

# **RELACION ENTRE LAS FASES DE LA OSCILACION CUASIBIENAL (QBO), LA PRECIPITACION MENSUAL Y LA RADIACION DE ONDA LARGA EMERGENTE EN COLOMBIA**

**Manuel David Zuluaga Arias y Javier Eduardo Posada Muñoz y Germán Poveda**  
**Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos,**  
**Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia**

correo-e: [gpoveda@perseus.unalmed.edu.co](mailto:gpoveda@perseus.unalmed.edu.co)  
[mzuluaga@hidraulica.unalmed.edu.co](mailto:mzuluaga@hidraulica.unalmed.edu.co)

## **RESUMEN**

Los registros de lluvias totales mensuales en múltiples estaciones en Colombia exhiben una fuerte señal detectada en la banda cuasi-bienal de 26 meses. Se ha conjeturado que puede estar asociada con la Oscilación Cuasi-Bienal de los vientos zonales estratosféricos, conocida como QBO. Se presenta una breve descripción de la QBO y se ilustra con los vientos estratosféricos de los 30 hPa en el Pacífico tropical. Se presenta un análisis estadístico tendiente a cuantificar la posible relación entre los registros de precipitación en varias estaciones Colombianas y la serie de la QBO, discretizada en sus fases este y oeste, así como durante las dos fases del fenómeno ENSO: El niño y La Niña. Se presentan análisis de correlación entre las series de QBO y los registros de Radiación de Onda Larga Emergente (OLR) sobre el territorio Colombiano (obtenidos del Reanálisis Climático del NCEP/NCAR). Los resultados obtenidos indican que no hay una correlación lineal significativa entre la QBO y los registros de lluvia y de OLR sobre Colombia, lo cual indica la necesidad de continuar refinando las herramientas de asociación (no lineal) entre variables atmosféricas, que puedan explicar el origen de la banda cuasi-bienal en los registros de lluvia en Colombia.

## **INTRODUCCIÓN**

La distribución espacio-temporal de las lluvias de Colombia está determinada fundamentalmente por la oscilación meridional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), pero exhibe una variabilidad espacial afectada por la presencia de la cordillera de los Andes y la cuenca del Río Amazonas, por la circulación atmosférica asociada con la cercanía de los océanos Pacífico y Atlántico tropicales, por la interacción suelo-atmósfera, y por la dinámica de los vientos de la corriente del occidente Colombiano, denominada corriente “del CHOCÓ” (Poveda, 1998, 2000). A la escala de tiempo interanual, Colombia y el norte de Sur América exhibe anomalías hidroclimáticas del mismo signo durante las dos fases del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENSO). Ver Aceituno (1988), Ropelewsky y Halpert (1996). Con pocas variaciones regionales en cuanto a la amplitud y a la distribución en el tiempo, en Sur América tropical se presentan anomalías negativas en la precipitación y en los caudales de los ríos durante El Niño, y generalmente lo contrario durante La Niña. Los mecanismos físicos asociados a estas anomalías se discuten en los trabajos de Poveda (1998) y Poveda y Mesa (1997, 2000) y Poveda et al. (2000). Adicionalmente, en la escala de tiempo interanual se ha detectado que en los registros totales mensuales de precipitación existen fuertes periodicidades en la banda entre 24 y 28 meses (Poveda, 1994, 1997, 1998). Esta señal cuasi-bienal en los registros de las lluvias mensuales de Colombia podría ser resultado de la influencia de la llamada oscilación cuasi-bienal de los vientos estratosféricos o QBO. Algunos de los aspectos más relevantes y ampliamente conocidos de la QBO son (Holton, 1972):

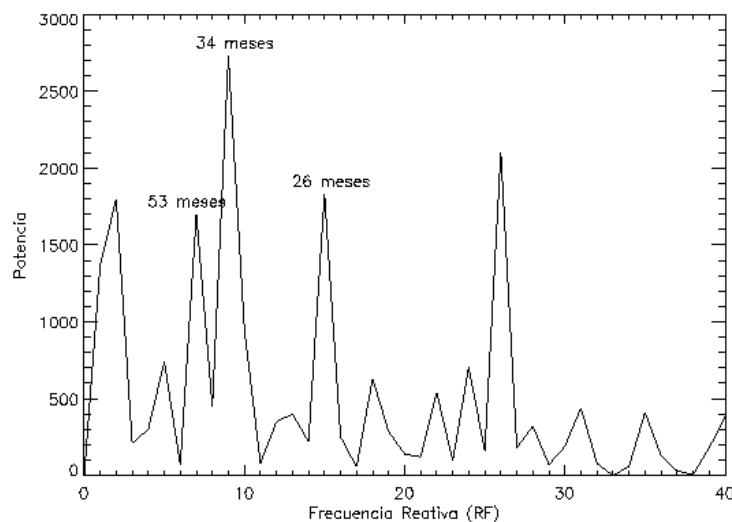
- La oscilación cuasi-bienal (QBO) es un fenómeno atmosférico que presenta una periodicidad casi perfecta, se trata de una oscilación en la dirección de los vientos zonales y en la temperatura, esto es, una inversión regular de los vientos en la estratosfera sobre el ecuador.
- Los vientos zonales presentan un patrón alternante entre dirección oeste y este, con una periodicidad alrededor de 24-30 meses.
- Los regímenes sucesivos aparecen primero por encima de los 30 km (~10 hPa) pero se propagan hacia niveles inferiores de la atmósfera a una velocidad de 1 km/mes.
- La propagación hacia niveles bajos ocurre sin perder la amplitud entre los 30 y 23 km, pero decrece por debajo de los 23 km.
- La oscilación es simétrica respecto al ecuador con una amplitud máxima de alrededor 20 m/s.

Este comportamiento de los vientos zonales sobre el ecuador ha sido estudiado desde los años 1950s. El periodo ha variado desde un poco más de 3 años a 2 años. La amplitud de la oscilación es mayor a una altitud de 30 km (20 hPa). Los vientos en dirección este son mucho más fuertes que los vientos en dirección oeste (*Burroughs, 1992*).

Mediante análisis de funciones ortogonales empíricas (Figura 1) y análisis de Fourier, *Poveda et al* (1994a) encuentran una señal espectral importante en la banda de los 26 meses al analizar las lluvias mensuales de Colombia (Figura 2). Las relaciones entre la QBO y la hidroclimatología de Colombia no son aún claras. *Gray et al.* (1992) reportan las observaciones y dan soporte teórico a un posible vínculo dinámico entre la QBO y las variaciones interanuales del fenómeno ENSO y la frecuencia de los huracanes sobre el mar Caribe.



**Figura 1.** Función Ortogonal Empírica No.1 para la precipitación mensual estandarizada en Colombia, 1959-1992 (*Poveda, 1994*).



**Figura 2.** Transformada Inversa de Fourier para la primera Componente Principal de la lluvia en Colombia (*Poveda, 1994*).

Es importante tener en cuenta que existe una cortante vertical del viento muy fuerte en el nivel donde el régimen de vientos es reemplazado por el otro. Estos esfuerzos cortantes verticales entre la alta troposfera y la baja estratosfera son factores importantes en la modulación de la convección ecuatorial profunda, es así como la QBO está asociada con estos cambios en los esfuerzos cortantes. Básicamente, la fase este de la QBO en las latitudes bajas de la estratosfera y la alta troposfera favorecen la convergencia de bajo nivel y por tanto tienden a preservar una fuerte actividad convectiva en el ecuador (*Mesa et al., 1997*). La razón de esto proviene de la ecuación de viento térmico y el enfriamiento relativo asociado, lo que se refleja en una estratosfera inferior más delgada. Entonces se da un ajuste hidrostático de anomalías positivas en las alturas geopotenciales y una disminución en la estratificación térmica en la troposfera superior. Tales anomalías en la

altura geopotencial y en las temperaturas aumentan la circulación divergente de la alta troposfera centrada en el ecuador con la consecuente convergencia en los niveles bajos.

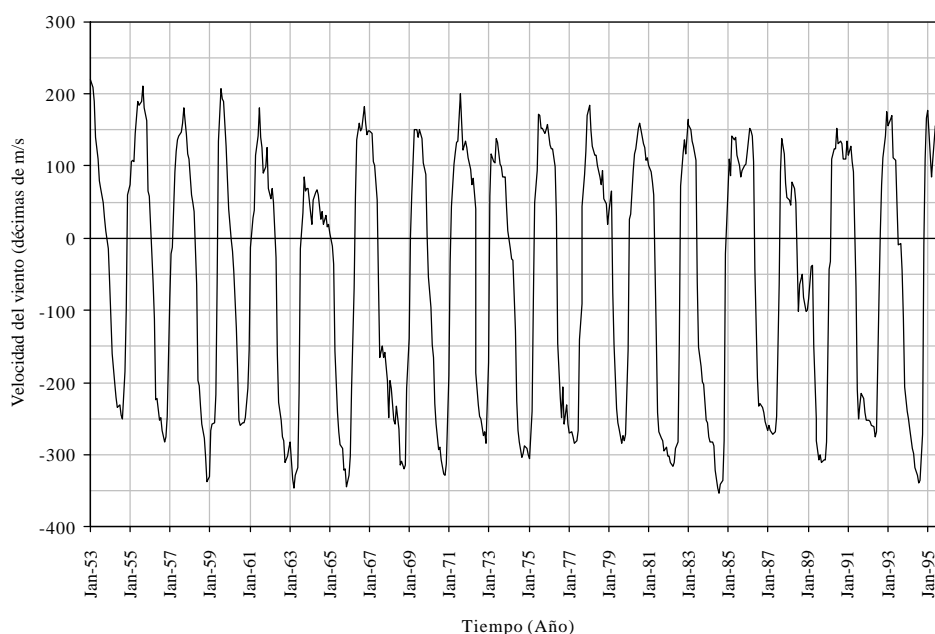
Al mismo tiempo, durante la fase este de la QBO, la convección profunda es inhibida en las zonas de convergencia de los monzones fuera del ecuador (latitudes entre los 8 y 18 grados). En la fase oeste existen tendencias opuestas en ambas regiones (Mesa et al., 1997).

En este trabajo se examina la relación estadística existente entre la señal de la QBO y los registros de precipitación y de Radiación de Onda Larga Emergente (OLR) sobre Colombia. Los registros en el trópico sirven de sustituto de la precipitación, a través de los mecanismos de generación de la lluvia tropical mediante convección profunda.

## Datos

Para llevar a cabo el análisis estadístico se recopiló información de las velocidades de vientos estratosféricos (QBO), Precipitación Mensual (P) en Colombia, y datos de Radiación de Onda Larga Emergente (OLR).

- Los registros de velocidad del viento (QBO) se seleccionaron para los años comunes a los registros de precipitación. Se obtuvieron los datos para vientos zonales a 30 hPa. Los registros corresponden a la isla de Canton (3°S,172°W, para el período enero 1953 – agosto 1967; Gan/Maledives (1S, 73E) para Septiembre 1967 – Diciembre 1975; y Singapur (1N,104E) para enero 1976 – Febrero 1999. La fase de la QBO significa la dirección en la que soplan los vientos en el momento en que son registrados. La serie de registros de la QBO Se obtuvo en la página web [http://tao.atmos.washington.edu/data\\_sets/qbo/](http://tao.atmos.washington.edu/data_sets/qbo/). La Figura 3 presenta la serie de la QBO para el período 1953-1999.



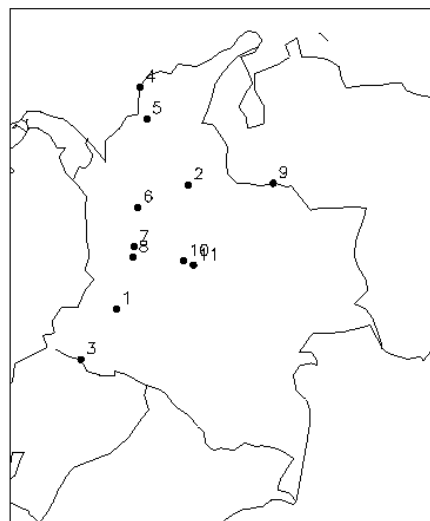
**Figura 3.** Serie de velocidad del viento (QBO) en el período 1953-1999.

- Se usaron registros de precipitación mensual para diferentes estaciones repartidas en Colombia, obtenidos del IDEAM (Servicio Meteorológico). Se escogieron aquellas estaciones que tuvieran más de 45 años de registros, además de que no tuvieran datos faltantes. El periodo usado fue enero de 1953 hasta diciembre de 1995, para un total de 43 años de registro. La tabla 1 muestra las estaciones de precipitación utilizadas y la extensión del período de registros

y la figura 2 la distribución espacial de las mismas sobre Colombia.

**Tabla 1.** Estaciones de Precipitación utilizadas

No.	Estación	Localización	Periodo
1.	Silvia Planta eléctrica	Silvia, Cauca	1947_1996
2.	Aerop. Yariguies	B/meja, Santander	1931_1996
3.	Aerop. San Luis	Ipiales, Nariño	1941_1996
4.	Aerop. Rafael Nuñez	C/gena, Bolivar	1941_1995
5.	Aerop. Rafael Bravo	Corozal, Sucre	1943_1995
6.	Aerop. Olaya Herrera	Medellin, Antioquia	1941_1995
7.	Aerop. Matecaña	Pereira, Risaralda	1947_1995
8.	Aerop. el Edén	Quindio, Armenia	1949_1995
9.	Aerop. Arauca	Arauca, Arauca	1945_1995
10.	Monterredondo	Quetame, C/marca	1951_1995
11.	Aerop. Vanguardia	V/cencio, Meta	1930_1995



**Figura 4.** Distribución espacial de las estaciones de precipitación.

- Los datos para la OLR se obtuvieron del Proyecto de Reanálisis Climático de NCEP/NCAR (*Kalnay et al.*, 1996), para el período 1982 – 1994, por lo cual se tomó el mismo período de registros de la QBO. El objetivo es estimar la correlación existente entre la QBO y los registros de OLR alrededor de Colombia. Para ello se dividió el territorio colombiano en tres zonas (i) Zona 1; ubicada entre 110W y 50W; 10S y 20N; (ii) Zona 2; ubicada entre 110W y 50W; Ecuador y 20N, y (iii) Zona 3; ubicada entre 110W y 50W; 20S y Ecuador.

## METODOLOGÍA

Se estimó la correlación lineal simple entre la serie mensual de QBO y las variables precipitación mensual (registro común de 1953 a 1995) y de OLR. Se estandarizaron las series de precipitación mensual para cada una de las estaciones, y de OLR, mediante el procedimiento de restar la media mensual y dividir por la desviación estándar mensual, esto con el fin de eliminar el ciclo anual de las series, ya que este domina fuertemente la señal y enmascara otras frecuencias en la escala interanual.

Precipitación. La correlación entre la QBO (serie completa y separada por fase este – oeste) y la precipitación estandarizada para los datos de cada una de las estaciones se calculó con períodos de rezago,  $k$ , de 0 y 1 mes. Se hizo un cálculo de probabilidades de ocurrencia de eventos simultáneos, lo que significa cuantificar el número de veces que se presenta una anomalía negativa de precipitación cuando se está en la fase Este de la QBO y así para las otras combinaciones (QBO oeste – P negativa; QBO este - P positiva y QBO este - P positiva). Con estos datos se halló la probabilidad de ocurrencia de un evento en cualquiera de las cuatro combinaciones, esto es el número de eventos por combinación dividido por el total de eventos ocurridos. Si la ocurrencia de los eventos es aleatoria, la probabilidad de ocurrencia de cualquier combinación debe ser 0,25. También se desarrolló este tipo de análisis a la luz de las dos fases del fenómeno ENSO: El Niño y La Niña, así como durante “época normal”.

OLR. La serie de la OLR se estandarizó para eliminar el ciclo anual y semi-anual, muy fuerte en el trópico suramericano, y dejando la serie de la QBO sin estandarizar para poderla comparar con la serie de la OLR ya que lo que interesa es su señal interanual. La metodología indicada se aplica a las tres zonas mencionadas.

## RESULTADOS.

Precipitación. El coeficiente de correlación nos muestra el grado de dependencia lineal entre dos variables. Esto quiere decir que si el coeficiente de correlación igual a 1, la observación de una serie, por ejemplo, permitirá la predicción correcta de la otra serie (dependencia estocástica perfecta) y por el contrario si el valor del coeficiente de correlación es nulo, las dos series no tienen ninguna relación lineal que pueda explicar una, en términos de la otra. Con el cálculo de la probabilidad de ocurrencia se puede ver si los eventos suceden aleatoriamente o no, y si es así, en que fase o que modo de precipitación ocurre. Las tablas 2 a 9 muestran los resultados obtenidos para el cálculo de la correlación y las probabilidades de ocurrencia.

**Tabla 2.** Correlación entre Precipitación y la QBO para todos los datos y separados por fase.

Est.	Serie Completa		Fase Oeste		Fase Este	
	k=0	k=1	k=0	k=1	k=0	k=1
1.	0.054	0.053	-0.026	-0.039	0.061	0.027
2.	0.017	0.038	-0.048	-0.060	0.079	0.014
3.	0.074	-0.087	0.108	0.110	-0.087	-0.102
4.	-0.001	0.002	0.056	0.096	0.067	0.071
5.	0.036	0.029	-0.017	0.042	0.101	0.053
6.	-0.043	0.029	0.013	0.010	0.070	0.062
7.	0.007	0.008	0.069	0.039	0.042	0.056
8.	0.079	0.079	-0.072	-0.088	0.080	0.084
9.	0.002	0.001	0.143	0.145	0.035	0.003
10.	-0.050	-0.058	0.056	0.040	-0.023	0.039
11.	-0.025	-0.009	-0.008	0.007	-0.018	0.000

**Tabla 3.** Probabilidad de ocurrencia de eventos para todos los datos.

Est.	P(+)	P(+)	P(-)	P(-)
	Qw	Qe	Qw	Qe
1.	0.227	0.225	0.255	0.292
2.	0.215	0.233	0.267	0.285
3.	0.208	0.227	0.275	0.290
4.	0.149	0.180	0.333	0.337
5.	0.233	0.251	0.202	0.314
6.	0.198	0.247	0.284	0.271
7.	0.220	0.235	0.263	0.282
8.	0.223	0.213	0.260	0.304
9.	0.190	0.213	0.293	0.304
10.	0.231	0.247	0.251	0.271
11.	0.225	0.269	0.257	0.249

**Tabla 4.** Correlación entre la Precipitación y la QBO para eventos en período Normal.

Est.	Serie Completa		Fase Oeste		Fase Este	
	k=0	k=1	k=0	k=1	k=0	k=1
1.	-0.074	-0.076	-0.049	-0.074	-0.015	0.031
2.	-0.087	-0.075	0.089	0.008	-0.022	0.131
3.	-0.134	-0.136	0.178	0.204	-0.239	-0.168
4.	-0.020	-0.005	0.068	0.081	-0.075	-0.002
5.	0.103	0.122	0.083	0.084	0.070	0.056
6.	0.118	-0.100	0.013	0.066	-0.090	-0.065
7.	-0.061	-0.091	0.104	0.068	-0.144	-0.109
8.	-0.024	-0.036	-0.040	-0.088	-0.015	-0.029
9.	0.068	0.050	0.049	0.049	0.093	0.045
10.	-0.043	-0.051	0.014	-0.035	-0.053	0.081

**Tabla 5.** Probabilidad de ocurrencia para Eventos en período Normal.

Est.	P(+)	P(+)	P(-)	P(-)
	Qw	Qe	Qw	Qe
1.	0.106	0.165	0.141	0.141
2.	0.114	0.163	0.118	0.145
3.	0.088	0.145	0.159	0.161
4.	0.129	0.178	0.125	0.143
5.	0.149	0.147	0.098	0.159
6.	0.118	0.182	0.145	0.131
7.	0.110	0.167	0.133	0.139
8.	0.108	0.143	0.131	0.161
9.	0.120	0.147	0.124	0.161
10.	0.118	0.149	0.129	0.157

**Tabla 6.** Correlación entre la Precipitación y la QBO para eventos en período El Niño.

Est.	Serie Completa		Fase Oeste		Fase Este	
	k=0	k=1	k=0	k=1	k=0	k=1
1.	0.134	0.135	-0.014	0.045	0.067	0.245
2.	0.030	0.120	-0.107	0.137	0.053	-0.030
3.	-0.066	-0.029	0.009	0.071	0.130	0.062
4.	0.017	0.076	-0.045	-0.037	0.142	0.308
5.	-0.148	-0.122	-0.229	-0.097	-0.016	0.029
6.	0.056	0.114	-0.010	-0.043	0.105	0.157
7.	0.082	0.092	0.137	0.030	0.100	0.191
8.	0.199	0.234	-0.091	-0.150	0.147	0.147
9.	-0.030	0.008	0.271	0.230	0.033	0.075
10.	0.127	-0.078	0.131	0.139	0.013	0.052

**Tabla 7.** Probabilidad de ocurrencia para Eventos en período El Niño

Est.	P(+)	P(+)	P(-)	P(-)
	Qw	Qe	Qw	Qe
1.	0.057	0.053	0.067	0.135
2.	0.049	0.082	0.073	0.106
3.	0.035	0.076	0.082	0.112
4.	0.029	0.043	0.088	0.145
5.	0.035	0.055	0.071	0.122
6.	0.016	0.029	0.086	0.151
7.	0.047	0.041	0.075	0.147
8.	0.057	0.025	0.084	0.176
9.	0.076	0.122	0.045	0.067
10.	0.035	0.086	0.082	0.102

**Tabla 8.** Correlación entre la Precipitación y la QBO para eventos en período La Niña.

Est.	Serie Completa		Fase Oeste		Fase Este	
	k=0	k=1	k=0	k=1	k=0	k=1
1.	0.295	0.322	0.241	0.263	0.241	0.133
2.	0.220	0.241	-0.121	0.054	0.422	0.503
3.	0.010	-0.036	0.365	0.251	-0.102	-0.191
4.	0.025	-0.095	0.204	0.388	0.190	0.005
5.	-0.010	-0.042	0.055	0.221	0.135	0.058
6.	0.149	-0.179	0.157	0.199	0.089	-0.037
7.	0.020	-0.031	0.014	-0.016	0.263	0.248
8.	0.115	0.073	0.038	0.137	0.061	0.106
9.	-0.210	-0.235	0.123	0.073	-0.240	-0.419
10.	0.077	0.121	0.053	0.032	-0.246	0.174

**Tabla 9.** Probabilidad de ocurrencia para Eventos en período La Niña.

Est.	P(+)	P(+)	P(-)	P(-)
	Qw	Qe	Qw	Qe
1.	0.061	0.039	0.010	0.031
2.	0.061	0.043	0.022	0.025
3.	0.059	0.053	0.012	0.018
4.	0.047	0.043	0.024	0.027
5.	0.047	0.049	0.024	0.022
6.	0.055	0.053	0.016	0.018
7.	0.039	0.061	0.031	0.010
8.	0.047	0.045	0.008	0.014
9.	0.016	0.029	0.055	0.039
10.	0.049	0.057	0.022	0.014

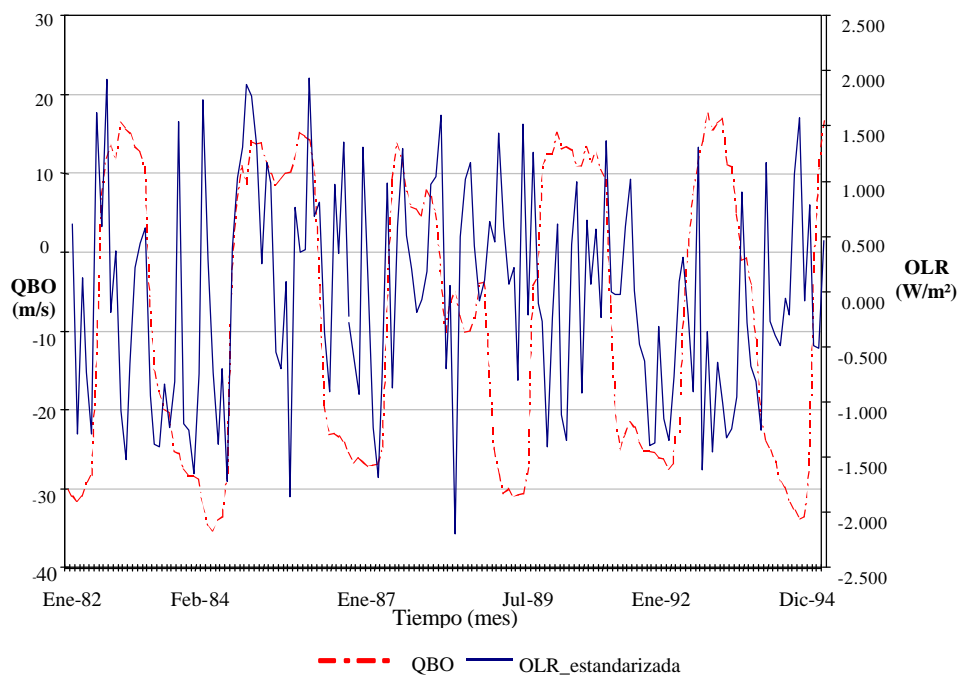
*OLR*.. La Tabla 10 muestra los valores de correlación encontrados para las tres zonas analizadas sobre el territorio colombiano. Se aprecian la correlación entre las series completas de la QBO y con rezagos de un y dos meses; la fase oeste y este y los años en los cuales se tuvo influencia del eventos El Niño, La Niña y años normales.

**Tabla 10.** Correlaciones entre la QBO y la OLR.

	OLR vs. QBO	OLR vs. QBO	OLR vs. QBO
	110W-50W; 10S-20N	110W-50W; Ecuador-20N	110W-50W; 20S-Ecuador
Serie Completas	0.106	0.132	0.024
Rezago 1 mes	0.150	0.138	0.081
Rezago 2 meses	0.129	0.078	0.132
Fase Oeste	-0.155	0.020	-0.281
Fase Este	0.025	0.120	-0.147
Años Niño	-0.141	0.005	-0.399
Años Niña	0.121	-0.016	0.337
Años Normales	0.240	0.203	0.269

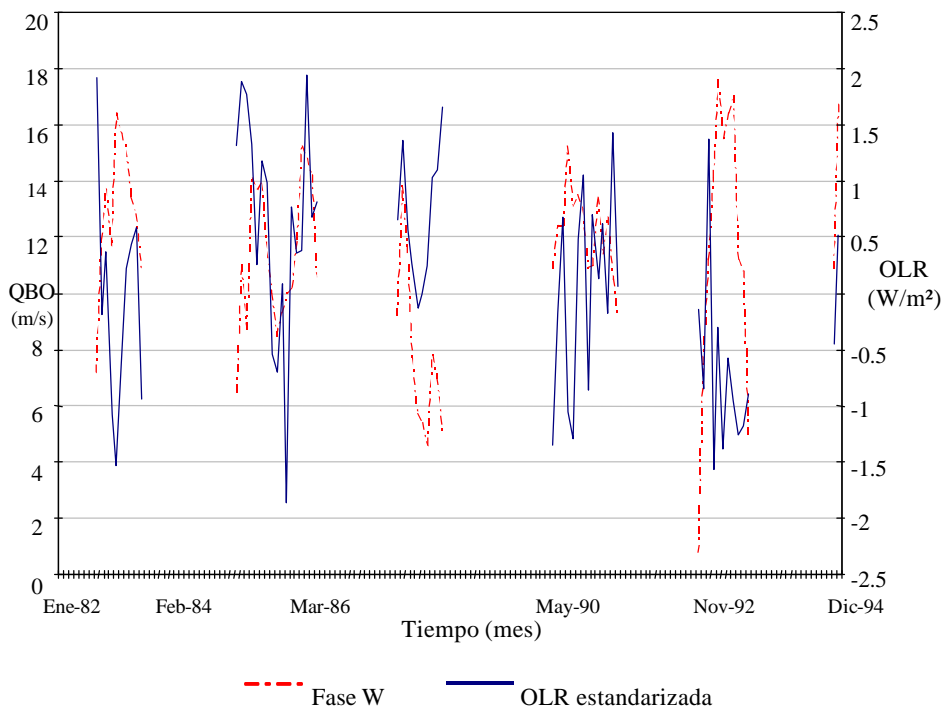
En la Figura 5 la QBO (m/s) es la línea continua, y la discontinua es la OLR (W/m<sup>2</sup>) para el período de 1982-1994. El valor de la correlación obtenida entre la QBO y la OLR es de 0.106. Rezagando la serie un mes el valor de la OLR muestra un aumento en el grado de correlación con

la QBO alcanzando el valor de 0.15. Para dos meses de rezago disminuye el valor de la correlación dando alcanzando el valor de 0.13 que son valores muy bajos que no concluyen nada.



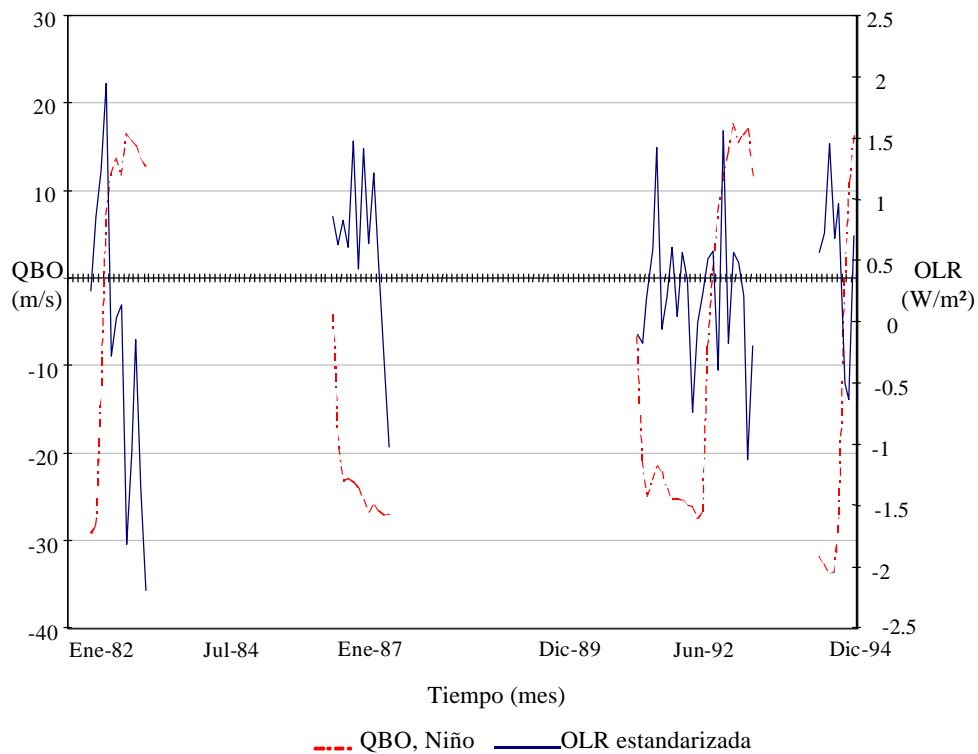
**Figura 5.** Evolución temporal simultánea de la QBO y OLR.

Luego de analizar la serie de la QBO completa se separaron las dos fases y se correlacionó cada una de ellas con los datos de la OLR. La Figura 6 tiene la serie oeste de la QBO contra la OLR obteniendo un coeficiente de correlación de  $-0.155$ , para la fase este toma un valor de  $0.025$  para el mismo coeficiente.



**Figura 6.** Evolución temporal simultánea de la Fase Oeste de la QBO y OLR.

Tomando los años de la QBO en cuales se presentó el fenómeno El Niño, La Niña y años normales, los coeficientes de correlación obtenidos, respectivamente son de  $-0.141$ ,  $0.121$  y  $0.240$ . El valor mas alto se obtiene para los años normales, seguido de los años El Niño, pero estadísticamente no significativos. De las tres zonas escogidas, la comprendida entre  $110^{\circ}W$  y  $50^{\circ}W$ ;  $20^{\circ}S$  y Ecuador, alcanza valores mas altos de coeficientes de correlación. La Figura 7 muestra la evolución temporal simultanea entre la oscilación cuasi-bienal en los años El Niño y la OLR para la zona ubicada entre el ecuador y los  $20^{\circ}S$ .



**Figura 7.** Evolución temporal de la QBO en años EL Niño y OLR para la zona de  $20^{\circ}S$  hasta Ecuador.

## CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos permiten concluir que las correlaciones entre la QBO y los registros de lluvia en Colombia son muy bajas (Tabla 2). Esta conclusión es válida tanto para las series completas como para los datos separados por fase de la QBO. Lo anterior significa que la señal de la oscilación cuasibienal de los vientos estratosféricos no parece estar incidiendo de manera simple ni lineal sobre los eventos de precipitación en Colombia. El coeficiente de correlación lineal es una medida de dependencia lineal muy simple y se hace necesario el uso de otro tipo de pruebas estadísticas para confirmar la hipótesis. Esta conclusión también parece válida para los años de ocurrencia de El Niño y La Niña.

En lo relacionado con la probabilidad de ocurrencia de eventos para todos los datos (Tabla 3), se nota en los resultados que todos son muy cercanos a la media ( $0.25$ ) lo cual no permite rechazar la hipótesis de que la relación sea aleatoria. Así, la ocurrencia de un evento precipitación asociado con la fase de la oscilación cuasibienal en este caso podría ser aleatoria y no depende de una de las variables en especial.

Analizando las probabilidades separadas por los eventos Normal, El Niño y La Niña, la media de la probabilidad será  $1/12$  ( $0.08$ ), debido a que se están analizando cuatro eventos (los antes



descritos), que pueden ocurrir en tres períodos diferentes (El Niño, La Niña y normal). Al observar los valores encontrados para el período normal se nota que otra vez los valores hallados son muy similares entre ellos, se separan de la media (0.08) debido a que hay mayor presencia de eventos normal, que la ocurrencia de eventos Niño y Niña. Al observar los valores se nota que los valores más altos de probabilidad se encuentran asociados con el modo de precipitación que sucede en cada evento, esto es, que los eventos Niño presentan una mayor probabilidad de ocurrencia para precipitaciones negativas y en eventos Niña se presenta una probabilidad de ocurrencia de precipitaciones positivas, esto confirmando la disminución o aumento de la lluvia en Colombia por la ocurrencia del evento.

Analizando por fases de la QBO se nota que durante los eventos de La Niña las probabilidades de ocurrencia entre fases este y oeste son muy similares, lo cual puede ser indicio de ser eventos aleatorios. Al analizar los eventos El Niño se nota que se presenta más probabilidad de ocurrencia de eventos en Niño en fase este, lo cual parece confirmar la observación de *Gray et al* (1992) sobre la fuerte asociación entre la fase cálida del ENSO (El Niño) y la fase este de la QBO. Cabe anotar que esta característica no se presenta en todos los datos, existen dos estaciones (Aeropuerto Arauca y Aeropuerto Vanguardia) donde la relación entre la precipitación “negativa” y la fase este de la QBO no arroja un valor de probabilidad alto, lo que puede deberse a efectos regionales ya que éstas estaciones están situadas en la misma región (Arauca y Meta).

Por lo anterior se concluye que la relación entre la oscilación cuasibienal y la precipitación en Colombia no se encuentra muy clara en los datos utilizados, usando como base la estadística simple. Esto es debido quizá a que la relación entre las dos variables no es lineal, y se requieran otras herramientas de cuantificación. Más aún si solo se mira desde el punto de vista estadístico. Es por ello que para un análisis más a fondo es necesario contar con los procesos físicos que en este caso intervienen.

De la Tabla 10 cabe anotar que los coeficientes de correlación para las tres zonas que involucran a Colombia son muy bajos, indicando además que la emisión de la onda larga, OLR, no se ve afectada por la oscilación cuasi-bienal, QBO.

De los datos de la zona ubicada entre 110W y 50W; 10S y 20N, no se puede concluir que haya mayor OLR cuando la QBO esta es fase Oeste o cuando hay incidencia del fenómeno El Niño ya las correlaciones arrojan valores muy bajos. Del fenómeno La Niña es difícil concluir algo para las tres zonas ya que de los 13 años de registros de las dos series hay sólo un año Niña entre mayo de 1988 a Abril de 1989.

El análisis de los registros de OLR también confirman los resultados anteriores: no parece haber una relación lineal de dependencia entre la fase de la QBO y la OLR en Colombia. Según los resultados obtenidos en este análisis se concluye que la OLR debe ser afectada por una respuesta secundaria de los vientos o que este análisis estadístico no es el más indicado para llevar a cabo, se necesitaría una herramienta de análisis mas fuerte que involucre la no-linealidad de las variables involucradas para detectar vínculos entre las variables o por el contrario descartarlo totalmente.

La señal cuasi-bienal existente en las lluvias de Colombia que se ha identificado en *Poveda* (1994, 1997, 1998) podría ser heredada del fenómeno ENSO, el cual también muestra una señal importante en esta banda de frecuencias. El tema sigue abierto a la investigación.

## REFERENCIAS

- Aceituno, P., 1988. "On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface Climate", *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 116, 505-524.
- Burroughs, W.J., 1992. "Weather Cycles, real or imaginary" *Cambridge Academic Press*, p.51.
- Gray, W. M., Sheaffer, J.D. y Knaff, J., 1992. "Influence of the Stratospheric QBO on ENSO Variability", *Jour. Meteor. Soc. Japan*, 70, 975-995.
- Holton, J.R. and R.S. Lindzen, 1972. "An Updated Theory for the Quasi-Biennial Cycle of the Tropical Stratosphere". *Jour. Atmos. Sci.*, Vol. 29, 1076-1080.
- Holton, J.R. and H.C. Tan, 1980. "The Influence of the Equatorial Quasi-Biennial Oscillation on the Global Atmospheric Circulation at 50mb". *Jour. Atmos. Sci.*, Vol. 37, 2200-2208.
- Holton, J. R., 1992. "An Introduction to Dynamic Meteorology". *Academic Press*. 350 p.
- Kalnay E., y co-autores, 1996. "The NCEP/NCAR 40-year, Reanalysis Project". *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 77, 437-470.
- Mesa, O., Poveda, G. y Carvajal, L.F., 1997. "Introducción al Clima de Colombia". Imprenta *Universidad Nacional de Colombia*, Bogotá, 60-69.
- Naujokat, B., 1986. "An Update of the Observed Quasi-Biennial Oscillation of Stratospheric Winds over the Tropics". *Jour. Atmos. Sci.* Vol. 43, 1873-1877.
- Plumb, R.A., 1977. "The Interaction of two Internal Waves with the Mean Flow: Implications for the Theory of the Quasi-Biennial Oscillation". *Jour. Atmos. Sci.* Vol. 34, 1847-1858.
- Poveda, G., 1994. "Funciones Ortogonales Empíricas en el análisis de la relación entre los caudales medios en Colombia y las temperaturas de los Océanos Pacífico y Atlántico". *Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica e Hidrología*, IAHR, Santiago de Chile, Vol. 4, 131-144.
- Poveda, G., 1997. "Atractores Extraños (Caos) en la Hidroclimatología de Colombia?" *Revista Academia Colombiana de Ciencias*, Vol. 21, No. 81, 431-444.
- Poveda, G., y Mesa O.J., 1997. "Feedbacks between Hydrological Processes in Tropical South America and large-scale Ocean-Atmosphere Processes", *Journal of Climate*, 10, 2690-2702.
- Poveda, G., y Mesa, O.J., 2000. "On the existence of Lloró (the rainiest locality on Earth): Enhanced Ocean-Atmosphere-Land Interaction by a Low-Level Jet", *Geoph. Res. Lett.*, Vol. 27, No. 11, 1675-1678. June 1.
- Poveda, G., Mesa, O.J., Carvajal, L.F., Salazar, J.E., 1994a. "Lluvias en Colombia: Correlación con el Clima del Océano Pacífico y Análisis de Funciones Ortogonales Empíricas", *Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica e Hidrología*, IAHR. Santiago de Chile, Vol. 4, 93-105.
- Ropelewsky, C. F., y Halpert, M.S. 1996 "Quantifying Southern Oscillation-Precipitation relationships", *Jour. Climate*, 9, 1043-1059.