

Influence of "El Niño" over the pluviometric regime in the Lake of Maracaibo basin

Susana H. de Bautista, José Morales y Euler Romero

Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. E-mail: sherman @ luz.ve

Abstract

This paper analyzes the influence of El Niño (ENSO) and El Anti Niño (NOENSO- La Niña) over the pluviometric regime on annual, monthly and daily extreme values in the south and west region of the Lake of Maracaibo basin, located at the north part of South America. It was observed moderate influence in the south part of the basin, with positive differences of 15% for the NOENSO years and negative differences of 10% in the ENSO years, this behavior is different from the Perú case, where ENSO increases precipitation. The bimodal sequence of monthly rain is not modified, but the second peak is greater in the NOENSO years. There were no significant differences for daily maximum extreme values.

Key words: El Niño, ENSO, Maracaibo lake, pluviometric regime

Influencia de "El Niño" sobre el régimen pluviométrico de la cuenca del Lago de Maracaibo

Resumen

En el siguiente trabajo se analiza la influencia del Fenómeno de El Niño (ENSO) y el Anti-Niño (NOENSO - La Niña) sobre el régimen de precipitaciones anuales, mensuales y máximas diarias en la región sur y oeste de la Cuenca del Lago de Maracaibo, ubicada en la parte norte de América del Sur. Se observó una influencia moderada en la zona sur de la cuenca, con diferencias positivas del 15% para los años NOENSO y negativas del 10% en años ENSO, contrario a la influencia en Perú, donde aumenta las precipitaciones. No se modifica la secuencia bimodal, pero se observó un aumento de las precipitaciones en el segundo pico hidrológico para los años NOENSO. No se observaron diferencias en los valores extremos máximos diarios.

Palabras clave: El Niño, ENSO, Lago de Maracaibo, régimen de precipitación.

Introducción

Durante años los productores agropecuarios que se encuentran ubicados en la parte sur de la Cuenca del Lago de Maracaibo, han informado de la variabilidad del régimen de lluvia caída en esa zona y que influyen sobre los índices de la producción agrícola. Han referido que observan una disminución de los valores de precipitación en los años que coinciden, según reportes de la prensa, con la ocurrencia del llamado Fenómeno del Niño (ENSO). Este fenómeno atmosférico conocido también como la Oscilación Sureña de El Niño consiste en cambios cíclicos de las co-

rrientes del océano Pacífico que empujan el agua cálida hacia las costas de Sudamérica originando un rompimiento del sistema océano-atmósfera y las altas temperaturas afectan adversamente la biota del Pacífico y aparentemente alteran los patrones climatológicos del mundo [1],

En los años recientes este fenómeno atmosférico ha sido ampliamente documentado con la incorporación de los satélites y la oficina TOGA (Programa Océano Tropical y Atmósfera Global) [2] encargada de indagar y recabar la información sobre los cambios en las corrientes marinas del Pacífico, indicador del avance de una masa de agua tibia, precursora de El Niño.

Tabla 1
Información General de las Estaciones Pluviométricas

| Nombre | Código | Ubicación | Altitud | Latitud | Longitud | Registro |
|-------------|--------|---------------|-----------|-------------|-------------|-----------|
| La Cuchilla | 3040 | Estado Mérida | 2280 msnm | 08° 38' 00" | 71° 21' 10" | 1964-1990 |
| Machiques | 1092 | Estado Zulia | 99 msnm | 10° 03' 23" | 72° 33' 44" | 1953-1991 |
| Caracolí | 3025 | Estado Zulia | 40 msnm | 08° 45' 38" | 71° 44' 12" | 1953-1990 |
| Caño Negro | 8052 | Estado Mérida | 151 msnm | 08° 29' 58" | 71° 50' 50" | 1953-1991 |

Parte de la bibliografía consultada describe los efectos de El Niño sobre la costa norte del Perú [3] [4], Chile [5], Norte de California [6] y Nueva Zelanda [7] entre otros. Se encontraron pocas referencias específicas sobre el efecto de El Niño en la región de Venezuela. En el trabajo presentado por Pulwarty [8] refiere que las anomalías fuertes son positivas durante el año de ocurrencia de El Niño.

En este trabajo se trata de establecer si la ocurrencia del Fenómeno de El Niño está alterando los patrones normales del régimen de lluvia en la cuenca del lago de Maracaibo. Se analizaron los datos de lluvia en cuatro estaciones pluviométricas ubicadas en la parte sur y oeste de la Cuenca, en la escala de tiempo anual, mensual y eventos máximos diarios.

Area de Estudio

La cuenca del Lago de Maracaibo se encuentra ubicada en la parte nor-oeste de Venezuela entre los 7° y 12° latitud norte y 69° y 74° longitud oeste. Está limitada al norte por el Mar Caribe (Golfo de Venezuela), al sur y al este por la Cordillera de los Andes y la Serranía de Oca y al Oeste por la Sierra de Perijá. Abarca un área de 109.043 Km², de los cuales la hoya hidrográfica comprende 95.923 Km² y el Sistema del Lago-Estrecho y Bahía abarca 13.120 Km². Posee una forma de herradura que determina un movimiento de circulación de las masas de aire contra reloj lo cual es factor determinante en el patrón de circulación de las aguas del Lago [9].

Se construyeron las series de datos anuales y mensuales de lluvia para cuatro estaciones pluviométricas que poseían pocos datos faltantes ubicadas tres de ellas en la parte sur de la Cuenca y una en la región Oeste (Figura 1 y Tabla 1).

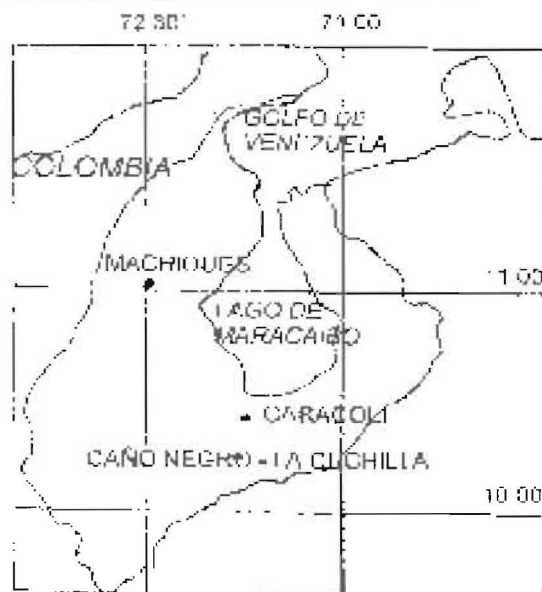


Figura 1. Ubicación de las estaciones pluviométricas en el área de la cuenca del Lago de Maracaibo.

Según Tapey y Caviades [3] los índices de la Oscilación Sureña de El Niño (ENSO) sugieren que pueden identificarse dos regímenes de lluvia, el régimen ENSO y el régimen NOENSO o también conocido como El Anti NIÑO ó La Niña.

Uno de los aspectos críticos de la investigación fue establecer la serie de datos mensuales

Tabla 2
Series de Años de Ocurrencia de ENSO, NOENSO y NORMAL

| ENSO | NO ENSO | Normal | |
|------|---------|--------|------|
| 1951 | 1950 | 1952 | 1979 |
| 1953 | 1956 | 1954 | 1980 |
| 1957 | 1971 | 1955 | 1981 |
| 1965 | 1973 | 1958 | 1984 |
| 1969 | 1975 | 1959 | 1985 |
| 1972 | 1988 | 1960 | 1990 |
| 1976 | 1989 | 1961 | |
| 1977 | | 1962 | |
| 1982 | | 1963 | |
| 1983 | | 1964 | |
| 1986 | | 1966 | |
| 1987 | | 1967 | |
| 1991 | | 1968 | |
| 1992 | | 1970 | |
| 1993 | | 1974 | |
| 1994 | | 1978 | |

Fuente: Elaboración propia.

correspondientes a los tres eventos analizados: ENSO, NOENSO y NORMAL. Quinn [10] estableció una serie hasta 1983, donde clasificó los eventos ENSO como Fuertes y Muy Fuertes, pero aclara que se incluyen algunos años con calentamientos, aun cuando no se ajustan estrictamente a la definición de ENSO. A través de Internet se estableció contacto con la Agencia NOAA, Programa TOGA, y se solicitó una lista con los años de ocurrencia del ENSO, y NOENSO, a partir de la cual se construyó la Tabla 2. Los valores resaltados corresponden a los eventos ENSO calificados por Quinn [10] como Fuertes.

Metodología de Análisis

Los datos de cada estación fueron analizados para cada efecto, en tres niveles de tiempo: anual, mensual y extremos máximos diarios.

Anual

Se analizaron los valores totales anuales por estación y por efecto, calculando las diferen-

cias porcentuales para cada caso con la serie de valores de lluvia de la Serie Normal.

Mensual

El clima de la Cuenca del lago de Maracaibo es clasificada como del tipo Marino Seco con anomalías áridas y difiere de otras áreas tropicales, especialmente las monzónicas. Posee una distribución de lluvias bimodal, siendo Enero, Febrero y Marzo meses secos, Abril y Mayo el primer pico hidrológico, y Octubre, Noviembre el segundo y mayor pico de las lluvias [8]. Se analizó el comportamiento de las series de lluvias mensuales para los tres efectos, y se aplicó la Prueba de Hipótesis para probar las diferencias entre dos varianzas de dos poblaciones normales. Para probar la hipótesis de que las varianzas muestrales de dos poblaciones normales son iguales, se utiliza el estadístico $F = S_1^2 / S_2^2$, donde S_1^2 es la mayor varianza. F está distribuido como una distribución F con $n_1 - 1$ y $n_2 - 1$ grados de libertad, donde n_1 es el tamaño de la muestra que posee la mayor varianza y n_2 es el tamaño de la muestra con la

menor varianza. La Hipótesis Nula $H_0: \sigma_1 = \sigma_2$, se rechaza si F calculado $> F$ tabulado para $1 - \alpha$, $n_1 - 1$, $n_2 - 1$, para un nivel de significación del 5% [11].

Extremos máximos diarios

La Distribución Gumbel [12] modela satisfactoriamente la frecuencia de valores extremos máximos. En el caso de las precipitaciones máximas diarias definimos:

$$Pr = \max [Pr_i] \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

donde Pr_i es la máxima Precipitación diaria para el año i ; e i indica número de años. Es una distribución de probabilidad de valores extremos doblemente exponencial:

$$P(x > X) = 1 - \exp \{-\exp[-\alpha (x - \beta)]\} \quad (2)$$

donde:

$$\alpha = 1.281/\sigma \quad y \quad (3)$$

$$\beta = \mu - 0.45 \cdot \sigma \quad (4)$$

μ y σ son la media y la varianza de la población [12]. La distribución Gumbel generalmente ajusta la data observada satisfactoriamente cuando los valores de la variable estudiada son producidos por un proceso hidrológico único. Cuando dos o más procesos son responsables por la generación de los valores de la variable la función de distribución de probabilidad se puede expresar como:

$$P(x' > X) = a_1 \cdot P_1(x' > X) + a_2 \cdot P_2(x' > X) + \dots + a_n \cdot P_n(x' > X) \quad (5)$$

donde cada proceso posee distribuciones P_1, P_2, \dots, P_n y ocurre con frecuencia e_1, e_2, \dots, e_n , respectivamente. Se utiliza cuando existen bases físicas para la identificación y análisis de los distintos procesos.

Se estiman los parámetros de cada sub-población (i.e. α_i, β_i, e_i). Dependiendo de la región, se espera que estos parámetros varíen y ofrezcan información referente a la naturaleza cambiante de cada proceso y su relativo dominio espacial.

Se aplicó la Distribución de Gumbel a la serie anual total de precipitaciones máximas diarias y se aplicó la Distribución de Gumbel compuesta. Para evaluar si los resultados de ambas distribuciones pertenecían a la misma población se aplicó la prueba de ajuste no paramétrica de Smirnov Kolgomoroff, aceptando la hipótesis nula de que pertenecen a una misma población si el valor Δ calculado como la máxima diferencia absoluta entre las dos distribuciones es menor que el valor de Δ tabulado [13].

Análisis de Resultados

Nivel anual

En la Tabla 3 se observan las diferencias porcentuales entre los promedios anuales para los diferentes efectos. El mayor porcentaje de diferencia tanto para los efectos NOENSO y ENSO con respecto a la serie normal se observa en Caracolí, donde alcanza valores de 15.71% y -9.68% respectivamente. Para un promedio anual de 1500 mm. estamos hablando de diferencias entre + 235 mm. y - 145 mm.

Tabla 3
Diferencia Porcentual entre los Promedios Anuales de la Serie ENSO y NOENSO con la serie NORMAL

| Estación | Diferencia % NOENSO-Normal | Diferencia % ENSO-Normal |
|-------------|-------------------------------|-----------------------------|
| La Cuchilla | + 5.76 | - 8.50 |
| Caracolí | + 15.71 | - 9.68 |
| Caño Negro | + 6.31 | - 4.79 |
| Machiques | + 1.88 | - 5.43 |

En la estación La Cuchilla las diferencias están entre 5.78% y - 9.50%, o sea que se observó mayor diferencia con la serie del ENSO. Con un promedio de precipitación anual de 1500 mm. se corresponde con diferencias de + 86 mm y - 127 mm.

En la Figura 2 se presenta para cada estación pluviométrica analizada, la comparación entre los valores de Precipitación anual de la serie total analizada y los valores promedios anuales de precipitación para las series de ocurrencia del ENSO, NOENSO y Normal. En todos los casos se

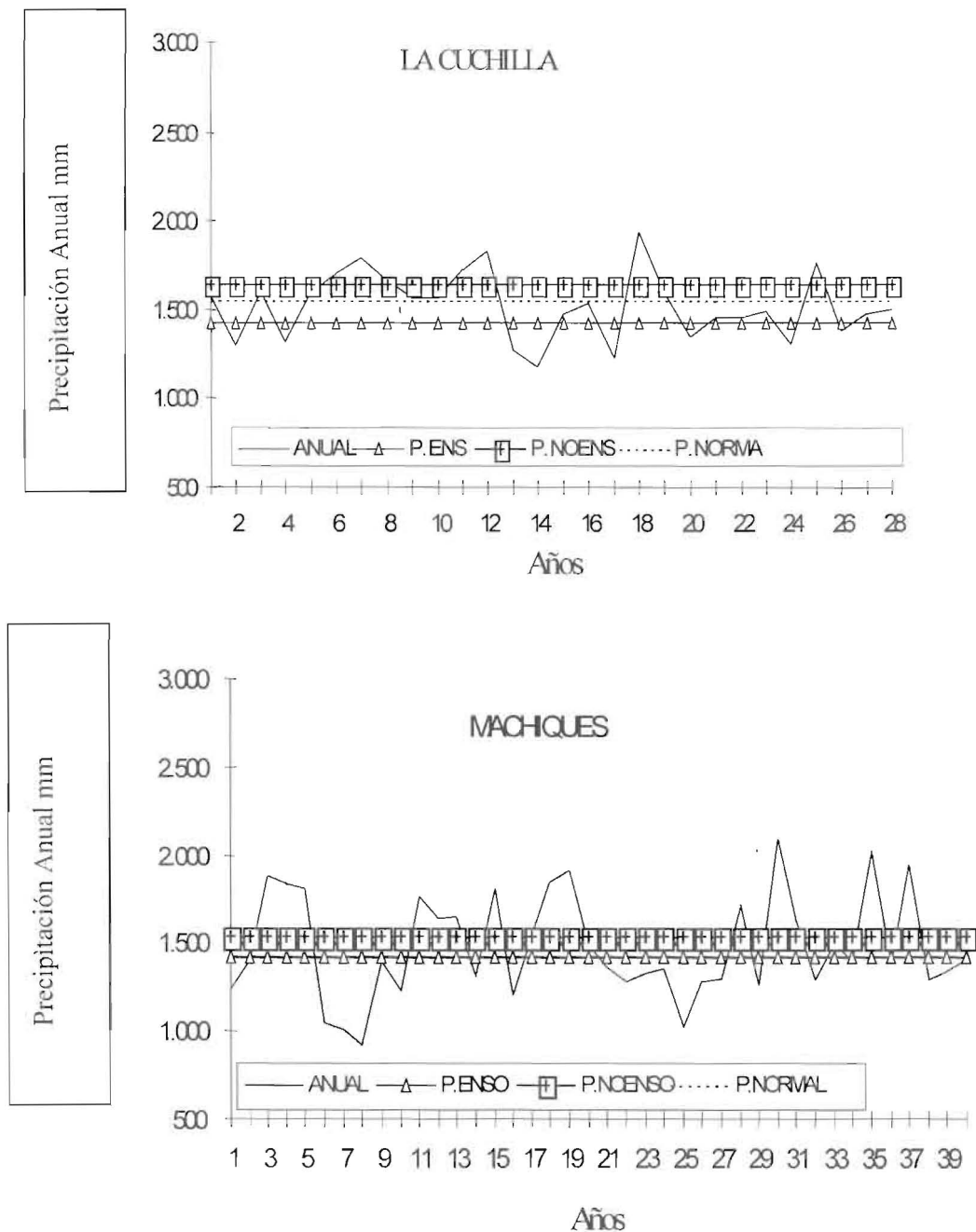


Figura 2 Diferencia entre los Promedios Anuales de la serie ENSO y NOENSO con la serie NORMAL. Estaciones La Cuchilla y Machiques.

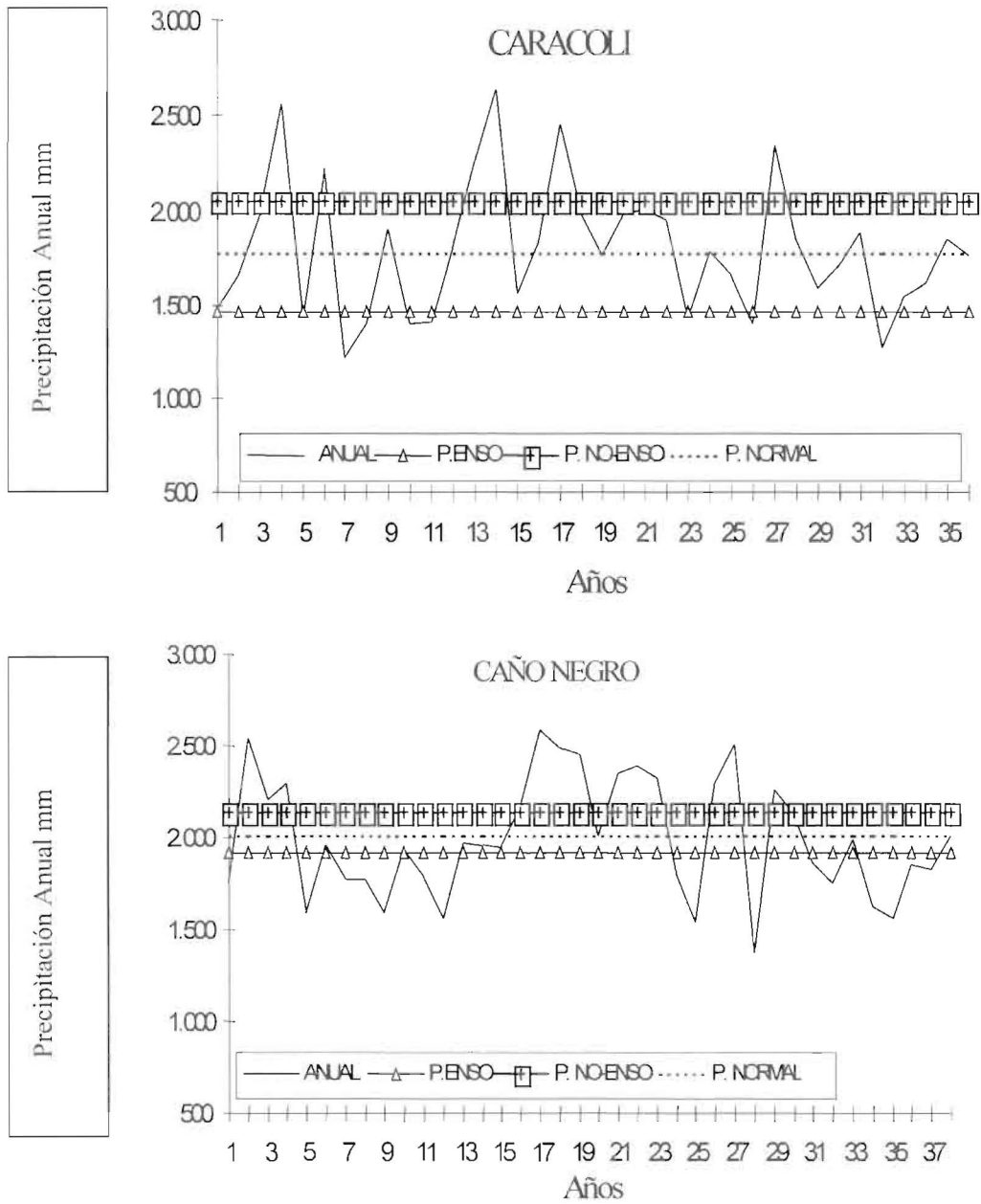


Figura 2 Diferencia entre los Promedios Anuales de la serie ENSO y NOENSO con la serie NORMAL. Estaciones Caracoli y Caño Negro.

observa que el promedio anual del ENSO es inferior al Normal, el promedio del NOENSO es superior y la serie Normal casi coincide con el promedio anual de la serie total. La diferencia es mayor en las estaciones Caracoli y La Cuchilla ubicadas

al Sur de la cuenca, a diferentes altitudes. En la estación Machiques las diferencias son muy pequeñas.

Nivel mensual

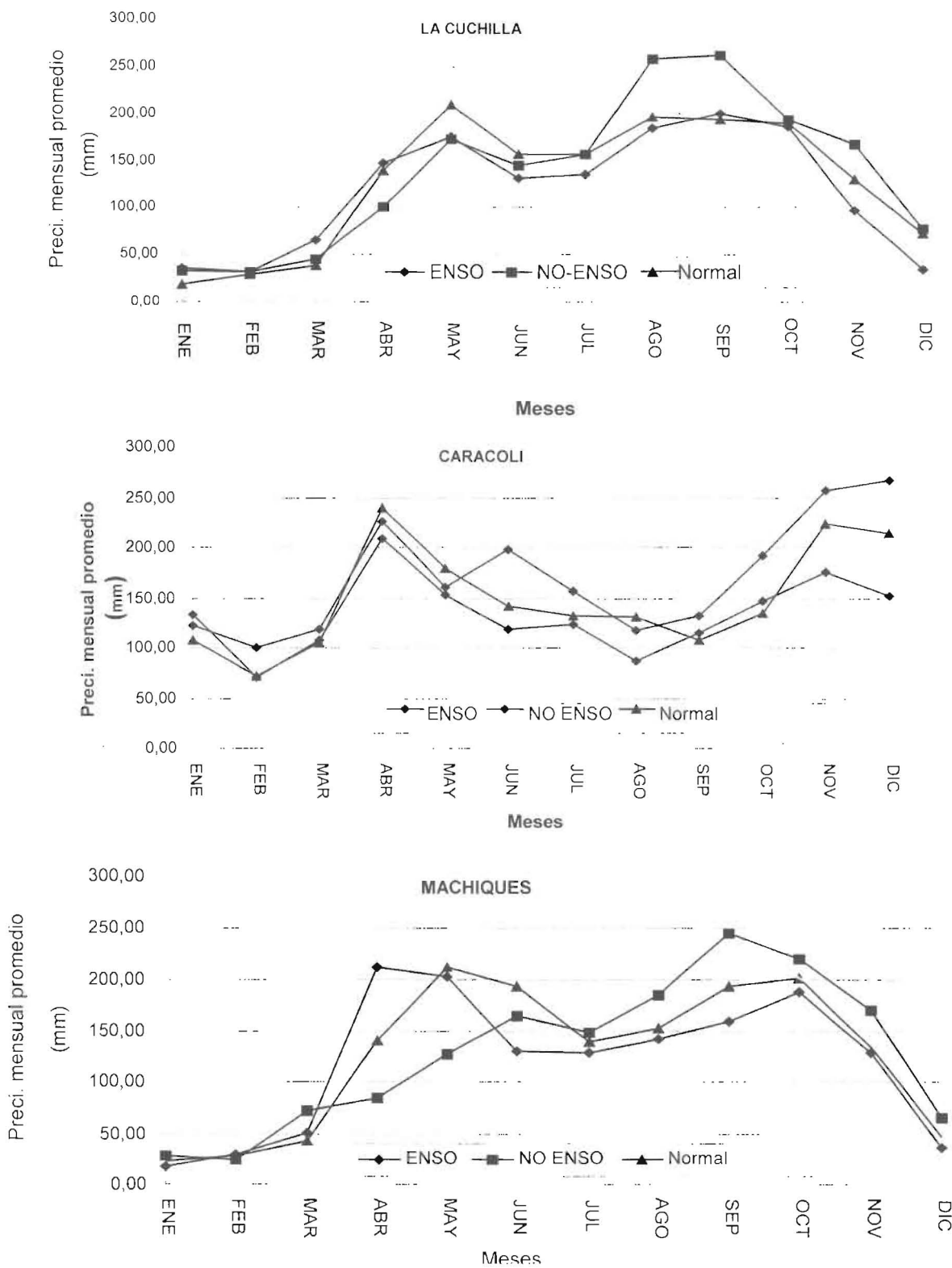


Figura 3. Comportamiento de la precipitación media mensual en un año promedio para la serie ENSO, NOENSO y Normal. Estaciones La Cuchilla, Caracoli y Machiques.

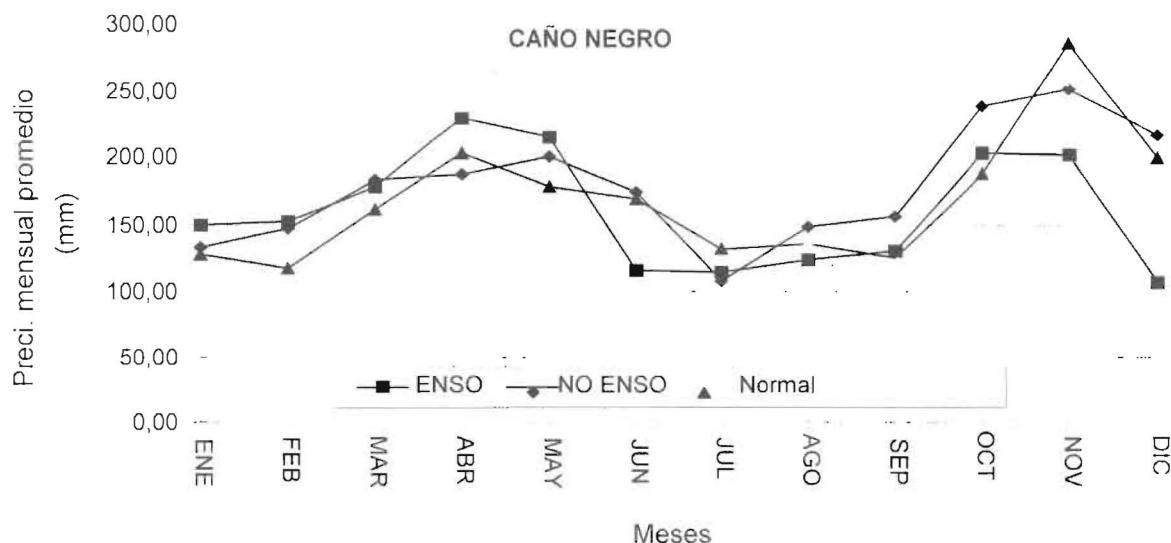


Figura 3. Comportamiento de la precipitación media mensual en un año promedio para la serie ENSO, NOENSO y Normal. Estación Caño Negro.

En la Figura 3 se observa que en la secuencia bimodal, para el primer pico (Abril y Mayo) los años de ocurrencia del ENSO producen valores mayores y se observa una reducción de precipitación en el segundo pico (Octubre, Noviembre) acentuándose la diferencia excepto en Machiques.

Para los años de ocurrencia de NOENSO los valores mayores a la serie normal ocurren en el segundo pico, con una reducción en el primer pico hidrológico. En general se mantiene la secuencia bimodal.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de la aplicación de la Prueba de Hipótesis para comparar las series mensuales a partir de la distribución de la razón de las varianzas. Se observa que en todos los casos el valor del estadístico F tabulado es mayor que el F calculado, excepto en la serie de valores mensuales para el ENSO en la estación Caracolí que no corresponde a la misma distribución de la serie NORMAL. Por lo tanto, a nivel mensual, excepto en la estación Caracolí no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las series de valores de los efectos ENSO, NOENSO y la serie de los valores del efecto NORMAL.

Extremos máximos diarios

Al aplicar la distribución de Gumbel a la serie total y la Distribución de Gumbel Modificada,

y aplicar la prueba de Smirnov Kolgomorov se encontró que no existían diferencias significativas para un nivel de significancia del 5%.

Conclusiones

A Nivel anual

A pesar de estar alejado del área de influencia del Fenómeno de EL Niño se observó en las estaciones pluviométricas ubicadas en la zona sur de la cuenca del Lago de Maracaibo un comportamiento moderado, pero consistente, de disminución de los valores promedios de precipitación anual para los años correspondientes al efecto de El Niño (ENSO) y un aumento para los años de ocurrencia de El Anti Niño (La Niña). Las variaciones máximas observadas con respecto a la media anual de la serie normal alcanzan valores de 15.71% y - 9.68% y entre los dos hasta 25.39%, valores inferiores a los observados por Waylen y Caviedes en Chile, donde la presencia del ENSO aumentó la media anual entre un 45 - 63% [4]. En la cuenca del Lago de Maracaibo el efecto es inverso, el ENSO disminuye las precipitaciones, esto podría deberse a nuestra ubicación Norecuatorial de la cuenca

A nivel mensual

Se observó que se mantiene la secuencia bimodal en todos los efectos, pero el segundo pico

Tabla 4
Comparación de las precipitaciones mensuales para los diferentes efectos ENSO,
NO-ENSO y Normal. Prueba F para Varianzas ($\alpha = 0,05$)

| Estación Caracolí | | | |
|----------------------|----------|-----------|----------------------|
| | ENSO | NO-ENSO | Normal |
| Media | 132,7257 | 170,4763 | 148,912 |
| Varianza | 6258,91 | 7998,00 | 8692,38 |
| Nº de Observaciones | 144 | 72 | 252 |
| Grados de Libertad | 143 | 71 | 251 |
| F Calculado | 1,28 | 1,09 | 1,39 |
| F Tabulado | 1,42 | 1,35 | 1,27 |
| P(Fcalc < Ftab) | 12,5% | 33% | Rechaza la hipótesis |
| Estación Caño Negro | | | |
| | ENSO | NO-ENSO | Normal |
| Media | 295,166 | 329,56 | 310 |
| Varianza | 234266 | 293114,88 | 258785,49 |
| Nº de Observaciones | 143 | 78 | 260 |
| Grados de Libertad | 142 | 77 | 259 |
| F Calculado | 1,25 | 1,13 | 1,10 |
| F Tabulado | 1,41 | 1,33 | 1,27 |
| P(Fcalc < Ftab) | 14% | 24% | 24% |
| Estación Machiques | | | |
| | ENSO | NO-ENSO | Normal |
| Media | 127,868 | 118,648 | 125,92 |
| Varianza | 8759,19 | 9593,706 | 9490,45 |
| Nº de Observaciones | 72 | 144 | 264 |
| Grados de Libertad | 71 | 143 | 263 |
| F Calculado | 1,10 | 1,01 | 1,08 |
| F Tabulado | 1,39 | 1,26 | 1,35 |
| P(Fcalc < Ftab) | 32% | 46% | 33% |
| Estación La Cuchilla | | | |
| | ENSO | NO-ENSO | Normal |
| Media | 118,12 | 136,54 | 129,108 |
| Varianza | 6327 | 8659,06 | 7506,48 |
| Nº de Observaciones | 108 | 60 | 156 |
| Grados de Libertad | 107 | 59 | 155 |
| F Calculado | 1,37 | 1,15 | 1,14 |
| F Tabulado | 1,48 | 1,40 | 1,34 |
| P(Fcalc < Ftab) | 10% | 24% | 13,5% |

ó máximo hidrológico ocurre con mayor fuerza en los años NO-ENSO y una disminución para los años de ENSO. En la estación Caracolí se demostró que la serie mensual del ENSO posee diferencias con la serie Normal para un nivel de significación del 5%.

En la estación Machiques no se observaron diferencias concluyentes en los tres efectos por lo cual se puede concluir que el Fenómeno de El Niño no influye significativamente sobre el régimen de lluvia de la zona centro oeste de la cuenca.

En el análisis de eventos extremos máximos no se observaron diferencias entre los efectos: Fenómeno de El Niño, El Anti Niño y Normal.

Referencias Bibliográficas

1. Mundo 21. Editorial América. Año 5. No. 12. 1994
2. The International TOGA Project Office World Meteorological Organization. Switzerland. Folleto Informativo. 1993.
3. Tapey T.D y Caviedes P.R. Spatial variability of annual precipitation and ENSO events in western Peru. Hydrol. Scienc. Jr. des Sciences Hydrol. 35,4,8/1990.
4. Waylen P.R.y Caviedes C.N. El Niño and annual floods on the north Peruvian littoral. J. Hydrol., 189: 141-156. 19900
5. Waylen P.y Caviedes C. Annual and Seasonal fluctuations of precipitation and streamflow in the Aconcagua river basin, Chile. J. Hydrol., 120,79-102. 1990
6. Yarnal B.y Diaz H.F. Relationship between extremes of the Southern Oscillation and the winter climate of the Anglo-American Pacific coast. J. Climatol.,6: 197-219. 1986
7. Revell C.G.y Goulter S.W. South Pacific tropical cyclones and the Southern Oscillation. Mon. Weath. Rev., 114(6):1138-1145. 1986
8. Pulwarty R.S. The Characteristics of monthly precipitation regimes and associated atmospheric circulation over Venezuela. Thesis Faculty of Graduate School University of Colorado. 1989
9. ICLAM. Plan Maestro para el Control y Manejo de la Calidad de las Aguas de la Cuenca del Lago de Maracaibo. 2^{da} Versión. 1991.
10. Quinn W.H., Neal V.T.y Antunez de Mayolo S.E. El Niño occurrences over the past four and a half centuries, J. Geophys. Res. 92 (C13), 14,449-14, 461. 1987
11. Haan C.T. Statistical Methods in Hydrology. The Iowa State University Press. 1979
12. Aparicio M., Francisco J. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa. 1993
13. Lowery M.D.y Nash J.E. A comparison of methods of fitting the double exponential distribution. J. Hydrol., 10:259-275. 1970.

Recibido el 3 de Febrero de 1998

En forma revisada el 22 de Abril de 1999