

Contribución al estudio de la pluviometría del estado Miranda (Venezuela) mediante Sistemas de Información Geográfica

Contribution to the study of the rainfall of the state of Miranda (Venezuela) through Geographic Information Systems

◆ **Loan José Landaeta**

landaeta_loan@gmail.com

Código ORCID: 0000-0002-7952-7483

Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Venezuela

I Artículo recibido en junio 2019

I Arbitrado en julio 2019

I Publicado en septiembre 2019

RESUMEN

Palabras clave:

Pluviometría; isoyetas;
estado Miranda;
Sistemas de
Información
Geográfica

En este artículo se hizo una revisión de los estudios pluviométricos referidos al estado Miranda y se presenta una propuesta de mapa isoyético basado en una muestra de 180 estaciones con diferentes períodos de registro a partir de 1950. Los datos fueron ajustados por diferentes métodos estadísticos, efectuándose desenglobes, estimación de datos faltantes y homogenización de series. Las isoyetas se interpolaron usando el método Spline con tensión, a través de los Sistemas de Información Geográfica. El mapa isoyético propuesto se compara con el mapa incluido en el trabajo de Alba Zambrano sobre la fisiografía del estado Miranda, importante referencia publicada en 1970. Para la comparación con el mapa isoyético propuesto, se seleccionó el trazado isoyético de Zambrano por tratarse del más completo y detallado presentado hasta la fecha. Se recomienda la densificación de la red de estaciones pluviométricas, particularmente en las regiones montañosas y áreas urbanas expuestas a riesgos hidrometeorológicos.

ABSTRACT

Key words:

Rainfall; isohyets;
Miranda State;
Geographic
Information Systems

In this paper, a review of the rainfall studies referred to the Miranda state is made and an isohyetal map proposal, based on a sample of 180 stations with different recording periods from 1950, is presented. The data were adjusted by different statistical methods, being carried out, such as estimation of missing data and homogenization of series. The isohyets were interpolated using the Spline method with tension, through the Geographic Information Systems. The proposed isohyetal map is compared with the map included in Alba Zambrano's work on the physiography of the Miranda state, an important reference published in 1970. For the comparison with the proposed isohyetal map, the Zambrano isohyetal plot was selected because it is the most complete and detailed presented to date. Densification of the network of rainfall stations is recommended, particularly in mountainous regions and urban areas exposed to hydrometeorological hazards.

INTRODUCCIÓN

El estudio de las condiciones pluviométricas a escala nacional, regional o local, constituye un aspecto del mayor interés en disciplinas como la geografía, la hidrología, la ecología y la ingeniería, por cuanto sus variaciones espaciales y temporales inciden, positiva o negativamente, sobre importantes aspectos tales como el suministro de agua para consumo en áreas urbanas e industriales; la irrigación de cultivos y los requerimientos para la cría de animales; el cálculo de balances hídricos y de índices de sequía; la estimación del inicio promedio de las temporadas de lluvias; las probabilidades de propagación de plagas agrícolas y de brotes de enfermedades endémicas, particularmente de transmisión insectil; la planificación de la localización y de las dimensiones de embalses destinados a la generación de energía hidroeléctrica, control de inundaciones y de procesos erosivos, así como para el diseño de sistemas de drenaje y otras estructuras hidráulicas, entre múltiples aplicaciones (Glynn y Heinke, 1999; Linsey, Köhler y Paulus, 1988; Singh, 2017).

Por otra parte, especialmente para los países localizados en la zona intertropical, el potencial aumento de los riesgos hidrometeorológicos por efectos del cambio climático global, magnifica la importancia de los estudios pluviométricos como soporte de las políticas y planes que deberán implementarse para reducir los riesgos y la vulnerabilidad de la población, ante el impacto de eventos lluviosos de extraordinaria magnitud (Guhathakurta, Sreejith y Menon, 2011).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM-WMO) define el término pluviometría como el "estudio de la precipitación, incluyendo su naturaleza, su distribución y sus métodos de medida" (OMM, 1992, p. 459).

En relación con estos aspectos, la OMM indica que el problema del suministro de agua ocupa, a nivel mundial, el tercer lugar entre los mayores riesgos derivados del cambio climático global y que la demanda de agua para 2030 presentará un déficit del 40% respecto a las disponibilidades del recurso. El citado organismo especializado de la Organización de Naciones Unidas, señala también que el 60% de los países miembros reporta una disminución de las estaciones de observación meteorológica, cuyos datos, en términos cuantitativos (número de estaciones) y cualitativos (calidad de las observaciones), resultan vitales para la toma de decisiones efectivas (WMO, 2018). Condiciones estas que resaltan la importancia de las investigaciones relacionadas con la pluviometría, particularmente en los países en vías de desarrollo, como Venezuela, en los cuales las redes de observación meteorológica presentan notorias deficiencias, a la vez que la población enfrenta un alto grado de vulnerabilidad frente a las amenazas de fenómenos atmosféricos tanto violentos, como las lluvias de extraordinaria magnitud, como de evolución lenta, cuales las sequías (Wilhite, 2006).

En Venezuela, los estudios de las condiciones pluviométricas generales recibieron destacados aportes durante el siglo XX, sobre todo a partir de la disponibilidad de las primeras series de observaciones sistemáticas (González, 1948; SEMETFAV, 1982; 1993; Sifontes, 1929), las cuales se fueron expandiendo hasta abarcar gran parte del territorio nacional y sirvieron de base para publicaciones que continúan siendo referencias fundamentales (Goldbrunner, 1960; 1976; 1984; Vila, 1960). En algunos trabajos publicados posteriormente se abordan los posibles impactos que podría generar el cambio climático global sobre los regímenes pluviométricos venezolanos, destacándose entre estos las

investigaciones de Guenni, Degryze y Alvarado (2008) y Hernández, Guenni y Sansó (2011).

Entre los estudios sobre las condiciones pluviométricas a escala regional, resaltan los trabajos de Vila (1967), Freile (1968), Grosske (1968), Zambrano (1970) y Sánchez (1981), obras en las que se incluyen diferentes aspectos climatológicos del estado Miranda. La referida publicación de Zambrano reviste particular interés, ya que su clasificación climática abarca gran parte del territorio del estado Miranda e incluye un mapa isoyético notablemente detallado, por lo cual será comentado más adelante. Por su parte, el trabajo de Sánchez presenta una regionalización climática del estado Miranda con fines agrícolas, basada en los registros de siete estaciones localizadas en dicha entidad federal.

Más recientemente, aplicando herramientas digitales, Landaeta (2017) publicó una propuesta de tipos pluviométricos para el estado Miranda, sobre la base de los polígonos de Thiessen. Finalmente, con relación a la escala local, también hay que citar la contribución de Méndez y Cartaya (2003), referida a una cuenca hidrográfica localizada en el estado Miranda.

Sin embargo, sin desconocer la importancia de los citados aportes, es forzoso señalar que para el territorio venezolano en general y para el estado Miranda en particular, hasta el presente los estudios climatológicos a escala regional deben considerarse insuficientes.

Respecto a las redes de observación, es de interés resaltar que a comienzos de la década de 1980 en Venezuela funcionaban cerca de 1.300 estaciones pluviométricas (SEMETFV, 1982), lo que representaba una densidad aproximada de una estación por cada 700 kilómetros cuadrados, proporción que, en teoría, satisfacía las

recomendaciones mínimas de la OMM en lo que respecta a tierras planas, aunque no así para las regiones montañosas, dado que el citado organismo establece para estas áreas una superficie máxima de 250 kilómetros cuadrados por estación (WMO, 2008).

Específicamente para el estado Miranda, el conjunto de estaciones pluviométricas registradas en las bases de datos de distintos organismos oficiales, en diferentes épocas, alcanza un total de 105 localidades, lo que representaría aproximadamente una densidad de una estación por cada 75 kilómetros cuadrados. Esta elevada densidad de observaciones resulta justificable si se considera la vocación marcadamente agrícola de extensas regiones de dicha entidad, como la llanada de Barlovento y los valles del Tuy, además de la localización en su territorio de importantes reservorios hídricos destinados al abastecimiento de la capital del país. Sin embargo, a los efectos de cualquier posible aplicación de tales datos, la referida densidad no puede considerarse real, puesto que muchas de dichas estaciones presentan períodos de funcionamiento notablemente heterogéneos.

Por otra parte, en áreas montañosas del estado Miranda, como el Cordón de los Altos, también conocido como macizo de Guaicaipuro, con una extensión de unos 1.520 kilómetros cuadrados (Freile, 1962), el máximo número de estaciones pluviométricas en funcionamiento simultáneo fue de siete, lo cual representaba sólo un décimo de la densidad espacial recomendada por la OMM (WMO, 2008), más aún por el hecho de que la región concentra varios núcleos urbanos de alta densidad poblacional, sujetos a elevados riesgos hidrometeorológicos en presencia de lluvias de extraordinaria magnitud, como ha podido comprobarse en numerosas ocasiones, cuando inundaciones urbanas y procesos de vertientes (derrumbes y deslizamientos) han afectado

poblaciones mirandinas como Los Teques, San Antonio de los Altos, San Pedro de los Altos y otras, además de los principales ejes viales de la región (Arias, Sáez y Siso, 2017; Bejarano, 2008; El Nacional, 2019).

La influencia de la compleja orografía regional como factor modificador de la precipitación en estas áreas del estado Miranda, no se limita al impacto de eventos pluviométricos aislados, sino que repercute de manera estadísticamente significativa también sobre las variaciones de valores medios de precipitación a escala local, como lo demuestra la investigación de Foghin-Pillin y Millán (2007).

Partiendo de las anteriores consideraciones, el presente trabajo tiene como propósito general realizar una contribución al estudio de las variaciones espaciales de la precipitación media en el estado Miranda y como objetivos revisar las bases de datos pluviométricos disponibles para dicha entidad, efectuar los ajustes estadísticos pertinentes (Carrera-Villacrés et. al., 2016; Guevara, 1987), presentar una propuesta de trazado isoyético aplicando las técnicas disponibles a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG), a la vez que comparar los mapas así generados con el ya citado mapa de Zambrano (1970).

Se aspiró que este trabajo constituyera una herramienta para contribuir al mejoramiento de la red de observación meteorológica del estado Miranda, particularmente en sus áreas urbanas, a través de la optimización de la distribución espacial de las estaciones pluviométricas (Ali y Othman, 2018; Cheng, Lin y Liou, 2007), ya que, si bien las imágenes

satelitales de alta resolución actualmente disponibles (NASA), permiten la estimación de las precipitaciones acumuladas, a los efectos de sus aplicaciones a escala local, particularmente en regiones montañosas, dichas estimaciones requieren la validación por medio de redes de observación superficiales de alta densidad (Xu et. al., 2017).

La OMM (1992) define el término isoyeta como "línea que, en un mapa, une los puntos con idéntica precipitación en un período dado" (p. 445). El trazado de isoyetas, efectuado por expertos mediante los métodos convencionales, ha constituido el sistema más preciso para ponderar la precipitación media sobre un área determinada. Este tipo de análisis permite el uso y la interpretación de todos los datos disponibles, a la vez que resulta conveniente para la exposición y discusión de los resultados. Para su construcción el analista debe poseer y aplicar conocimientos precisos de las formas de relieve y de sus efectos sobre la pluviometría, al igual que de la dinámica regional de las tormentas, factores que no son considerados en los análisis por el método de los polígonos de Thiessen (Linsey, Köhler y Pauhly, 1988).

Estas características hacen del análisis isoyético el método más recomendable en áreas de relieve complejo, como es el caso del estado Miranda, territorio que comprende la llanura fluvio-marina de Barlovento, los valles de Caracas y valles del Tuy, las áreas montañosas de los Altos, así como las estribaciones y franjas de piedemonte de la serranía del Litoral y de la serranía del Interior, ramales de la cordillera de la Costa. (ver Figura 1).

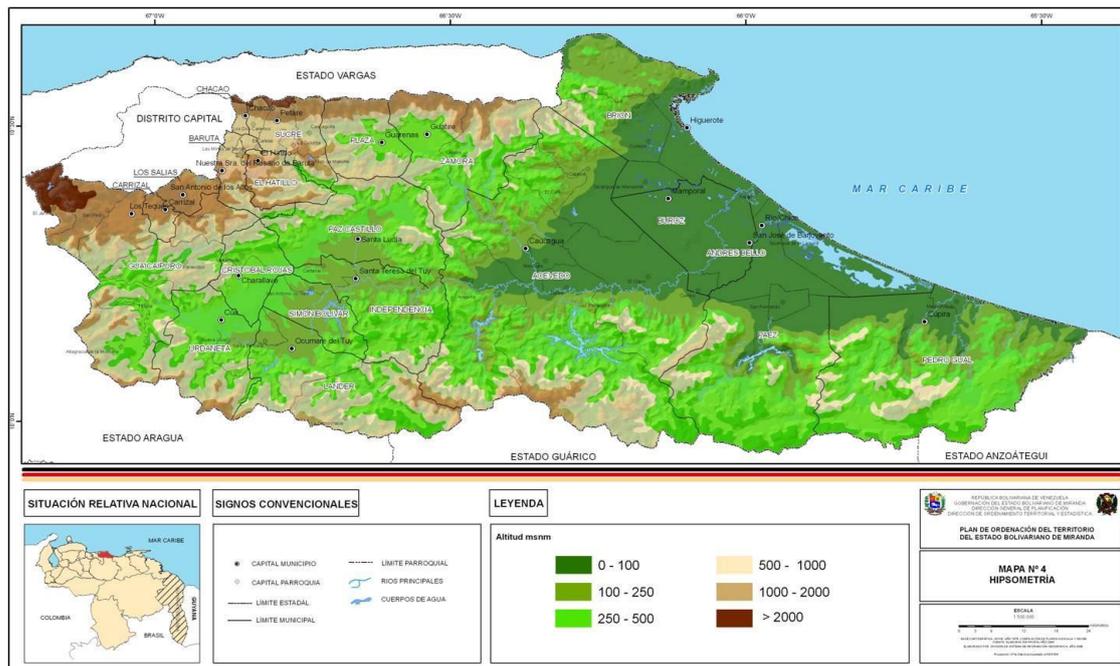


Figura 1. Mapa hipsométrico del estado Miranda. (Fuente: Gobernación del Estado Bolivariano de Miranda, 2011)

Entre los principales mapas isoyéticos elaborados para el estado Miranda, destaca el que forma parte del extenso estudio de Zambrano (1970), mapa que abarca la totalidad del territorio del estado, elaborado con base en series de datos de 137 estaciones pluviométricas, de las cuales 60 % presentaba un registro de 10 o más años. En el Atlas Climatológico de Venezuela 1951-1970 (Goldbrunner, 1984), también se presenta un trazado de isoyetas para el estado Miranda, en el cual se observan claramente la principales franjas pluviométricas, a pesar de la pequeña extensión que representa la entidad respecto al territorio venezolano (0,9%), considerando que se trata de un mapa a escala nacional. Finalmente, hay que reseñar la publicación del Mapa de Isoyetas del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (Proyecto CONICIT N°96001922: Reforzamiento de los sistemas de información Hidroclimática Digitalizada de Venezuela), realizado por Martelo (2000).

Como se señaló, en el presente trabajo se establecieron algunas comparaciones entre el mapa elaborado por medio de las herramientas digitales que ofrecen los SIG y el mapa isoyético presentado por Zambrano (1970), por considerarse éste el más completo entre los que se citan como antecedentes para el estado Miranda.

Los datos

Los datos utilizados para este estudio procedieron de 104 estaciones pluviométricas localizadas en el estado Miranda, seis en el estado Anzoátegui, seis en el estado Aragua, 25 en Distrito Federal (actualmente Distrito Capital), siete en el estado Guárico y 31 en el estado Vargas. La escogencia de estaciones fuera de los límites político-administrativos del estado Miranda respondió a la conveniencia de estimar la continuidad de las variaciones espaciales de las precipitaciones hacia las entidades vecinas, especialmente el Distrito Federal y el estado Vargas debido a la compleja orografía regional. Los datos

proceden del catálogo de registros hidrometeorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

La cantidad y calidad de los datos disponibles condicionó la selección de la muestra para el área de estudio. Para tal propósito se realizó un muestreo no probabilístico intencional (Hernández, Fernández y Batista, 2006). Así pues, la muestra se escogió a juicio del investigador atendiendo a criterios de localización geográfica y emplazamiento de la estación, periodo de registro y calidad de los datos. La muestra seleccionada quedó conformada por las estaciones que cumplieron con: a) 10 o más años de registro a partir del año 1950; y b) su localización espacial en el estado Miranda o las áreas limítrofes de la entidad. Las 180 estaciones que conforman la muestra seleccionada se presentan en el mapa de la Figura 2.

El desenglobe de datos se realizó según la Técnica de los Valores Concurrentes (Guevara, 1987). Esta técnica se prefirió respecto al Desenglobe Mediante el Apoyo de una Estación Vecina, al considerar que la influencia de la orografía mirandina puede marcar diferencias significativas aún entre estaciones próximas. Esta última técnica se reservó para comprobar montos muy elevados o

inferiores respecto a la media mensual y con respecto a los meses vecinos inmediatos. Los datos mensuales faltantes fueron estimados utilizando el método racional (Guevara, 1987). También se utilizó, siguiendo lo planteado por el autor antes mencionado, el método de estimación por la distancia, si bien este se reservó para áreas llanas, por no ser recomendado para áreas montañosas así como para corroborar la exactitud de los datos obtenidos a partir de otras técnicas y en algunos casos, para el cálculo de años faltantes.

El diseño de algoritmos en el programa Microsoft Excel 2007 para cada una de las técnicas de desenglobe y estimación de datos faltantes, representó una ventaja en ahorro de tiempo para el proceso de cálculo de tal cantidad de datos, así como para su posterior tabulación, puesto que se aprovechó su estructura de celdas para que los resultados solo tuvieran que ser "copiados y pegados" en el documento digital original donde faltaban.

Los datos expresan la precipitación media mensual y anual, en milímetros, de las 180 estaciones y se presentan en la Tabla 1, reproducida a continuación. El asterisco al lado del total anual indica datos corregidos.

Tabla 1. Datos homogenizados y ajustados de las estaciones pluviométricas del estado Miranda

SERIAL	ESTACION	LON	LAT	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1585	AGUA BLANCA	-66,00000	10,06611	321	146,0	90,5	63,5	73,3	120,8	249,2	325,7	249,2	182,8	178,2	198,4
1436	AGUA FRIA	-67,00000	10,39361	1741	26,8	14,9	21,3	64,8	107,8	149,9	137,2	138,0	123,4	106,7	76,1
1582	AGUAITA- RAMAL ARAGUITA	-66,00000	10,17917	580	231,2	145,5	111,6	119,4	153,1	329,0	379,3	291,1	202,0	192,9	250,9
1541	ALTOS DE LUISA	-66,50000	10,41028	500	62,6	32,1	25,4	49,7	97,7	200,4	214,6	158,3	121,0	100,1	122,1
1587	APA	-66,30000	10,13333	85	177,2	95,1	78,0	93,3	112,0	193,5	262,3	242,9	178,0	168,3	236,5
595	APONTE	-66,78000	10,14278	190	36,1	17,5	10,6	29,1	106,3	224,4	208,9	153,9	111,1	76,8	66,6
1571	ARAGUITA	-66,45972	10,22778	80	156,6	89,6	73,4	76,7	128,2	262,3	291,0	242,9	187,2	171,1	245,5
5052	BARUTA	-66,87306	10,43611	1001	19,8	9,2	11,3	43,6	86,3	147,3	135,2	113,4	89,3	96,1	74,1
1515	BIRONGO	-66,23889	10,48333	90	112,2	63,4	54,5	85,0	112,7	187,7	204,0	218,2	160,9	170,4	303,7
587	BUENA VISTA-TUY	-66,53333	10,20000	0	194,1	83,8	40,6	56,9	103,0	256,6	306,0	279,2	185,3	150,2	147,0
585	CAÑA AMARGA	-66,96139	10,05306	340	45,1	27,2	27,4	55,9	148,2	230,2	232,3	208,9	164,7	136,4	95,2
5057	CARACAS U.S.B.	-66,87556	10,40778	1225	17,9	17,5	12,4	54,5	107,4	139,3	127,8	139,7	105,1	114,5	81,9
5027	CARACAS-CAURIMARE	-66,79000	10,50333	965	25,6	14,0	18,6	56,9	107,7	156,9	138,3	147,3	136,6	122,1	91,3
5021	CARACAS-CHACAITO	-66,86361	10,52417	1200	24,3	23,8	13,8	61,1	95,2	123,6	95,7	130,3	136,4	99,4	77,9
544	CARACAS-LA CARLOTA	-66,83944	10,49056	836	15,4	12,2	12,8	52,3	76,7	123,4	115,4	122,9	115,3	120,5	81,2
563	CARACAS-LA MARIPOSA	-66,93139	10,41139	980	20,5	12,8	13,9	43,1	95,9	134,0	121,0	125,2	98,1	110,2	82,6
623	CARACAS-LA TRINIDAD	-66,86389	10,44167	962	14,1	12,1	13,8	43,1	81,3	112,4	98,3	113,0	93,1	98,0	74,0
626	CARACAS-LOS CHORROS	-66,82389	10,51389	1000	19,0	12,6	18,2	81,0	92,7	114,7	114,9	134,0	132,3	135,8	59,6
5047	CARACAS-MACARACUAY	-66,80861	10,46222	880	11,8	13,6	9,4	67,9	77,6	121,8	96,9	91,6	90,7	94,6	69,8
555	CARACAS-PETARE-CAURIMARE	-66,78333	10,46667	0	28,3	13,7	17,2	61,8	110,7	159,2	144,9	140,0	133,5	122,3	94,2
5024	CARACAS-SUBIDA AVILA	-66,91583	10,52250	1000	40,7	31,2	19,3	44,9	97,4	153,8	144,3	139,9	133,7	126,8	95,0
624	CARACAS-URBANIZACION MIRANDA	-66,78333	10,48472	1040	21,0	13,7	13,9	63,0	94,3	131,2	118,1	128,3	114,3	118,0	75,0
1508	CARENERO	-66,12500	10,54000	10	51,8	33,3	23,0	38,2	69,0	103,5	104,0	121,5	107,5	144,4	214,1
5034	CARTANAL	-66,70000	10,26667	180	35,1	14,5	13,5	29,3	67,6	134,1	156,0	143,0	80,4	83,7	92,3
1580	CASUPITO-CASERIO	-66,26667	10,18333	155	173,6	102,7	72,2	86,1	128,3	265,9	283,8	279,6	214,6	187,3	235,5
1505	CASUPITO-EL CERRO	-66,41667	10,20000	80	155,5	79,9	52,8	117,0	123,4	226,0	235,5	239,3	147,4	129,9	175,1
1553	CAUCAGUA	-66,37667	10,28861	62	161,9	75,4	56,6	61,9	117,6	297,5	291,0	233,2	156,2	157,1	200,0

SERIAL	ESTACION	LON	LAT	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1554	CAUCAGUA	-66,36667	10,28333	60	134,4	63,1	53,3	80,9	120,3	262,0	308,2	279,6	178,4	178,2	235,2
1555	CAUCAGUA	-66,36833	10,29750	80	109,2	76,0	52,5	92,1	133,0	208,3	294,0	271,8	191,2	176,4	256,3
572	CHARALLAVE	-66,85611	10,26667	400	21,2	13,2	10,5	34,0	77,8	138,6	141,8	127,2	91,9	86,7	61,1
594	COLONIA MENDOZA	-66,83056	10,12806	210	38,7	17,2	17,8	49,6	116,0	198,9	179,3	154,1	122,5	95,0	69,6
582	CUA-TOVAR	-66,86389	10,14583	230	33,1	14,7	15,7	47,0	112,5	178,8	172,1	134,0	104,8	95,5	70,9
1671	CUPIRA-TESORO	-65,71528	10,15694	22	66,0	28,1	27,3	32,1	91,4	123,5	154,6	141,2	126,4	157,4	231,3
1516	CURIEPE	-66,16667	10,47500	30	79,6	52,0	36,2	48,7	103,0	143,2	149,6	170,2	127,6	170,1	280,2
566	EL ALMENDRO	-66,90056	10,36000	1278	39,3	20,1	18,7	51,1	133,1	204,7	171,7	162,5	157,8	127,7	93,9
1438	EL ARADO	-67,15389	10,40222	2103	35,4	19,6	32,2	58,3	115,5	159,1	149,3	132,9	118,5	115,4	96,2
1534	EL CAFE	-66,28167	10,41667	65	120,6	73,0	58,8	74,0	126,6	201,3	248,4	220,5	162,2	181,5	273,2
573	EL CARRIZAL	-67,00000	10,35000	1282	21,9	12,8	14,4	55,2	113,9	178,9	176,9	181,7	130,9	144,3	77,1
1458	EL ENCANTO	-67,07917	10,31667	1120	20,7	10,7	18,7	47,1	122,7	165,0	150,6	150,9	125,7	146,5	82,7
1500	EL ENCANTO	-67,16722	10,32333	0	16,7	11,5	4,4	25,2	79,8	159,5	135,5	115,5	107,3	96,9	81,7
1682	EL GUAPO	-65,96944	10,15250	20	126,8	87,2	61,3	89,7	141,0	195,8	305,0	254,6	185,9	203,4	283,1
546	EL HATILLO	-66,82444	10,42639	1132	22,6	14,7	8,8	44,7	94,5	183,4	159,6	142,5	105,1	107,5	72,6
1589	EL JOBITO	-66,26667	10,10000	78	126,6	56,3	47,4	89,6	127,2	191,1	223,8	207,0	142,7	152,0	170,7
1579	EL ORO	-66,31667	10,20000	40	163,3	76,7	64,0	102,3	134,2	283,4	296,6	313,6	177,6	158,3	253,5
1551	EL PORTACHUELO	-66,40000	10,32361	280	131,4	65,6	47,5	53,9	103,6	233,2	273,3	218,7	156,6	145,3	209,5
1546	EL TIGRE	-66,12500	10,34861	25	75,0	48,9	42,1	59,7	90,8	143,9	176,6	175,1	144,1	159,2	244,0
5025	EL VIGIA	-66,80000	10,53333	0	43,5	24,1	22,9	42,3	110,4	164,7	146,0	139,7	137,6	133,6	90,7
1510	FILA DE TURGUA	-66,75667	10,37472	1107	31,8	19,4	17,7	45,8	107,0	196,9	179,8	155,4	126,6	121,5	101,8
548	GUARENAS	-66,61667	10,46722	385	19,1	8,0	7,4	32,6	73,4	140,4	134,4	105,8	85,9	75,0	79,1
559	GUATIRE	-66,52333	10,46722	363	33,6	18,1	11,2	31,0	71,6	156,0	161,6	119,7	98,1	83,8	88,4
567	GUATIRE	-66,53694	10,46306	309	33,0	12,1	11,0	35,9	67,6	176,1	162,9	115,8	98,9	62,8	85,7
1507	HACIENDA EL AGUILA	-66,70944	10,42417	1051	30,2	18,4	14,6	52,6	94,5	150,1	159,4	142,1	91,8	79,3	93,6

SERIAL	ESTACION	LON	LAT	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1488	HACIENDA LA EMILIA	-67,10000	10,10000	585	39,4	16,7	21,4	62,3	175,5	237,0	239,8	228,7	183,5	159,9	115,1
5055	HACIENDA TAZON - CUA	-66,91667	10,16667	230	33,0	14,5	14,9	44,4	116,5	183,7	173,5	132,0	97,7	87,1	74,0
1590	HACIENDA VALPARAISO	-66,28333	10,03333	0	88,5	42,4	40,0	57,9	97,5	166,4	184,7	162,7	137,9	140,7	126,5
1441	INSTITUTO PIGNATELLI	-67,04139	10,36861	1240	17,1	12,8	15,7	54,9	103,0	134,9	140,6	143,8	118,3	118,7	79,7
5035	LA CEIBA	-66,80833	10,23056	320	29,0	15,7	13,6	45,6	86,1	128,0	140,6	125,8	81,0	61,5	71,7
550	LA GUAIRITA	-66,85000	10,45000	1044	15,8	11,0	8,5	45,5	63,6	124,4	114,9	105,8	82,0	81,2	71,1
5048	LA MACANILLA	-66,51667	10,11667	590	244,8	219,9	90,2	99,5	173,8	361,9	412,6	322,1	268,3	182,3	330,7
5062	LA PEREZA	-66,73333	10,45000	1083	32,2	18,0	13,8	69,2	101,5	145,8	126,2	133,1	95,8	83,0	74,5
5037	LA VERANIEGA	-66,75833	10,14167	170	33,4	15,4	16,0	50,5	97,4	172,0	197,0	153,0	106,1	84,9	85,3
580	LAGARTIJO	-66,70000	10,10000	200	51,8	20,8	16,9	32,1	103,1	207,0	229,2	190,0	132,5	115,1	87,3
1581	LAS COLONIAS	-66,25000	10,10000	160	142,4	86,8	60,2	81,7	92,9	180,1	252,9	233,3	154,1	137,0	167,8
569	LAS PALOMAS	-66,66667	10,46667	500	51,8	21,2	17,9	38,0	103,1	190,8	198,3	205,7	158,0	131,4	80,2
568	LECHERITO	-66,89083	10,41167	1365	27,1	21,4	15,8	56,1	105,6	166,4	155,1	148,0	109,1	117,7	76,4
1559	LIBERTAD	-66,10000	10,31667	0	109,0	45,0	37,0	58,4	103,1	162,6	207,8	206,1	136,4	157,9	215,2
599	LOMA DEL MEDIO	-66,56667	10,18333	0	133,5	51,4	36,8	39,7	92,5	232,1	281,0	232,2	156,5	133,2	122,2
1448	LOS TEQUES	-67,03333	10,35000	1090	18,0	12,0	12,0	40,0	105,0	167,0	145,0	140,0	122,0	132,0	73,0
1449	LOS TEQUES-GFV	-67,03389	10,34667	0	26,0	15,0	11,0	32,0	121,0	216,0	172,0	145,0	151,0	145,0	95,0
570	MACAGUITA	-66,93944	10,12806	480	37,0	20,0	20,0	51,0	113,0	185,0	162,0	141,0	111,0	107,0	91,0
5028	MACANILLAL	-66,74056	10,53278	1397	66,0	25,0	19,0	63,0	117,0	186,0	170,0	156,0	144,0	150,0	112,0
1674	MACHURUCUTO	-65,65333	10,20722	4	33,0	12,0	11,0	21,0	45,0	83,0	72,0	91,0	97,0	117,0	148,0
1519	MONDRAGON	-66,11111	10,47222	15	59,0	34,0	26,0	43,0	68,0	119,0	103,0	130,0	112,0	135,0	225,0
564	NARANJAL	-66,95000	10,35000	0	56,0	25,0	29,0	58,0	114,0	113,0	141,0	146,0	152,0	152,0	162,0
588	ONZA-HACIENDA VILLEGAS	-66,88333	10,06667	570	47,0	26,0	24,0	63,0	127,0	202,0	193,0	201,0	142,0	112,0	99,0
1542	PALO GACHO	-66,51667	10,38333	500	86,0	44,0	31,0	48,0	97,0	212,0	245,0	183,0	142,0	127,0	175,0
1586	PANAQUIRE	-66,23750	10,22389	30	159,0	75,0	59,0	98,0	161,0	280,0	332,0	318,0	212,0	213,0	299,0

SERIAL	ESTACION	LON	LAT	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1652	PAPARO	-65,98778	10,38222	10	37,0	22,0	19,0	41,0	71,0	91,0	88,0	111,0	111,0	138,0	184,0
560	PARACOTOS	-66,95833	10,26722	620	22,0	12,0	13,0	41,0	106,0	169,0	128,0	136,0	134,0	114,0	79,0
586	PARAPARO-TAZON-CUA	-66,90556	10,14806	290	36,0	15,0	19,0	35,0	97,0	162,0	159,0	131,0	89,0	85,0	75,0
1447	POZO DE ROSAS	-67,11667	10,35000	1554	23,0	12,0	19,0	54,0	112,0	177,0	149,0	137,0	124,0	115,0	80,0
1569	PUEBLO NUEVO	-66,04167	10,24722	35	129,0	64,0	45,0	119,0	121,0	141,0	185,0	212,0	165,0	178,0	253,0
1548	PUERTO SOTILLO	-66,08333	10,40361	39	75,0	44,0	33,0	49,0	86,0	123,0	135,0	150,0	136,0	153,0	224,0
597	QUIRIPITAL	-66,68333	10,01667	780	31,0	15,0	12,0	45,0	118,0	173,0	174,0	174,0	141,0	122,0	76,0
589	RIO ARRIBA	-67,01667	10,15000	395	28,0	11,0	21,0	43,0	119,0	185,0	164,0	160,0	126,0	122,0	88,0
598	RIO DE PIEDRAS	-66,55000	10,00000	0	28,0	15,0	10,0	34,0	88,0	178,0	157,0	185,0	150,0	115,0	89,0
1513	SALMERON	-66,38333	10,46667	500	112,0	70,0	44,0	92,0	123,0	229,0	266,0	244,0	187,0	161,0	225,0
5191	SAN ANTONIO DE ALTOS	-66,96333	10,37500	1450	17,0	16,0	23,0	45,0	100,0	177,0	176,0	152,0	142,0	146,0	113,0
561	SAN DIEGO LOS ALTOS	-66,95389	10,34694	1300	29,0	14,0	16,0	53,0	131,0	186,0	194,0	183,0	144,0	145,0	86,0
1662	SAN JOSE RIO CHICO	-66,01111	10,30694	8	67,0	34,0	24,0	53,0	93,0	129,0	149,0	152,0	116,0	166,0	246,0
549	SANTA EPIFANIA	-66,66667	10,29167	140	36,0	13,0	14,0	30,0	71,0	169,0	182,0	133,0	94,0	82,0	81,0
547	SANTA LUCIA	-66,66667	10,31667	170	33,0	9,0	12,0	25,0	67,0	184,0	198,0	133,0	81,0	83,0	83,0
577	SANTA TERESA DEL TUY	-66,65806	10,24778	150	55,0	22,0	16,0	24,0	72,0	212,0	207,0	161,0	101,0	82,0	76,0
578	SANTA TERESA DEL TUY	-66,65000	10,21667	158	41,0	14,0	13,0	39,0	90,0	196,0	209,0	159,0	96,0	91,0	82,0
5030	SANTA TERESA DEL TUY	-66,66056	10,24278	120	43,8	16,0	16,0	55,0	93,0	158,0	179,0	171,0	96,0	93,0	94,0
1446	SITIO OROPEZA	-67,08333	10,38944	1628	29,0	16,0	19,0	54,0	108,0	147,0	137,0	126,0	102,0	114,0	86,0
5029	TACAMAHACA	-66,72222	10,52750	1175	52,0	22,0	17,0	54,0	114,0	170,0	166,0	164,0	148,0	126,0	108,0
1572	TACARIGUA	-66,16667	10,01667	0	67,0	41,0	23,0	52,0	112,0	186,0	207,0	198,0	152,0	134,0	121,0
1661	TACARIGUA LA LAGUNA	-65,87667	10,30750	2	39,0	22,0	16,0	32,0	69,0	98,0	99,0	143,0	107,0	146,0	162,0
1536	TACARIGUA MAMPORAL	-66,14667	10,40611	40	106,0	61,0	47,0	66,0	89,0	151,0	170,0	176,0	146,0	161,0	244,0
575	TAGUACITA	-66,06667	10,21667	205	121,0	43,0	29,0	48,0	95,0	233,0	265,0	243,0	152,0	144,0	155,0
1588	TAGUAZA-LA CORONA	-66,46667	10,16667	137	189,0	95,0	61,0	108,0	142,0	248,0	300,0	279,0	179,0	194,0	175,0

SERIAL	ESTACION	LON	LAT	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1574	TAPIPA	-66,30972	10,23472	40	166,0	85,0	66,0	110,0	143,0	274,0	346,0	312,0	189,0	197,0	272,0
1445	TOPO DE LOS ESPEJOS	-67,11667	10,38333	1686	35,0	29,0	22,0	60,0	103,0	150,0	127,0	112,0	93,0	103,0	75,0
571	TUMUZA	-66,74722	10,26528	200	29,0	13,0	13,0	34,0	73,0	150,0	173,0	123,0	79,0	67,0	76,0
1680	BOCA DE UCHIRE	-65,42778	10,14667	6	9,4	7,9	6,8	17,7	46,4	60,2	52,4	84,8	75,1	75,5	77,1
1683	LA CERCA	-65,21361	10,10306	4	5,0	3,7	1,9	16,2	19,5	51,1	45,6	66,7	53,9	44,9	43,0
2604	SANTA BARBARA	-65,69444	9,97778	486	113,0	83,0	43,0	96,0	129,0	233,0	237,0	277,0	223,0	185,0	185,0
2605	GUANAPE	-65,50194	9,91944	130	9,9	5,8	5,8	29,1	62,9	151,7	148,1	161,7	125,1	103,7	65,3
2607	VALLE DE GUANAPE	-65,67750	9,91500	286	16,7	14,4	7,8	48,3	73,7	143,1	146,8	168,1	128,1	118,4	70,4
2610	BOTIJON	-65,68083	9,90556	364	16,0	13,7	7,2	47,2	75,0	149,0	153,4	145,3	137,2	104,9	66,8
1444	PIE DEL CERRO	-67,32083	10,32333	780	10,9	8,5	11,6	52,8	105,5	120,4	111,5	129,3	125,0	124,4	78,2
1455	LA URBINA-QUEBRADA SECA	-67,26111	10,28139	650	7,1	3,7	10,4	40,1	103,8	128,1	117,1	120,0	113,0	89,8	48,2
1469	LAS TEJERIAS	-67,17167	10,25583	484	14,7	5,9	11,1	34,5	104,5	142,6	122,0	116,2	106,8	108,8	58,8
1487	TIARA	-67,15000	10,13028	750	16,8	8,9	15,6	51,9	146,4	221,3	218,6	220,8	178,0	177,9	90,1
2409	SAN SEBASTIAN	-67,17806	9,94806	330	4,2	2,0	8,6	47,5	125,3	173,1	184,6	181,9	137,3	118,0	54,7
2511	VALLE MORIN	-66,91944	9,92222	400	3,8	2,8	9,4	44,7	129,8	195,2	206,8	213,2	167,9	137,7	51,4
519	CARACAS-HOTEL HUMBOLDT	-66,88167	10,54444	2129	28,9	14,8	36,8	51,1	71,1	87,9	124,2	130,5	115,3	118,6	93,9
520	CARACAS-LA SALLE	-66,83333	10,51333	1007	16,6	8,7	11,7	52,8	73,7	118,8	113,2	118,9	112,3	100,2	87,5
522	CARACAS-CATIA	-66,94667	10,50806	970	16,3	10,1	11,2	36,4	75,8	93,6	94,5	104,7	118,6	100,9	54,7
537	CARACAS-LA RINCONADA	-66,95000	10,43639	936	18,4	12,8	16,7	49,0	81,0	114,8	101,2	102,1	84,4	98,3	68,0
539	CARACAS-CIUDAD UNIVERSITARIA	-66,88889	10,49278	884	17,1	13,7	12,5	52,2	82,6	116,8	102,8	118,5	107,0	107,7	87,4
540	CARACAS-HACIENDA MONTALBAN	-66,96806	10,47278	937	15,9	8,8	12,3	34,1	78,6	105,6	109,3	104,4	83,8	106,2	61,6
545	CARACAS-TIENDA HONDA	-66,91667	10,50000		28,5	19,6	10,9	45,5	85,5	119,9	113,5	113,8	106,7	119,3	89,2
565	ALTOS DE PIPE	-66,98333	10,40000	1739	31,5	19,9	15,0	49,1	81,4	146,3	155,8	137,4	95,9	118,9	74,9
606	CARACAS-CUALTEL URDANETA	-66,95556	10,51028	970	13,3	8,5	20,0	25,0	64,1	79,4	78,1	102,8	88,3	114,2	60,4
607	CARACAS-SAN JOSE DEL AVILA	-66,91611	10,52250	999	16,8	12,9	13,9	54,6	71,3	79,2	81,8	98,0	116,8	115,0	79,5

SERIAL	ESTACION	LON	LAT	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
612	CARACAS-CIRCULO MILITAR	-66,89722	10,47083	910	19,4	12,3	15,7	52,5	77,3	107,7	96,8	102,6	87,3	103,6	72,5
622	CARACAS-TELEFERICO	-66,88611	10,51944	1160	22,0	8,4	19,7	46,2	71,6	89,1	95,0	98,4	124,5	128,8	71,5
625	CARACAS-HACIENDA MAMERA	-66,99250	10,45639	990	16,7	5,8	13,9	38,4	71,4	91,9	93,2	99,5	76,5	83,3	46,8
794	CARACAS-EDIFICIO LA PAZ	-66,86667	10,52472	900	15,5	7,9	14,1	46,5	75,7	103,8	98,1	109,8	97,4	119,4	84,4
1417	ALTO IZCARAGUA	-67,12389	10,46139	2091	40,6	24,2	24,4	62,0	75,8	100,7	93,2	98,7	91,2	105,9	77,1
1420	LOMA DEL CAFETAL	-67,01667	10,48333	1668	27,6	15,4	21,6	49,2	60,3	97,4	96,3	101,3	67,7	85,7	63,9
1425	ALTO DE ÑO LEON	-67,16000	10,44000	2101	39,4	24,9	26,0	70,7	99,4	114,9	106,9	99,7	97,2	98,3	83,9
1426	MACARAO-DIQUE	-67,03333	10,43333	1032	18,3	11,4	9,1	43,0	82,8	108,9	106,6	93,8	81,6	94,3	49,4
1427	SABANETA	-67,03333	10,46667	1640	42,3	26,0	20,1	49,8	102,7	135,3	119,5	107,5	88,0	107,4	72,6
1437	LLANO DE CURA	-67,13333	10,42389	1240	26,4	14,4	17,0	54,9	88,8	117,0	110,9	106,0	89,2	101,9	69,2
2169	ALTO EL LAGUNAZO	-67,20250	10,42361	2280	36,0	21,2	20,1	73,0	90,6	102,4	102,1	93,6	86,3	103,3	68,7
5003	CORRALITO	-67,14361	10,50500	1473	33,4	25,2	26,0	82,0	64,8	60,5	79,8	118,5	88,7	109,1	75,6
5015	RIO GRANDE	-66,93861	10,57222	925	68,5	31,0	27,7	65,3	57,8	103,3	122,9	112,0	103,3	102,7	90,8
5061	CARICUAO	-66,99139	10,43833	1030	20,3	12,5	10,4	41,6	82,6	113,4	103,1	93,7	91,0	95,9	60,9
2425	LEZAMA	-66,38444	9,72944	190	3,6	2,1	3,3	30,5	98,5	193,8	167,8	180,4	118,2	93,5	42,9
2505	GUATOPO	-66,43333	10,05222	710	74,9	44,7	30,2	48,0	121,7	205,3	202,5	202,8	158,0	152,1	114,4
2507	SAN FRANCISCO DE MACAIRA	-66,26833	9,98056	570	27,8	15,7	13,0	38,6	108,4	178,8	169,4	192,0	163,5	116,4	75,8
2528	PASO REAL	-66,19750	9,83278	305	5,6	4,4	4,0	20,9	95,7	148,8	154,1	180,0	131,7	95,3	44,5
2539	SAN ANTONIO TAMANACO	-66,04222	9,69167	176	18,1	3,1	4,4	26,9	90,0	163,7	182,7	165,1	143,6	109,2	59,7
2601	SOUBLETTE	-66,09194	9,91833	355	12,2	8,6	8,1	31,1	100,8	158,0	167,6	176,0	143,8	101,4	68,1
2602	SAN JOSE DE GUARIBE	-65,82861	9,86444	235	14,6	6,3	5,4	25,4	73,4	133,7	144,6	145,2	107,4	83,4	66,6
502	MAIQUETIA	-66,95000	10,60000	75	50,3	31,9	23,2	34,1	44,2	68,6	66,5	72,8	59,7	64,5	63,9
503	MAIQUETIA-AEROPUERTO	-66,98000	10,60278	43	40,0	26,5	20,2	24,1	35,8	53,4	54,8	51,2	54,9	50,7	58,8
508	MACUTO	-66,89639	10,60028		46,5	24,3	19,0	38,3	39,0	50,4	61,0	64,1	51,1	61,7	73,4
1401	MAMO	-67,05361	10,58944	16	26,6	13,1	18,8	25,7	28,4	46,7	55,2	57,3	35,3	41,8	44,2

SERIAL	ESTACION	LON	LAT	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1404	PUERTO CRUZ	-67,35000	10,53333	5	29,0	17,4	19,5	40,6	54,8	52,9	64,0	70,7	55,9	63,9	83,0
1412	LA GUITARRITA	-67,26667	10,46667		35,2	33,9	46,6	104,7	114,5	104,8	117,4	145,9	140,8	143,5	127,8
1413	LA PENITA	-67,22944	10,47361	644	38,5	45,2	40,8	115,7	94,5	87,6	104,1	122,0	118,2	146,3	120,5
1414	LAS MERCEDES	-67,19528	10,48361	1537	65,6	58,6	45,3	128,4	98,5	85,9	87,4	118,3	99,2	139,9	120,4
1439	EL CARITE	-67,01667	10,40000	1021	27,1	14,1	10,0	34,4	86,4	137,1	127,1	122,9	107,7	133,4	75,1
1501	TODASANA	-66,45889	10,63000	34	161,5	76,3	61,2	83,5	58,8	145,0	131,7	100,8	59,6	81,8	224,1
1502	LA SABANA	-66,38028	10,62361	11	172,9	69,2	64,3	59,9	60,1	131,8	132,2	118,6	63,6	129,4	280,4
1504	CHUSPA	-66,31222	10,61889	6	138,0	65,6	68,2	84,8	88,8	144,5	120,3	151,5	83,6	138,4	243,9
5001	CARABALLEDA	-66,84528	10,61306	74	52,8	27,2	26,9	49,9	33,5	49,3	65,9	51,8	38,0	60,0	70,2
5004	URIA	-66,78250	10,61556	30	68,1	35,7	33,4	34,4	33,4	53,1	71,4	48,1	47,9	59,7	92,5
5005	NAIGUATA	-66,73556	10,62306	49	62,6	29,4	27,5	33,6	25,5	46,0	58,9	50,0	41,7	50,3	84,3
5006	ANARE	-66,61278	10,62389	74	107,0	48,1	50,7	32,0	33,9	68,3	78,6	50,1	42,1	68,1	115,6
5011	LOS CARACAS	-66,57972	10,62389	15	103,0	67,3	55,8	57,7	47,0	85,7	108,0	81,9	57,2	78,7	155,2
5016	LOS CARACAS-EL LIMON	-66,59361	10,60111	145	133,2	87,1	71,6	81,9	52,6	102,7	139,0	116,5	112,2	123,7	148,7
5017	LOS CARACAS-FILA DEL INDIO	-66,62083	10,60139	575	120,8	78,4	58,2	88,6	58,4	99,7	121,2	105,0	94,7	103,0	136,0
5020	MARIA ISABEL	-66,68139	10,59833		74,7	66,5	67,4	60,5	61,1	108,9	136,2	163,1	97,2	137,7	152,2
5041	CARUAO	-66,35000	10,60000	10	117,4	110,0	74,0	119,0	87,8	122,9	142,0	172,8	112,9	139,1	298,7
5042	ORITAPO	-66,49194	10,61472	80	152,1	126,3	70,3	130,8	59,7	124,4	141,2	137,4	80,6	107,2	225,2
5043	OSMA	-66,51444	10,61583	30	116,3	89,4	60,8	46,1	72,7	105,8	128,7	120,8	73,0	91,3	204,8
5044	PIEDRA AZUL 1	-66,95000	10,56667	1350	29,0	14,7	26,8	52,7	53,0	80,6	93,0	92,1	101,8	86,1	60,2
5045	PIEDRA AZUL 2	-66,96667	10,56667	1050	36,7	14,2	43,6	30,5	45,2	83,1	114,0	102,7	117,4	107,5	80,6
9304	PUERTO ORICAO	-67,18000	10,55889	12	27,7	21,6	17,6	29,4	48,4	35,9	52,5	62,9	54,2	62,6	63,2
9308	MAMO-ESCUELA NAVAL	-67,04833	10,59389	81	9,5	9,5	7,5	25,9	24,0	37,2	41,9	41,6	34,1	40,4	34,5
9311	CARAYACA	-67,13333	10,53333	972	30,2	22,7	26,7	81,4	82,4	65,5	86,6	116,9	99,0	112,9	97,2
9312	PUERTO CHICHIRIVICHE	-67,23917	10,54806	22	34,7	16,4	26,4	44,2	55,7	41,3	54,3	62,7	53,5	77,1	71,8
9313	HACIENDA NARANJAL	-67,23306	10,48944	408	38,3	32,8	39,9	91,8	93,7	97,0	112,7	156,9	147,6	158,6	130,7
9361	PETAQUIRE-DIQUE	-67,15111	10,47000	1300	23,1	26,4	19,1	98,9	64,6	61,7	73,6	92,9	99,1	100,8	67,8

Fuente: Elaboración propia

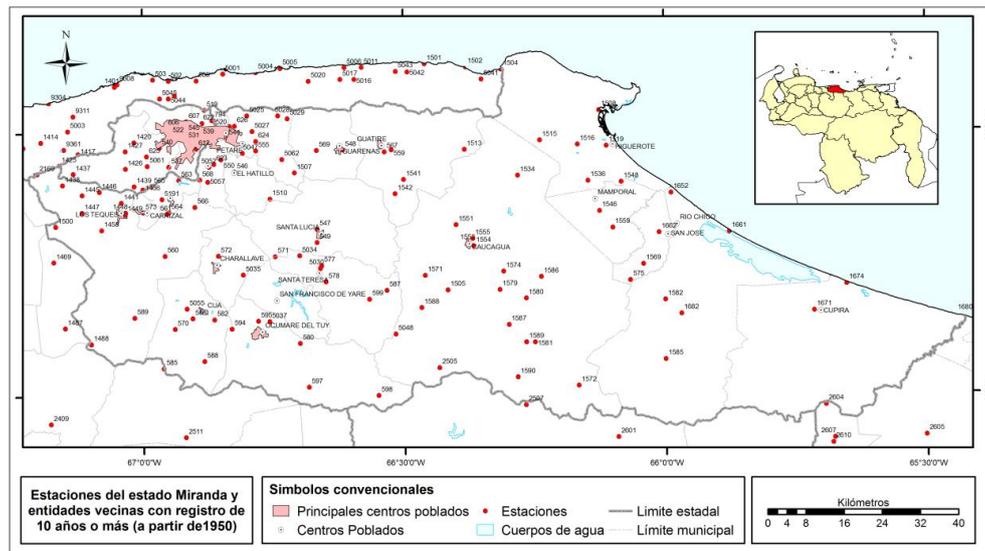


Figura 2. Estaciones pluviométricas de los estados Miranda, Vargas y Distrito Capital con 10 años o más de registro a partir del año 1950 y estaciones de los estados Aragua, Guárico y Anzoátegui con 30 años de registro (1961-1990). (Fuente: Elaboración propia).

MÉTODO

A partir de los datos correspondientes a las estaciones localizadas en el mapa de la Figura 2 y Tabla 1 se generaron las isoyetas en formato vector a partir del raster, mediante la aplicación de la herramienta *Surface* de la extensión *ArcGIS Spatial Analyst*. Utilizando la herramienta *Contour* se trazaron isoyetas a intervalos de 200 milímetros (mm) de precipitación, aplicando la función *Spline* (Koch y Lyche, 1993).

Un *Spline* es una función diferenciable, definida en porciones mediante polinomios. Este método de interpolación “estima valores usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, lo que resulta en una superficie suave que pasa exactamente por los puntos de entrada” (ArcGIS Resource Center, 2012).

Existen dos métodos de *Spline*: regularizado y de tensión. El método regularizado produce una superficie suave que varía gradualmente con los valores que pueden encontrarse al exterior del rango de datos de la muestra. El método de tensión

controla la rigidez de la superficie de acuerdo a las características del fenómeno modelado. De esta forma genera una superficie más irregular, con valores que están más restringidos por el rango de datos de la muestra. Debido a esta última propiedad, para el desarrollo del modelo de precipitación con *Spline*, se escogió el método con Tensión.

A efectos de lograr mayor control de la superficie de salida, el ArcGIS permite la manipulación de dos parámetros: el peso y la cantidad de puntos. Para el *Spline* de tensión, el parámetro de “peso” define el peso de la tensión; cuanto más alto es el peso, más gruesa es la superficie de salida. Los valores introducidos deben ser iguales o mayores que cero. Por otro lado, el parámetro “Cantidad de puntos” identifica el número de puntos que se utilizan en el cálculo de cada celda interpolada. Cuantos más puntos de entrada especifique, mayor será la influencia de los puntos distantes sobre cada celda y más suave será la superficie de salida (ArcGIS Resource Center, 2012).

Los parámetros aplicados fueron 70 para el peso igual y 5 para la cantidad de puntos igual (figura 4, abajo).

El algoritmo utilizado por la herramienta Spline se basa en la siguiente fórmula:

$$S(x, y) = T(x, y) + \sum_{j=i}^N \lambda_j R(r_j)$$

donde:

$$j = 1, 2, \dots, N$$

N es la cantidad de puntos.; λ_j son coeficientes determinados por la solución de un sistema de ecuaciones lineales; r_j es la distancia del punto (x, y) al punto j. T(x, y) y R(r) se definen de forma diferente, según la opción seleccionada ("REGULARIZED" o "TENSION"), siendo para la opción TENSION

$$T(x, y) = a_1$$

Donde a_1 es un coeficiente determinado por la solución de un sistema de ecuaciones lineales. Y,

$$R(r) = -\frac{1}{2\pi\varphi^2} \left[\ln \left(\frac{r\varphi}{2} + c + K_0(r\varphi) \right) \right]$$

donde: r es la distancia entre el punto y la muestra.

φ^2 es el parámetro de peso.

K_0 es la función de Bessel modificada.

c es una constante igual a 0,577215.

Para la investigación, el método Spline con tensión fue desarrollado a partir de un conjunto de herramientas de 3D Analyst a través de la rutina presentada a continuación en la Figura 3.

Una vez obtenidos raster de salida, se procedió a clasificar los campos numéricos (precipitación) a intervalos definido de 600 mm, ajustar la "rampa de colores" y generar las isoyetas en formato vector mediante el uso de la herramienta "contour", procesos descritos previamente.

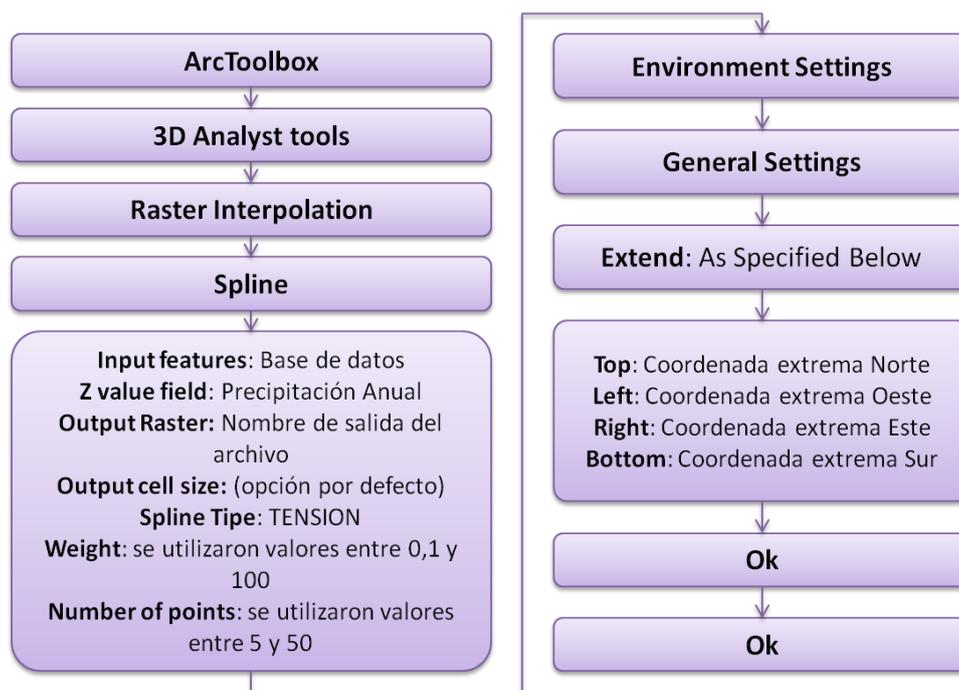


Figura 3. Rutina de procesamiento para la generación de modelos a partir de la técnica Spline con Tensión en el software ArcGIS. (Fuente: Elaboración propia).

RESULTADOS

Descripción del mapa isoyético generado con interpolación Spline

Se observó que la parte oriental del estado Miranda presenta la mayor densidad de isoyetas, además de una distribución más compleja de las isoyetas. La isoyeta de 1.200 mm, al oeste de la región de Barlovento, destaca como el límite que diferencia la entidad en cuanto a su comportamiento pluviométrico.

Hacia el occidente, predominan montos anuales de lluvia comprendidos entre los 800 a 1.200 mm. Destacan varios núcleos y ejes de precipitación. El núcleo de Guarenas-Guatire, es un área de precipitaciones con montos inferiores a 1.000 milímetros. También es el caso de La Pereza y Hacienda El Águila, poco más de 8 kilómetros al oeste del anterior. Igual sucede más al sur, en un gran núcleo conformado entre las localidades de Paraparo-Tazón-Cúa, Paracotos y Santa Lucía, el cual abarca la mayor parte de la región de los Valles del Tuy. Las mayores precipitaciones en esta parte del estado ocurren entre las localidades de Los Teques y El Almendro (más de 1.200 mm), y en el extremo suroeste entre Hacienda La Emilia, Caña Amarga y Onza-Hacienda Villegas, donde los montos medios oscilan de 1.200 a más de 1.400 mm anuales.

La región litoral y prelitoral, hasta 15 Km. a partir de la costa mirandina, quedan comprendidas entre las isoyetas de 1.200 mm a 1.600 mm, si bien en algunos segmentos de la franja costera se presentan precipitaciones inferiores a los 1.000 mm –Machurucuto, Unare– o 1.200 mm –Higuerote, Carenero–. Destaca la orientación casi paralela de las isoyetas respecto al borde costero regional.

La porción central de la llanura de Barlovento aparece delimitada por la isoyeta cerrada de 1.800 mm anuales. Hacia el oeste de la región se define un

núcleo con centro en las localidades de La Macanilla y Aguaita-Ramal Araguaita, que comprende hasta precipitaciones medias de 3.000 mm. Al centro de la región, otro núcleo con más de 2.400 se emplaza entre Tapiya y Panaquire, con más de 2.400 mm, mientras que hacia el sector oriental, los registros de El Guapo sostienen un núcleo de más de 2.000 mm.

Hacia el sur de la entidad las isoyetas se alinean más o menos paralelamente a los principales ejes orográficos. En contraposición en lo referido a la disposición de las isoyetas al norte del Estado, hacia la serranía del Litoral resalta el ángulo casi recto con el que algunas isoyetas cortan la alineación montañosa.

Así mismo, hacia la parte noroeste del Estado, en los límites con el estado Vargas, resulta notoria la influencia de las fuertes pendientes topográficas y particular exposición a los vientos locales, características del abra de Tacagua, factores que explican el acusado gradiente pluviométrico evidenciado por el conjunto de isoyetas concéntricas, con valores que pasan en muy corta distancia de 1.200 a 200 milímetros anuales de precipitación media.

Comparación del mapa generado por interpolación Spline con el análisis isoyético de Alba Zambrano

Como ya se apuntó, en su estudio geográfico sobre la cuenca del río Tuy, Zambrano (1970) incluyó un mapa isoyético con un considerable nivel de detalle, el cual abarca prácticamente todo el estado Miranda. Hasta el presente, el trabajo de Zambrano constituye una referencia fundamental para las investigaciones geográficas regionales, por lo que se consideró de interés comparar el mapa isoyético incluido en aquel estudio, con el producto resultante de la interpolación por Spline propuesto.

Al contrastar el referido mapa con las interpolaciones realizadas en el presente estudio, se observan tanto similitudes como diferencias en cuanto a la magnitud, distribución y orientación de las isoyetas y áreas de precipitación así delimitadas (Figura 4).

En la región del litoral mirandino, Zambrano traza isolíneas de precipitación entre 800 y 1.600 mm, las cuales presentan una serie de ondulaciones que no aparecen en las isoyetas obtenidas a través del Spline. No obstante, los montos de las isoyetas entre ambos mapas coinciden notablemente.

Por otra parte, en las estribaciones de la serranía del Litoral próximas al saliente de cabo Codera, las isolíneas de precipitación se orientan paralelas al relieve montañoso en el trazado de Zambrano, mientras que en el caso de las interpolaciones realizadas con Spline las isolíneas se presentan perpendiculares respecto a la orientación de aquellas estribaciones orientales de la serranía costera.

Para la región de Barlovento Zambrano propone la existencia de un eje entre Aguaita-Ramal Araguita y Tapipa que alcanza un monto promedio anual comprendido entre 2.400 a 2.600 mm, mientras que en las interpolaciones efectuadas con Spline aparecen dos núcleos: La Macanilla, con más de 3.000 mm y Panaquire-Tapipa, con más de 2.400 mm. Más al este, en El Guapo, se presentan precipitaciones similares en ambos mapas.

Al occidente del Estado se aprecian diferencias significativas. Al suroeste, coinciden los montos pluviométricos entre los mapas; no obstante, las isoyetas de Zambrano se extienden más de 15 kilómetros hacia el norte con respecto a las generadas con las interpolaciones Spline. Así, por ejemplo, mientras que la localidad de Tácata aparece delimitada por la isoyeta de 1.400 mm en el mapa de Zambrano, la ausencia de su serie en el registro del INAMEH imposibilitó su incorporación a los modelos desarrollados en este estudio.

En lo que respecta al área de precipitación definidas por las estaciones Cúa-Charallave-Santa Lucía, en los mapas se encuentra una coincidencia parcial entre las isoyetas que la delimitan. Así mismo, se observa una coincidencia longitudinal en el trazado de la isoyeta de 1.200 mm entre los mapas. En contraposición, Zambrano presenta en su mapa un núcleo de 2.200 mm de precipitación centrado en Maitana, vecino y modelador del área de precipitación Cúa-Charallave-Santa Lucía, mientras que en los mapas interpolados es inexistente, esto debido a la ausencia de información de las estaciones que lo sustentan: Maitana y Naranjal San Diego.

Por otra parte, se observa que en los mapas interpolados con Spline, Guarenas-Guatire se presentan como un eje de precipitación independiente, mientras que la misma zona aparece unida al Distrito Metropolitano por la isoyeta de 800 mm en el mapa de Zambrano (ver Figura 4).

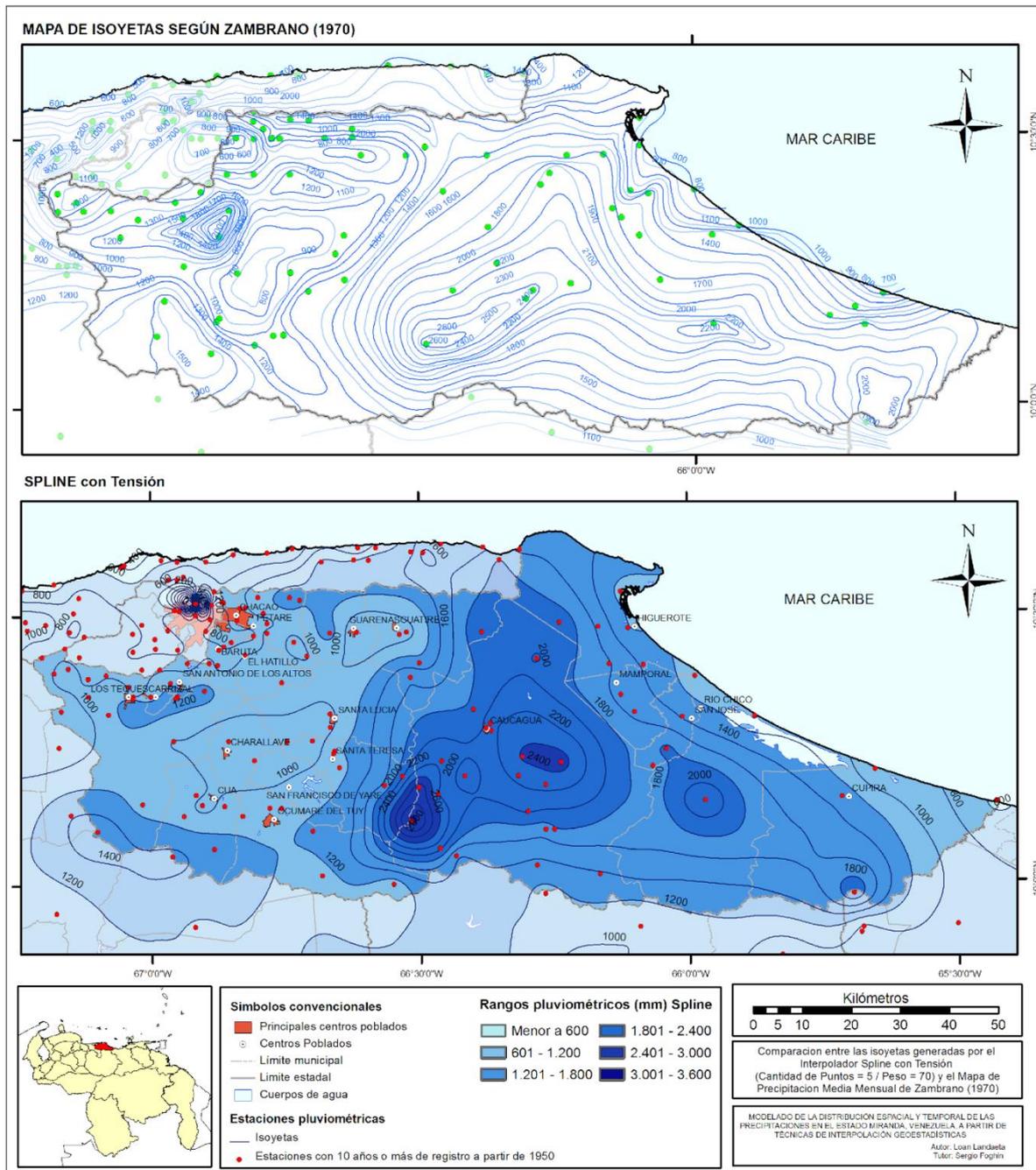


Figura 4. (abajo) mapa isoyético del estado Miranda generado por el interpolador Spline con tensión, con base en 180 estaciones con registros de diez o más años, a partir de 1950 y (arriba) mapa de isoyetas según Alba Zambrano (1970).

CONCLUSIONES

Entre los mapas de precipitación del estado Miranda precedentes, es el de Zambrano (1970) el más detallado en cuanto a las isoyetas y áreas de precipitación trazados, así como la consideración de factores influyentes en la

distribución espacial de las precipitaciones. La comparación realizada respecto a los mapas del presente estudio obtenidos mediante las técnicas de interpolación, permite establecer correspondencias generales en cuanto a la existencia de áreas de precipitación y la trayectoria de

isoyetas, principalmente en la región de Barlovento y el litoral mirandino. Las principales diferencias se observaron respecto a la distribución de las precipitaciones al norte del estado Miranda, donde Zambrano destaca la influencia condicionante del relieve de la Serranía del Litoral en la trayectoria de las isoyetas de la zona, mientras que el trazado de las mismas por parte de los interpoladores es limitada, principalmente debido a la ausencia de un mayor número de estaciones y la característica isotrópica propia de la técnica aplicada. De igual forma, en el occidente mirandino, las principales diferencias pueden ser atribuidas a la ausencia de estaciones en la base de datos utilizada para este trabajo, pero disponibles para el mapa de Zambrano; en otras palabras, constituirían evidencia de la pérdida de algunas series de datos.

Se considera que la metodología, técnicas y herramientas desarrolladas para la recolección de información pluviométrica, su tabulación, desenglobe de montos y estimación de datos faltantes; las rutinas desarrolladas para cada técnica de interpolación; la comparación de los mapas obtenidos a partir de los modelos interpolados; y el procedimiento para establecer tipos pluviométricos y sub-tipos pluviométricos desarrollados en esta investigación, constituirán una referencia para el desarrollo de otros estudios de precipitación necesarios en el país.

En relación con lo anterior, merece resaltar la utilidad del proceso metodológico, así como de las técnicas y herramientas desarrolladas en la presente investigación para su aplicación en el ámbito educativo, especialmente de las cátedras relacionadas al proceso de enseñanza de tecnologías de información geográficas, geoestadística, climatología

general y climatología aplicada de Venezuela, entre otras áreas.

Finalmente, las deficiencias cualitativas y cuantitativas detectadas en las bases de datos pluviométricos durante el proceso de esta investigación, ponen en evidencia la necesidad de densificar la red de estaciones de medición, particularmente en aquellas áreas que incluyen centros poblados, con el doble propósito de apoyar los sistemas de alerta temprana, ante la eventualidad de episodios lluviosos de extraordinaria magnitud y, a la vez, suministrar la información básica que permita investigar los efectos del cambio climático global sobre la intensidad, la frecuencia y la trayectoria de las tormentas.

REFERENCIAS

- Ali, M. y Othman, F. (2018). Raingauge network optimization in a tropical urban area by coupling cross-validation with the geostatistical technique. *Hydrological Sciences Journal*, 63(3), 474-491. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/02626667.2018.1437271?scroll=top&needAccess=true>
- ArcGIS Resource Center. (2012). Cómo funciona Spline. ArcGIS Resources. Recuperado de <http://resources.arcgis.com/es/help/>
- Arias V., A., Sáez S., V. y Siso L., E. (2017). Inundaciones ocurridas entre 1970 y 2005 y su relación con la precipitación del percentil 25%. Región Central de Venezuela. *Terra Nueva Etapa*, 33(53), 219-246. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/721/72152384010.pdf>
- Bejarano D., B. (2008, Octubre 21). Quebrada arrastró 20 carros y colapsó Panamericana. *El Universal*, Caracas, p. 3-1
- Carrera-Villacrés, V., Guevara-García. P. V., Tamayo-Bacacela, L. C., Balarezo-Aguilar, A. L., Narváez-Rivera, C. A., y Morocho-López, D. R. (2016). Relleno de series anuales de datos meteorológicos

- mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador y cálculo de la precipitación media. *IDESIA*, 34(3), 81-90. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v34n3/art10.pdf>
- Cheng, K. S., Lin, Y.C. y Liou, J. J. (2007). Rain-gauge network evaluation and augmentation using geostatistics. *Hydrological Processes*, 22(14), 2554-2564. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/229894747_RainGauge_Network_Evaluation_and_Augmentation_Using_Geostatistics
- El Nacional. (2019, Mayo 31). Cinco viviendas afectadas por fuertes lluvias en Los Teques. *El Nacional*. Recuperado de https://www.elnacional.com/sociedad/cinco-viviendas-afectadas-por-fuertes-lluvias-los-teques_284041/
- Foghin-Pillin, S. y Millán, Z. (2007). Observaciones pluviométricas en San Antonio de los Altos (Estado Miranda) durante los meses de enero a agosto de 2007. *Sapiens. Revista Universitaria de Investigación*, 8(2), 187-195. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/410/41080212.pdf>
- Freile, A. (1962). *Mapa fisiográfico de la República de Venezuela*. Caracas: Ministerio de Minas e Hidrocarburos
- Freile, A. (1968). Regiones climáticas de Venezuela. *Boletín de Geología*, 10(19), 3-156
- Glynn, H. J. y Heinke, G. W. (1999). *Ingeniería ambiental*. México: Prentice Hall/Pearson
- Gobernación del Estado Bolivariano de Miranda. (2011). *Plan de Ordenación del Territorio del Estado Bolivariano de Miranda*. Los Teques: Autor
- Goldbrunner, A. W. (1960). Las causas meteorológicas de las lluvias de extraordinaria magnitud en Venezuela. Caracas: Ministerio de Obras Públicas
- Goldbrunner, A. W. (1976). El clima de Venezuela y su clasificación. Caracas: Instituto Universitario Pedagógico de Caracas/Servicio de Meteorología y Comunicaciones de la Fuerza Aérea Venezolana
- Goldbrunner, A. W. (1984). Atlas climatológico de Venezuela 1951-1970. Maracay: Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea Venezolana
- González, E. (1948). Datos detallados de climatología de Venezuela. Caracas: Ministerio de Sanidad y Asistencia Social
- Grosske, F. (1968). Sobre la pluviosidad en Caracas. Caracas: Edición del Concejo Municipal del Distrito Federal
- Guenni, L., Degryze, E. y Alvarado, K. (2008). Análisis de la tendencia y la estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela. *Revista Colombiana de Estadística*, 31(1), 41-65
- Guevara D., J. M. (1987). Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos. Caracas: Universidad Central de Venezuela
- Guhathakurta, Sreejith y Menon. (2011). Impact of climate change on extreme rainfall events and flood risk in India. *Journal of Earth Systems Science*, 120(3), 359-373. Recuperado de <https://www.ias.ac.in/article/fulltext/jess/120/03/0359-0373>
- Hernández, R., Fernández, C. y Batista, P. (2006). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana
- Hernández, A., Guenni, L. y Sansó, B. (2011). Características de la precipitación extrema en algunas localidades de Venezuela. *Interciencia*, 36(3), 185-191. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=339/33917977005>
- Koch P.E. y Lyche T. (1993). Interpolation with Exponential B-Splines in Tension. In: Farin G., Noltemeier H., Hagen H., Knödel W. (eds) *Geometric Modelling. Computing Supplementum*, vol. 8. Vienna: Springer
- Landaeta, L. (2016). Una propuesta de tipos pluviométricos para el estado Miranda, Venezuela. *Revista de Investigación*, 87(40), 267-294. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3761/376146819012.pdf>
- Linsey, R. K., Kohler, M. A. y Paulhus, J. L. (1988). *Hydrology for Engineers*. New York: McGraw-Hill
- Méndez M. W., y Cartaya, S. (2003). Algunos aspectos hidroclimáticos de la

- cuenca de la quebrada Charallave, valles del Tuy, estado Miranda, Venezuela. *Revista de investigación*, 53, 43-69
- Organización Meteorológica Mundial-OMM. (1992). Vocabulario Meteorológico Internacional. No. 182. Ginebra: OMM
- Sánchez C., J. M. (1981). Mesoclimas en Venezuela. Caracas: Ministerio de Agricultura y Cría
- Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea Venezolana-SEMETFV. (1982). Promedios climatológicos de Venezuela 1951-1980. Maracay: SEMETFV
- Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea Venezolana-SEMETFV. (1993). *Estadísticas climatológicas de Venezuela. Período 1961-1990*. Maracay: SEMETFV
- Sifontes, E. (1929). Venezuela meteorológica. Caracas: Imprenta El Cojo
- Singh, V. P. (2017). Handbook of Applied Hydrology. Second Edition. New York: McGraw-Hill Education
- Xu, R., Tian, F., Yang, L., Hu, H., Lu, H. y Hou, A. (2017). Ground validation of GPM IMERG and TRMM 3B42V7 rainfall products over southern Tibetan Plateau based on a high-density rain gauge network. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122, 910–924. Recuperado de <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/2016JD025418>
- Vila, M. A. (1967). Aspectos geográficos del estado Miranda. Caracas: Corporación Venezolana de Fomento
- Vila, P. (1960). Geografía de Venezuela Tomo I. Caracas: Ministerio de Educación
- Wilhite, D. (2006). *Drought monitoring and early warning*. WMO – No. 1006. Geneva: World Meteorological Organization
- World Meteorological Organization-WMO. (2008). Guide to hydrological practices. Geneva: WMO
- World Meteorological Organization-WMO. (2018). WMO steps up action on water. (Press release). Recuperado de <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-steps-action-water>
- Zambrano, A. (1970). Estudio Fisiográfico Regional de la Cuenca del Tuy. *Boletín de Geología*, 11(21), 2-206