

MODELIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PARA EL ESTADO TÁCHIRA UTILIZANDO SIGs Y GEOESTADÍSTICA

Fernando Guerra¹, Heriberto Gómez², Julio González³ y Zahylis Zambrano⁴

Universidad de Los Andes, Núcleo Universitario

“Dr. Pedro Rincón Gutiérrez” Táchira.

*Departamento de Ciencias Sociales, Laboratorio de Sistemas de Información
Geográfica LABSIG*

Recibido: Septiembre, 2009

Aceptado: Noviembre, 2009

Resumen

La precipitación es uno de los procesos atmosféricos más importante en la caracterización de las condiciones ambientales y climáticas de cualquier área sobre la superficie terrestre. Dada la complejidad asociada a su ocurrencia, medición y estimación, el estudio de su distribución y variabilidad necesita ser revisada y evaluada permanentemente. Los valores medidos y/o estimados de la precipitación para cada lugar o área y su variabilidad son parámetros de suma importancia para diversos fines de investigación, planificación, ordenación del territorio, prevención de riesgos, entre otros. Esta investigación tiene como objetivo elaborar modelos de distribución de la precipitación a nivel temporal y espacial para el estado Táchira utilizando como herramienta software SIGs y técnicas geoestadísticas de estimación. Con los software para SIGs MapInfo, versión 7.0 y ArcView 3.1, se procesó la base de datos de precipitación y la cartografía básica para el estado. Para el análisis geoestadístico, se utilizó el módulo Interpolador Kriging para obtener las estimaciones y los modelos de distribución temporal y espacial de la precipitación media para el estado así como los correspondientes errores de estimación. Como resultado se obtienen mapas de isoyetas mensuales y anuales y de varianzas de estimación. Estos modelos de isoyetas permiten disponer de una cartografía base en formato digital para el estudio de los patrones de distribución de la precipitación, así como la capacidad de estimar, con el menor error posible, la precipitación promedio para cualquier lugar en la entidad.

Palabras claves: precipitación, sistemas de información geográfica (SIGs), interpolación, kriging, Táchira.

MODELLING PRECIPITATION DISTRIBUTION FOR THE STATE OF TACHIRA, USING GISs AND GEOSTATISTIC

Abstract

The precipitation is one of the most important atmospheric processes used to the characterisation of environmental and climatic conditions everywhere on the earth surface. Due to the complexity associated to its occurrence, measurement and estimation, the study of its distribution and variability require to be permanently reviewed and evaluated. The measured or estimated values of precipitation for each place or area, and their variability, are parameters of extraordinary importance for a considerable number of objects, including research, planning, land use planning, risk prevention. This research aims to build distribution models of precipitation to temporal and spatial levels for the state of Tachira, using GIS's tools and geostatistic techniques. By applying GIS's software such as MapInfo version 7.0 and ArcView version 3.1., the precipitation database and cartography of the state were processed. In order to carry out a statistical analysis a Kriging Interpolator Module was used. The Interpolator allowed obtaining estimations and modelling of the temporal and spatial distribution of precipitation mean for the state, and the correspondent estimation errors. These models of isohyets allow to have a cartography base in digital format which can be used to study of distribution of precipitation patterns, also the capacity to estimate, with the minimal error as possible, the precipitation mean for any place in the state of Tachira.

Keywords: precipitation, geographic information system (GIS), interpolation, Kriging, Tachira

1. Introducción

La necesidad de información acerca del comportamiento de la precipitación en el estado Táchira es primordial por diversas razones: existencia de una población en constante crecimiento (estimada en 1.242.153 habitantes para 2010 (INE, 2010)), con cada vez mayores demandas de agua para uso doméstico-residencial, industrial y comercial; manejo y sostenimiento de una infraestructura hídrica para abastecimiento de agua potable a gran parte de la población del estado a través del Acueducto Regional del Táchira (ART) en las nacientes del río Uribante y de acueductos rurales para la población no asistida por el ART; desarrollo y ampliación del potencial hidroeléctrico en pleno aprovechamiento en las cuencas de los ríos Uribante y Caparo (Central San Agatón y La Vueltosa); necesidades de agua para riego agrícola y sostenimiento de actividades pecuarias; como información básica para el diseño y construcción de obras hidráulicas y de drenaje en centros poblados y en áreas con potencial riesgo de inundación, así como también en control de torrentes en áreas montañosas.

El análisis de la disponibilidad potencial de recursos hídricos para diferentes usos y para planificación de su aprovechamiento depende principalmente de la cuantía y variabilidad de la precipitación de que dispone cada unidad espacial (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 1992). Por ello, conocer la variabilidad espacial y temporal de la precipitación es una imperiosa necesidad en estos tiempos donde la disponibilidad del recurso agua cada día es más limitada y su demanda es cada vez mayor (Universidad Simón Bolívar [USB], 1998; GLOBAL WATER PARTNERSHIP-AVE AGUA-VITALIS, 2006), Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2007).

En Venezuela la información climática tanto a escala temporal como espacial es escasa y poco confiable, particularmente en la región andina. Las principales causas de ello son: pocas estaciones de medición, cortas series de registro y fallas en la recolección de la información. La situación es la misma cuando se analizan otros parámetros hidroclimáticos tales como: evaporación, vientos, escurrimiento, caudales y otros.

La estimación de datos de precipitación en los Andes venezolanos es requerida, principalmente en los últimos años, cuando la red de estaciones pluviométricas ha sido gradualmente desmantelada. Por ejemplo, en el estado Táchira, habían 72 estaciones pluviométricas para la década de los años 80 (1982 – 1983), hoy en día solamente 17 de ellas están operativas (R. Ostos, entrevista personal, Abril 17, 2010). Evidentemente esta situación está afectando las actividades de planificación y desarrollo en diversas áreas que dependen de la disponibilidad de recursos hídricos, así como también, el propio conocimiento de la variabilidad espacial y temporal de este elemento climático tan importante en la caracterización físico-geográfica del estado.

Es por ello que se plantea en esta investigación, la necesidad de obtener, por medios estadísticos de interpolación, valores indicativos de cómo se distribuye la precipitación en el estado Táchira; de manera que se pueda disponer de una base de información estimada acerca de esta variable y poder emprender estudios más detallados sobre su rol en el desarrollo de otras actividades importantes como agricultura, hidroelectricidad, uso de la población y para prevención de riesgos hidroclimáticos, entre otras razones.

2. Objetivo

Elaborar un modelo que represente los principales patrones de distribución temporal y espacial de la precipitación para el estado Táchira, utilizando geoestadísticos en una plataforma SIG.

3. Descripción del área de estudio

El estado Táchira está situado astronómicamente entre las coordenadas 7° 21' y 8° 39' de latitud Norte y 71° 18' y 72° 29' de longitud Oeste. Limita al Norte con el estado Zulia, al Sur con el estado Apure, al Este con los estados Mérida y Barinas y al Oeste con la República de Colombia. Desde el punto de vista político territorial está dividido en 29 municipios y 54 parroquias. Ocupa una extensión superficial de 11.100 Km² (Ver Gráfico 1).

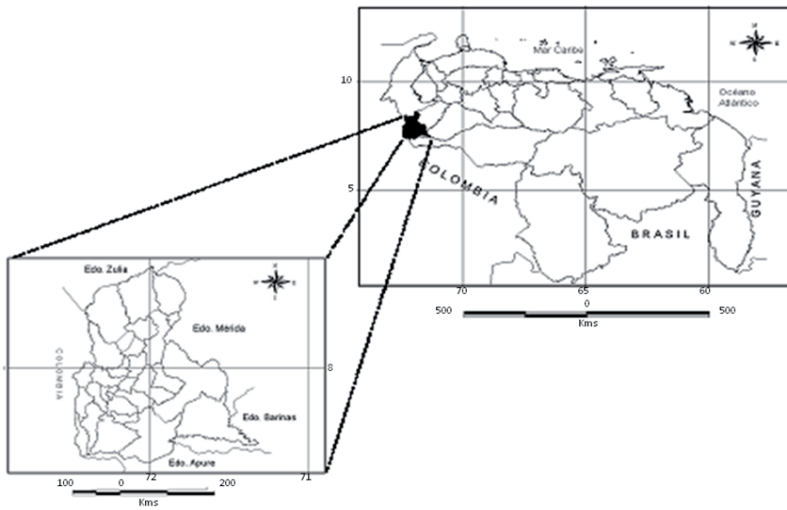


Gráfico 1. Localización del área de estudio.

El estado Táchira se encuentra ubicado en la sección suroccidental de la Región Fisiográfica Andes Venezolanos, conformado a su vez, por las subregiones Cordillera de Mérida y Depresiones intermontanas del Táchira (Zinck (1981). Las unidades fisiográficas más importantes que tienen presencia en el espacio tachirense se corresponderían con: la Región de El Tamá, Pico El Cobre, Capacho y su prolongación al norte; y los primeros ramales de la Cordillera de Mérida, denominados Cordillera de Tovar (Altos del Escalante, El Grita y la serranía del Batallón) y Cordillera del Uribante, separados ambos sectores montañosos por la Depresión Tectónica del Táchira (Freile, 1965). Hacia el norte y sur del estado y ocupando menor extensión se ubican los relieves más bajos y de pendientes más suaves, pertenecientes a las depresiones sedimentarias o llanuras aluviales del Lago de Maracaibo al Norte y de los llanos, al Sur, respectivamente (Ver gráfico 2).

Según MARNR (1986), los paisajes dominantes en extensión en el estado son: el de montaña, caracterizado por niveles altitudinales comprendidos entre 500 y 3.912 msnm, máxima altura del estado, con topografía escarpada e irregular y abarcando una superficie aproximada de 7.102 Km² (64% del estado); el piedemonte, entre las cotas 250 y 500 msnm, con topografía menos accidentada y una extensión de aproximadamente 1.688 Km² (15,2% del estado), y; las planicies aluviales, con topografías más suaves y una extensión aproximada de 2.310 Km² (20,8% del estado).

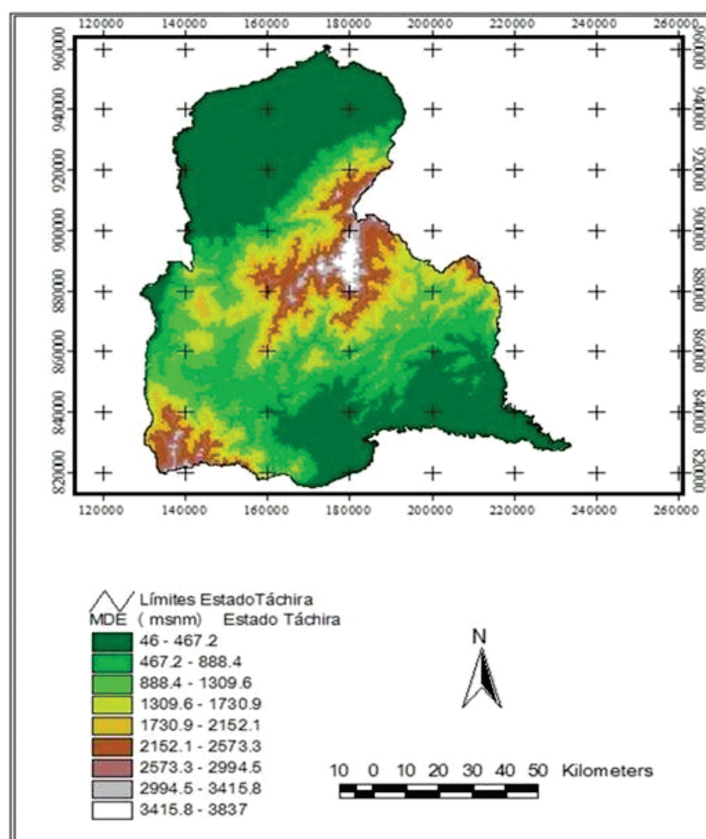


Gráfico 2. Hipsometría estado Táchira.

Desde el punto de vista geológico estructural, en el espacio tachirense tienen presencia y expresión litotipos y procesos que afectaron el occidente y norte de lo que hoy en día es el territorio venezolano desde el precámbrico hasta hoy en día. Las debilidades corticales ocurridas durante el precámbrico hacia el occidente y norte del Escudo de Guayana terminaron generando importantes

fallas que afectaron la dinámica tectónica y sedimentaria. Emergen los primeros relieves andinos (Pre Andes) en el Paleozoico y continua la sedimentación marina y continental hacia esta porción del país. Desde el mesozoico se van conformando las cuencas sedimentarias donde se depositan grandes volúmenes de materiales biodetríticos y detríticos que constituyen las importantes reservas de carbón y otros combustibles en el estado. Durante el Cenozoico se levantan definitivamente los Andes venezolanos (desde Eoceno al Mio-Plioceno) y se configuran los principales rasgos del relieve tachirense. Durante el cuaternario continua la deposición de sedimentos hacia las depresiones y valles interiores andinos (MARNR, 1986 y La Marca, 1997).

Dada la ubicación a nivel latitudinal y a la variedad fisiográfica presente en el estado Táchira, existe una gran diversidad de ambientes climáticos y bioclimáticos, principalmente en las extensiones correspondientes al paisaje montañoso. Dada la condición montañosa dominante en el estado la variabilidad de los promedios anuales de temperatura, según las alturas presentes, permite establecer una diferenciación en pisos térmicos. Utilizando la clasificación de pisos térmicos de Goldbrunner (citado por Foghin-Pillin, 2002) y tomando como base el mapa de isotermas medias al relieve del Atlas del Estado Táchira (MARNR, 1986), en este estado se tiene la presencia de los siguientes pisos térmicos: **-Piso Tropical:** las áreas del estado correspondientes a los paisajes de piedemonte y de llanuras aluviales con prolongación hacia los valles de los principales ríos en las vertientes lacustre y llanera así como el valle del río Táchira, en altitudes inferiores a 600 msnm y con temperaturas promedios anuales superiores a 24 °C. **- Piso Subtropical:** las áreas del estado inmediatamente superiores al piso tropical hasta los 1.500 msnm. Abarca la Depresión del Táchira y las partes bajas de las vertientes lacustre y llanera así como del Macizo de Tamá con temperaturas promedios anuales entre 24° y 18 °C. **- Piso Templado:** vertientes medias de los macizos montañosos de Tamá, Batallón y Uribante, en altitudes entre 1.500 y 2.000 msnm, con temperaturas medias anuales entre 18° y 15 °C. **- Piso Frío:** vertientes de los macizos montañosos de Tamá, Batallón y Uribante, en alturas comprendidas entre 2.000 y 3.000 msnm y con temperaturas medias entre 15° y 10 °C. **- Piso Páramo:** cumbres de los macizos montañosos de Tamá y Batallón, en alturas superiores a los 3.000 msnm y con temperaturas inferiores a 10 °C (Ver gráfico 3).

El efecto del relieve sobre los mecanismos generadores de humedad y lluvias, tales como: la orientación de los valles, la distancia de las fuentes de humedad, las diferentes posiciones de abrigo, el origen convectivo de las lluvias y circulaciones locales son considerados condicionantes que explican la variedad y distribución de la precipitación en la entidad (MARNR, 1986).

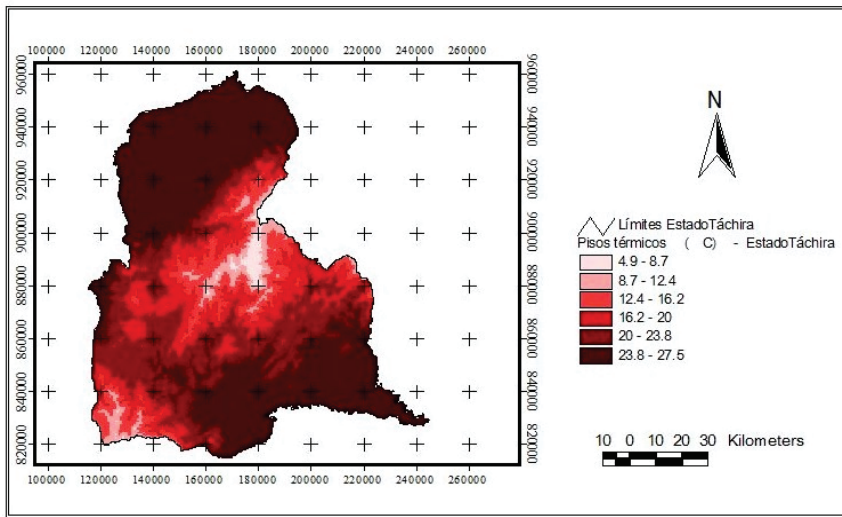


Gráfico 3. Pisos térmicos para el estado Táchira. Elaborado en formato digital a partir de la ecuación de regresión $Y=4.655,08-167,34Xi$, de MARNR, 1986.

Está ampliamente documentado el desigual comportamiento de los regímenes de lluvia y variabilidad espacial y temporal en los montos promedios de la misma para las dos vertientes principales del sistema montañoso andino tachirenses. En este sentido, la precipitación se distribuye de la siguiente manera (MARNR, 1986):

- **Vertiente andino-llanera:** es la vertiente expuesta hacia el sur y sureste de la entidad, caracterizada por presentar promedios de precipitación anual entre 2.200 y 2.800 mm en las partes más bajas (planicie y piedemonte), mientras que en el sector montañoso los montos promedios varían entre 1.400 – 1.800 mm para las estaciones ubicadas en sentido norte-sur y 2.200 – 4.100 mm para las estaciones ubicadas en sentido NE – SO. El promedio general para esta vertiente es de 2.297 mm. Asimismo, temporalmente la precipitación se distribuye siguiendo un régimen unimodal, repartido en 9 meses húmedos y 3 meses secos, con un máximo en los meses de Junio o Julio y un mínimo a principios de año (Enero, Febrero o Marzo). La temporada lluviosa está asociada a la presencia de la convergencia intertropical en estas latitudes a partir de Mayo hasta Agosto con mayor intensidad, para ir disminuyendo a partir de Septiembre y Octubre, cuando se retira hacia el sur. La no presencia de esta convergencia en la región es la responsable principal de los mínimos o ausencia de precipitación en el año.
- **Vertiente andino lacustre:** es la vertiente expuesta hacia norte y noroeste de la entidad, caracterizada por presentar promedios de precipitación anual entre 2.000 y 2.800 mm en las partes más bajas (planicies y piedemonte), mientras que en sector montañoso los montos promedios de precipitación varían con montos

inferiores a 1.000 mm en las estaciones orientadas en sentido NE – SO, 1.400 – 2.600 mm en las estaciones orientadas S – N, 650 y 950 mm en el sector seco o semiárido de Michelena, San Pedro del Río y Lobatera y montos inferiores a 770 mm en la depresión semiárida de San Antonio – Ureña. El promedio general de esta vertiente alcanza valores de 1.736 mm. Temporalmente, la precipitación se distribuye siguiendo un régimen bimodal, repartidos en 7 – 9 meses húmedos y de 3 – 5 meses secos, con dos máximos ubicados, el primero en los meses de Abril – Mayo y el segundo en los meses de Octubre – Noviembre, con un primer mínimo en Julio – Agosto y segundo mínimo de Enero a Marzo. La convergencia local de vientos alisios al suroeste del Lago de Maracaibo con circulaciones provenientes del lago y de la cordillera andina generan al norte del estado mayor y más permanente convectividad de las masas de aire y su régimen de lluvias más extendido en el año (Vivas, 1992).

En el sector montañoso la orientación de las vertientes con respecto a los vientos dominantes genera exposiciones a barlovento y sotavento que hacen aumentar o reducir los montos promedios de precipitación. A este respecto, precisamente en el estado Táchira, dos núcleos de mayores precipitaciones al norte y sur del estado se encuentran separados por bolsones secos (menos de 1.000 mm), tales como el bolsón seco y cálido en la cuenca del río Táchira (San Antonio, Ureña) y el bolsón seco y frío de la cuenca alta del río Grita.

Según la clasificación de Koppen, en el estado Táchira, predominan espacialmente los tipos climáticos Tropical Lluvioso de Selva, subtipos Af(w^{''}) y Af(w); y Tropical Lluvioso de Bosque Am(w), ocupando aproximadamente un 64% de la superficie de esta entidad, distribuidos principalmente en las áreas correspondientes a las planicies aluviales, sectores piedemontinos y en la vertientes inferiores de la serranías del estado. Asimismo, el tipo climático Tropical Lluvioso de sabana, subtipos Aw y Aw^{''}, ocupan una extensión aproximada de 14% de la superficie del estado, distribuidos hacia los valles medios e interiores de los principales ríos tachirenses. Dada la situación montañosa en que se enmarca este estado, el tipo climático Tropical de Altura, subtipos Gf(w^{''}), Gf(w), Gm(w), Gw^{''} y Gw^{''}, ocupan también una extensión importante estimada en 20,6% de la superficie de la entidad, en altitudes comprendidas entre los 1.500 – 1.600 msnm y los 2.900 – 3.000 msnm, dominando los valles altos andinos tachirenses. El tipo climático Tropical de alta montaña (H), asociado a condiciones de ambiente páramo ocupa una extensión de aproximadamente 1,5% de la superficie del estado, en altitudes superiores a los 2.900 – 3.000 msnm, en las mayores estribaciones de la Serranía de El Batallón y región del Tamá (MARNR, 1986 y Vivas, (1992)) (Ver Gráfico 4).

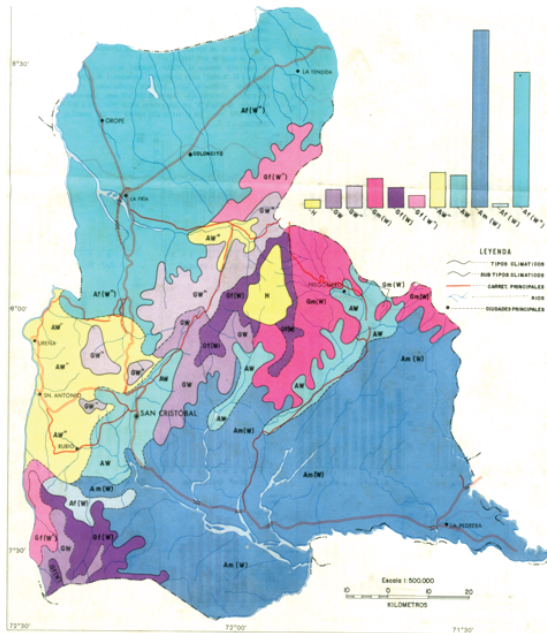


Gráfico 4. Tipos climáticos según W. Köppen para el estado Táchira. (Tomado de: MARNR, 1986).

4. Aspectos metodológicos

Esta investigación se enmarca en el tipo documental correlacional a partir de datos secundarios (Arias, 2006). Se trata de una investigación documental en el sentido que se amplía y profundiza el conocimiento sobre la variabilidad espacial de la precipitación en el estado Táchira con base, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos (UPEL, 2006). Asimismo, se considera de tipo correlacional dado que se basa en la consulta de documentos de cifras o datos cuantitativos para las variables en estudio, en este caso promedios de precipitación, altitudes, orientación y exposición de los relieves para el conjunto de estaciones pluviométricas en estudio, para de esta manera, determinar la correlación entre las variables mencionadas. En este caso, dado que el investigador no es quien mide las variables, sino que la información consiste de datos obtenidos y procesados previamente por organismos como el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB), el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y otros archivos públicos, se considera que los datos tienen carácter secundario.

Para esta investigación se analizó y procesó la información o registros de precipitación promedios mensuales y anuales para una muestra de 66 estaciones

pluviométricas distribuidas de la siguiente manera: 59 estaciones correspondientes al estado Táchira, 4 estaciones al estado Mérida, 1 estación al estado Barinas, 1 estación al estado Apure y 1 estación al estado Zulia (Ver Gráfico 5).

Para efectos del tipo de análisis estadístico que se utilizó en esta investigación, se justificó la incorporación y utilización de información sobre los mismos parámetros para 7 estaciones pluviométricas correspondientes a otros estados vecinos espacialmente al estado Táchira, de manera que permitieran estudiar la tendencia de la correlación espacial o continuidad espacial en la variabilidad de la precipitación principalmente hacia esas áreas, donde además, se cuenta con una menor densidad en la red de estaciones pluviométricas.

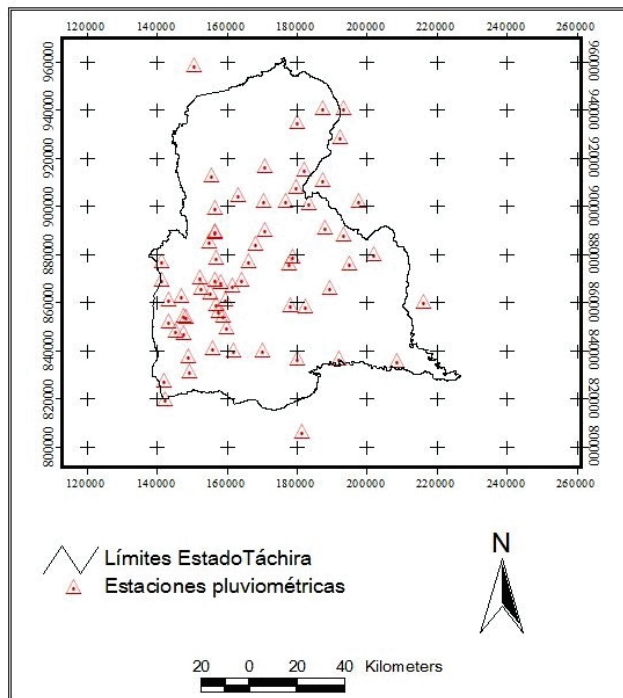


Gráfico 5. Localización estaciones pluviométricas.

La información a utilizar en esta investigación proviene de los diferentes organismos responsables de la obtención, registro, procesamiento y archivo de las estadísticas climáticas en el país, en este caso el MINAMB e INAMEH. Dicha información se relaciona con los promedios mensuales y anuales de precipitación en milímetros (mm) para las 66 estaciones pluviométricas seleccionadas para este estudio con los períodos de registro señaladas en el Cuadro 1.

Cuadro 1

Períodos de registro estaciones pluviométricas

Estación	SERIAL	LAT	LONG	PERIODO
Guaraque-La Quinta (Me)	3030	8°08'55"	71°42'30"	1966-1998
La Fria-Aeropuerto	3061	8°14'26"	72°15'55"	1951-2005
Sabana Grande	3073	8°12'00"	71°56'43"	1952-2000
Pueblo Hondo	3074	8°16'00"	71°55'00"	1952-2000
Estación Táchira	3081	8°07'15"	72°15'07"	1951-2000
Mesa de Seboruco	3082	8°10'00"	72°09'47"	1952-1998
La Grita	3083	8°08'00"	71°58'00"	1967-1973
Seboruco	3085	8°08'48"	72°04'02"	1950-1984
Colón-Esc Federal	3091	8°01'45"	72°15'01"	1952-1998
El Cobre	3094	8°02'13"	72°03'40"	1954-1992
Pregonero	3097	8°01'22"	71°45'53"	1952-1998
Las Tapias (Me)	3132	8°13'41"	71°50'41"	1979-1997
Zea-Florida (Me)	3142	8°23'22"	71°46'42"	1968-1997
Sai Sai (Ba)	3193	7°39'37"	71°25'01"	1970-1998
San Pedro del Río	4002	7°59'33"	72°16'10"	1952-1998
San José de Bolívar	4005	7°54'51"	71°58'12"	1952-1984
Ureña	4012	7°55'00"	72°27'00"	1952-1998
Lobatera	4014	7°56'00"	72°14'44"	1948-1996
Los Laureles	4018	7°55'08"	72°07'27"	1952-1998
Capacho	4020	7°49'00"	72°18'00"	1956-1984
Sn Antonio del Tách B. A.	4022	7°51'00"	72°27'00"	1950-1992
El Recreo	4024	7°47'18"	72°22'30"	1952-1998
Zorca	4026	7°48'00"	72°16'00"	1954-1998
Palmira	4027	7°50'30"	72°13'36"	1952-1996
El Junco	4028	7°49'50"	72°11'00"	1950-1984
San Cristóbal-Estanque	4037	7°46'33"	72°12'37"	1951-1998
Sabaneta del Táchira	4039	7°43'59"	72°14'01"	1952-1981
El Ron	4040	7°43'00"	72°13'00"	1959-1984
Bramón-Escuela	4041	7°39'22"	72°23'40"	1938-1986
Rubio	4042	7°42'32"	72°21'23"	1952-1968
Rubio-INOS	4043	7°39'00"	72°22'00"	1951-1973
La Copé	4045	7°40'10"	72°12'05"	1952-1998
Hacienda Betania	4050	7°28'03"	72°26'14"	1978-1996
Delicias	4051	7°34'00"	72°26'00"	1952-1997
Doradas	4057	7°33'20"	71°56'16"	1955-1998
Las Coloradas	4058	7°33'17"	71°46'40"	1962-1998
Navay	4059	7°32'57"	71°33'31"	1953-1998
Las Dantas	4060	7°41'27"	72°25'24"	1964-1998
Las Adjuntas	4063	7°46'20"	72°25'25"	1964-1998

Borotá	4071	7°51'00"	72°15'00"	1968-1984
Páramo El Zumbador	4072	7°59'04"	72°05'45"	1978-1998
Cerro El Cristo	4079	7°51'22"	72°18'13"	1976-1984
La Providencia	4081	7°33'42"	72°20'45"	1968-1984
Santa Fé	4082	7°35'30"	72°15'22"	1968-1998
Puente Salóm	4083	7°35'08"	72°10'35"	1968-1998
Rubio	4084	7°42'50"	72°22'00"	1969-1984
Uribante-Sitio de Presa	4085	7°45'15"	71°57'52"	1970-1998
Las Bocas de Caparo (Me)	4086	7°46'16"	71°27'38"	1971-1990
Potosí	4087	7°57'00"	71°39'00"	1972-1982
El Nula (Ap)	4090	7°17'00"	71°55'00"	1971-1994
La Honda	4091	7°54'55"	71°44'27"	1975-1998
La Hormiga	4092	7°49'24"	71°48'50"	1974-1998
Los Paujiles	4093	7°56'27"	71°57'27"	1974-1998
La Potrera	4097	7°51'08"	72°08'57"	1978-1998
San Cristóbal-Torbes	4098	7°45'23"	72°14'30"	1984-1998
Santo Domingo del Tách. B. A.	4099	7°35'00"	72°04'00"	1982-1992
El Guayabo (Zu)	8045	8°39'16"	72°19'56"	1977-1985
Zorca	4026	7°48'00"	72°16'00"	1954-1998
Palmira	4027	7°50'30"	72°13'36"	1952-1996
El Junco	4028	7°49'50"	72°11'00"	1950-1984
San Cristóbal-Estanque	4037	7°46'33"	72°12'37"	1951-1998
Sabaneta del Táchira	4039	7°43'59"	72°14'01"	1952-1981
El Ron	4040	7°43'00"	72°13'00"	1959-1984
Bramón-Escuela	4041	7°39'22"	72°23'40"	1938-1986
Rubio	4042	7°42'32"	72°21'23"	1952-1968
Rubio-INOS	4043	7°39'00"	72°22'00"	1951-1973
La Copé	4045	7°40'10"	72°12'05"	1952-1998
Hacienda Betania	4050	7°28'03"	72°26'14"	1978-1996
Delicias	4051	7°34'00"	72°26'00"	1952-1997
Doradas	4057	7°33'20"	71°56'16"	1955-1998
Las Coloradas	4058	7°33'17"	71°46'40"	1962-1998
Navay	4059	7°32'57"	71°33'31"	1953-1998
Las Dantas	4060	7°41'27"	72°25'24"	1964-1998
Las Adjuntas	4063	7°46'20"	72°25'25"	1964-1998
Borotá	4071	7°51'00"	72°15'00"	1968-1984
Páramo El Zumbador	4072	7°59'04"	72°05'45"	1978-1998
Cerro El Cristo	4079	7°51'22"	72°18'13"	1976-1984
La Providencia	4081	7°33'42"	72°20'45"	1968-1984
Santa Fé	4082	7°35'30"	72°15'22"	1968-1998
Puente Salóm	4083	7°35'08"	72°10'35"	1968-1998
Rubio	4084	7°42'50"	72°22'00"	1969-1984

Uribante-Sitio de Presa	4085	7°45'15"	71°57'52"	1970-1998
Las Bocas de Caparo (Me)	4086	7°46'16"	71°27'38"	1971-1990
Potosí	4087	7°57'00"	71°39'00"	1972-1982
El Nula (Ap)	4090	7°17'00"	71°55'00"	1971-1994
La Honda	4091	7°54'55"	71°44'27"	1975-1998
La Hormiga	4092	7°49'24"	71°48'50"	1974-1998
Los Paujiles	4093	7°56'27"	71°57'27"	1974-1998
La Potrera	4097	7°51'08"	72°08'57"	1978-1998
San Cristóbal-Torbes	4098	7°45'23"	72°14'30"	1984-1998
Santo Domingo del Tách. B. A.	4099	7°35'00"	72°04'00"	1982-1992
El Guayabo (Zu)	8045	8°39'16"	72°19'56"	1977-1985
Caño Negro	8052	8°29'58"	71°50'50"	1953-1991
Puente Escalante	8054	8°30'00"	71°46'00"	1960-1995
Umuquena	8065	8°16'33"	72°03'48"	1964-1995
Páramo El Batallón	8066	8°08'30"	71°53'40"	1968-1998
Hacienda Valle Negro	8067	8°03'00"	71°50'00"	1973-1998
Aldea Pajitas	8074	8°26'40"	71°56'38"	1973-1991
Colón	8092	8°02'00"	72°15'00"	1971-1992
San Vicente-Revancha	9006	7°30'15"	72°20'33"	1968-1998
El Paradero	9060	7°45'13"	71°54'17"	1974-1998

4.1 Estimación y ajuste de datos climáticos

Las series con datos de precipitaciones promedio mensuales y anuales de cada una de las estaciones fueron revisadas a los fines de chequear la consistencia de los cálculos de promedios mensuales y anuales, así como de lagunas o inexistencia de datos en las series.

La mayoría de las estaciones presentaron englobe o acumulación de datos de precipitación para lapsos de dos, tres y cuatro meses consecutivos. Para el desenglobe de datos se siguió la técnica de Pérez Machado, utilizando valores concurrentes según Colloti (Guevara, 1987).

Para el cálculo de datos faltantes en las series de precipitación se utilizó el método racional (Guevara, 1987), considerando que la alta variabilidad de la precipitación en medios montañosos así como la relativa baja densidad de estaciones, según recomienda la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1994), dificultan la aplicación de otros métodos de estimación (doble ploteo de masas, razón de los valores normales, regresión lineal).

Para verificar la homogeneidad o aleatoriedad de las series se utilizó el test no paramétrico de las rachas, específicamente, las pruebas de las

rachas de Sidney Siegel (Perdomo y Márquez, 1979), para series menores y mayores a veinte datos. La homogeneidad de las series permite verificar tanto la aleatoriedad de las series, así como también, si los datos no han sido afectados por factores externos que incidan en la distribución de los valores de la serie. Comprobada la aleatoriedad, entonces, las series de datos de precipitación (variable climatológica) se ajustan a una distribución de probabilidades conocida, siendo en este caso la distribución normal o de Gauss, dado el carácter de variable aleatoria continua que asume esta variable climatológica.

Completada la serie de datos para los períodos en referencia se recalcularon los promedios mensuales y anuales de precipitación y se tabularon todos los datos. Para el procesamiento y archivo de toda la información se utilizó Microsoft Office Excel 2007.

4.2 Tratamiento geoestadístico

La geoestadística es una rama de la estadística tradicional aplicada al estudio de las variables que se distribuyen de manera continua en el tiempo y en el espacio, llamadas variables aleatorias regionalizadas, caso éste muy común al estudiar las condiciones naturales en un área.

Se asume que las características naturales de un espacio dado son variables aleatorias que tienen una continuidad espacial y que los valores que asume esta variable en dos o más lugares, son dependientes y tienen una correlación espacial, por lo que conociendo esta correlación se puede estimar y simular su variabilidad. Es decir, a partir de datos conocidos de una variable se pueden estimar los valores para sitios donde no hay información, conociendo su función de correlación espacial.

El estimador en geoestadística que permite obtener valores de una variable en puntos no muestreados conociendo su función de correlación espacial es el kriging o krigeaje. Se considera un interpolador estadísticamente robusto dado que es insesgado (iguales valores de la media para datos muestrales y estimados) y la varianza es mínima, consiguiéndose de esta manera minimizar la varianza de estimación o error de incertidumbre (Cuador, 2000; Gallardo, 2006). Es precisamente esta cualidad lo que diferencia al krigeaje de otros métodos de interpolación ya que, además de estimar el dato de la variable para cualquier localización, establece la varianza de krigeaje como medida del error de la estimación realizada (Cuador, 2000).

Para desarrollar el estudio geoestadístico de la variable precipitación en el estado Táchira se siguieron las etapas generales establecidas para este

tipo de estudios (Cuador, 2000; Vanderlinden, 2003; Gallardo, 2006; Rondón, 2006), a saber: **Análisis exploratorio de los datos, Análisis estructural o variográfico, Interpolación y estimación espacial (kriging) y Validación del modelo.** El tipo de Kriging seleccionado para modelar la distribución de la precipitación fue el ordinario, puntual con semivariograma teórico de modelo esférico omnidireccional.

5. Resultados y análisis

Como resultado de la estimación y ajuste de datos climáticos se recalcularon los promedios mensuales y anuales de precipitación para las 66 estaciones consideradas en este trabajo los cuales se indican en el Cuadro 2.

El estudio geoestadístico, considera en su primera fase un análisis exploratorio de los datos con el interés básico de detectar inconsistencias o variaciones extremas de los datos que afecten el ajuste de las distribuciones a una función normal o gaussiana. Realizada las pruebas de las rachas indicada en el marco metodológico se considera que en las series de datos en estudio no existen fluctuaciones anormales. Igualmente se analiza el cumplimiento de la estacionariedad de los datos como una de las hipótesis de la geoestadística. La misma consiste en confirmar que el valor de la varianza de los datos muestrales es la misma para todo el espacio considerado, es decir, no existe más de una población entre los datos considerados. En la segunda fase del estudio geoestadístico, análisis estructural o variográfico, se contempla la obtención de los semivariogramas experimentales a partir de los datos de las estaciones pluviométricas seleccionados y su comparación con los modelos de semivariogramas teóricos a cuya función se ajustan normalmente los datos. En la presente investigación se elaboraron los semivariogramas utilizando el modelo teórico esférico considerando que es el único modelo que tiene un sill o meseta conocido y además, al utilizar un solo modelo teórico, permite la comparación entre ellos para el mismo espacio considerado.

Los meses con mayores valores de rango en Marzo, Junio, Julio y Octubre se interpretan como períodos donde existe menos variabilidad de los promedios de precipitación entre estaciones lo cual incide en que deban considerarse mayores distancias para alcanzar el sill o varianza global para el conjunto de datos para los meses respectivos. Menores valores de rango en los meses de Abril, Mayo y Diciembre, se explican por la mayor variabilidad en los datos muestrales a menores distancias, por lo que se alcanza el sill a menor distancia o rango.

Cuadro 2 Promedios mensuales y anuales de precipitación para las estaciones analizadas.

ESTACION	SERIAL	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
Guaraque-La Quinta* (Me)	3030	1710	15,0	14,4	27,9	93,1	135,9	115,9	129,0	132,7	114,1	101,2	78,6	29,8	987,6
La Fría-Aeropuerto	3061	95	183,3	155,6	179,3	321,2	272,8	150,2	150,1	179,1	225,9	311,8	320,7	247,8	2697,8
Sabana Grande	3073	2000	29,6	30,4	53,8	107,7	92,0	53,9	42,1	47,9	81,0	114,5	98,7	59,4	811,0
Pueblo Hondo	3074	2100	29,2	37,0	55,0	117,2	108,3	62,3	46,1	55,1	73,6	115,2	98,1	46,4	843,5
Estación Táchira	3081	340	163,8	159,1	185,6	249,9	241,7	223,6	238,4	243,8	244,6	306,8	289,7	225,6	2772,6
Mesa de Seboruco	3082	485	179,8	161,3	165,9	304,4	261,4	147,9	112,7	152,2	209,1	285,2	297,8	220,6	2498,3
La Grita	3083	1540	40,1	27,0	38,1	163,6	132,5	95,9	62,7	69,0	88,1	139,0	130,6	33,5	1020,1
Seboruco	3085	840	47,2	61,3	49,7	119,6	126,0	48,1	34,4	48,3	65,9	116,6	128,7	58,7	904,5
Colón-Esc Federal	3091	880	87,1	83,5	94,4	159,1	123,9	78,0	74,9	84,9	121,5	201,8	206,3	146,8	1462,2
El Cobre	3094	2100	24,3	31,2	41,3	122,9	96,7	59,7	58,9	55,8	81,9	116,4	102,2	62,1	853,4
Pregonero	3097	1260	10,0	16,3	34,2	120,0	151,2	171,1	201,5	210,6	198,6	124,2	76,8	32,1	1346,6
Las Tapias* (Me)	3132	1920	25,1	28,3	54,2	84,0	83,2	75,4	73,0	68,3	77,7	89,5	79,3	47,1	785,1
Zea-Florida* (Me)	3142	900	69,2	62,9	65,4	132,0	113,2	95,6	88,0	91,8	101,8	153,4	194,9	89,3	1257,5
Sai Sai* (Ba)	3193	196	11,6	20,8	51,0	148,2	261,7	389,1	331,2	277,9	240,9	282,6	199,2	104,2	2318,4
San Pedro del Río	4002	760	48,5	51,1	48,4	93,7	71,3	47,4	42,4	45,9	78,1	135,4	140,4	93,9	896,5
San José de Bolívar	4005	1420	30,1	25,8	41,5	109,6	192,3	211,6	224,7	120,2	121,3	122,5	107,2	42,6	1349,4
Ureña	4012	350	34,0	38,3	62,8	102,1	74,6	38,9	28,3	31,9	54,6	120,8	103,1	66,5	755,9
Lobatera	4014	920	22,8	21,7	28,5	88,7	66,9	47,8	36,1	45,7	64,2	101,9	93,8	54,8	672,9
Los Laureles	4018	1520	29,4	32,2	50,9	118,9	121,7	135,7	165,1	125,4	118,6	141,7	115,5	66,4	1221,5
Capacho	4020	1264	20,3	21,3	32,7	100,7	101,3	107,7	107,9	85,9	85,9	101,4	99,6	43,1	907,8
Sn Antonio del Tách B. A.	4022	377	40,6	36,4	44,7	89,5	79,9	37,9	23,7	28,5	52,2	114,7	105,0	70,4	723,5
El Recreo	4024	1035	40,0	42,7	50,9	116,5	93,8	101,9	103,9	83,3	83,1	134,8	115,6	68,5	1035,0
Zorca	4026	850	26,0	23,9	37,3	92,8	119,2	134,9	144,8	129,4	132,9	134,5	98,4	72,1	1146,2
Palmira	4027	1100	20,0	17,9	22,5	104,0	98,3	100,1	106,2	97,4	117,0	110,2	81,7	44,0	919,3
El Junco	4028	1280	29,3	35,8	45,1	130,9	157,7	159,8	172,7	141,3	136,5	143,7	117,7	68,4	1338,9
San Cristóbal-Estanque	4037	992	36,7	28,6	43,9	98,2	169,7	233,5	246,9	204,9	166,3	168,2	131,9	98,8	1623,6
Sabaneta del Táchira	4039	680	30,4	26,7	50,8	113,4	181,5	247,3	234,5	195,4	175,4	173,1	150,6	77,6	1656,7
El Ron	4040	1320	42,0	41,2	64,4	176,3	262,1	356,0	348,9	282,4	259,3	248,1	188,7	104,6	2374,0
Bramón-Escuela	4041	1105	52,9	52,0	60,6	133,8	129,9	163,8	146,5	127,9	116,7	129,2	125,8	75,5	1314,6
Rubio	4042	1000	26,1	18,9	41,3	83,9	125,2	154,1	144,5	138,2	119,2	126,0	93,1	58,6	1129,1
Rubio-INOS	4043	875	22,3	27,3	39,6	89,4	99,4	130,6	120,1	119,2	110,6	112,0	91,9	55,5	1017,9
La Copé	4045	500	41,0	45,5	63,3	167,5	262,7	322,4	326,6	288,2	284,8	259,1	183,5	108,6	2353,2
Hacienda Betania	4050	2210	14,4	23,6	47,1	103,6	132,8	121,2	83,5	109,4	141,9	135,7	86,2	45,9	1045,3
Las Delicias	4051	1600	40,3	36,9	60,9	125,8	119,9	130,2	91,0	91,2	124,3	142,7	127,2	71,2	1161,6
Doradas	4057	220	40,5	42,3	62,8	200,9	347,0	396,4	385,3	336,4	368,1	364,3	279,7	118,2	2941,9
Las Coloradas	4058	180	29,9	36,7	55,4	175,3	326,2	366,2	387,3	329,2	315,5	352,5	253,0	108,4	2735,6
Navay	4059	180	23,1	25,4	47,5	165,9	283,7	343,2	329,7	313,2	277,4	291,9	232,7	110,4	2444,1
Las Dantas	4060	890	47,3	57,4	66,5	117,3	122,0	132,7	118,8	106,3	107,2	145,0	127,4	88,3	1236,2
Las Adjuntas	4063	560	43,8	51,5	55,3	104,0	81,6	62,4	59,7	54,3	77,5	140,0	133,3	73,4	936,8
Borotá	4071	1380	27,9	33,6	36,1	122,8	73,6	63,1	49,9	55,1	84,6	126,8	108,5	59,4	841,4
Páramo El Zumbador	4072	2570	26,6	32,8	46,2	111,5	101,3	93,4	113,0	101,7	103,3	130,3	104,9	55,4	1020,4
Cerro El Cristo	4079	1513	28,0	31,8	44,0	155,5	89,7	92,2	77,3	91,6	105,6	109,0	107,0	43,2	974,9
La Providencia	4081	1182	95,4	103,9	105,7	214,9	160,8	292,3	271,8	206,7	165,1	144,5	128,2	92,9	1982,2
Santa Fé	4082	960	88,7	123,9	115,0	229,8	373,7	473,9	450,8	420,6	381,8	300,0	200,1	133,4	3291,7
Puente Salom	4083	475	53,3	81,8	93,2	217,3	339,3	425,2	387,1	353,7	363,1	281,1	180,7	118,3	2894,1
Rubio	4084	920	40,2	34,9	51,8	123,1	79,1	115,9	104,2	92,4	109,3	133,9	116,1	58,8	1059,7
Uribante-Sitio de Presa	4085	995	56,2	51,7	109,8	281,6	456,3	533,9	597,6	549,7	493,9	479,0	352,7	193,9	4156,3
Las Bocas de Caparo (Me)	4086	220	19,3	30,2	76,3	186,8	339,6	380,9	395,7	375,1	378,4	384,8	246,3	77,3	2890,7
Potosí	4087	1050	10,0	17,2	37,4	177,4	281,9	358,6	306,9	372,8	333,5	241,5	179,0	60,9	2377,1
El Nula* (Ap)	4090	250	31,0	56,4	78,9	197,3	307,2	386,1	462,2	304,4	287,4	397,3	219,8	90,2	2818,2
La Honda	4091	1160	21,0	27,4	68,5	168,6	278,9	360,4	392,6	349,3	316,3	261,9	156,2	73,6	2474,7
La Hormiga	4092	1005	34,2	34,2	86,0	244,9	427,3	471,6	500,4	454,2	391,6	361,8	251,8	119,6	3377,6
Los Pajiles	4093	1760	14,7	22,5	48,1	133,9	169,8	198,6	210,7	184,6	174,1	157,1	109,2	59,8	1483,1
La Potrera	4097	1440	32,6	27,5	47,8	131,4	155,4	179,2	214,3	170,7	157,3	158,7	106,3	82,4	1463,6
San Cristóbal-Torbes	4098	760	32,3	35,1	37,7	84,9	158,9	206,2	238,5	182,4	177,0	179,5	139,3	92,1	1563,9
Santo Domingo del Tách B. A.	4099	328	46,0	56,0	58,0	137,0	374,0	378,0	331,0	363,0	308,0	372,0	245,0	111,0	2779,0

Cuadro 2 (cont.)

El Guayabo* (Zu)	8045	35	75,9	42,6	107,3	253,5	242,4	181,3	107,3	122,1	175,8	231,3	166,5	146,2	1852,2
Caño Negro	8052	151	133,5	136,1	169,8	222,5	203,7	152,0	125,8	136,8	132,9	207,8	252,8	177,7	2051,4
Puente Escalante	8054	160	118,2	114,6	147,2	214,2	185,7	131,2	137,1	142,1	137,4	194,2	231,0	162,1	1915,0
Umuquena	8065	505	142,9	172,9	185,5	309,5	193,3	135,9	82,6	107,6	133,7	254,8	276,5	228,9	2224,1
Páramo El Batallón	8066	3165	27,9	37,6	59,7	121,5	119,8	109,2	126,4	118,0	108,4	123,1	96,9	48,9	1097,4
Hacienda Valle Negro	8067	2500	16,8	26,4	53,4	130,6	168,0	197,4	230,1	192,9	156,5	148,6	77,7	39,2	1437,6
Aldea Pajitas	8074	90	118,5	144,3	242,6	314,2	177,3	159,9	120,9	161,6	137,6	222,1	232,8	186,0	2217,8
Colón	8092	760	61,2	91,9	98,2	149,5	119,6	72,6	92,5	95,4	152,3	186,5	165,1	140,9	1425,7
San Vicente-Revancha	9006	1830	58,5	85,3	136,5	171,6	183,5	347,2	279,5	183,4	157,2	137,2	101,3	84,1	1925,3
El Paradero	9060	1120	59,2	52,9	114,6	267,1	412,3	513,6	541,5	516,6	428,6	433,8	341,8	163,2	3845,2

En forma general, y en base a los semivariogramas obtenidos para el estado Táchira, los parámetros indican que el rango promedio, o distancia a partir del cual no existe correlación entre los valores de los puntos tomados de muestra, está por el orden de los 55,8 Kms. A nivel de promedios anuales el valor del rango alcanzó un promedio de 40,7 Kms.

En el Gráfico 6, se muestra, a modo de ejemplo, el semivariograma obtenido a nivel anual para el estado Táchira.

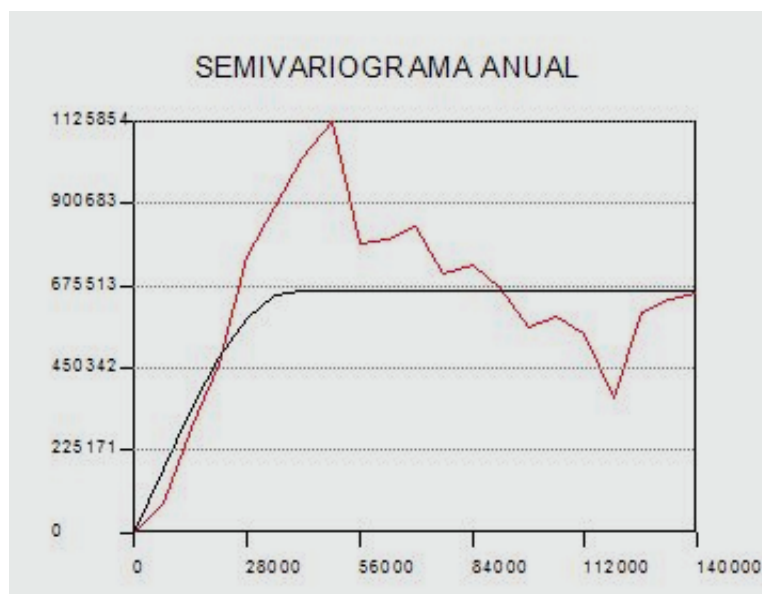


Gráfico 6. Semivariograma esférico anual, estado Táchira.

En cuanto al sill o varianza máxima para hacer las estimaciones se obtuvo como promedio un valor de 9.147. Es decir, que los valores promedios de precipitación podrán estimarse hasta un margen de variación máximo de 95 mm en promedio para cada uno de los meses del año. A nivel de promedios anuales el sill o varianza se estableció en 826 mm, indicando que se correlacionaron valores promedios de precipitación con diferencias máximas hasta dicho valor.

El lag o radio de búsqueda entre estaciones para calcular las semivarianzas y construir el semivariograma se estableció en 7000 mts, considerando la estructura adquirida por los semivariogramas a diferentes radios. Es decir, el modelo busca todos los puntos de muestreo o estaciones existentes a su alrededor hasta una distancia de 7000 mts y calcula las semivarianzas entre los puntos o estaciones encontrados dentro de ese lag o radio de búsqueda.

Conociendo a través de los semivariogramas seleccionados la estructura espacial de variación de la precipitación promedio para cada mes y para el año, y utilizando el interpolador kriging del software ArcView 3.1, se obtuvieron los mapas de precipitación promedio mensual y anual y los mapas de varianzas de estimación para el estado Táchira.

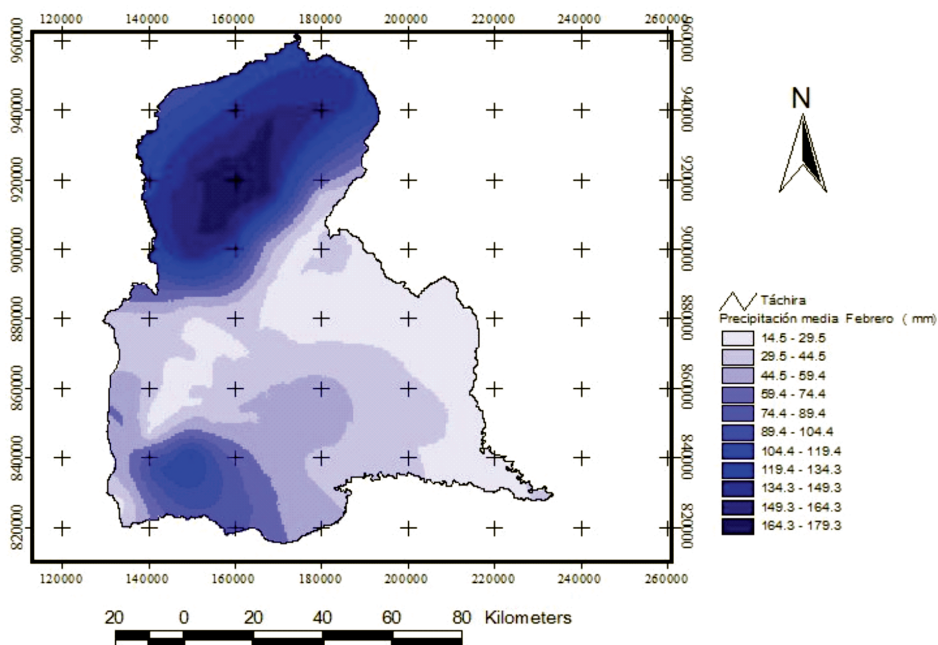
En los Gráficos 7, 9, 10 y 11, se muestran los patrones de variabilidad de la precipitación media obtenidos para el estado Táchira en los meses de Febrero, Mayo, Octubre y a nivel anual para los períodos considerados. La selección de los modelos mensuales obedece a la intención de destacar y sintetizar las condiciones que presenta el estado en cuanto a los meses en que ocurren los mínimos y máximos de precipitación media mensual. Esta selección tiene fundamentalmente fines demostrativos ya que en realidad, en el estado, existen diferencias notables, según las características de cada una de las estaciones, en cuanto a la ocurrencia de los mínimos y máximos promedios mensuales. Asimismo, se obtiene y presenta el modelo de distribución de la precipitación a lo largo del año. En el Gráfico 8, se muestra, a manera de ejemplo, el mapa de semivarianzas o de error de estimación para el mes de Febrero.

El Gráfico 7 muestra la distribución de la precipitación promedio para el mes de Febrero o mapa de isoyetas para dicho mes.

El período de Enero a Marzo es considerado, de forma general, como el período seco para una gran extensión del estado, por lo que se considera que el mes de Febrero representa dicha condición, aunque los mínimos de precipitación media mensual pueden ocurrir en cualquiera de esos meses. Como puede observarse en el Gráfico 7, para una extensión considerable del

estado, en sus partes central y suroriental, los promedios de precipitación son inferiores a 60 mm. Abarca espacialmente gran parte de la depresión llanera correspondiente al estado, así como las vertientes montañosas orientadas al norte y sur, extendiéndose hasta la cuenca alta y media del río Táchira. **Gráfico**

Gráfico 7. Mapa de precipitación promedio (mm), mes de febrero, estado Táchira.



Asimismo, se destacan dos sectores del estado donde los promedios de precipitación mensual son mayores (entre 100 y 160 mm) hacia las nacientes del río Quinimarí y una amplia extensión de la depresión lacustre. Estos valores promedios mensuales, aunque aportan volúmenes moderados de agua, son bajos en relación a los estimados para los demás meses del año.

A manera de ejemplo, en el Gráfico 8 se representa el modelo de mapa de varianzas de estimación obtenido aplicando el interpolador kriging para el mes de Febrero.

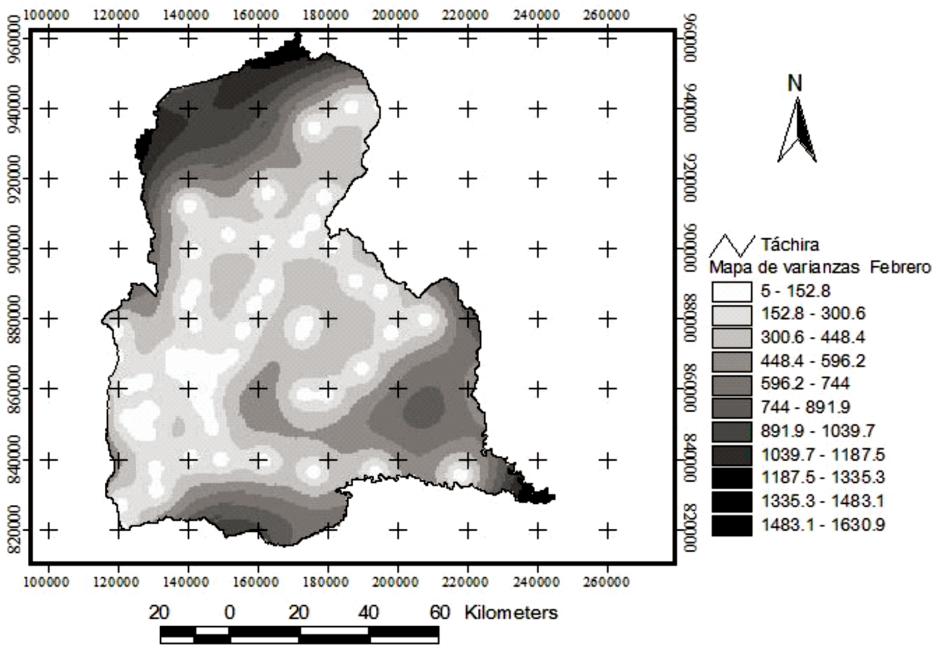
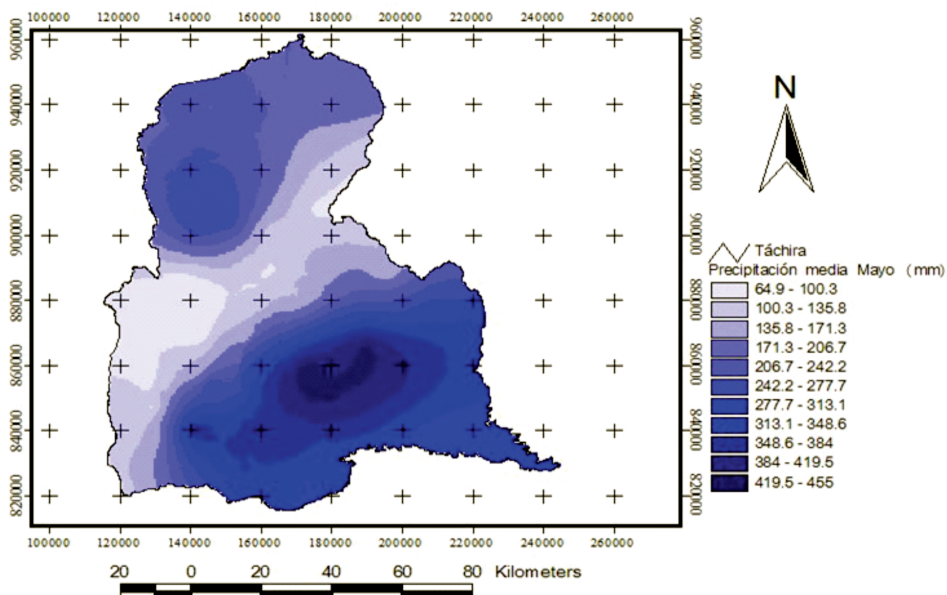


Gráfico 8. Mapa de varianzas de estimación, mes de febrero, estado Táchira.

El mapa de varianzas de estimación es el resultado del promedio de las semivarianzas calculado por el modelo para todos los puntos de muestreo y de estimación que utiliza el programa en la extensión del estado. Lo que representa en el caso del mes de Febrero es la medida del error de estimación de la precipitación promedio para el mes de Febrero y para cada punto dentro del estado. Como es de esperarse, mientras más cerca de los puntos de muestreo se encuentre el lugar menor será el error de estimación (áreas claras en el mapa) y, a mayor distancia de los puntos de muestreo aumenta las semivarianzas o error de estimación; áreas más oscuras en el mapa. En forma general, existe autocorrelación espacial en la variabilidad de la precipitación promedio para el mes de Febrero en toda la extensión del estado y puede estimarse el valor promedio de la precipitación para cualquier lugar con un margen de error conocido, una de las bondades de este modelo de interpolación.

En el Gráfico 9 está representada la distribución de los promedios de precipitación para el mes de Mayo o mapa de isoyetas para el referido mes.

Gráfico 9. Mapa de precipitación promedio (mm), mes de mayo, estado Táchira.

Los meses de Abril y Mayo se consideran como los de inicio o entrada de las lluvias para gran parte del país y del estado. Como puede observarse, para dos amplios sectores del estado, correspondientes a las depresiones llanera y lacustrina, se estiman valores de precipitación promedio mensual entre 200 y 480 mm, separados ambos sectores por los menores valores promedios en las vertientes montañosas y valles interiores del estado (100 a 200 mm). Se destaca asimismo, una mayor concentración de la precipitación hacia la depresión llanera sur del estado.

El Gráfico 10 muestra la distribución de los promedios de precipitación o mapa de isoyetas para el mes de Octubre.

El mes de Octubre se considera como mes de transición y/o de salida del período lluvioso en el estado para la mayoría de las estaciones de registro. Sin embargo, como puede observarse en el gráfico, el modelo estima pocas variaciones con respecto al mes de Mayo. Se mantienen los dos sectores lluviosos en las depresiones llaneras al norte y sur del estado con valores entre 200 y 480 mm, separados ambos sectores por la barrera que interponen las vertientes montañosas y valles interiores, en donde se estiman menores valores promedios de precipitación (100 a 200 mm). Durante la época lluviosa, las masas

de aire descargan su humedad al pie de las vertientes lo que hace descender los promedios de precipitación hacia las secciones medias y altas de las vertientes y valles interiores del sector montañoso.

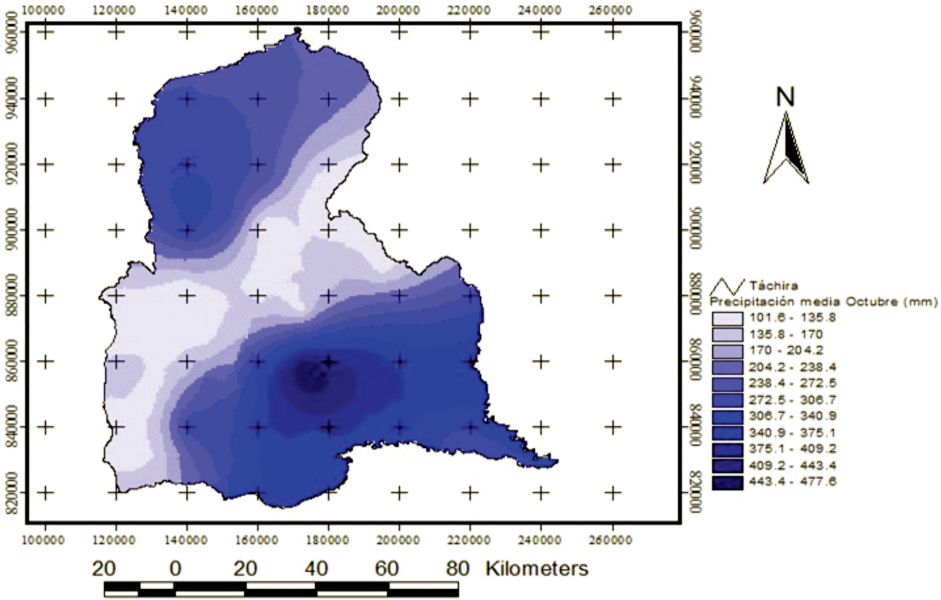
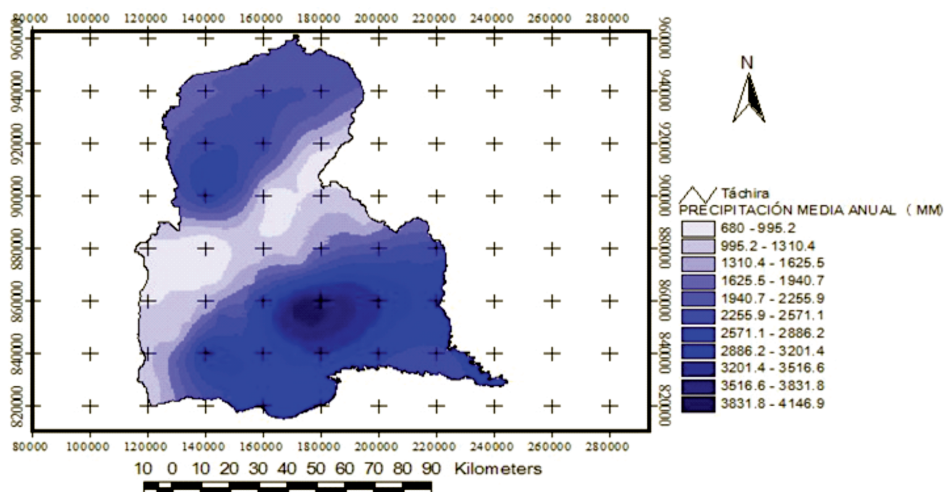


Gráfico 10. Mapa de precipitación promedio (mm), mes de octubre, estado Táchira.

En el Gráfico 11, se representa el modelo de distribución de los promedios de precipitación anual o mapa de isoyetas anual.

En este gráfico se señala como es la distribución de los promedios anuales de precipitación para los periodos considerados. De este modelo o mapa de isoyetas se destacan varias consideraciones sobre las características del patrón general de distribución de la precipitación para el estado. En este sentido, y como puede visualizarse, las áreas que totalizan mayores promedios de precipitación anual, según las estimaciones del modelo, son las correspondientes a las depresiones al sur (llanera) y al norte (lacustre) del estado, con promedios que superan los 1.600 mm anuales, estimándose para la vertiente sur mayores valores, superando los 3.800 mm anuales hacia la cuenca alta del río Uribante.

Gráfico 11. Mapa de precipitación promedio anual (mm), estado Táchira.

Los menores valores totales anuales de precipitación estimados por el modelo se relacionan con los sectores correspondientes a las vertientes montañosas y valles interiores, en la parte central del estado, con promedios comprendidos entre 900 y 1.600 mm. Los valores promedios más bajos se estiman para la cuenca media del río Táchira, extendiéndose hacia la cuenca del río Lobaterita (Lobatera – San Pedro del Río) y hacia los valles altos del río Grita y Páramo del Batallón, con valores estimados entre 600 y 900 mm.

6. Conclusiones

Con la aplicación de las técnicas y métodos estadísticos apropiados para el análisis de información climática, específicamente para la variable precipitación, se logró construir una base de datos completa en cuanto a continuidad en el tiempo y calidad de los datos, con la consistencia estadística necesaria para su posterior utilización con fines de investigación científica y con cierta representatividad de la realidad geográfica en estudio.

El análisis geoestadístico utilizado permitió crear modelos de distribución de la precipitación media, a nivel mensual y anual, para el estado Táchira por interpolación espacial con base en la técnica de kriging o krigeado. El tipo kriging seleccionado fue el kriging ordinario, puntual y con semivariograma teórico de modelo esférico omnidireccional, el resultó ser adecuado a la realidad de este estudio. A través de esta técnica se logró modelar y describir la estructura de variación espacial y temporal de la precipitación media para el estado Táchira.

Se seleccionaron 4 mapas con la distribución de los promedios de precipitación a nivel mensual y anual para el estado Táchira, que explican las variaciones y los patrones de distribución a nivel temporal y espacial de la precipitación para el estado. Asimismo, a modo de ejemplo, se presenta un mapa de semivarianzas de estimación para el mes de Febrero.

La información generada en este tipo de estudios puede ser utilizada en labores de planificación de actividades agrícolas, pecuarias, turísticas, industriales, comerciales y en proyectos de inversión en obras sanitarias, hidráulicas, hidroeléctricas, urbanísticas, entre otras; como insumo para la elaboración y ejecución de los proyectos por parte de diversos organismos y entes públicos. Dada la relevancia que tiene hoy en día el uso racional y la conservación de los recursos hídricos para la sostenibilidad ambiental, este tipo de estudios puede contribuir a la detección de cuencas prioritarias para el aprovechamiento y conservación de este recurso en función a su potencial hídrico según las condiciones pluviométricas que las caractericen.

La utilización de los software para sistemas de información geográfica, MapInfo y Arc View, para el archivo, manejo, procesamiento y análisis de la información referida a la temática de esta investigación constituyeron herramientas útiles y eficientes para desarrollar los procedimientos indicados y alcanzar los resultados planteados, lo que permite confirmar y recomendar el uso de estas herramientas para el análisis de información espacial.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico, Tecnológico de Artes (**CDCHTA**)-**ULA** por su financiamiento a este trabajo que forma parte de una investigación mayor titulada "Detección de áreas inestables en la cuenca del río Torbes, Edo. Táchira, **Código: NUTA-H-241-06-09-AA**

Referencias bibliográficas

- ARIAS, Fidas. (2006). *El proyecto de investigación*. Episteme. Caracas.
- CUADOR G., J. (2000). *La geoestadística, su surgimiento y evolución* [Documento en línea]. Disponible: <http://www.ciget.pinar.cu/No,%202000-2/geoestadística.htm> [Consulta: 2006, Diciembre 01]
- FREILE, ALFONSO. (1965). *Regiones fisiográficas de Venezuela*. Ministerio de la Defensa. Caracas.

- FOGHIN-PILLIN, S. (2002). *Tiempo y clima en Venezuela: Aproximación a una geografía climática del territorio venezolano*. Caracas: UPEL Clase Magistral, N° 1.
- GALLARDO, A. (2006). Geoestadística. *Ecosistemas* [Revista en línea], 003. Disponible: <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/431.pdf> [Consulta: 2009, Abril, 17]
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP-AVE AGUA-VITALIS (2006). *Gestión integrada de los recursos hídricos en Venezuela* [Documento en línea]. Disponible: <http://www.vitalis.net/GIRH%20Final%20Marzo%202006.pdf> [Consulta: 2007, Octubre 13]
- GUEVARA D., J. M. (1987). *Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2010, Enero 10). Población total, según entidad federal al 30 de Junio, 2000 – 2015 (base censo 2001) [Datos en línea]. En INE: *Proyecciones de población*. Disponible: <http://www.ine.gov.ve/demografica/salidistribucion.asp?Tt=Cuadro229&cuadro=cuadro229> [Consulta: 2010, Enero 10]
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2010, Marzo 16). Climatología. [Datos en línea]. En INAMEH: *Datos de precipitación mensual*. Disponible: http://www.inameh.gob.ve/index.php?pag=d_precipitacion [Consulta: 2010, Marzo 16]
- LA MARCA, E. (1997). *Origen y Evolución geológica de la Cordillera de Mérida Andes de Venezuela*. (Cuadernos de la Escuela de Geografía, N° 1). Mérida: Universidad de Los Andes.
- Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales. (1986). *Atlas del estado Táchira*. San Cristóbal.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. (2009, Marzo 16). Precipitación mensual por estado [Datos en línea]. En MINAMB: *Precipitación mensual*. Disponible: http://www.minamb.gob.ve/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=48&Itemid=113 [Consulta: 2009, Octubre 14]
- Organización Meteorológica Mundial. (1992). *La meteorología y la hidrología para el desarrollo sostenible*. Ginebra.
- Organización Meteorológica Mundial. (1994). *Guía de prácticas hidrológicas*. Ginebra: Publicación N° 168.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2007

- PERDOMO, E. Y MÁRQUEZ de P., I. (1979). *Elementos prácticos de climatología estadística*. Ciudad Guayana: EDELCA.
- RONDÓN, O. (2006). *Curso de krigeado por Oscar Rondón* [Documento en línea]. Disponible: <http://www.geo.upm.es/postgrado/CarlosLópez/geoestadística/index.htm> [Consulta: 2006, Diciembre 26]
- Universidad Simón Bolívar (1998). *Recursos hídricos en Venezuela*. Caracas: Comisión de Estudios Interdisciplinarios.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2006). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales* (4ª ed.). Caracas: Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador.
- VANDERLINDEN, K. (2003) *Introducción a la geoestadística* [Documento en línea]. Disponible: <http://www.uco.es/vida/seminarios/cartelcursogeostat.htm> [Consulta: 2006, Agosto 08]
- Vivas, L. (1992). *Los Andes Venezolanos*. Caracas: Academia Nacional de la Historia.
- ZINCK, A. (1981). *Definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos*. (Serie: Suelos – Clima, SC – 46). Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras.