

Influencia del fenómeno El Niño - La Niña / Oscilación Sur (ENOS) y de la temperatura del Atlántico norte en los caudales del Río Caura, Guayana Venezolana

Jorge Paolini^{1,4}, José Juan Felipe², Bárbara Sureda³ y Judith Rosales⁴

¹ Instituto de Ciencia y Tecnologías de la Sostenibilidad, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

² Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, Instituto de Ciencia y Tecnologías de la Sostenibilidad, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

³ Departamento Expresión Gráfica en la Ingeniería, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España

⁴ Universidad Nacional Experimental de Guayana, Ciudad Guayana, Venezuela.

(jorge.paolini@catunesco.upc.edu, felipe@mmt.upc.edu, barbara.sureda@upc.edu, jrosales@uneg.edu.ve)

(Recibido: 24-Dic-2011. Publicado: 24-Abr-2012)

Resumen

Este trabajo analiza 33 años (1971-2003) de una serie de tiempo de caudales con una estacionalidad muy marcada recolectada en la Cuenca del Río Caura. Esta cuenca es de vital importancia porque es una de las últimas regiones prístinas de la Guayana venezolana. Los datos provienen de tres estaciones hidrométricas ubicadas en la cuenca del Río Caura. Se analiza la influencia del fenómeno El Niño Oscilación Sur (ENOS) y las anomalías de las temperaturas del océano Atlántico Tropical sobre los caudales del río. Para el análisis de las relaciones entre el fenómeno ENOS y la serie de caudales se utilizan los índices ONI y MEI. La exploración de las singularidades en los datos se realiza utilizando una segmentación de las series de tiempo basada en el índice ONI. La segmentación de la series de tiempo permite detectar relaciones específicas entre el caudal y cada una de las fases del fenómeno del Niño.

Palabras clave: ENOS, Río Caura, Segmentación de series de tiempo

Abstract

This work analyzes 33 years (1971-2003) of the very strong seasonal time series collected in a pristine river basin of Venezuelan Guyana called Caura. The data flow series come from tree hydrological stations of the Caura River. El Niño Southern Oscillation (ENSO) is a large-scale coupled ocean-atmosphere oscillation that has a profound effect in the Earth climate system. The Caura watershed is affected by the ENSO phenomenon and the anomalies of North Atlantic Tropical temperatures, altering the natural flow of the river. To identify the ENSO events in the river flow two indexes are used: ONI and MEI with the segmented time series. We use the segmentation procedure to explore singularities in the flow time series, that allows the detection of specific relations between the hydrological variable and the climatic phenomenon called ENSO.

Key words: ENSO, Caura River, Time Series Segmentation.

1. Introducción

El Niño Oscilación Sur (ENOS) es uno de los fenómenos climáticos que tiene influencia global y afecta la variabilidad climática alrededor del planeta. Esta influencia se proyecta más allá del océano Pacífico Tropical a través de teleconexiones que alteran los patrones del tiempo atmosférico. Este fenómeno oscila entre dos fases, una fase fría (C) y una fase cálida (W) que dependen de la fuerza o debilidad de los vientos alisios (McPhaden *et al.*, 2006). ENOS es un fenómeno que está relacionado con anomalías interanuales en las precipitaciones y en los caudales. Es bien conocida su relación con las fluctuaciones de los niveles de agua (Amarasekera *et al.*, 1997), variabilidad en las precipitaciones (Ropelewsky and Halpert, 1987; Aceituno, 1988; Aceituno y Montecinos, 1992; Schongart and Junk, 2007; Chavasse and Seoane, 2009) y alteraciones de los caudales en las cuencas tropicales (García y Mechoso, 2005; Marengo *et al.*, 2010). La influencia de las anomalías en las temperaturas del Atlántico sobre el régimen pluviométrico en Venezuela han sido reportados por Acevedo *et al.* (1999) y por Millano *et al.* (2007). El propósito de este trabajo es explorar la influencia de este fenómeno y de las variaciones de la temperatura en el Océano Atlántico Tropical en los caudales de una cuenca prístina tropical ubicada en la Guayana venezolana. En este sentido, tiene un especial interés estudiar los efectos de estos fenómenos en una cuenca que no ha sido objeto de intervención humana en los bosques y suelos o que no haya sido objeto de alteraciones del curso del río como la construcción de represas (Kunzewicz and Robson, 2004). Se analizan 33 años de tres series de tiempo que muestran una estacionalidad muy marcada por los períodos lluvioso y seco. Los datos se procesan estadísticamente para determinar la relación entre los caudales y el fenómeno ENOS.

2. Localización e importancia de la Cuenca del Caura

La Cuenca del Río Caura está ubicada en el estado Bolívar de la República Bolivariana de Venezuela al norte de América del Sur. Tiene una extensión de aproximadamente 45500 km² pertenecientes al Escudo Guayanés, este escudo es una formación que data del período Pre-Cámbrico con una antigüedad de aproximadamente 4500 millones de años (Silva Monterrey, 2006; Rosales y Huber, 1996). El Río Caura es uno de los más grandes tributarios del Río Orinoco junto con el Río Caroní. Esta cuenca representa una de las áreas prístinas más grandes del bosque tropical perteneciente al escudo Guayanés. El Río Caura posee una longitud de más de 700 kilómetros con desniveles que van desde los 2000 msnm hasta los 500 msnm (Chernoff *et al.*, 2003). Esa amplia extensión de 4533600 hectáreas está cubierta en un 90% por bosques en donde residen una diversidad de micro-sociedades como los Ye'kwana, los Sanema, Hoti, Ka'riña, Hivi y Pemón, estas características hacen de la cuenca un lugar con gran valor ambiental, económico y cultural (Silva Monterrey, 1996; Bevilacqua *et al.*, 2006). Las micro-sociedades que habitan esta cuenca hacen de estos lugares su hogar permanente, la fuente de sus creencias y su medio de sustentación cotidiana (Silva Monterrey, 1997a y 1997b). Debido a su mega-biodiversidad, los grandes recursos hídricos y su pristinidad esta cuenca se considera una reserva para la humanidad (Hernández, 2007; Castellanos, 2008).

3. El Fenómeno ENOS y los índices ENOS

El fenómeno del Niño es el resultado del acoplamiento de los sistemas oceánico y atmosférico, este fenómeno se relaciona con anomalías interanuales en la precipitación y el caudal de los ríos. El Niño es producido por el debilitamiento y por el movimiento en reverso de los vientos alisios en el Pacífico Occidental ecuatorial ocasionando un inusual calentamiento en las temperaturas de la superficie del mar (McPhaden, 1999). Varios índices se han usado para cuantificar las variaciones del Niño, entre otros se tienen el Oceanic Niño Index (ONI) y el Multivariate ENSO Index (MEI). El índice ONI se calcula usando la versión 3b de la reconstrucción extendida de los datos de la temperatura de la superficie de mar (ERSST). Estos datos se generan usando la temperatura de la superficie del mar (SST) a través de métodos estadísticos que permiten una reconstrucción estable a partir de datos provenientes de lugares separados espacialmente (NOAA, 2011a y 2011b). Este índice se calcula para varias regiones, sin em-

bargo, el índice para la región 3.4 es el que ha mostrado una mejor ejecución en la investigación de teleconexiones, en el trabajo de diseñar modelos y hacer diagnósticos. El índice para la tal región se denomina “Nino 3.4” y cubre la zona del planeta acotada por las coordenadas. 05°N-05°S, 120-170°W (Barnston *et al.*, 1997).

El índice MEI es un índice que depende de seis variables relacionadas con el clima: nubosidad total, presión de la superficie del mar, componentes zonal y meridional del viento, temperatura del aire y temperatura de la superficie del mar. Este índice se presenta en una tabla bimensual de valores normalizados que usan la media y la desviación estándar de la serie de valores 1950-1993 (Wolter and Timlin, 1993; NOAA, 2011c). Dado que los índices ONI y MEI están estadísticamente correlacionados ($r = 0.926$), el índice MEI lo utilizaremos para validar los hallazgos que dependen del índice ONI. En la figura 1 se puede observar la relación que muestran los índices ONI y MEI durante el período 1971-2003.

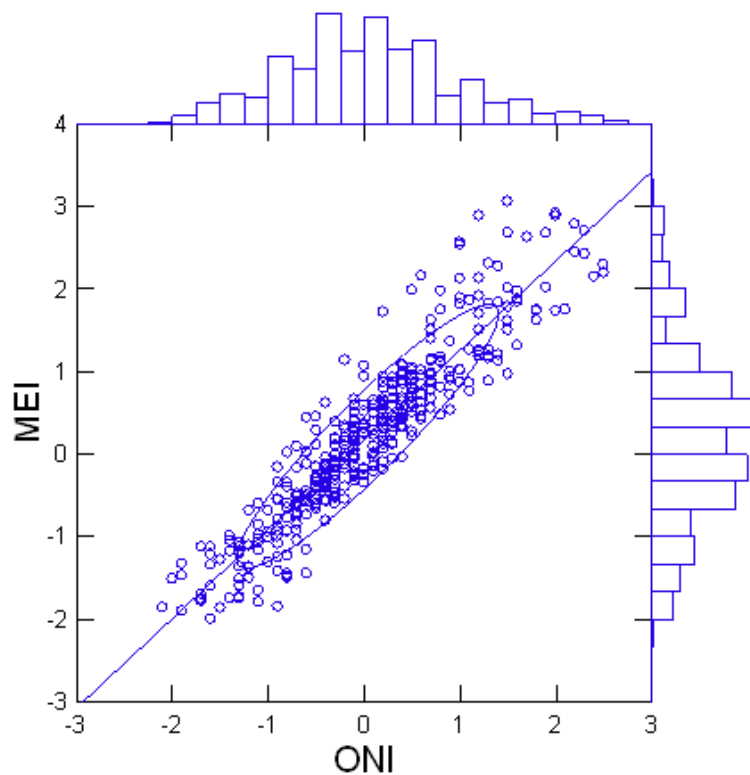


Fig. 1: Relación entre los índices ONI y MEI (1971-2003)

4. Datos y métodos

Los datos de este trabajo provienen del Estudio Hidrológico de la cuenca del Río Caura (EDELCA, 2007), fueron obtenidos en tres estaciones hidrométricas ubicadas en la cuenca del Río Caura. En la tabla 1 se puede ver la ubicación de cada una de las estaciones y el área tributaria que corresponde a cada estación.

Tabla 1: Ubicación y área tributaria de las estaciones hidrométricas (EDELCA, 2007)

Estación	Latitud N	Longitud W	Área tributaria (km ²)
Pie de Salto (S1)	06°18'25"	64°29'00"	30009
Entreríos (S2)	05°56'20"	64°25'15"	13152
Dos Aguas (S3)	05°58'30"	64°25'40"	24177

Para la detección de los fenómenos relacionados con ENOS, las series de tiempo se segmentaron de acuerdo a los valores del índice ONI. El proceso de segmentación nos ayuda a detectar y explorar relaciones entre los valores de series temporales (Hubert, 2000). Una sucesión de valores del índice genera los segmentos que se van a analizar: si el índice ONI toma un valor menor o igual a -0.5 ($ONI \leq -0.5$) el elemento de la serie de caudales se comprende como una ocurrencia de un evento 'C' (frío); si el valor del índice es mayor o igual a 0.5 ($ONI \geq 0.5$) existe la ocurrencia de un evento 'W' (cálido); y si el valor del índice oscila entre -0.5 y 0.5 ($-0.5 < ONI < 0.5$) el evento se clasifica como 'N' (Neutral).

La tabla 2 muestra un segmento de la serie de caudales de la estación Dos Aguas (S3) con las respectivas ocurrencias de los distintos eventos clasificados de acuerdo al valor del índice ONI. Se observa la sucesión de cuatro eventos 'C', luego tres episodios 'N' y finalmente tres eventos del tipo 'W', nótese que la asignación de cada tipo de evento está determinada por el valor del índice ONI en el tiempo que se observa en la tabla.

Tabla 2: Segmentación de un sub-conjunto de la serie de tiempo de caudales de la estación S3

Año	1971	1971	1971	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972
Mes	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
Caudal (m^3/s)	2178.6	1923.5	1638.8	1535	938.7	787.6	1169.8	3008.3	2748.1	3788.6
ONI	-0.9	-1.0	-0.9	-0.7	-0.4	0.0	0.2	0.5	0.8	1.0
Evento	C	C	C	C	N	N	N	W	W	W

En el periodo estudiado (1971-2003) se encontraron ocho eventos clasificados como fríos 'C'. Cada evento se enumera para distinguirlo de cualquier otro, de este modo resulta el conjunto de episodios $C = \{C_1, C_2, \dots, C_8\}$. Se observaron diez eventos cálidos, $W = \{W_1, W_2, \dots, W_{10}\}$. Estos eventos bien pudiesen ser fases frías o cálidas del fenómeno ENOS. La duración de los eventos varía, de tal modo que las fluctuaciones entre eventos fríos y cálidos pueden exhibir irregularidades en duración y estructura espacial (McPhaden *et al.*, 2006). La duración d en meses de cada episodio detectado difiere, por ejemplo $d(C_2)=38$ mientras que $d(W_6)=15$, la duración para cada evento puede verse en las tablas 3 y 4. En la segmentación que hemos utilizado surgieron un conjunto de catorce eventos clasificados como 'N' que ocurren entre episodios 'C' y 'W', cada evento se genera debido a las variaciones temporales del índice ONI.

5. Resultados y Discusión

5.1. Relación entre los caudales y el índice ONI

La relación entre los caudales y el índice ONI para cada uno de los eventos detectados a partir de la segmentación de la serie de tiempo se encuentra utilizando el coeficiente de correlación r de Pearson. En la tabla 3 se tienen los coeficientes r que determinan el grado de relación entre los caudales en cada estación hidrométrica y los eventos cálidos 'W'.

Tabla 3: Coeficientes de correlación r entre los caudales en cada estación y el índice ONI para los eventos cálidos 'W' durante el período 1971-2003.

	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7	W_8	W_9	W_{10}
$r(S1)$	-0.275	0.059	-0.880	-0.826	0.344	-0.685	-0.585	-0.610	-0.045	0.471
$r(S2)$	-0.314	0.234	-0.850	-0.840	0.320	-0.716	-0.636	-0.740	-0.057	0.466
$r(S3)$	-0.276	0.135	-0.890	-0.826	0.347	-0.673	-0.602	-0.638	-0.060	0.432
$d(W)$ meses	11	6	5	14	20	15	11	13	11	5

Con la excepción de los eventos W_2 , W_5 y W_{10} , los signos del coeficiente de correlación r son negativos, indicando una relación decreciente entre los caudales y el índice ONI. Esto significa que a medida que aumenta el valor del índice los caudales decrecen. En la figura 2 se muestra el gráfico de dispersión entre el índice ONI y los caudales de la estación Pie de Salto (S1) durante el evento W_4 ocurrido entre los meses de mayo de 1982 y junio de 1983.

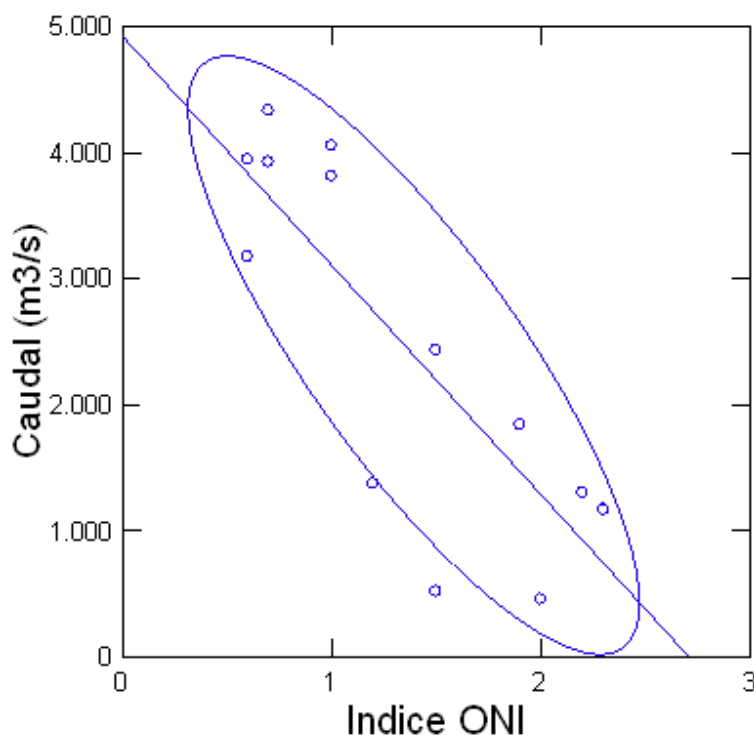


Fig. 2: Relación entre el índice ONI y el caudal durante el evento W_4

Para cada uno de los eventos fríos 'C' y en cada serie de tiempo se determinó el valor del coeficiente de correlación r . En la tabla 4 se pueden observar los valores de la relación a partir del coeficiente r . Se puede ver que sólo los eventos C_2 , C_5 y en dos estaciones durante el evento C_8 muestran valores negativos. Sin embargo, los restantes eventos muestran valores positivos en la relación.

Tabla 4: Coeficientes de correlación r entre los caudales en cada estación y el índice ONI para los eventos fríos 'C' durante el período 1971-2003.

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
$r(S1)$	0.634	-0.097	0.610	0.471	-0.643	0.314	0.613	0.054
$r(S2)$	0.691	-0.035	0.325	0.401	-0.589	0.116	0.537	-0.030
$r(S3)$	0.645	-0.068	0.510	0.443	-0.581	0.248	0.576	-0.087
d(W) meses	13	38	5	12	14	7	25	5

Los signos del coeficiente de correlación r que son positivos indican una relación creciente entre los caudales y el índice ONI. Esto significa que a medida que el valor del índice se hace mayor (menos negativo) el caudal aumenta. La figura 3 muestra el gráfico de dispersión entre el índice ONI y los caudales de la estación Pie de Salto (S1) durante el evento C_7 . Este evento se prolongó durante más de dos años, ocurrió entre los meses de julio de 1998 y junio del año 2000.

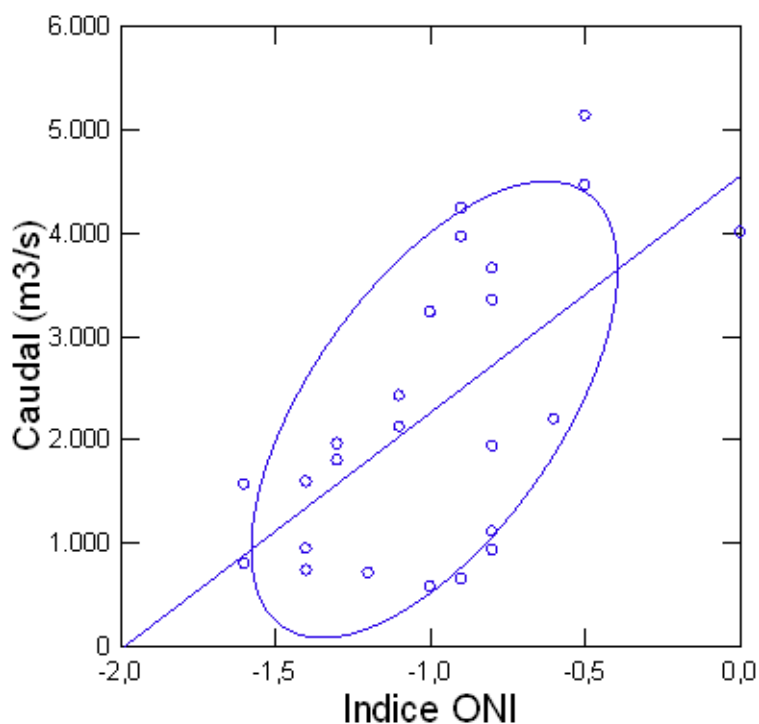


Fig. 3: Relación entre el índice ONI y el caudal durante el evento C₇

5.2. Relación de los Caudales y el índice ONI con retardo

Con el fin de determinar la respuesta hidrológica y la influencia del fenómeno se correlacionaron los caudales con los índices ONI con un retardo de un mes. Los resultados de esta relación se muestran en las tablas 5 y 6 para las fases 'W' y 'C' respectivamente. Podemos apreciar un comportamiento homogéneo tanto en signo como en la magnitud de las respuestas de los caudales a la influencia del fenómeno considerando un retardo de un mes en los valores del índice ONI.

Tabla 5: Coeficientes de correlación r entre los caudales y el índice ONI con un mes de retardo eventos para los cálidos 'W' durante el período 1971-2003.

	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆	W ₇	W ₈	W ₉	W ₁₀
$r(S1)$	-0.726	-0.571	-0.984	-0.878	-0.195	-0.579	-0.767	-0.610	-0.466	-0.870
$r(S2)$	-0.767	-0.367	-0.971	-0.901	-0.233	-0.645	-0.825	-0.740	-0.518	-0.930
$r(S3)$	-0.729	-0.498	-0.984	-0.890	-0.193	-0.602	-0.775	-0.638	-0.489	-0.885

Se observa que para los eventos W₁, W₃, W₄, W₇ y W₁₀ la relación es alta con coeficientes de correlación $|r| > 0.7$. Para los eventos W₂, W₆ y W₉ la relación es moderada $0.35 < |r| < 0.65$, mientras que para W₅ la relación es muy débil o insignificante.

Tabla 6: Coeficientes de correlación r entre los y el índice ONI con un mes de retardo para los eventos fríos 'C' durante el período 1971-2003.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
$r(S1)$	0.882	0.082	0.998	0.575	0.246	0.913	0.807	0.877
$r(S2)$	0.915	0.130	0.931	0.579	0.166	0.762	0.810	0.887
$r(S3)$	0.887	0.103	0.983	0.589	0.187	0.872	0.799	0.623

En el caso de los eventos fríos se nota que existe una relación marcada para C_1 , C_3 , C_6 , C_7 y C_8 con valores de $r > 0.8$, la relación entre el caudal y el índice ONI con retardo se muestra moderada para el evento C_4 con valores $0.55 < r < 0.60$, mientras que para los eventos C_2 y C_5 la relación es muy débil.

5.3. Análisis de la influencia de los eventos ENOS sobre los caudales de Río Caura

Para determinar si los eventos detectados tienen una influencia sobre el caudal del río se realiza un análisis de varianza (ANOVA). Este análisis permite determinar si existen diferencias significativas en los caudales promedio de los eventos que surgen del proceso de segmentación. Para cada una de las estaciones se realizó el ANOVA y se determinó si los promedios del caudal durante las fases cálida 'W', fría 'C' y neutral 'N' son iguales. La hipótesis para esta prueba es $H_0: \mu W = \mu C = \mu H$.

La tabla 7 muestra los valores promedio de cada evento en cada una de las estaciones donde se realizó el muestreo. Mediante el ANOVA se determina que no hay diferencias significativas en los promedios de los caudales dado que los valores de p son mayores que cualquier nivel de significación $0.05 \leq \alpha \leq 0.10$. Sin embargo, se puede notar que los valores menores de los promedios de los caudales se corresponden con los eventos cálidos 'W' mientras que los valores mayores ocurren en los eventos de nominados neutrales 'N'. Los valores promedios del caudal para los eventos fríos 'C' están comprendidos entre los dos anteriores.

Tabla 7: Valores promedios de los caudales para cada evento

Estación	Promedio 'W'	Promedio 'C'	Promedio 'N'	p
Pie de Salto (S1)	2064.9	2089.6	2267.6	0.383
Entreríos (S2)	910.4	933.8	1017.3	0.204
Dos Aguas (S3)	1713.4	1729.6	1861.8	0.436

5.4. Relación múltiple entre los caudales, el fenómeno ENOS y las temperaturas del Atlántico Tropical (TNAI)

Las alteraciones de las lluvias en América del Sur también están asociadas a las variaciones interanuales de la temperatura de la superficie del Atlántico (Acevedo *et al.*, 1999; Millano *et al.*, 2007; Kayano *et al.*, 2009). En este sentido, se realizó una relación lineal múltiple para determinar la influencia 'simultánea' del fenómeno ENOS y de las temperaturas del océano Atlántico Tropical. Se plantea un modelo múltiple en el que la variable de regresión es el caudal y las variables explicatorias son los índices ONI y TNAI en cada uno de los eventos detectados. En las tablas 8 y 9 se muestran los coeficientes de correlación múltiple para las relaciones encontradas.

Tabla 8: Coeficientes de correlación r -múltiple entre los caudales en cada estación, el índice ONI y el índice TNAI para los eventos cálidos 'W' durante el período 1971-2003.

	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆	W ₇	W ₈	W ₉	W ₁₀
$r(S1)$	0.358	0.571	0.97	0.939	0.352	0.685	0.682	0.767	0.698	0.488
$r(S2)$	0.381	0.484	0.97	0.949	0.337	0.730	0.597	0.794	0.737	0.467
$r(S3)$	0.361	0.542	0.98	0.948	0.363	0.667	0.705	0.777	0.709	0.446

Tabla 9: Coeficientes de correlación r -múltiple entre los caudales en cada estación, el índice ONI y el índice TNAI para los eventos fríos 'C' durante el período 1971-2003.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
$r(S1)$	0.636	0.325	0.966	0.759	0.710	0.336	0.744	0.901
$r(S2)$	0.636	0.269	0.990	0.707	0.660	0.116	0.664	0.795
$r(S3)$	0.651	0.295	0.990	0.736	0.671	0.264	0.710	0.993

Es natural que al agregar variables explicatorias -como el índice TNAI- el coeficiente de regresión r -*múltiple* se incremente. Cuando se relacionan los dos índices (ONI y TNAI) con los caudales se obtienen valores del coeficiente de correlación r -*múltiple* > 0.9 , esto se puede observar en los eventos W_3 , W_4 , C_3 y parcialmente para el evento C_8 . Este incremento en el coeficiente r muestra la influencia del fenómeno ENOS y las temperaturas oceánicas del Atlántico Tropical en la cuenca del Río Caura.

5.5. Discusión de los resultados

Son variados los resultados que surgen al estudiar la influencia de ENOS con fenómenos hidrológicos y climáticos. Utilizando series de tiempo en dos lugares de Venezuela se encontró una influencia moderada entre el fenómeno ENOS y la variabilidad climática (Acevedo *et al.*, 1999). Giddins y Soto (2006) investigaron las teleconexiones con la lluvia en América del Sur utilizaron alrededor de una docena de índices. Para la relación mensual de la precipitación con El Niño usaron la región 3.4, el mayor valor encontrado en la correlación es de $r < 0.35$. Schongart y Junk W (2007) usaron datos diarios de pulso de inundación (*flood pulse*) para determinar la influencia de ENOS en la Amazonía Central. Los cálculos los realizaron sobre promedios mensuales y determinaron relaciones con valores de $|r| < 0.5$. En una investigación realizada para observar la influencia del fenómeno sobre la descarga anual en ríos Amazonas, Congo, Paraná y el Nilo se encontraron coeficientes de correlación $|r| < 0.52$, las mejores correlaciones se hallaron en los ríos Paraná y en el Nilo Azul (Amarasekera *et al.* 1997), en este caso se tomaron segmentos fijos de cuatro meses para hacer las comparaciones. El trabajo de Aceituno y Montecinos (1992) utiliza la presión en Darwin como índice de la oscilación Sur en siete estaciones de muestreo y series de tiempo cercanas a 100 años, los resultados en la relación entre el fenómeno ENOS y la precipitación dio coeficientes de correlación $|r| \leq 0.8$. La estación que arrojó los mejores resultados fue Ceres (Argentina). En los casos citados anteriormente la segmentación de los datos utiliza períodos fijos de tiempo, por ejemplo trimestres o cuatrimestres. En el presente estudio no se utilizaron períodos de tiempo fijo, se segmentaron los datos dependiendo de la duración del evento. Así, los resultados sólo dependen de la intensidad del evento para el tiempo de su detección y duración.

Existe una notable variabilidad en los coeficientes de correlación tanto en la fase fría de ENOS como es su fase cálida. Los valores encontrados son semejantes a los reportados en el trabajo de Aceituno y Montecinos (1992). Cuando se utiliza un mes de retardo las relaciones entre los caudales y el índice ONI se muestran más homogéneas que sin considerar el rezago, este hecho es natural debido al retardo de la atmósfera en responder a las anomalías de la temperatura del mar (Wolter, 2011) y adicionalmente el breve retardo en la respuesta entre la precipitación y los caudales. Cuando se agrega a la influencia de ENOS los efectos de la temperatura del Atlántico Tropical (cuantificados a partir del índice TNAI) sobre los caudales, se incrementan los valores del coeficiente de correlación. Los valores encontrados del coeficiente de correlación se encuentran entre $0.32 < r$ -*múltiple* < 0.95 .

6. Conclusiones

La detección de cada evento de El Niño de un modo directo es posible a partir de la segmentación de las series de tiempo. Este procedimiento permite analizar la influencia del fenómeno sobre los caudales únicamente durante su período de duración. Aun cuando se evidencia una influencia del fenómeno sobre los caudales de la cuenca del Río Caura, no existen diferencias significativas entre los promedios de los caudales para los eventos analizados.

El análisis entre el índice ONI con un retardo de un mes y la respuesta hidrológica se muestran más homogéneos en signo y magnitud que cuando se relacionan estas variables sin considerar el retardo.

A partir del índice TNAI se determinó la influencia de las temperaturas del océano Atlántico sobre los caudales observados en la cuenca. Esta influencia se determinó estadísticamente utilizando un modelo lineal múltiple mediante el valor del coeficiente de correlación r -*múltiple* respectivo.

El índice MEI valida parcialmente los resultados que se generan a partir de la segmentación-ONI. El índice MEI en algunos casos se comporta independientemente arrojando coeficientes de correlación de signo opuesto a los encontrados mediante el índice ONI.

Bibliografía

Aceituno P (1988): On the functioning of the Southern Oscillation in the South America Sector. Part I: Surface Climate. *Monthly Weather Review*, 116:505-524.

Aceituno P y Montecinos A (1992): Análisis de la estabilidad de la relación entre la Oscilación Sur y la Precipitación en América del Sur. *Proceedings of International Symposium in Paleo ENSO Records*, pp. 7-13.

Acevedo M, Mcgregor K, Andressen R, Ramirez H, Ablan M (1999): Relations of climate variability in Venezuela to tropical Pacific SST anomalies. Preprints of the 10th *Symposium on Global Change Studies*, American Meteorological Soc., 10-15 January.

Amarasekera K, Lee RF, Williams ER (1997): ENSO and the natural variability in the flow of the tropical rivers. *Journal of Hydrology*, 200:24-39.

Barnston A, Chelliah M, Goldenberg SB (1997): Documentation of a highly ENSO-related SST region in the equatorial Pacific. *Atmosphere-Ocean*, 35:367-383.

Bevilacqua M, Medina D, Cárdenas L (2006): Situación de los Bosques de la Guayana venezolana. *La Cuenca del Río Caura como caso de estudio*. ACOANA, Caracas.

Castellanos H (2008): ¿Por qué debemos conservar a El Caura?. *Kuawai*, 1:81-88.

Chavasse D, Seoane R (2009): Assessing and predicting the impact of El Niño Southern Oscillation (ENSO) events on runoff from the Chopin River basin, Brasil. *Hydrological Processes*, 23:3261-3266.

Chernoff B, Machado-Allison A, Riseng K, Montambault R (2003): *Una evaluación rápida de los ecosistemas acuáticos de la Cuenca del Río Caura, Estado Bolívar, Venezuela*. Conservation International, Washington, 284 pp.

EDELCA (2007): *Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Caura*. Ciudad Guayana (Venezuela): Gerencia de Gestión Ambiental.

García N, Mechoso C (2005): Variability in the discharge of South American rivers and in climate. *Hydrological Sciences*, 50:459-478.

Giddings M, Soto M (2006): Teleconexiones y precipitación en América del sur. *Revista de Climatología*, 6:13-20.

Hernández L (2007): *Reserva Forestal El Caura*. Universidad Nacional Experimental de Guayana, 137 pp.

Huber P (2000): Segmentation. In *Detecting trend and other changes in hydrological data* (Kunzewicz Z and Robson A, Eds.), World Climate Program - Water, World Meteorological Organization, Geneva.

Kayano MT, Prestrelo C, Andreoli RV (2009): Interannual relation between South American rainfall and tropical sea surface temperature anomalies before and after 1976. *International Journal of Climatology*, 29:1439-1448.

Kunzewicz Z, Robson A (2004): Change detection in hydrological records a review of the methodology. *Hydrological Science*, 49:7-19.

- Marengo J, Liebmann B, Grimm AM, Misra V, Silva PL, Cavalcanti IFA, Carvalho LMV, Berbery EH, Ambrizzi T, Vera CS, Saulo AC, Nogues-Paegle J, Zipser E, Seth A, Alves LM (2010): Recent developments on South America monsoon system. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.2254.
- McPhaden M (1999): Genesis and evolution of the 1997-1998 El Niño. *Science*, 283:950-954.
- McPhaden MJ, Zebiak SE, Glantz MH (2006): ENSO as an Integrating Concept in Earth Science. *Science*, 314:1740-1745.
- Millano J, Paredes F, Vivas I (2007): Efecto de la Oscilación Meridional (ENSO) y la temperatura superficial del Océano Atlántico sobre la distribución espaciotemporal de las lluvias en el estado Cojedes. *Agrrollanía*, 4:110-116.
- NOAA Climate Prediction Center (2011a): Cold and Warm episodes by season. Consultado el 12-2-2011 en http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml
- NOAA Climate Prediction Center (2011b). Description of changes to Oceanic Niño Index (ONI). http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml (14-2-2011)
- NOAA Earth System Research Laboratory (2011c) Multivariate ENSO Index (MEI). Consultado el 24-2-2011 en <http://www.esrl.noaa.gov/psd/people/klaus.wolter/MEI/table.html>
- Ropelewsky C, Halpert M (1987): Global and Regional Scale Precipitation Pattern associated with the El Niño/southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115:1606-1626.
- Rosales J, Huber O (Eds., 1996): *Ecología de la Cuenca del Río Caura*. Scientia Guainae, Caracas.
- Schongart J, Junk W (2007): Forecasting the flood pulse in Central Amazonia by ENSO indices. *Journal of Hydrology*, 335:124-132.
- Silva Monterrey N (1996): Etnografía de la Cuenca del Caura. En *Ecología de la Cuenca del Río Caura, Venezuela* (Rosales J y Huber O, Eds.): I Caracterización general, Scientia Guainae, 6:98-105.
- Silva Monterrey N (1997a): La Percepción Ye'kuana del Ambiente. En *Ecología de la Cuenca del Río Caura, Venezuela* (Huber O y Rosales J, Eds.): II Estudios Especiales, Scientia Guainae, 7:65-84.
- Silva Monterrey N (1997b): Utilización alimentaria de los recursos naturales entre los Ye'kuana. En *Ecología de la Cuenca del Río Caura, Venezuela* (Huber O y Rosales J, Eds.): II Estudios Especiales, Scientia Guainae, 7:85-109.
- Silva Monterrey N (2006): *Introducción a la Etnografía de los Pueblos Indígenas de la Guayana Venezolana*. Universidad Nacional Experimental de Guayana, Venezuela.
- Wolter K, Timlin M (1993): Monitoring ENSO in COADS with a Seasonally Adjusted Principal Component Index. *Proceedings of the 17th Climate Diagnostics Workshop*, Norman, Oklahoma, pp. 52-57.
- Wolter K (2011): MEI Index. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html> (Consultado el 20-7-2011).