

**EFFECTO DE LA OSCILACIÓN MERIDIONAL (ENSO) Y LA TEMPERATURA
SUPERFICIAL DEL OCEANO ATLÁNTICO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN
ESPACIO-TEMPORAL DE LAS LLUVIAS EN EL ESTADO COJEDES**

**EFFECT OF THE SOUTHERN OSCILLATION (ENSO)
AND THE SUPERFICIAL TEMPERATURE OF THE ATLANTIC OCEAN ON THE
SPACE-TEMPORARY DISTRIBUTION OF THE RAINS IN THE STATE COJEDES**

Jorge Millano¹; Franklin Paredes¹; Iraida Vivas³

⁽¹⁾ MSc. (UCAB). Ing. Civil (LUZ). Laboratorio de Mecánica de Suelos. Programa Ingeniería.
Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales.
UNELLEZ - San Carlos. Estado Cojedes. Venezuela 2201

⁽²⁾ Geógrafa (ULA). Laboratorio de Topografía. Programa Ingeniería. Vicerrectorado de Infraestructura y
Procesos Industriales. UNELLEZ - San Carlos. Estado Cojedes. Venezuela 2201

Recibido: 16-10-2006 / Aceptado: 25-01-2007

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de El Niño Oscilación Meridional (ENSO) y la temperatura superficial del Océano Atlántico sobre la distribución espacio-temporal de las lluvias en el estado Cojedes. Se partió de los registros mensuales en 26 estaciones pluviométricas ubicadas dentro y fuera del estado Cojedes, el Índice de Oscilación Meridional (SOI) mensual, la temperatura mensual superficial del Pacífico meridional en las regiones: Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4 y la temperatura mensual superficial del Atlántico Norte y Sur (Variables Macroclimáticas) para el lapso temporal 1961-1993. Se encontró un cinturón de baja precipitación en el borde noroeste-sureste del Estado; en el eje Vallecito-Turén se dan las máximas precipitaciones. Se identificaron 6 zonas pluviométricas: este, noroeste, sur, noreste, centro-oeste y norte. Existe una tendencia a la ocurrencia de años secos al norte y noreste de Cojedes, mientras que el eje Vallecito-Turén experimenta un incipiente aumento en la ocurrencia de años húmedos. La temperatura del Atlántico Norte afecta el régimen pluviométrico del estado en forma directa (su enfriamiento se asocia a la disminución de las lluvias), por su parte el Atlántico Sur influye con una intensidad ligeramente menor pero de manera inversa (su enfriamiento se asocia al incremento de las lluvias). El SOI no afecta la dinámica pluviométrica del estado Cojedes, mientras que Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4 ejercen influencia en diferentes grados de intensidad. La temperatura de las aguas superficiales del Atlántico Norte parece influir el patrón de las lluvias en todo el estado durante varios meses consecutivos con excepción del flanco norte-noroeste. El Niño 3.4 por su parte es dominante en la región montañosa, de colinas altas y altiplanicies de Cojedes. Se recomienda ampliar este estudio considerando un mayor número de estaciones.

Palabras clave: ENSO, lluvias mensuales, estado Cojedes.

SUMMARY

This investigation had as objective study the effect of El Niño Southern Oscillation (ENSO) and the superficial temperature of the Ocean Atlantic on the space distribution of the rains of the state Cojedes. It was considered the monthly registrations of 26 stations located inside and outside of the state Cojedes, the Index of Southern Oscillation (SOI) monthly, the superficial monthly temperature of the southern Pacific in the regions: Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 and Niño 3.4 and the superficial monthly temperature of the North Atlantic and South (Variable Macroclimáticas) for 1961-1993. A belt of low precipitation in the northwest-southeast border of the State was finding; in the axis Valley-Turén the maximum rains are given. Six regions pluviometers were identified: east, northwest, south, northeast, center-west and north. There is a tendency to the occurrence of dry years to the north and northeast of Cojedes, while the axis Valley - Turén experiences an increase in the occurrence of humid years. The temperature of the North Atlantic affects the régime of rains of the state in direct form (its cooling associates to the decrease of the rains), on the other hand the South Atlantic influences with a lightly smaller intensity but in an inverse way (its cooling associates to the increment of the rains). The SOI doesn't affect the dynamic pluviometers of the state Cojedes, while Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 and Niño 3, 4 exercise influence in different grades of intensity. The temperature of the superficial waters of the North Atlantic seems to influence the pattern of the rains in the whole state during several serial months except for the sector north-northwest. The Niño 3, 4 on the other hand are dominant in the mountainous region, of high hills and plateaus of Cojedes. It is recommended to enlarge this study considering a bigger number of stations.

Key words: ENSO, monthly rains, State Cojedes.

INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de El Niño - Oscilación del Sur (ENSO) se reconoce como uno de los eventos climáticos de gran escala que más impacto producen sobre las condiciones del clima en muchas regiones del globo, provocando alteraciones de los patrones de precipitación y temperatura (Loukas y Quick, 1996). En 2005, a escala regional, las fuertes precipitaciones ocurridas durante el periodo lluvioso causaron la crecida de la mayoría de los ríos que discurren a lo largo del estado Cojedes, tal situación suscitó inundaciones en la zona sur y hasta en el mismo San Carlos. En contraparte, durante la época seca las elevadas temperaturas y escasa ocurrencia de lluvias causó la drástica reducción del caudal en los ríos que son fuente de abastecimiento de las principales ciudades. Ante este escenario, surgió la necesidad de evaluar el efecto de El Niño Oscilación Meridional (ENSO) y la temperatura superficial del Océano Atlántico sobre la distribución espacio-temporal de las lluvias en el estado Cojedes con el fin de saber hasta que punto los cambios climáticos globales influyen la dinámica de las lluvias del estado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de la zona de estudio

El estado Cojedes constituye la unidad de estudio; éste, se ubica geográficamente en las coordenadas Longitud Oeste $67^{\circ} 45' 00''$ a $68^{\circ} 59' 00''$ y Latitud Norte $10^{\circ} 05' 17''$ a $8^{\circ} 30' 48''$, posee 14800 Km^2 de superficie y se encuentra conformado por 9 municipios (INE, 2001) (Figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica del estado Cojedes.

Las regiones del Pacífico meridional que se consideran en esta investigación se resumen en el Cuadro 1 y se visualizan en la Figura 2. Las regiones del Atlántico empleadas en este estudio se resumen en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Regiones del Pacífico meridional donde se consideró la temperatura de la superficie del mar.

Nombre de la región	Coordenadas geográficas
Niño 1 + 2	0° - 10° Sur y 90° - 80° Oeste
Niño 3	5° Norte a 5° Sur y 150° - 90° Oeste
Niño 4	5° Norte a 5° Sur y 160° Este a 150° Oeste
Niño 3.4	5° Norte a 5° Sur y 170° - 120° Oeste

Cuadro 2. Regiones del Atlántico donde se consideró la temperatura de la superficie del mar.

Nombre de la zona	Coordenadas geográficas
Atlántico Norte	5° - 20° Norte y 60° - 30° Oeste
Atlántico Sur	0° - 20° Sur y 30° Oeste - 10° Este

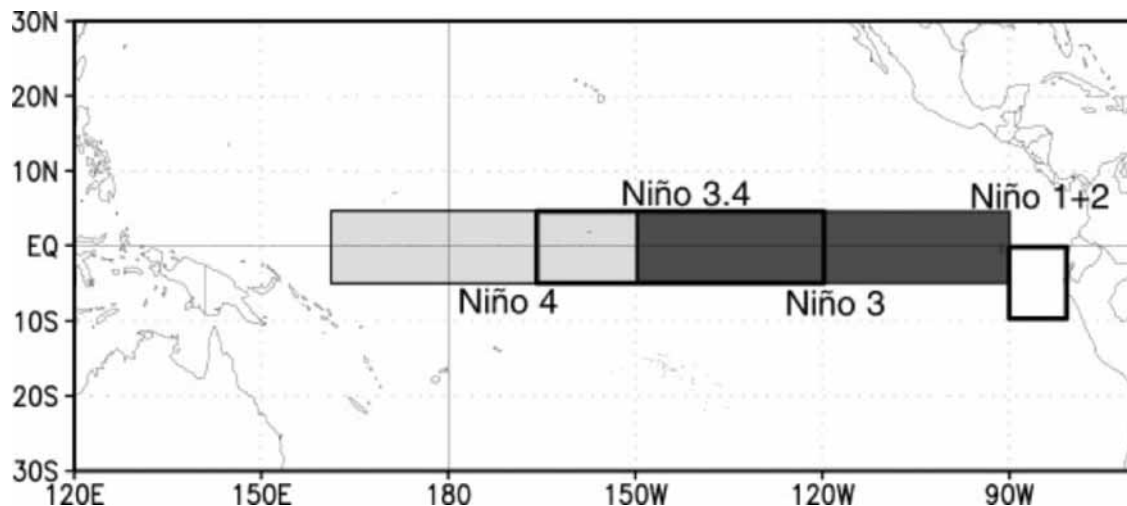


Figura 2. Regionalización del Pacífico meridional donde se consideró la temperatura de la superficie del mar.

Fases de la investigación

Fase 1. Caracterización histórica de las lluvias en el estado Cojedes.

En el MARN San Carlos, se recabaron los registros históricos de la precipitación mensual en

las estaciones pluviométricas: Arismendi, El Baúl Carretera, Los Naranjos, Bejuma-Panamericana, Caño Benito, El Retazo, San Rafael de Onoto, Colonia Turén, Galera, Guabinas, Guayabito, Hato Las Babas, Hato Paradero, Jobalito, Las Vegas-Charcote, Aguadita, Manaure, Manrique, Mata Oscura, Morena, Palo Quemado, Pao Oficina, Pao Planta, Tinaco, Vallecito y Cojeditos. Las estaciones tienen en común registros entre 1972 y 1983, en tal sentido se caracterizó la precipitación puntual a través del promedio mensual y su desviación estándar en el referido periodo; la distribución espacial se evaluó trazando isoyetas de la precipitación puntual promedio por mes con el software Surfer 8.0

Se aplicó un Análisis Factorial de Componentes Principales (Burke y Rao, 2000; Jambu, 1991) entre 1972 y 1983 a fin de establecer 6 zonas con comportamiento pluviométrico homogéneo. De cada zona se seleccionó la estación pluviométrica como la serie histórica más larga (en lo sucesivo denominada estación índice). El Cuadro 3 muestra las estaciones definitivas que se emplearon para caracterizar la precipitación anual en las regiones. Tomando en consideración el Cuadro 3 se definió un periodo de estudio igual a 32 años (1961 a 1993), el cual es el lapso común de las estaciones índices.

Cuadro 3. Estaciones pluviométricas consideradas para evaluar la lámina de lluvia mensual y anual sobre el estado Cojedes.

Zona	Estación pluviométrica referencial	Serie disponible
Centro-oeste	Vegas – Charcote (1050691,367 N; 540096,093 E)	1967-2003
Este	Los Naranjos (981618,205 N; 663881,452 E)	1952-2002
Noreste	Manaure (1101914,288 N; 630933,471 E)	1958-2004
Noroeste	San Rafael de Onoto (1070167,547 N; 503199,73 E)	1946-2004
Norte	Bejuma-Panamericana(1123918,905 N; 580943,94 E)	1961-2004
Sur	El Baúl Carretera (994334,049 N; 582717,098 E)	1961-2003

Nota: ubicación en coordenadas UTM (referido a Datum Horizontal La Canoa)

El área de influencia de las estaciones índices se calculó empleando el Método de los Polígonos de Thiessen (Guevara y Cartaya, 2004). En base del Análisis Factorial de Componentes Principales se supuso que el comportamiento pluviométrico de una estación índice es equivalente al de todas las estaciones incluidas en la zona (en lo sucesivo denominada zona pluviométrica).

La variación temporal y espacial de las precipitaciones en el estado Cojedes se estudió en

función del promedio aritmético y el coeficiente de variación de la lluvia en las zonas pluviométricas tomando como base las décadas 1961-1971, 1972-1982 y 1983-1993 (análisis decadal, Martelo, 2004). A fin de visualizar el comportamiento espacio-temporal de las lluvias decadales se elaboró mapas isoyéticos con los promedios pluviométricos anuales por década en las zonas.

Fase 2. Relación espacial entre la precipitación mensual sobre el estado Cojedes y las Variables Macroclimáticas

Los valores promedios mensuales de las Variables Macroclimáticas (VM) se obtuvo de Internet en la página Web: www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (periodo 1961 a 1993) entre los registros mensuales de precipitación (en cada estación índice) y los registros mensuales de las VM: Índice de Oscilación Meridional (SOI), temperatura superficial del Pacífico meridional en las regiones: Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4, temperatura superficial del Atlántico Norte y temperatura superficial del Atlántico Sur.

A fin de evaluar el efecto espacial de las VM sobre la precipitación del estado Cojedes se elaboró mapas de las VM más influyentes, tomando como indicador el coeficiente de correlación de Pearson.

Fase 3. Análisis de la relación temporal entre las precipitaciones y las Variables Macroclimáticas.

Se realizó un análisis de retardo (Judge et al., 1985) para el periodo 1961-1993 entre los registros mensuales de precipitación (variable dependiente) y los registros mensuales de las VM (variables independientes): Índice de Oscilación Meridional (SOI), temperatura superficial del Pacífico meridional en las regiones: Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4, temperatura superficial del Atlántico Norte y temperatura superficial del Atlántico Sur. De esta manera se evaluó si el comportamiento de las VM en un momento dado afecta con retardo las lluvias mensuales en las regiones pluviométricas. Los retardos evaluados fueron: 0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización histórica de las lluvias en el estado Cojedes

Al evaluar la precipitación total mensual ocurrida sobre el estado Cojedes en el lapso 1972 a 1983 se encontró que Hato Paradero, Bejuma-Panamericana, Los Naranjos, Mata Oscura, Manaure, Pao Oficina, Vegas-Charcote, Caño Benito y Hato Las Babas muestran promedio entre

82 y 109 mm con desviación estándar de 71 a 98 mm. En rango intermedio se ubican Pao Planta, Cojeditos, Galera, Guayabito, Palo Quemado, El Retazo, Tinaco y Aguadita con precipitaciones entre 111 y 122 mm con desviación estándar de 94 a 103 mm. Jobalito, Arismendi, Morena, Guabinas, San Rafael de Onoto y Baúl carretera exhibieron precipitaciones entre 124 y 129 mm con desviación estándar de 101 a 119 mm. Las máximas precipitaciones ocurrieron en Colonia Turén, Vallecito y Manrique con registros entre 134 y 142 mm con desviación estándar de 97 a 114 mm (Figura 3).

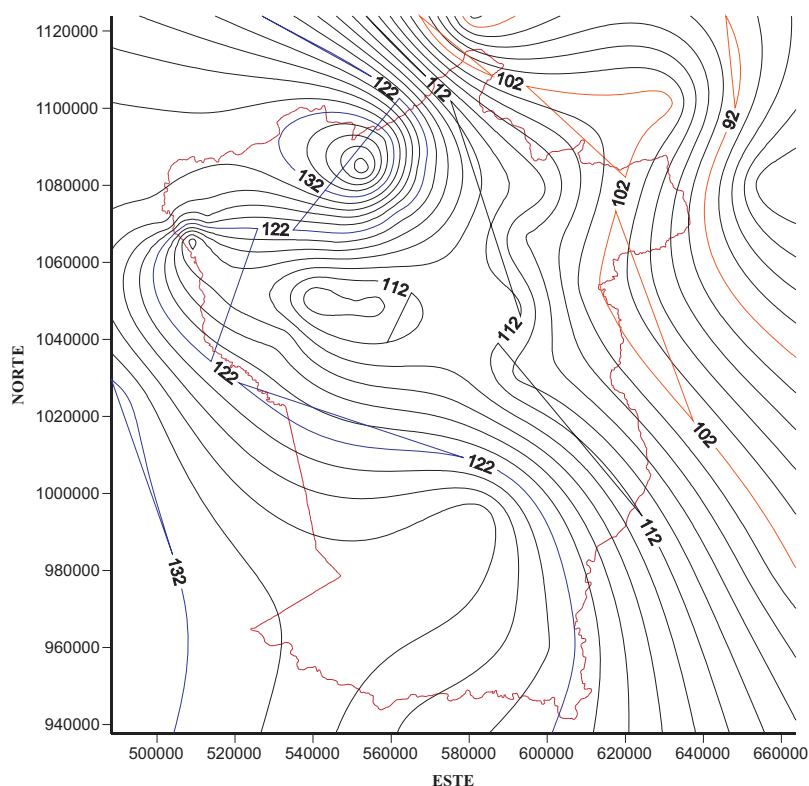


Figura 3. Distribución espacial de la precipitación mensual promedio del estado Cojedes para el periodo 1972-1983¹

Basándonos en los registros de lluvia promedio mensual entre 1972 y 1983 se definieron 6 zonas donde la precipitación mensual están fuertemente correlacionada entre si. Tomando como centroide las estaciones índices (cruces en Figura 4), se delimitaron las zonas con pluviometría equivalente (polígonos de Figura 4).

¹expresada en mm/mes

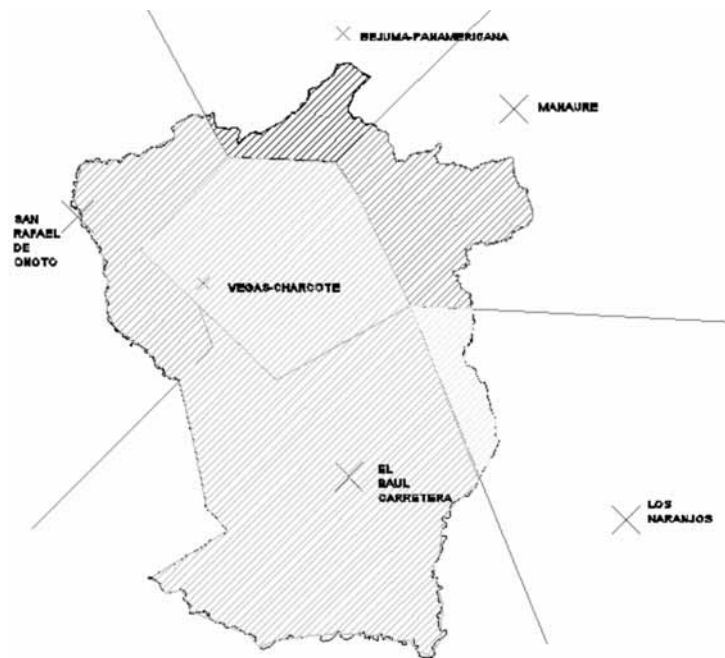


Figura 4. Zonificación pluviométrica del estado Cojedes para el periodo 1972-1983

Al evaluar la precipitación anual sobre las estaciones índices durante las décadas 1961-1971, 1972-1982, y 1983-1993 se encontró que el promedio anual de lluvia en la zona noroeste experimentó un ligero aumento, mientras que el resto mostró una tendencia negativa, muy evidente en las zonas norte, noreste y este (Figura 5)

En las décadas 1961-1971, 1972-1982, y 1983-1993 se encontró que la lluvia anual en la zona centrooeste experimentó valores extremos, situación que se acentuó en la última década. Las zonas sur, norte y noreste se han tornado más homogéneas (Figura 6)

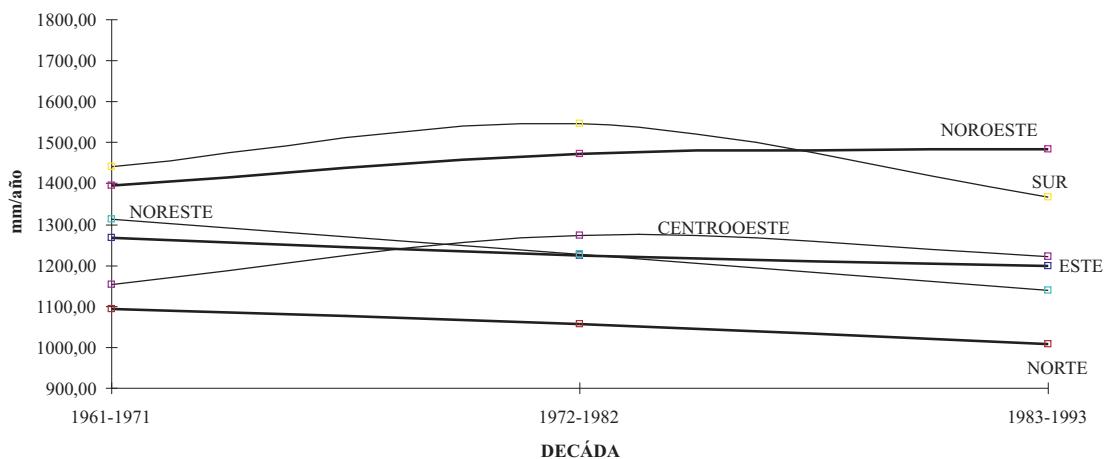


Figura 5. Dinámica temporal del promedio de precipitación anual en las zonas pluviométricas durante las décadas 1961-1971, 1972-1982 y 1983-1993

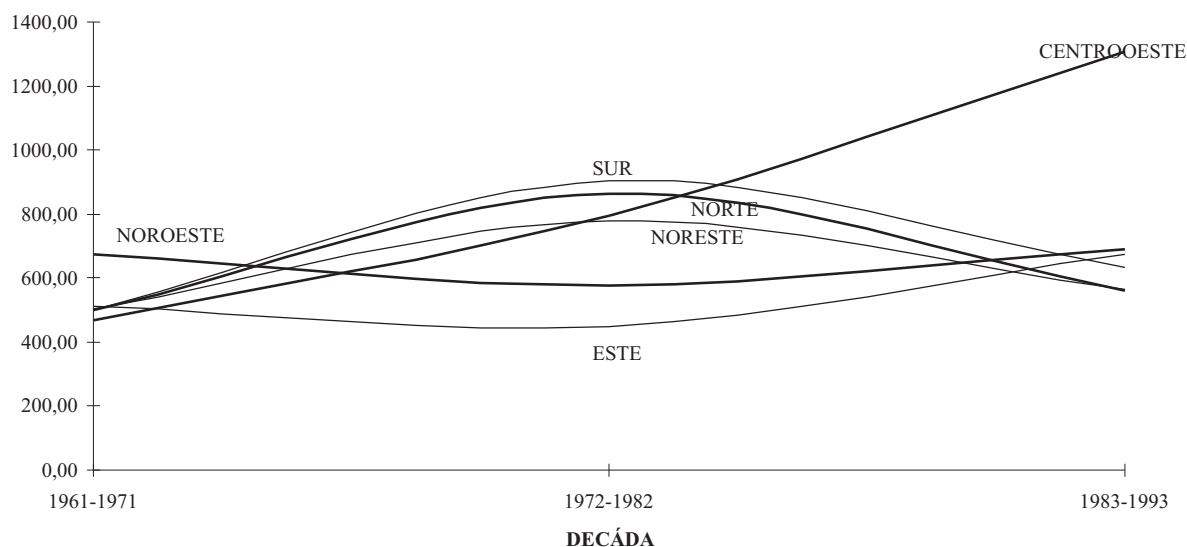


Figura 6. Variabilidad de la precipitación anual en las zonas pluviométricas durante las décadas 1961-1971, 1972-1982 y 1983-1993

En términos espaciales durante la década 1961-1971 ocurrieron altas precipitaciones en el extremo sur con más de 1440 mm/año, mientras que en el centro del Estado se estableció una franja de escasas precipitaciones, que se extendió varios kilómetros hacia el noreste, con valores que oscilaron entre 1150 y 1090 mm/año (ver Figura 7). En la década 1972-1982 las precipitaciones sobre la zona sur alcanzaron valores de 1550 mm/año, lo que implica un incremento del 38 % con respecto a la década anterior; la franja de bajas precipitaciones en la zona norte se amplió a todo el flanco norte noreste con valores alrededor de los 1050 mm/año (ver Figura 8). Durante la década 1983-1993 las altas precipitaciones en la zona sur se desplazaron al oeste y su magnitud media anual disminuyó en relación con la correspondiente a la década anterior. La extensión de la franja de bajas precipitaciones se incremento y la magnitud de las lluvias anuales descendió hasta 1000 mm/año (ver Figura 9).

Sobre la base del análisis precedente, se infiere una presunta tendencia a la ocurrencia de años secos al norte y noreste de Cojedes. La zona sur fue la más húmeda, pero presenta una tendencia a desplazarse hacia el oeste. Esta alteración en el régimen pluviométrico afecta las fuentes de los sistemas de abastecimiento de agua, pues los embalses Pao Cahinche y Pao La Balsa, así como las nacientes de los principales cursos de agua del Estado se ubican al Norte y Noreste.

Relación espacial entre la precipitación total mensual sobre el estado Cojedes y las Variables Macroclimáticas

Al evaluar en coeficiente de correlación de Pearson entre las VM y la precipitación mensual

sobre las estaciones índices en el periodo 1961-1993 se encontró que la temperatura superficial mensual del Atlántico Norte afecta la dinámica pluviométrica de todo el estado, siendo la zona noreste las más influenciadas (Cuadro 4). La correlación es de tipo directa; un aumento de la temperatura del Atlántico Norte trae consigo un aumento de las precipitaciones en todas las zonas, mientras que su enfriamiento se asocia a una reducción de las lluvias. Tal vez al calentarse el Atlántico Norte se potencia la formación de nubes que son transportadas por los vientos Alisios del noreste (campo de vientos dominantes), los cuales al colisionar con los vientos provenientes del sureste incrementan la actividad de la Convergencia Intertropical afectando gran parte del estado Cojedes.

El Atlántico Norte pudiese verse afectado por grandes bloques de hielo transportados por la corriente de deriva del viento del oeste, tales bloques pueden reducir significativamente la energía térmica de las aguas desencadenando años extremos secos a lo largo del flanco noreste del estado. En contraste, un enfriamiento del Atlántico Sur se asocia al aumento de las precipitaciones en todo Cojedes, en especial en la región este, sobre el eje Vallecito-Turén que es donde se dan las máximas precipitaciones.

Cuadro 4. Coeficiente de correlación de Pearson entre la precipitación mensual sobre las zonas pluviométricas y las Variables Macroclimáticas para el periodo 1961-1993.

ZONA	SOI	NIÑO 1+2	NIÑO 3	NIÑO 4	NIÑO 3,4	ATLÁNTICO NORTE	ATLÁNTICO SUR
ESTE	-0,074	-0,395	-0,035	0,289	0,204	0,468	-0,431
NOROESTE	-0,055	-0,393	-0,022	0,257	0,205	0,442	-0,434
SUR	-0,006	-0,462	-0,092	0,253	0,161	0,522	-0,488
NORESTE	0,056	-0,522	-0,182	0,160	0,058	0,563	-0,506
CENTROOESTE	-0,063	-0,406	-0,039	0,272	0,193	0,465	-0,453
NORTE	0,003	-0,435	-0,097	0,205	0,125	0,479	-0,458

El SOI no afectó la dinámica pluviométrica del estado Cojedes, mientras que Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4 ejercieron influencia en diferentes grados de intensidad a lo largo del estado. Solamente el Niño 1 + 2 y Niño 4 incidieron significativamente en todas las zonas, el primero de ellos en forma inversa (un enfriamiento de esta porción del Pacífico meridional se asocia a aumento de las lluvias en todas las regiones, en especial en la noreste), el segundo influye de forma directa (un enfriamiento de esta porción del Pacífico meridional se asocia a disminución de las lluvias en todas las regiones, en especial en la norte). El Niño 3 es el que menos afectó el

régimen pluviométrico de las estaciones índice.

Relación temporal entre las precipitaciones y las Variables Macroclimáticas

Al evaluar la correlación retardada para el periodo 1961-1993 entre los registros mensuales de precipitación y las VM se encontró que el SOI no ejerce influencia sobre el régimen pluviométrico de las regiones. La temperatura superficial de las aguas del Atlántico Norte afecta con diversos grados de retardo las zonas este, sur, noreste y centro-oeste siendo las zonas este y centro-oeste donde se mantiene su efecto con más persistencia. La temperatura superficial de las aguas superficiales del Pacífico meridional a la altura de la región Niño 3.4 incide durante varios meses sobre las zonas noroeste, noreste y norte, mientras que el Niño 3 afecta significativamente la zonas noroeste con retardo de hasta 6 meses.

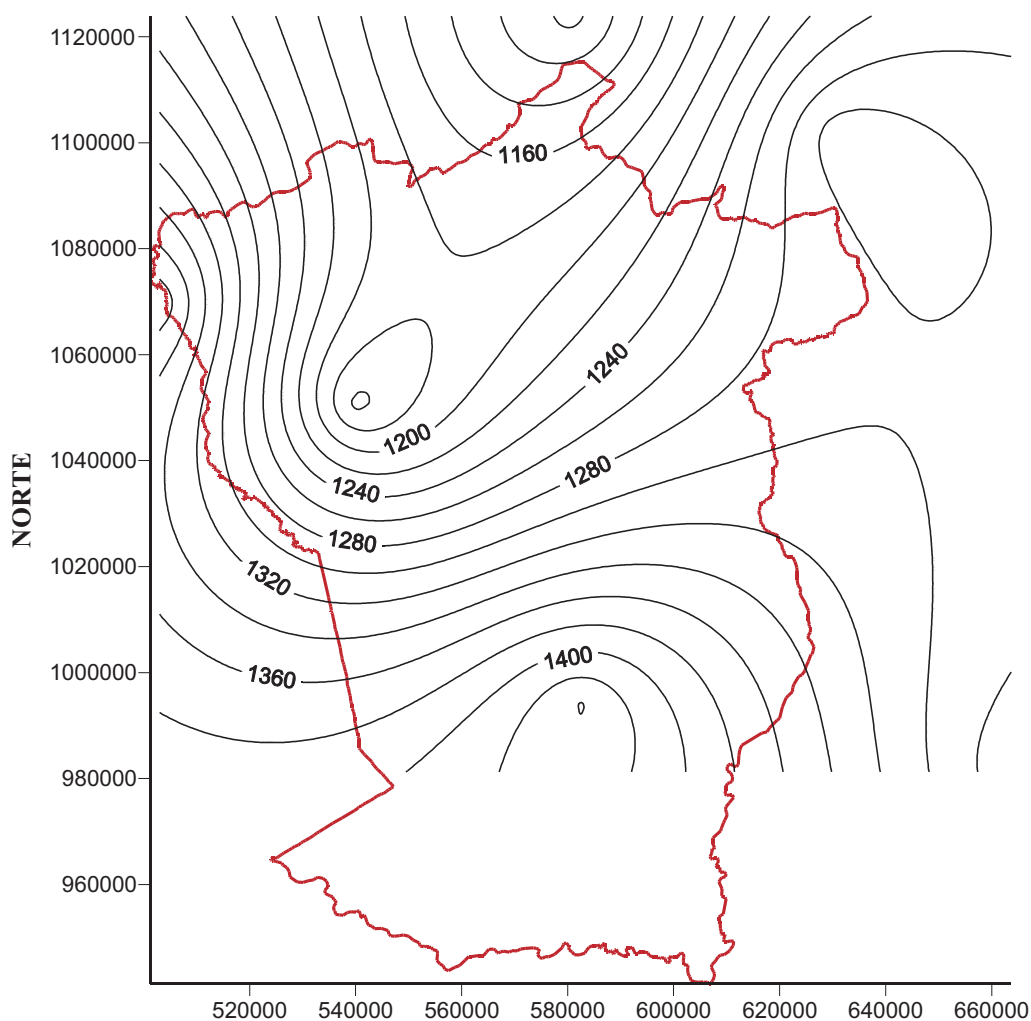


Figura 7. Distribución espacial de la precipitación media anual en las zonas pluviométricas durante la década 1961-1971

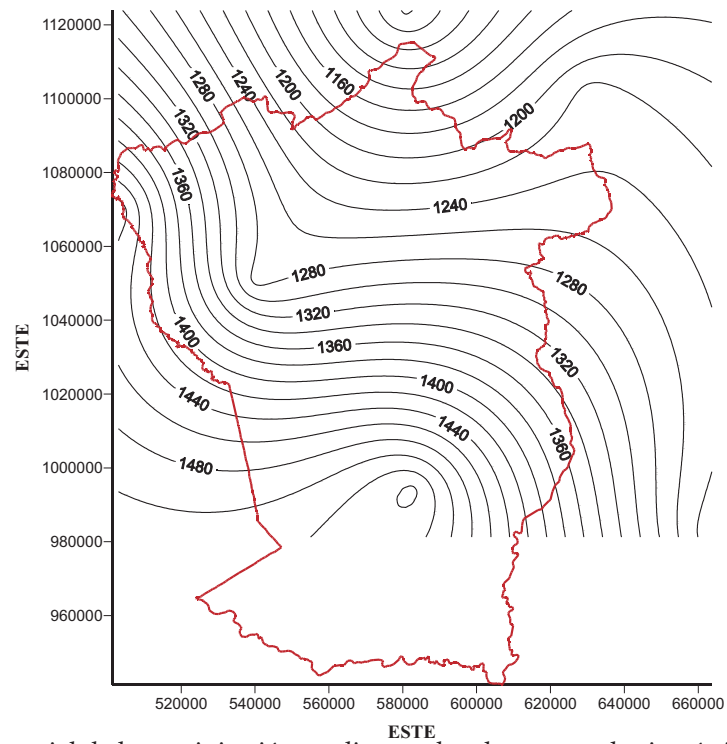


Figura 8. Distribución espacial de la precipitación media anual en las zonas pluviométricas durante la década 1972-1982

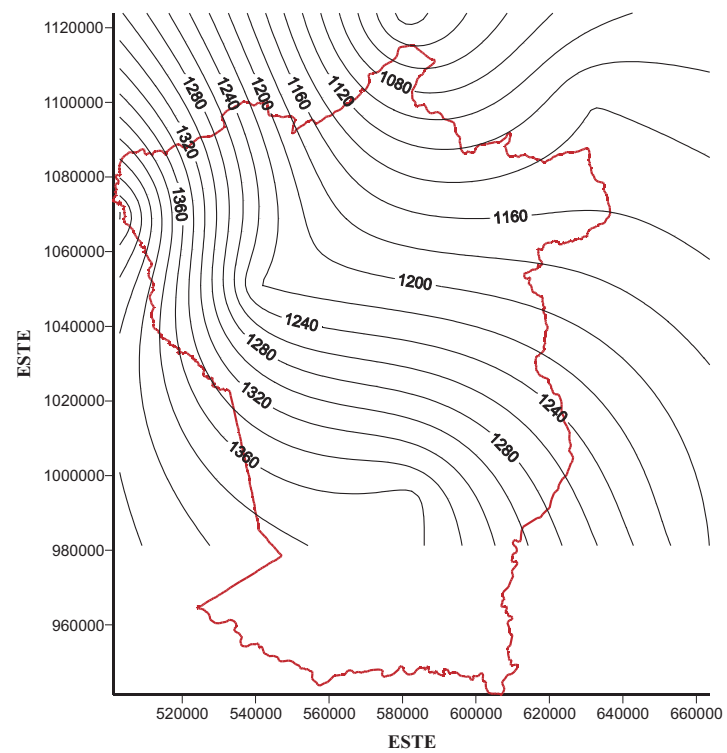


Figura 9. Distribución espacial de la precipitación media anual en las zonas pluviométricas durante la década 1983-1993

CONCLUSIONES

- 1.-En promedio las lluvias sobre el estado Cojedes oscilan entre 82 y 141 mm/mes, siendo el eje Vallecito-Turén donde se dan las máximas precipitaciones mensuales, mientras que los cuadrantes norte-este y este-sureste son característicos por su baja pluviosidad.
- 2.-El estado Cojedes presenta seis zonas con regimenes pluviométricos homogéneos: este, noroeste, sur, noreste, centro-oeste y norte.
- 3.-Existe una tendencia a la ocurrencia de años secos al norte y noreste de Cojedes siendo ello más homogéneo a lo largo del tiempo; mientras la zona noroeste (eje Vallecito-Turén) experimenta un incipiente aumento en cuanto a su lámina media anual, sin embargo la dinámica pluviométrica en ésta zona es notoriamente fluctuante.
- 4.-La temperatura superficial de las aguas del Atlántico Norte afecta el régimen pluviométrico de todo el estado Cojedes en forma directa (su enfriamiento se asocia a la disminución de las lluvias), por su parte el Atlántico Sur ejerce influencia con una intensidad ligeramente menor pero de manera inversa (su enfriamiento se asocia al incremento de las lluvias).
- 5.-El SOI no afecta la dinámica pluviométrica del estado Cojedes, mientras que las regiones del Pacífico Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4 ejercen influencia en diferentes grados de intensidad. La temperatura superficial del Pacífico meridional en las regiones Niño 1 + 2 y Niño 4 inciden significativamente en todas las zonas, el primero de ellos en forma inversa mientras el segundo influye de forma directa.
- 6.-La temperatura de las aguas superficiales del Atlántico Norte parece influir el régimen pluviométrico en todo el estado durante varios meses consecutivos con excepción del flanco norte-noroeste. La región Niño 3,4 del Pacífico meridional, es dominante en los relieves de montaña, colinas altas y altiplanicies de Cojedes.

RECONOCIMIENTO

Nuestro más sincero agradecimiento al Prof. César Abreu por sus acertados aportes durante la consecución del presente estudio, y a nuestro amigo Prof. Duglas Moreno, Coordinador de Investigación del VIPI, cuya perseverancia permitió la cristalización de este nuevo producto de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burke, T. y Rao. R. 2000. Regionalization of droughts. Water Resource 2000. Minneapolis, Minnesota, USA
- Guevara, E. y Cartaya, H. 2004. Hidrología ambiental. (1era edición) Venezuela: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. pp. 101-139
- Instituto Nacional de Estadística [INE] 2001. Síntesis estadística del estado Cojedes 2001.
- Jambu, M. 1991. Exploratory and multivariate data analysis. Academic Press
- Judge, G., Griffith, W., Hill, R., Luetkepohl, H, y Lee, T. 1985. The theory and practice of econometrics. New York: Wiley.
- Loukas, A. y Quick, M. 1996. Effect of climate change on hydrologic regime of two climatically different watersheds. Journal Hydrologic Engineering. 1(2). pp. 77-87.
- Martelo, M. 2004. Influencia de las variables macroclimáticas en el clima de Venezuela. Ponencia presentada en el VII Congreso Venezolano de Ingeniería Agrícola. Octubre 2004. Maracay, Venezuela.