita la existencia de series temporales de datos meteorológicos continuos, homogéneos y que abarquen el máximo intervalo temporal posible. Una gran mayoría de esas series presentan vacíos de información, debidos a diferentes causas: la interrupción de las lecturas, fallos en los instrumentos de medida, errores asociados a cambios en las condiciones de medición, errores de transcripción, entre otras.

Para el relleno de datos faltantes, se siguió la metodología (Ruíz et al, a, 2012) de cambio climático, donde se presentan dos métodos para la complementación de datos ausentes, enfocadas hacia su uso en series de tiempo geo-estadística. Con este propósito, en una primera etapa se agruparon la estaciones por descomposición en Componentes Principales y en una segunda etapa se complementaron las series de tiempo mensuales con metodologías como la Razón de los Valores Normales, la cual utiliza datos de las estaciones cercanas y un modelo tipo Arima, cuando el proceso se debe hacer con la información de la misma estación. El proceso de complementación se validó mediante el Test de McCuen, obteniendo índices de confiabilidad, para ambos parámetros.

**2.3.2 Índices de predicción ENSO.** En la actualidad existen gran variedad de índices, tanto oceánicos como atmosféricos, que son utilizados por la comunidad científica para caracterizar los fenómenos ENSO. En la tabla 1 se presentan los índices utilizados en esta investigación junto con su periodo base, del que se extrajeron los datos y con el que se obtuvieron las anomalías.

Para una mayor descripción de los índices consultar (Montealegre, 2009).

**Tabla 1.** Índices utilizados

ÍNDICE	UNID	PERIODO	FUENTE	CONDICIÓN NIÑO	CONDICIÓN NIÑA
Oceanic Niño Index. (ONI)	Anom (°C)	1950-2012	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_stuff/ensoyears.shtml">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_stuff/ensoyears.shtml</a>	Mayor a 0.5	Menor a -0.5
Índice de la Oscilación del Sur (IOS)	Anom estandarizada	1951-2012	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi</a>	Menor a -1.2	Mayor a 0.9
Radiación de longitud tropical de onda larga (OLR)	W/m2	1974-2012	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/olr">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/olr</a>	Mayor a 0.9	Menor a -1.1
El Índice Multivariado del ENSO (MEI)	-	1871-2005	<a href="http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei.ext/rank.ext.html">http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei.ext/rank.ext.html</a>	Mayor al p66	Menor al p33
Oscilación del Atlántico norte (NAO)	Anom (mb)	1950-2012	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm_nao.monthly.b5001.current.ascii">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm_nao.monthly.b5001.current.ascii</a>	Mayor a 0	Menor a 0
Índice de la anomalía del viento a 850 hPa (135°East-180°West) (U850-180)	Anom estandarizada	1979-2010	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/wpac850">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/wpac850</a>	Mayor al p66	Menor al p33
Índice de la anomalía del viento a 850 hPa (175°East-140°West) (U850-140)	Anom estandarizada	1979-2010	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/cpac850">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/cpac850</a>	Mayor al p66	Menor al p33
Índice de la anomalía del viento a 850 hPa (135°East-120°West) (U850-120)	Anom estandarizada	1979-2010	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/epac850">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/epac850</a>	Mayor al p66	Menor al p33
Oscilación Cuasibienal U30 (QBO-30)	(m/s)	1979-2010	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/qbo.u30.index">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/qbo.u30.index</a>	Mayor al p66	Menor al p33
Oscilación Cuasibienal U50 (QBO-50)	(m/s)	1979-2010	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/qbo.u50.index">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/qbo.u50.index</a>	Mayor al p66	Menor al p33

Continuación. Tabla 1

ÍNDICE	UNID	PERIODO	FUENTE	CONDICION NIÑO	CONDICIÓN NIÑA
Temperatura superficial del mar. Pacífico Región Niño 3 (tsm3)	°C	1982-2011	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices</a>	Mayor al p66	Menor al p33
Temperatura superficial del mar. Pacífico Región Niño 3-4 (tsm3-4)	°C	1982-2011	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices</a>	Mayor al p66	Menor al p33
Media móvil de la anomalía trimestral de la temperatura superficial del mar. Pacífico Región Niño 3 (A_tsm3)	°C	1971-2010	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst3b.nino.mth.81-10.ascii">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst3b.nino.mth.81-10.ascii</a>	Mayor a 0.5	Menor a -0.5
media móvil de la anomalía trimestral de la temperatura superficial del mar. Pacífico Región Niño 3-4 (A_tsm3_4)	°C	1971-2010	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst3b.nino.mth.81-10.ascii">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst3b.nino.mth.81-10.ascii</a>	Mayor a 0.5	Menor a -0.5
media móvil de la anomalía trimestral de la temperatura superficial del mar. Pacífico Región 1+2 (A_tsm1+2)	°C	1971-2010	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst3b.nino.mth.81-10.ascii">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst3b.nino.mth.81-10.ascii</a>	Mayor a 0.5	Menor a -0.5

### 2.3.4 Análisis de correlación entre índices ENSO y precipitación en Colombia

Para realizar el análisis de correlación entre cada uno de los 16 índices ENSO y la precipitación en Colombia se utilizó el estadístico de correlación lineal de Pearson ( $r$ ). Vale la pena recordar que el valor del coeficiente varía entre  $-1$  y  $1$ , el coeficiente  $r$  toma el valor  $1$ , momento denominado de correlación completa positiva, cuando los puntos de datos describen una perfecta línea recta con pendiente positiva, con  $x$  e  $y$  aumentando conjuntamente. El valor  $1$  es independiente de la magnitud de la pendiente. En cambio si los puntos de datos describen una perfecta línea recta con pendiente negativa, con  $y$  decreciendo cuando  $x$  aumenta, el coeficiente  $r$  toma el valor  $-1$ , momento denominado de correlación completa negativa. Un valor de  $r$  cercano a cero indica que las variables  $x$  e  $y$  no están correlacionadas linealmente, es decir, no están asociadas. El coeficiente de Pearson tiene el inconveniente que es un estadístico pobre para decidir si la correlación observada es estadísticamente significativa, y/o si una correlación observada es significativamente más fuerte que otra. El motivo es que en el cálculo del coeficiente se ignora la distribución individual de  $x$  e  $y$ , por lo tanto no hay una manera universal de evaluar sus distribuciones en el caso de que las dos variables no estén correlacionadas (la hipótesis nula) (Press, et al. 1992). Para evaluar este aspecto, se recurrió al cálculo de la significancia estadística de la correlación, mediante la prueba  $t$  y selección de los valores significativos con un 95% de confianza,

asumiendo una distribución normal para un  $r = 0$ , con  $n-2$  grados de libertad. (Sánchez et. al., 2012)

La significancia estadística viene a ser la “probabilidad” de que dos variables no estén correlacionadas (correlación nula) (Barrera, 2004).

El análisis realizado parte de hallar la correlación y la significancia estadística de Pearson, usando el software Jaziku, entre la precipitación registrada en cada una de las 1072 estaciones del país que cumplen con los estándares de calidad y cada uno de los índices ENSO para cada trimestre, entendiendo como primer trimestre los meses de Enero, Febrero y Marzo. Una vez hallados los coeficientes de correlación se agruparon los resultados de las estaciones por regiones naturales de Colombia y el departamento de San Andrés. Posteriormente se realizaron histogramas para cada región, con el fin de encontrar la frecuencia (en porcentaje) del coeficiente de correlación de cada índice ENSO (0% representa 0 estaciones y 100% representa el total de estaciones para dicha región). Finalmente, se realizó un gráfico, por región, con los trimestres que obtuvieron como índice representativo coeficientes de correlación menores a -0.4 y mayores a 0.4

Como producto final se obtuvo una tabla con el índice ENSO más representativo de cada trimestre para cada una de las regiones.

**2.3.5 Análisis Compuesto ONI – Precipitación.** El Análisis Compuesto es una técnica de muestreo basada en la probabilidad condicional de que un determinado evento, como el NIÑO, ocurra. Una probabilidad condicional es la probabilidad de que un determinado evento se producirá si bien es cierto otro acontecimiento ha tenido lugar o tendrán lugar. (NOAA, 1997)

La técnica de Análisis Compuesto se utilizó para analizar la probabilidad condicional de que la precipitación trimestral en Colombia muestre alteraciones por encima o por debajo de lo normal, dado que ocurra un fenómeno EL NIÑO, La NIÑA o no ocurra ninguno de los dos (condición normal) según el índice ONI. El Análisis Compuesto se realizó por medio del software Jazikü, Por otro lado, y complementando el análisis, se halló el cambio de porcentaje en la precipitación bajo un evento ENSO dado, esto con el fin de tener un valor aproximado del aumento o disminución de esta variable meteorológica, dada una climatología trimestral y la probabilidad de que ocurra el fenómeno.

Los resultados fueron interpolados en ArcGIS con IDW y siguiendo las escalas que se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2.** Escalas para los cambios de porcentaje

<b>Cambios en Porcentaje</b>	
Muy por debajo de lo normal	(<70%)
Moderadamente por debajo de lo normal	(-40% – -70%)
Ligeramente por debajo de lo normal	(-10% – -40%)
Normal	(-10% – 10%)
Ligeramente por encima de lo normal	(10% – 40%)
Moderadamente por encima de lo normal	(40% – 70%)
Muy por encima de lo normal	(>70%)

**2.3.6. Interpolación de los datos.** Los métodos de interpolación presentan diversas características; en la actualidad, existen varios métodos en ArcGis, en especial tres algoritmos en el módulo Spatial Analyst, IDW, Spline y Kriging. Estos algoritmos han sido ensayados para estudios de modelos digitales, climatológicos y de relieve (Solis & Flórez 2005). Autores como (Ariza, 2002) comentan que ningún método de interpolación es mejor que otro. Para este trabajo, los resultados de precipitación fueron espacializados mediante el método de interpolación de IDW, bajo la asunción de que cada punto posee una influencia local que disminuye con el inverso de la distancia. De esta manera, el método ponderó con mayor fuerza a los puntos cercanos a la celda y con menor intensidad sobre aquellos ubicados a mayor distancia.

Esta interpolación se apoya en el concepto de continuidad espacial, con valores más parecidos para posiciones cercanas que se van diferenciando conforme se incrementa la distancia. El uso de este algoritmo ha sido empleado en la representación de variables con continuidad espacial (Canto , et al. 1998). Es el método menos complejo de los tres, pero con el de mejores resultados. Su utilidad básica es la identificación de patrones generales de comportamiento así como su comparación espacial con otras regiones de similar extensión. En ciertos casos, algunos mapas pueden presentar los denominados “ojos de buey”, los cuales se ha preferido no eliminar, luego de su respectiva validación, precisamente porque identifican en la precipitación, comportamientos locales que en casos particulares requerirán de estudios más detallados.

### 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

De las figuras 2 a la 7, se puede concluir que las correlaciones entre los índices analizados y la precipitación son en general bajas para todas las regiones, especialmente para la Amazonía y la Orinoquia, cuyos frecuencias de correlación se centran en cero (0), a diferencia de la región Andina, cuyas resultados son más distribuidas en todos los trimestres y en todos los rangos de correlación; por su parte las regiones Caribe, Pacífica y el departamento de San Andrés y Providencia presentan gran número de estaciones con correlaciones altas, principalmente en los últimos trimestres. También es de destacar la diferencia de comportamiento entre regiones (correlaciones bajas entre las diferentes regiones), fruto de la gran variabilidad espacial de la precipitación en Colombia debido a su compleja orografía.

Al extraer las mejores frecuencias para correlaciones superiores a 0,4 e inferiores a -0,4 (figuras 8 a la 12), se observan valores significativos, para los trimestres 1, 11 y 12 sobre las regiones Andina, Pacífica y el departamento de San Andrés y Providencia; en regiones como la Caribe se muestran en el trimestre 6, 7,8 y 10. La región Pacífica y el departamento de San Andrés y Providencia son las que presentan unas mayores correlaciones para casi todos los trimestres del año (exceptuando MAM, AMJ, MJJ y SON) y caso especial se presenta, en la región del Pacífico donde se llegan a correlaciones más cercanas a 1 y -1 para el trimestre 10, con los índices de Anomalía de la TSM Región Niño 3 y Anomalía de la TSM Región Niño 1+2. Estos resultados son acordes a los encontrados por Poveda (1998) y Sánchez (2011) los cuales afirman que el trimestre que muestra una respuesta más clara a cualquiera de las fases del fenómeno, es DEF.

Por su parte, los periodos con coeficiente de correlación cercano a cero, coinciden con etapas relativamente poco confiables a pronósticos dados entre marzo y junio (Wajsowicz, 2006). La dificultad de prever en esta época del año se llama a menudo "*la barrera de la primavera*" (en el hemisferio norte), o "*la barrera de otoño*" (en el hemisferio sur) (Zhang & Zebiak, 2005, Wu, et. al., 2009). Este aspecto coincide con los resultados dados en este trabajo, ya que para los trimestres del 3 al 5 las correlaciones son poco significativas con la precipitación.

Respecto a algunos índices, como la QBO-30 y QBO-50 se mantuvieron correlaciones cercanos a cero, en todas las regiones y trimestres. En la región Andina la OLR, ONI, MEI, TSM 3 y el U850 (135°East-200°West) son los de mayor representatividad en los trimestres 1 y 12 mientras que para la región Caribe fueron la anomalía de la TSM Región Niño 3-4 y el U850 (135°East-180°West) en los trimestres 6 y 7. Por su parte, en la región Pacífica los índices de mayor correlación fueron el IOS, ONI y el MEI, para los últimos trimestres y en San Andrés y Providencia la anomalía de la TSM 3-4, el U850 (135°East-120°West) y Anomalía de la TSM Región Niño 3. Cabe destacar el hecho de que las mejores correlaciones para los índices de vientos están en los trimestres 6 y 7 y en menor medida en los trimestres 11 y 12.

Por su parte, los índices de la componente atmosférica del ENSO presentan una correlación positiva, lo que indica que los aumentos o disminuciones en tales índices están estrechamente relacionados con aumentos o disminuciones de la precipitación, en su orden. En la tabla 3, se presenta un resumen de los índices que presentaron mayores frecuencias para cada trimestre en cada región. Los índices con correlaciones negativas (marcados en rojo) son, en su mayoría, los índices de la componte oceánica de ENSO (ONI, TSM, ANOMALIA DE LA TSM), lo que indica que los aumentos o disminuciones en tales índices están estrechamente relacionados a disminuciones o aumentos en la precipitación.

Es importante también destacar, que de acuerdo a la significancia estadística, para cada uno de los índices que se muestran en la tabla 3 (determinado por el análisis compuesto), estos se encuentran correlacionados, con un nivel del confianza del 95%

**Tabla 3.** Resumen de índices de mayor correlación por trimestre en cada región

Trimestre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Andina	IOS MEI					IOS ONI SST 3.4	OLR SST 3.4 A_tsm3				IOS A_tsm3	IOS A_tsm3
Caribe						OLR A_tsm3	IOS MEI	OLR U850(180) ONI		IOS MEI		
Pacífica	NAO TSM-3					OLR MEI				U850 (180) A_tsm3 A_tsm1+2	U200 SST 3 A_tsm3_4	IOS MEI SST3 A_tsm3_4
San Andrés	NAO A_tsm3	U850 (120)					U850 (120)	U850 (120)				IOS U850 (120) U850 (140) MEI ONI TSM3-4 A_tsm3 A_tsm3_4
<b>Correlaciones positivas</b>						<b>Correlaciones negativas</b>						

## REGIÓN AMAZONÍA

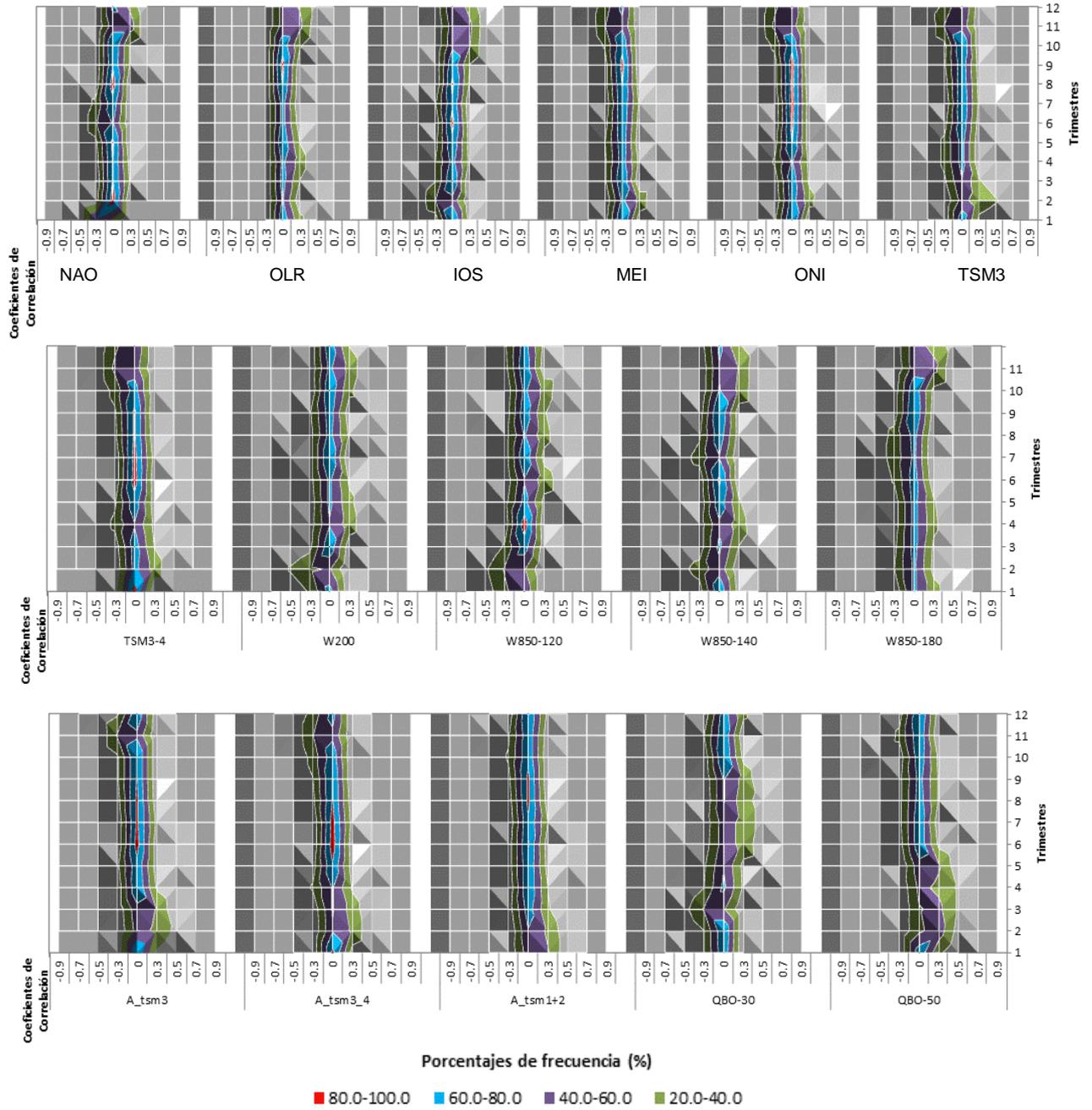


Figura 2. Frecuencias de correlación (%), para la región Andina

## REGIÓN ANDINA

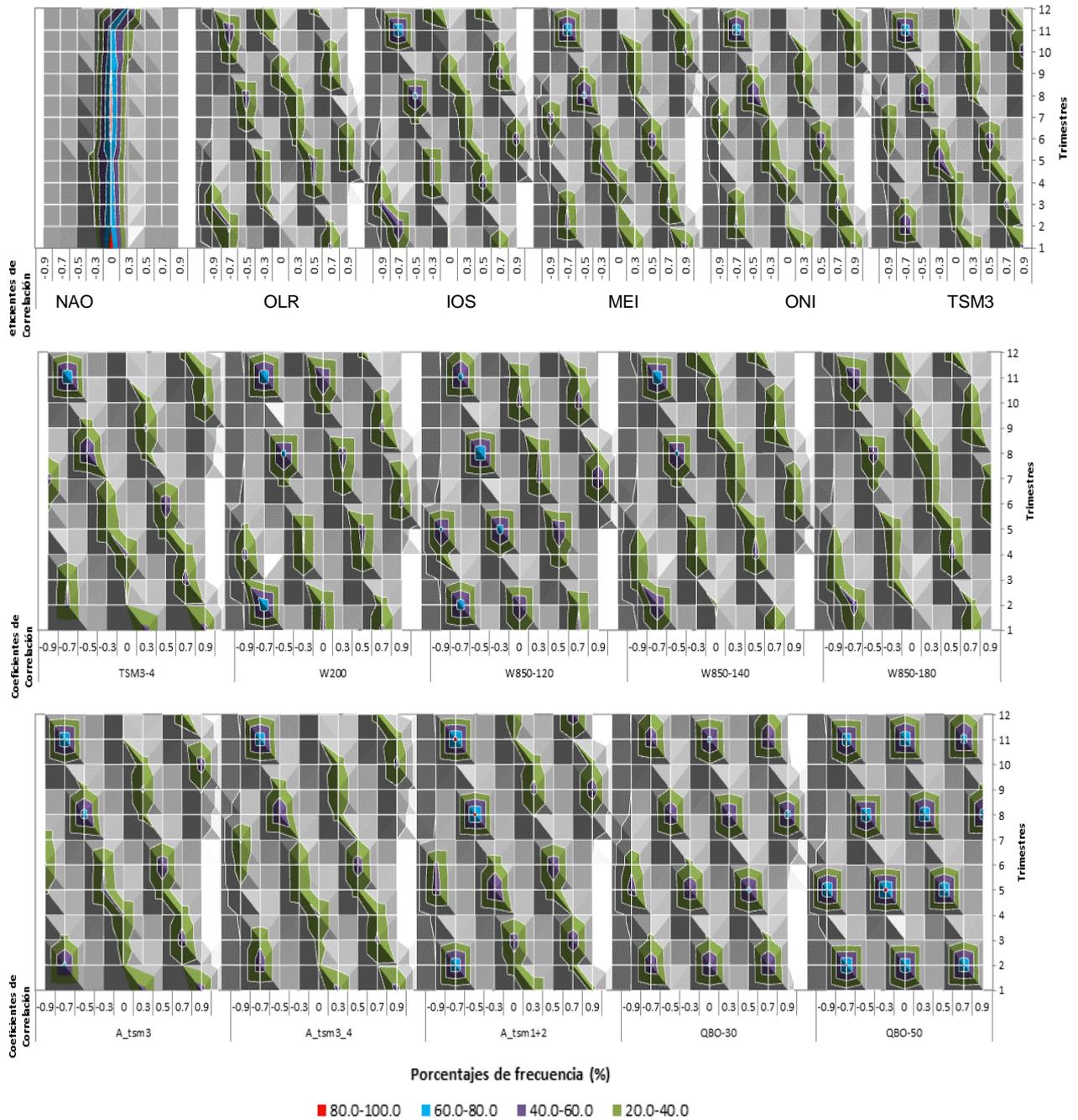


Figura 3. Frecuencias de correlación (%), para la región Andina

## REGIÓN CARIBE

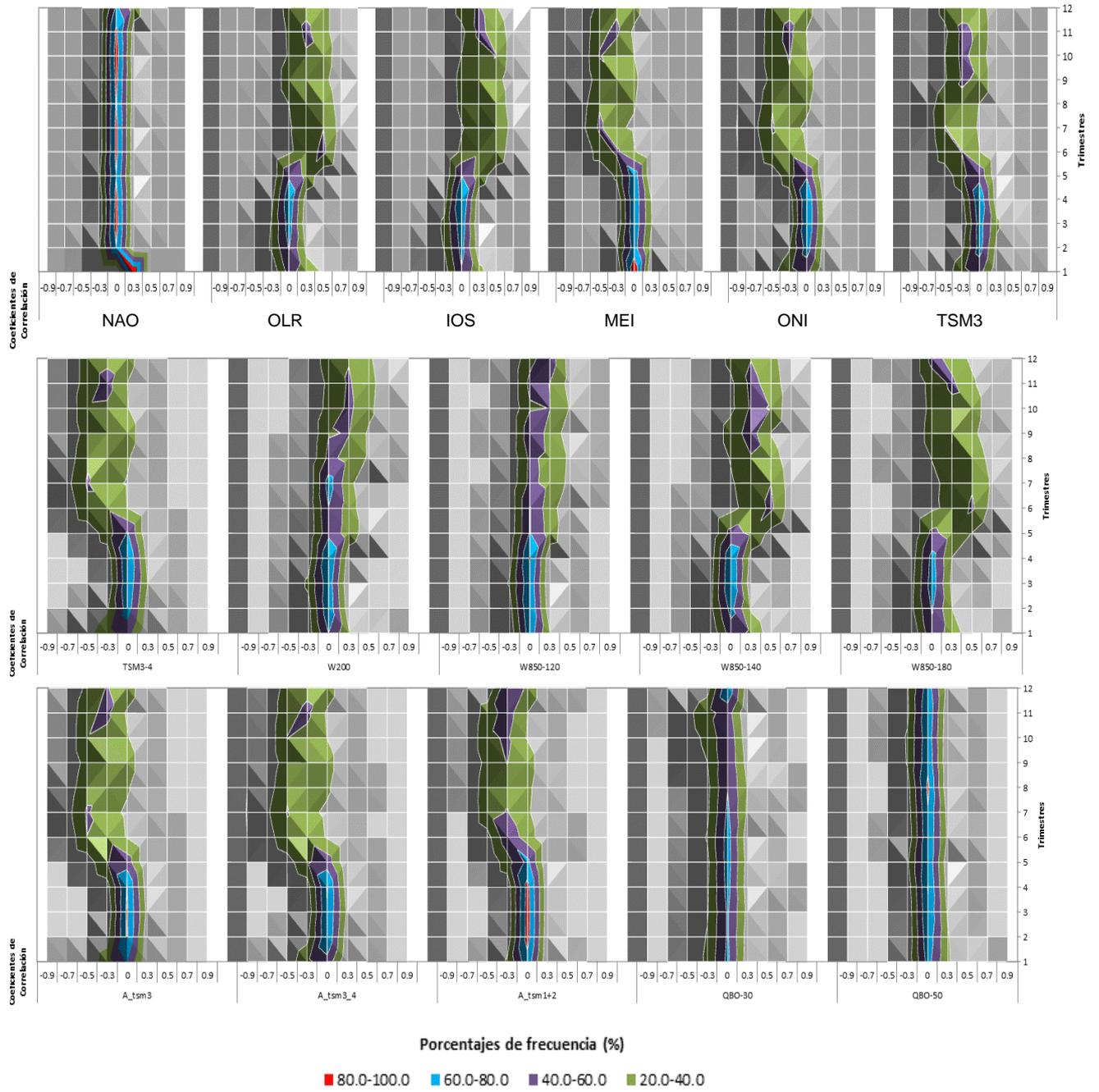


Figura 4. Frecuencias de correlación (%), para la región Caribe

# REGIÓN ORINOQUÍA

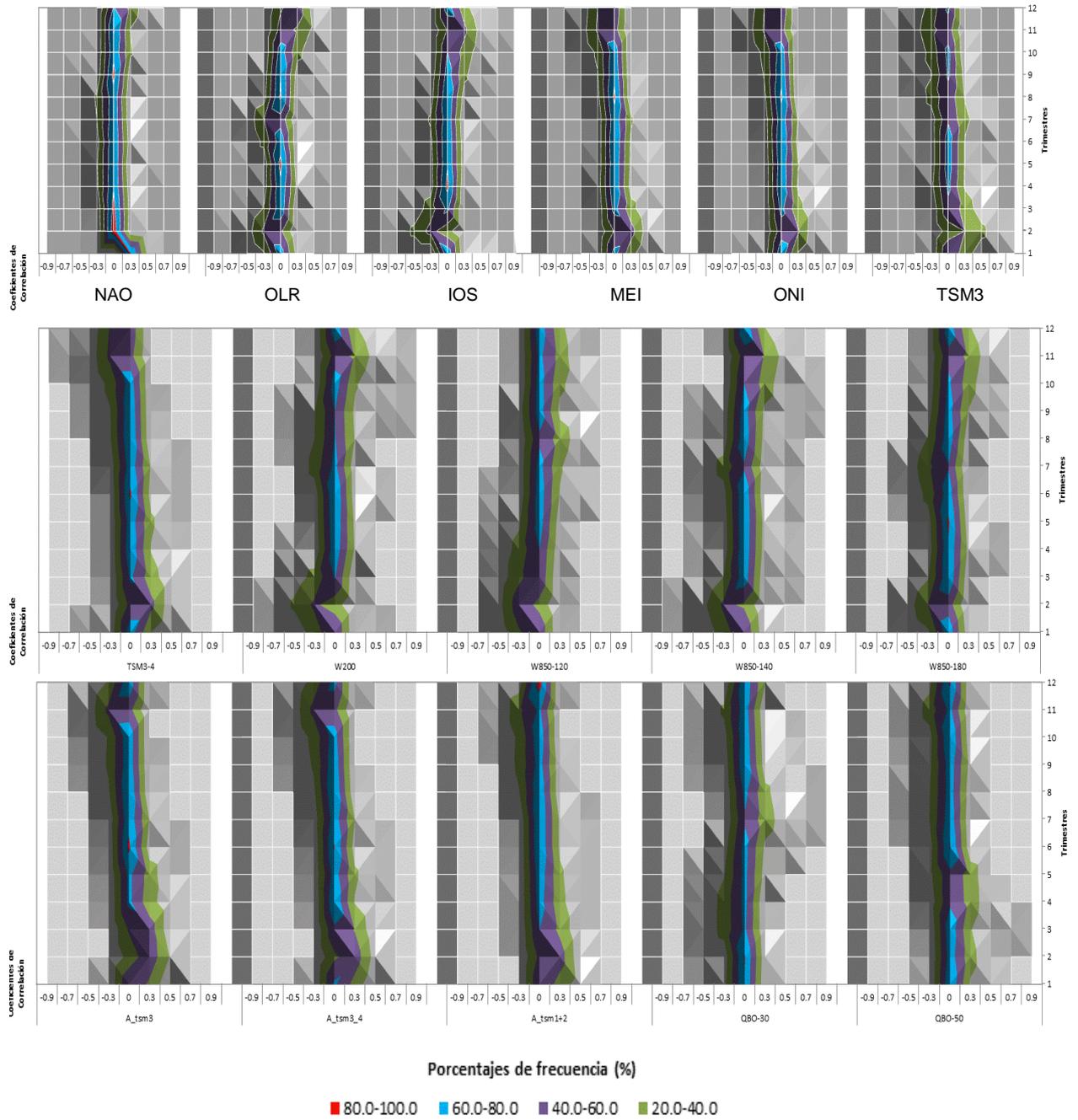


Figura 5. Frecuencias de correlación (%), para la región Orinoquía

## REGIÓN PACÍFICA

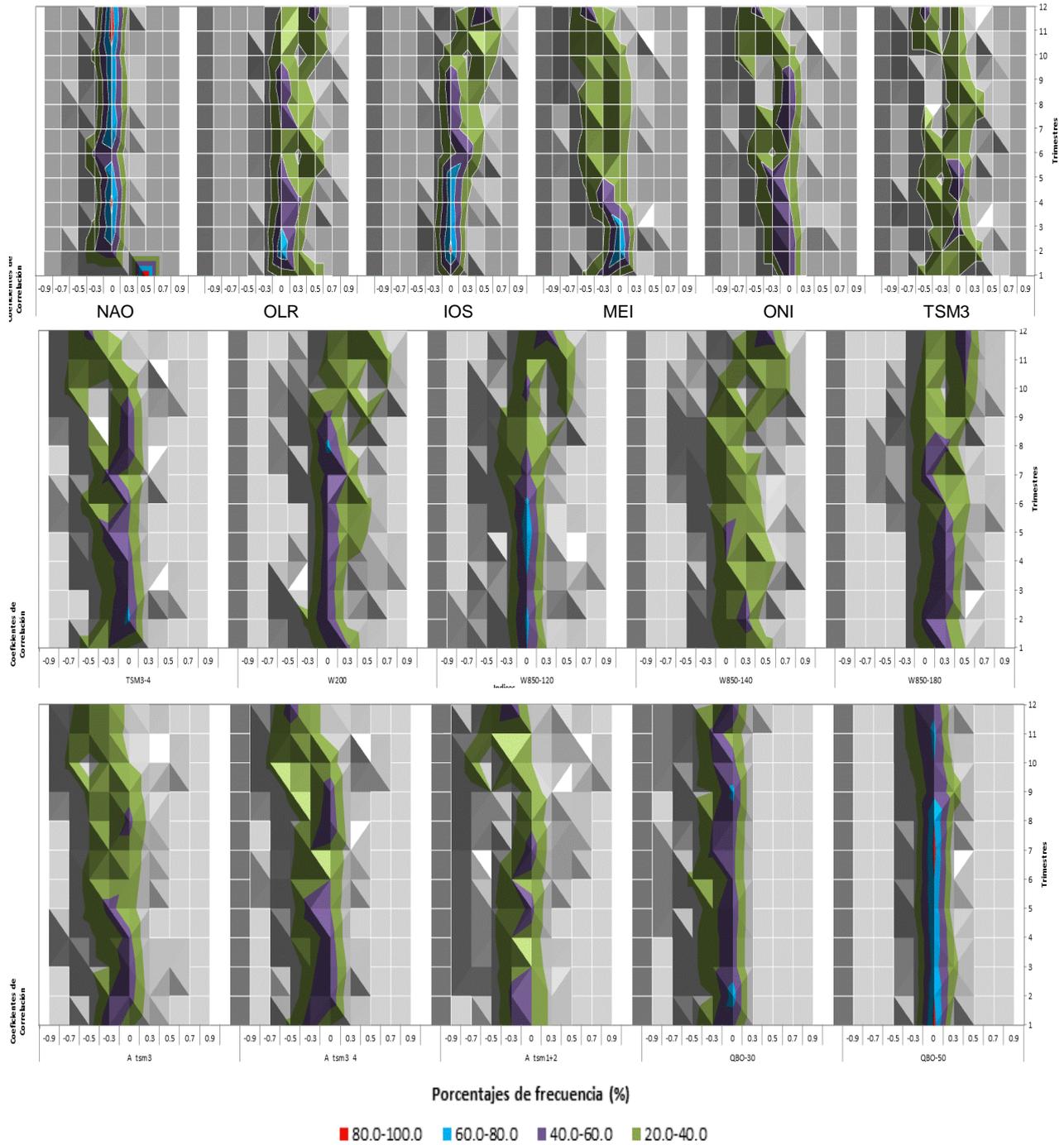


Figura 6. Frecuencias de correlación (%), para la región Pacífica

## SAN ANDRÉS Y PROVIDENCIA

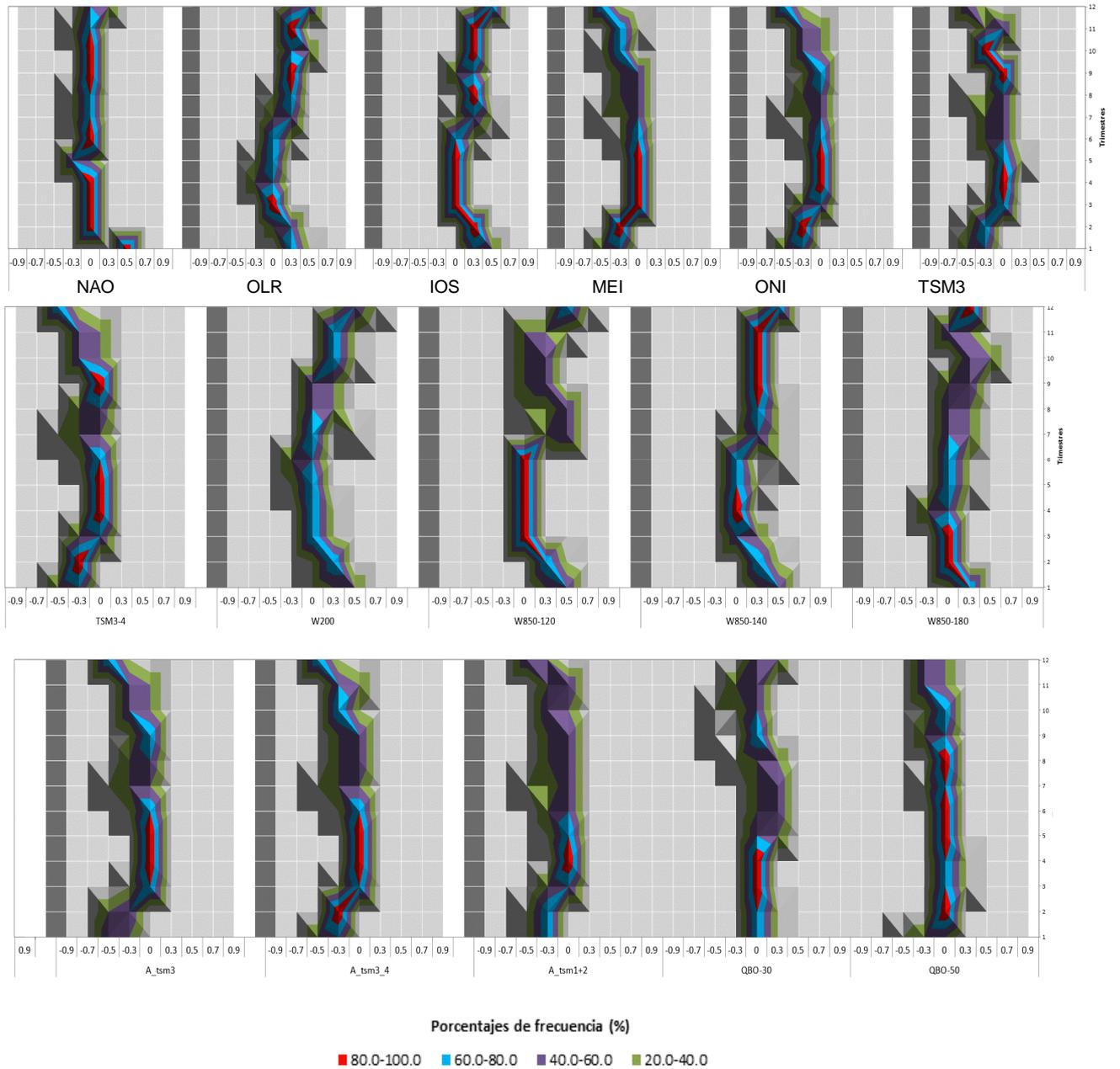


Figura 7. Frecuencias de correlación (%), para el departamento de San Andrés y Providencia

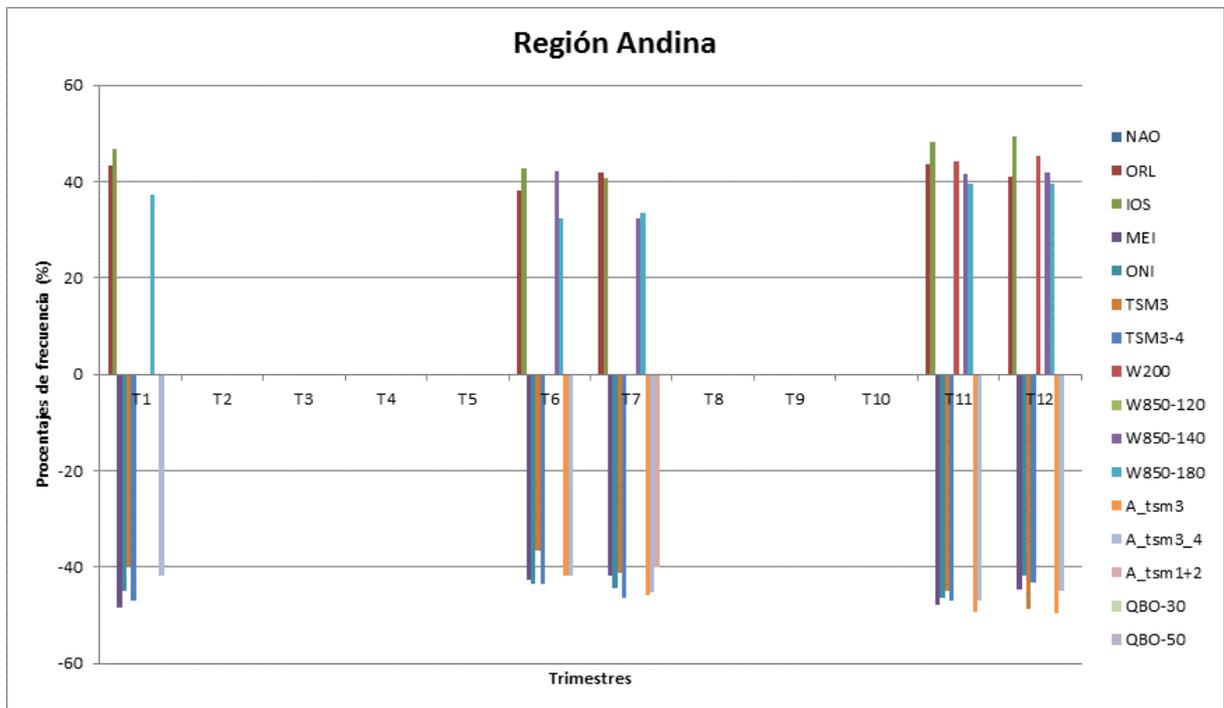


Figura 8. Representación de correlaciones por encima de  $\pm 0.4$  en la Región Andina

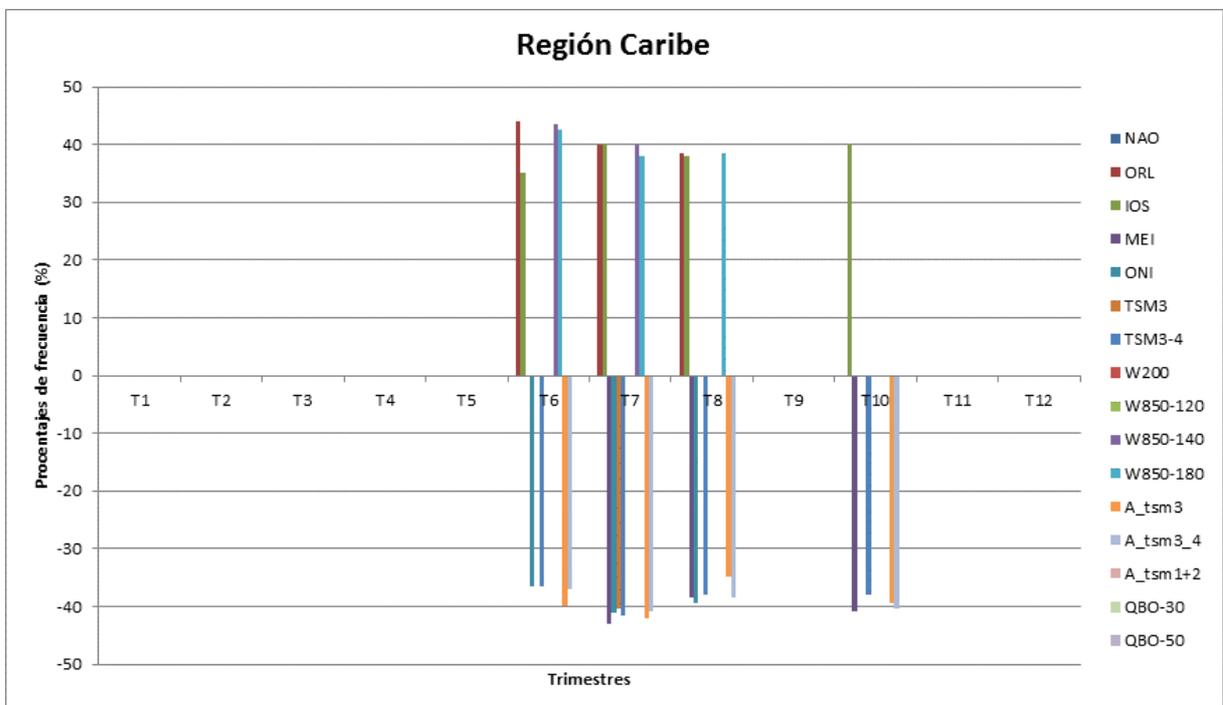


Figura 9. Representación de correlaciones por encima de  $\pm 0.4$  en la Región Caribe

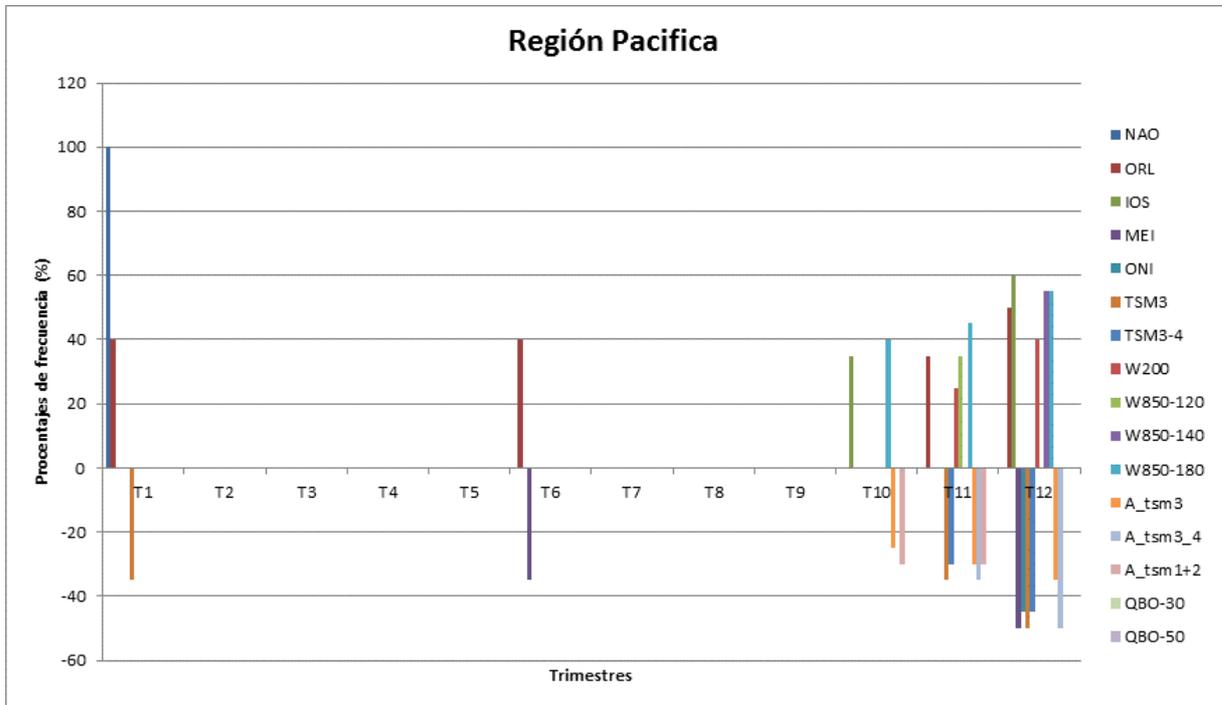


Figura 10. Representación de correlaciones por encima de  $\pm 0.4$  en la Región Pacífica

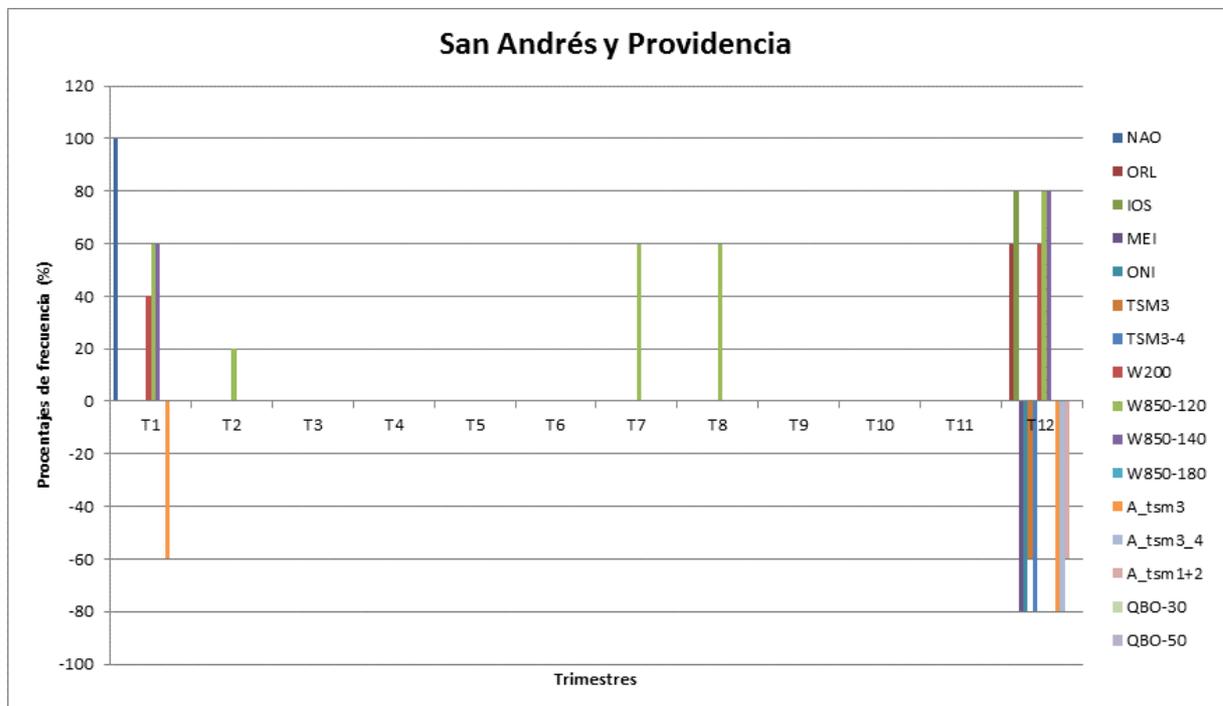


Figura 11. Representación de correlaciones por encima de  $\pm 0.4$  en el departamento de San Andrés y Providencia

### **3.1 Análisis compuesto, según el índice ONI**

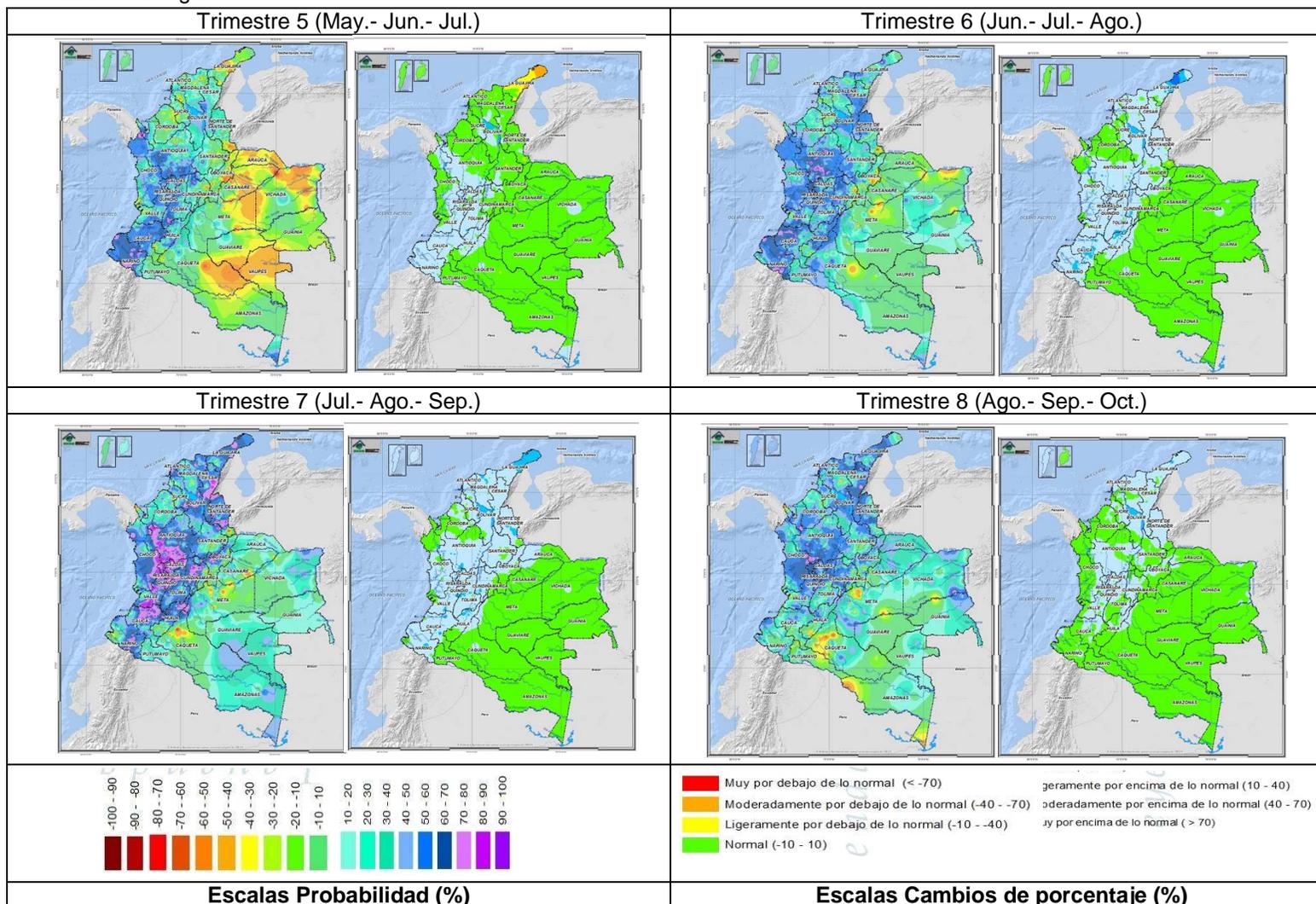
En términos generales para toda Colombia, cuando se presenta un evento La Niña (Figura 13), la probabilidad de que las precipitaciones estén por encima de lo normal están dadas entre el 60 al 70% llegando en ciertos sectores hasta el 90%. Los cambios de la precipitación con respecto a lo normal, dada por la climatología trimestral (Ruíz, et. al. b, 2012), están ligeramente por encima, especialmente en las regiones Andina y Pacífica, con mayor afectación en los últimos trimestres (10 y 11) y a mediados del año (6 y 7). Sin embargo, en algunos sectores de las regiones Caribe, Orinoquía y Amazonía las probabilidades de que las precipitaciones estén ligeramente por debajo de lo normal van hasta un 60%, en los primeros cuatro trimestres y el resto del año tienden a la normalidad.

Al presentarse un evento El Niño (Figura 14), los trimestres más afectados son los primeros y los últimos, con probabilidad hasta de un 90% de disminución de la precipitación, implicando cambios entre ligera y moderadamente por debajo de lo normal para ciertos sectores de las regiones Caribe y Andina. Por su parte, en los trimestres 6, 7 y 8 se presenta una alta probabilidad de disminución en las precipitaciones, principalmente en las regiones Andina, Caribe y Pacífica, mientras las regiones de la Orinoquía y Amazonía tienden a la normalidad. Leves aumentos de precipitación se presentan para ciertas zonas de la región de la Orinoquía y La Guajira en los primeros trimestres, con una probabilidad hasta del 60%.

Bajo condiciones normales (Figura 15), todo el territorio Colombiano se caracteriza por presentar una probabilidad de aumento de las lluvias entre el 30 y el 40% posiblemente explicada por otros eventos de variabilidad climática, diferentes a los de la escala interanual, propios del ENOS, exceptuando los trimestres 6 y 7 que presentan una leve probabilidad de disminución de la precipitación, sin cambios significativos en su volumen normal. Leves aumentos en la precipitación se presentan en La Guajira durante los trimestres 1, 5, 11, y 12 y únicamente durante el primer trimestre en gran parte del oriente colombiano. Por otro lado, se muestran algunos casos aislados de ligeras disminuciones en los trimestres 6, 7 y 10 en los departamentos de La Guajira y Nariño.

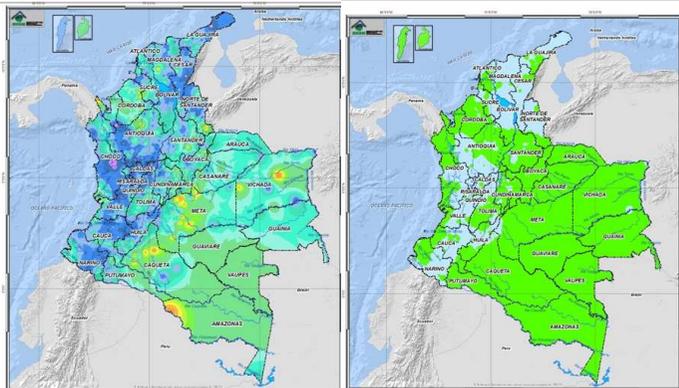


Continuación. Figura 13

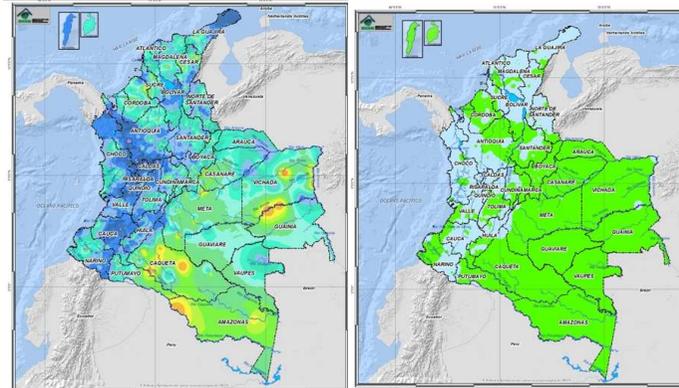


Continuación. Figura 13

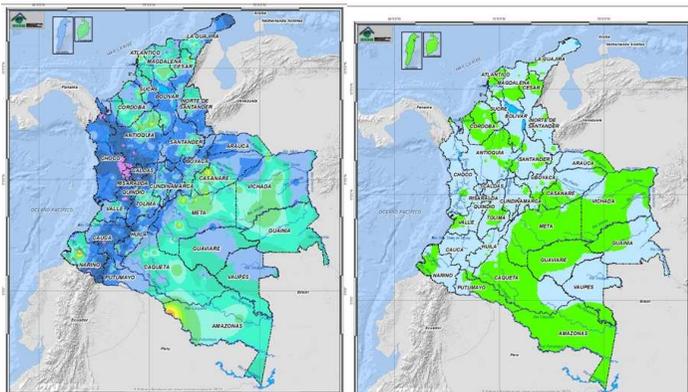
Trimestre 9 (Sep.- Oct.- Nov.)



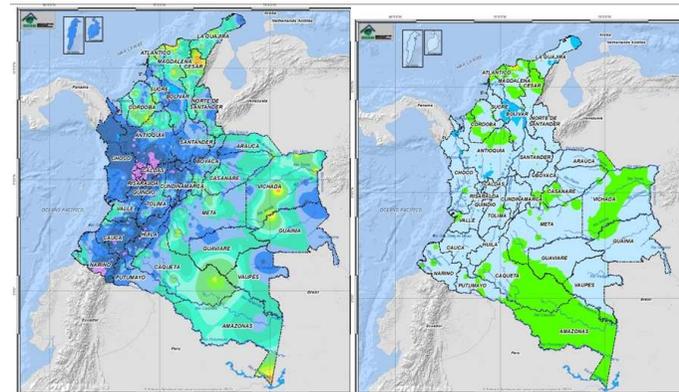
Trimestre 10 (Oct.- Nov.- Dic.)



Trimestre 11 (Nov.- Dic.- Ene.)



Trimestre 12 (Dic.- Ene.- Feb.)



Escalas Probabilidad (%)



Escalas Cambios de porcentaje (%)

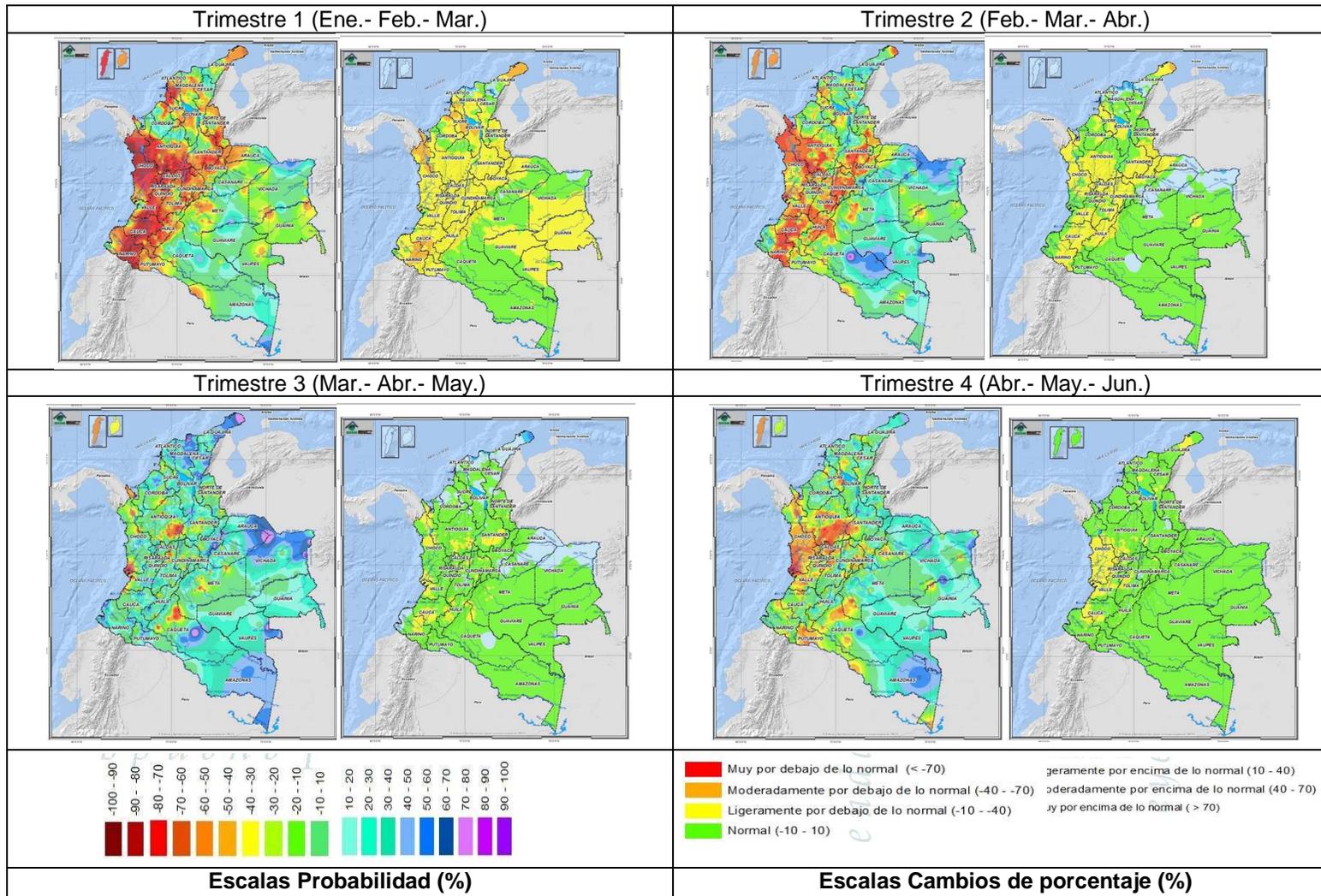
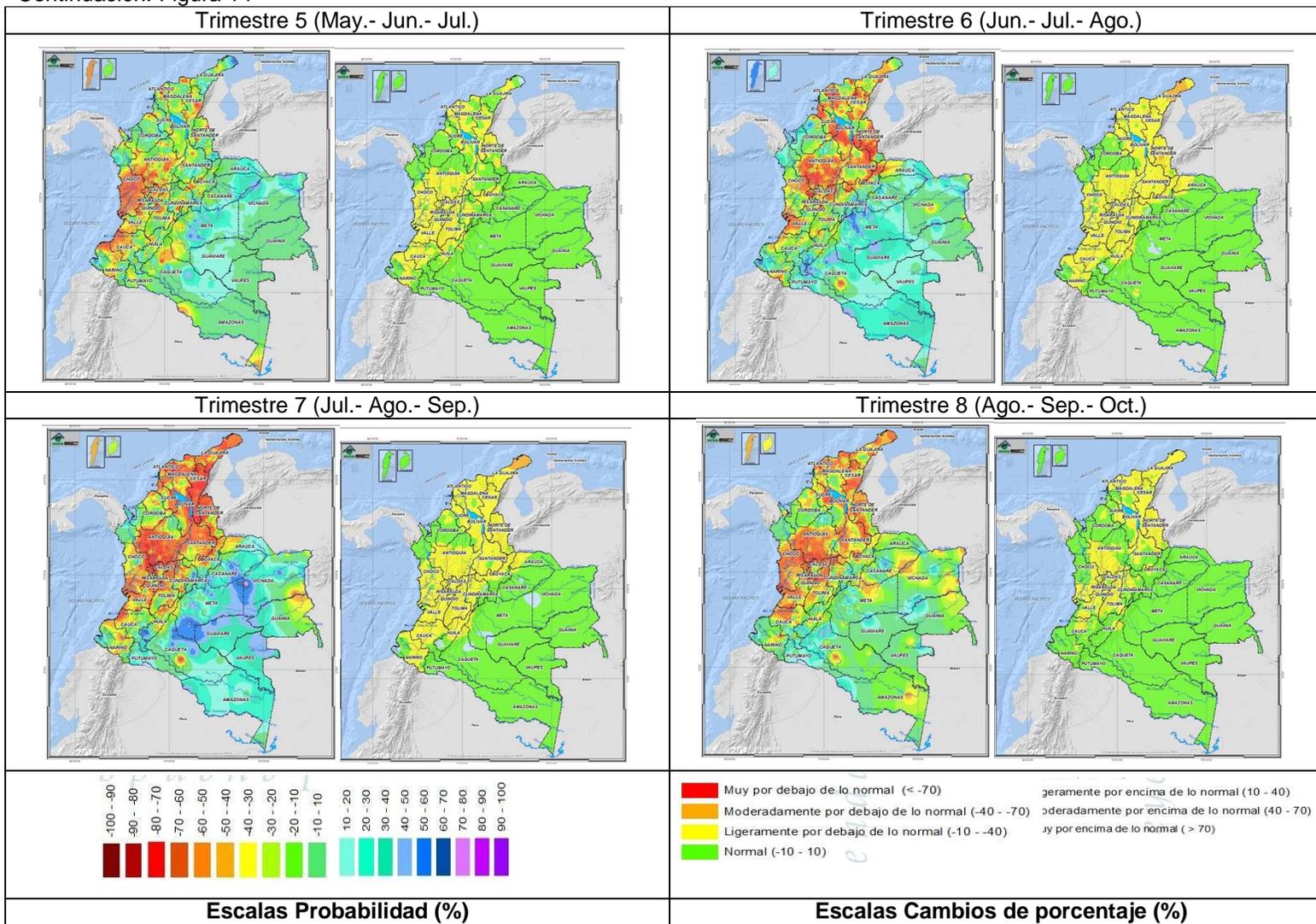
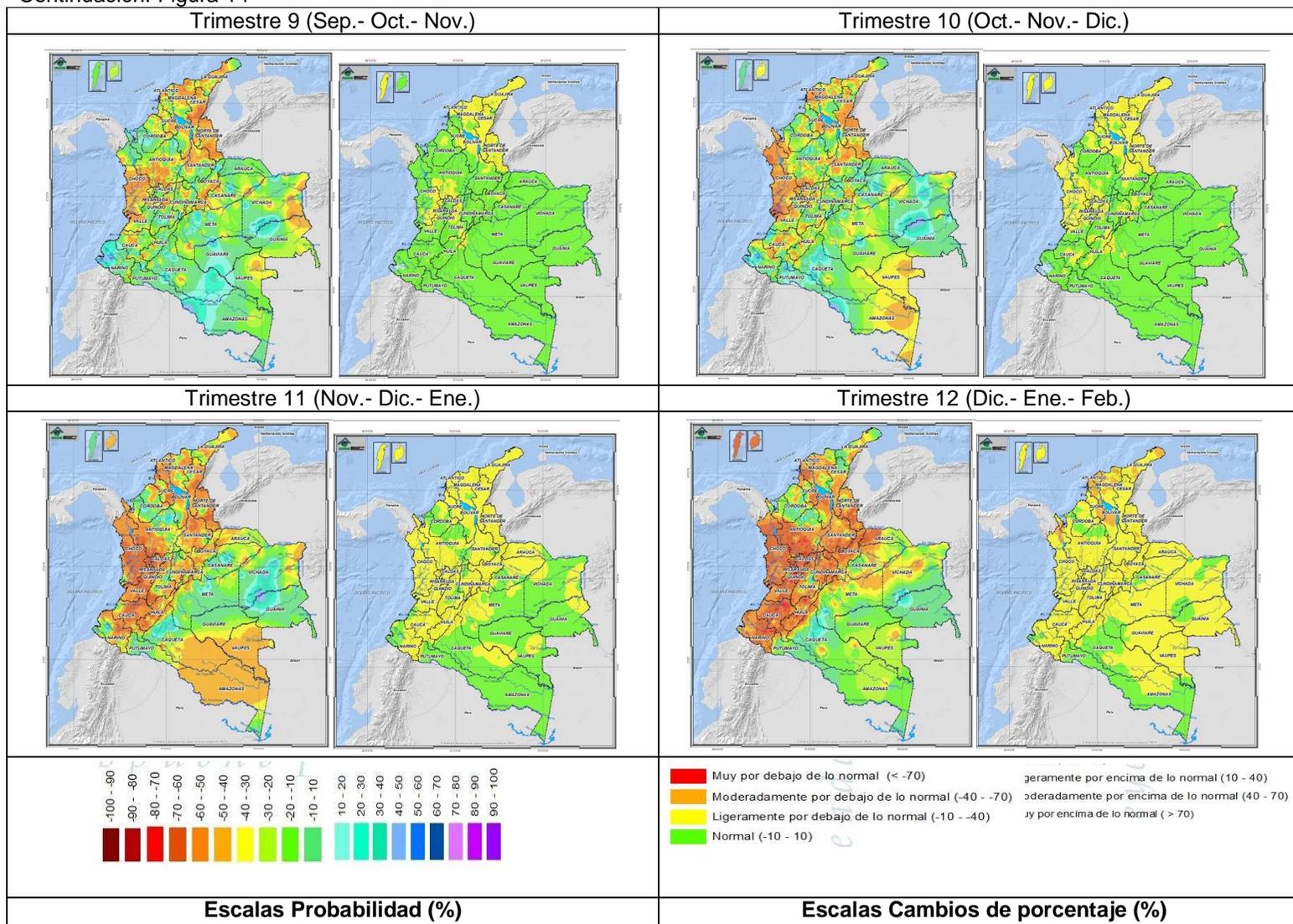


Figura 14. Probabilidades y cambios en porcentaje de la precipitación trimestral en Colombia según el índice ONI, bajo un evento El Niño

Continuación. Figura 14



Continuación. Figura 14



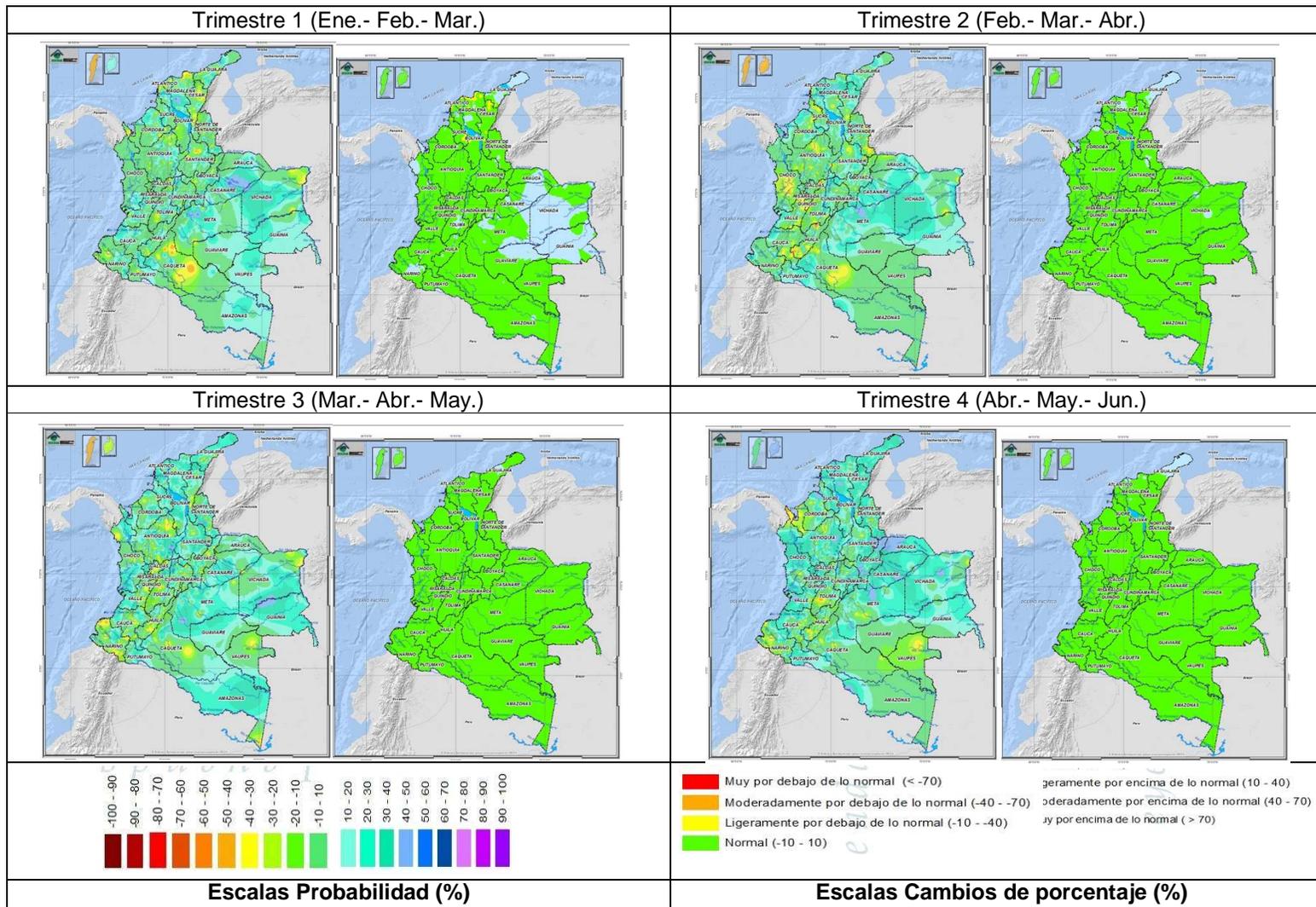
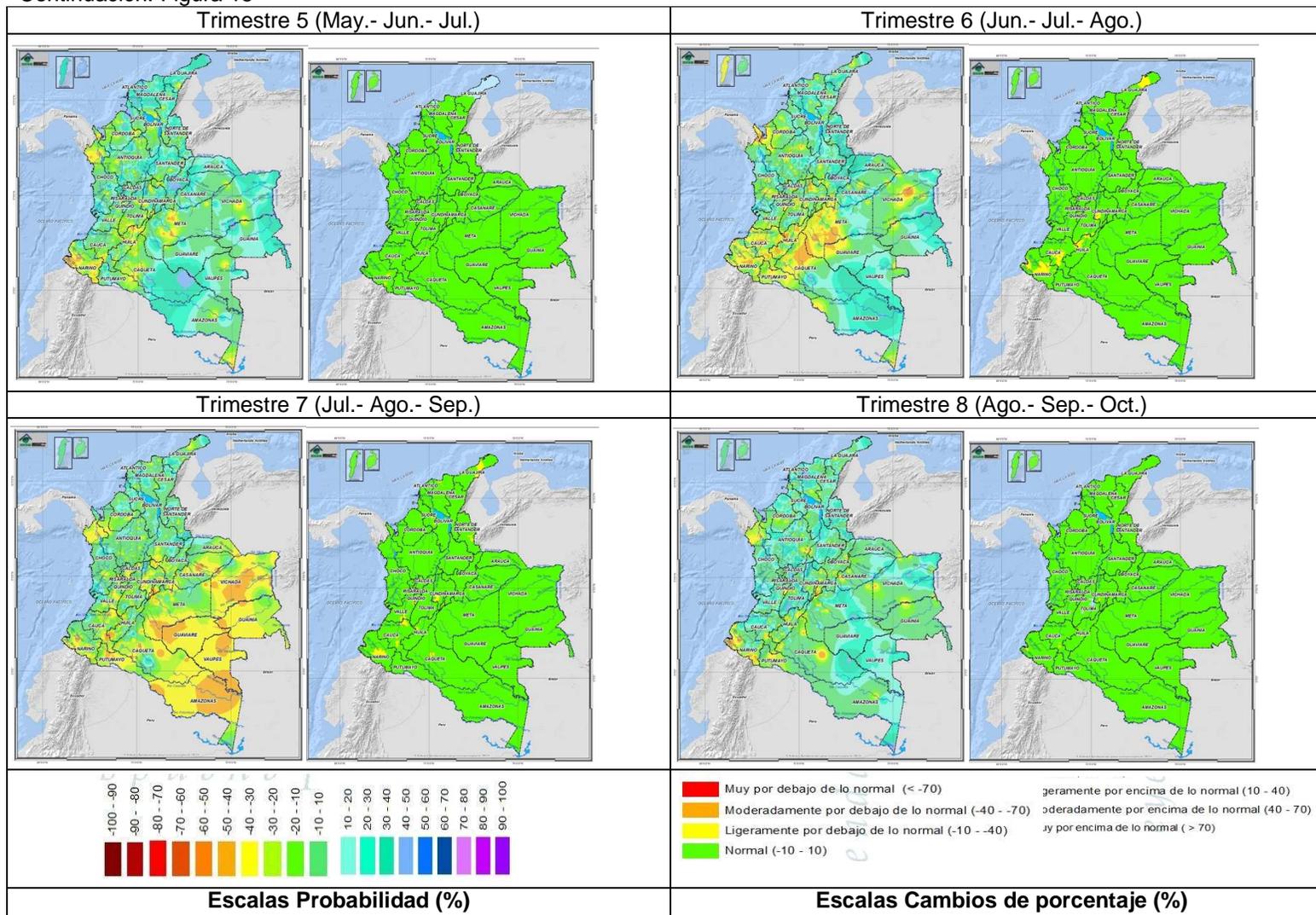
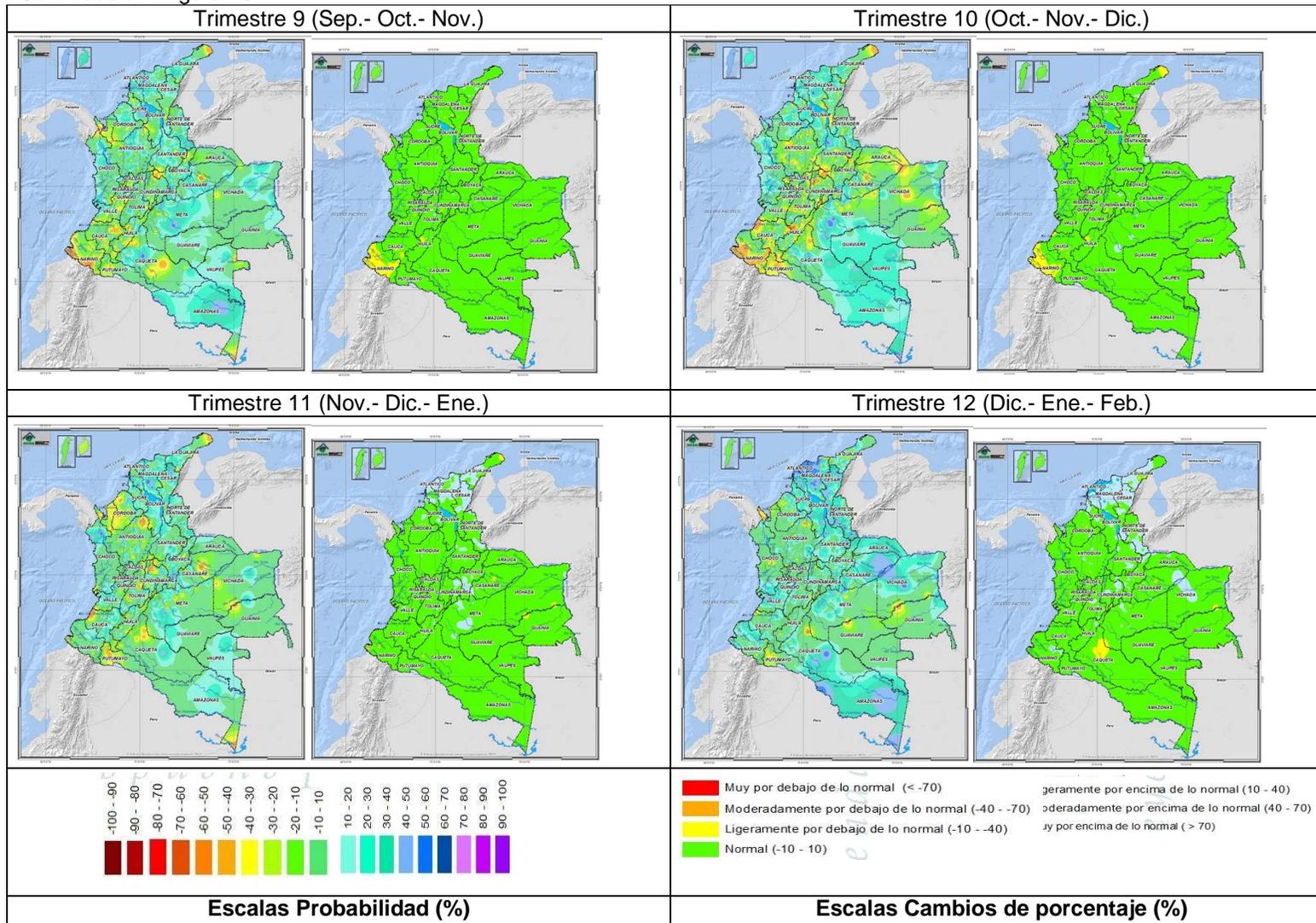


Figura 15. Probabilidades y cambios en porcentaje de la precipitación trimestral en Colombia según el índice ONI, bajo condiciones normales

Continuación. Figura 15



Continuación. Figura 15



## 5. CONCLUSIONES

En relación con el análisis de correlación podemos concluir que, los índices representativos del ciclo ENSO y los registros de precipitación presentaron una baja correlación. Las regiones de la Amazonía y la Orinoquía son las que parecen estar más desvinculadas de la señal derivada de los fenómenos, por cuanto los índices de precipitación a nivel trimestral, no presentaron correlaciones significativas, lo cual es un reflejo de la falta de causalidad entre las variables analizadas.

Para los trimestres 1, 11 y 12, en los cuales se presenta la fase madura del ENSO, se encontraron las mayores correlaciones en todas las regiones naturales del país. Cabe destacar que, en las estaciones de la región Andina, se encontró el mayor número de índices con correlaciones significativas para la precipitación.

Los índices que obtuvieron las correlaciones más altas en la mayor cantidad de trimestres fueron el IOS, los vientos zonales troposféricos y las medias móviles de las anomalías de las temperaturas superficiales del mar. Los índices de la componente atmosférica del ENSO presentan una correlación positiva, mientras los índices de la componente oceánica del ENSO presentan una correlación negativa.

El análisis compuesto, Bajo condiciones La Niña, mostró altas probabilidades (entre 60% y 70%) que se presente un aumento significativo en los volúmenes de precipitación, esto se hace más evidente hacia los últimos trimestres del año (10 y 11) y a mediados del año (6 y 7). Mientras que en un evento El Niño, los trimestres más afectados son los primeros y los últimos con probabilidad de disminución de la precipitación hasta de un 90%. Bajo condiciones normales ENSO, todo el territorio colombiano se caracteriza por presentar una probabilidad de aumento en las lluvias entre el 30 y el 40% con cambios poco significativos (dentro de lo normal), exceptuando los trimestres 6 y 7 que presentan leve probabilidad de disminución de la precipitación.

## **6. SUGERENCIAS**

Realizar el estudio con metodologías orientadas a la minería de datos, las cuales se especializan en establecer patrones en grandes volúmenes de datos, con lo cual se podrían obtener resultados más significativos a la hora de analizar la dependencia de la precipitación en Colombia con el fenómeno ENSO.

Para próximas investigaciones se recomienda realizar el análisis compuesto con los resultados de los índices obtenidos por trimestre, en cada región. De igual manera, se sugiere hacer un profundo análisis de los procesos de la circulación local en cada región con el fin de encontrar índices que estén acorde con las anomalías de la precipitación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se hace un reconocimiento a los funcionarios del IDEAM, que con sus oportunos y valiosos aportes hicieron posible la elaboración del presente artículo, en especial a las Meteorólogas Gloria León e Inés Sánchez, por sus orientaciones en formulación en la metodología y al Ingeniero de Sistemas Xavier Corredor por sus contribuciones y asesorías en el procesamiento de la información mediante el software Jaziku.

Se hace un reconocimiento especial al meteorólogo Edgar Montealegre por sus valiosos y oportunos aportes en la revisión final de este documento

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Ariza, F. (2002). Calidad en la producción cartográfica. Madrid, Ra-Ma. P 389.
- Canto , C., Gutiérrez, J., Méndez, R., & Pérez, M. (1998). Los mapas temáticos en trabajos prácticos en Geografía humana. Síntesis. Madrid, Pp. 311-396.
- Barrera, A. (2004). Técnicas de completado de series mensuales y aplicación al estudio de la influencia de la NAO en la distribución de la precipitación en España. Trabajo para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados (DEA). Programa de doctorado de Astronomía y Meteorología, Universidad de Barcelona, Barcelona.
- IPCC. (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis, Cambridge University Press, Cambridge, 881 pp.
- Montealegre, E. (2009). Estudio de la Variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala. Nota Técnica IDEAM, IDEAM -METEO/022-2009, Bogotá D.C.
- NOAA. (1997). National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) , University Corporation for Atmospheric Research (UCAR)). Creating a Local Climate Product Using Composite Analysis - Print Version of Webcast. Obtenido de <http://meted.ucar.edu>
- OMM. (1989). Calculation of monthly and annual 30-year standard normals prepared by a meeting of experts, Washington, DC, USA, Marzo de 1989. Organización Meteorológica Mundial, WCDP N 10, OMM, Ginebra.
- Pabón, J. (2003). Pabón, J. (2003). Fenómeno El Niño: efectos e impactos en el Pacífico colombiano. El Mundo marino de Colombia: investigación y desarrollo de territorios olvidados. UNAL. Bogotá, D.C.
- Pabón, J., & Torres, G. (2006). Efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en la Sabana de Bogotá. Meteorol. Colomb. 10: 86-99. ISSN 0124-6984. Bogotá, D. C.
- Poveda, G., & Rojas, W. (1997). Evidencias de la asociación entre brotes epidémicos de malaria en Colombia y el fenómeno del Niño-Oscilación del sur. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Vol XXI, Numero 81.
- Poveda, G., Gil, M., & Quiceno, N. (1998). El ciclo anual de la Hidrología de Colombia en relación con el ENSO y la NAO.

Poveda, G., Vélez, J., Mesa, O., Hoyos, C., Barco, O., & Correa, P. (2002). "Influencia de fenómenos macro climáticos sobre el ciclo anual de la hidrología colombiana: cuantificación lineal, no lineal y percentiles probabilísticos". *Meteorología Colombiana*, pp.121-130. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C.

Press, W., Teukolsky, S., Vetterling, W., & Flannery, B. (1992). *Numerical Recipes in FORTRAN: The Art of Scientific Computing*, 2nd Edition. Cambridge.

Renú, J., & Summant, N. (2006). ENSO Evolution and Teleconnections in IPCC's Twentieth-Century Climate Simulations: Realistic Representation? *Journal of climate*. Vol 9.

Ruiz, F., Arango, C., Dorado, J., & Guzmán, D. (2012a). Cambio climático más probable para Colombia a lo largo del siglo XXI respecto al clima presente.: Nota Técnica IDEAM. Bogotá D.C.

Ruiz, F., Arango, C., Dorado, J., & Guzmán, D. (2012b). CLIMATOLOGÍA TRIMESTRAL DE COLOMBIA. Nota Técnica IDEAM. Bogotá D.C.

Sánchez, I. (2011). Investigación del comportamiento de la precipitación bajo el fenómeno ENOS, mediante el análisis por terciles para su aplicación en modelos de distribución hipergeométrica para fines de predicción climática. Nota Técnica IDEAM. Bogotá, Colombia.

Sánchez, I., Corredor, X., & Ruíz, F. (2012). *Jazikü - Manual de usuario*. Anexo 9. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM-Subdirección de Meteorología. Bogotá, Colombia.

Solis, Z., & Flórez, J. (2005). Análisis comparativo de técnicas de interpolación en la estimación de la variación espacial de factores en una cuenca hidrográfica.

Wajsowicz, R. (2006). *Seasonal-to-Interannual Forecasting of Tropical Indian Ocean Sea Surface Temperature Anomalies: Potential Predictability and Barriers*. Department of Atmospheric and Oceanic Science, University of Maryland, College Park, College Park, Maryland.

Wu, R., Kirtman, B., & Van Den Dool, H. (2009). An Analysis of ENSO Prediction Skill in the CFS Retrospective Forecasts. *J. Climate*, 22, 1801–1818.

Zhang, R.-H., & Zebiak, S. (2005). *Retrospective El Niño Forecasts Using an Improved Intermediate Coupled Model*. International Research Institute for Climate Prediction, The Earth Institute at Columbia University, Palisades, New York.