

Determinación de posibles tendencias en la intensidad de las lluvias máximas en la zona norte costera del país, Venezuela

María Viana

mviana@ucab.edu.ve

Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela

Resumen

Las modificaciones sobre el ambiente generadas por las actividades del hombre parecen estar acentuando los efectos sobre los patrones del clima, generando en algunas regiones un aumento en la intensidad de las precipitaciones mientras que en otros la tendencia es a la disminución. El objetivo de trabajo que se presenta fue determinar posibles tendencias en la intensidad de las lluvias máximas en la zona norte costera de Venezuela, dado que de estos datos depende la planificación, la evaluación de riesgos y la elaboración de proyectos de ingeniería. El estudio se realizó sobre 55 series de tiempo, con al menos 27 años de registro, en 10 estaciones ubicadas en esa región. Los resultados obtenidos apuntan a que para lluvias con duraciones menores a una hora la tendencia es mixta, mientras que para duraciones de lluvia mayores a una hora la tendencia en algunas estaciones es a la disminución de la intensidad.

Palabras clave: precipitación máxima, intensidad, tendencia y variabilidad.

Abstract

The modifications on the environment generated by the activities of man seem to be accentuating the effects on weather patterns, generating in some regions an increase in the intensity of rainfall while in others the tendency is to diminish. The objective of the work presented was to determine possible trends in the intensity of the maximum rains in the northern coastal zone of Venezuela, since planning, risk assessment and the development of engineering projects depend on these data. The study was carried out on 55 time series, with at least 27 years of registration, in 10 stations located in that region. The results obtained indicate that for rains with durations shorter than one hour the trend is mixed, while for rain durations older than one hour the tendency in some stations is to decrease the intensity.

Keywords: maximum rainfall, intensity, trend and variability.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es una importante fuerza modeladora de la superficie terrestre. Además, es la sustancia más abundante del planeta y el principal constituyente de los seres vivos. Al ser un factor clave del clima, lo es a su vez para la existencia del ser humano y de su civilización.

Por otra parte, el crecimiento poblacional, el aumento de las actividades industriales y agropecuarias, y la tala y quema de bosques, han generado mayores emisiones de gases con efecto invernadero o agotadores de la capa de ozono. Estas emisiones han acelerado el proceso de calentamiento global, lo que a su vez ha alterado los patrones climáticos mundiales. Esta modificación se ha manifestado en algunos países mediante períodos de sequías más duraderos en África **(1) (2)**, o la intensificación de los eventos extremos **(3)**, o alteraciones en los patrones de las lluvias **(4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12)**, resultando en algunos casos con tendencias al aumento de las precipitaciones y en otros a su disminución.

Ciertamente estas variaciones climáticas ocurren normalmente bajo el efecto de oscilaciones climáticas periódicas como El Niño y La Niña, o la del Atlántico Norte. Sin embargo, sus efectos parecen acentuarse.

En los últimos años las grandes agencias internacionales como la Organización Meteorológica Mundial (OMM), a través del Programa Mundial del Clima, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con el Programa Mundial de Estudios del Impacto del Clima, o las nacionales como el National Weather Service de los Estados Unidos, han destinado cada vez mayor cantidad de recursos y esfuerzos a la investigación de las modificaciones de las tendencias de los patrones climáticos, y a la generación de modelos que simulen las mismas, con el fin de efectuar predicciones que permitan disminuir los riesgos o mitigar las consecuencias de dichos cambios.

Asimismo, la falta de planificación territorial que considere estas modificaciones climáticas, han hecho que el hombre junto con sus actividades e infraestructuras, ocupe espacios en las márgenes y zonas de inundación de los cursos de agua, así como en las zonas susceptibles de sufrir los efectos de lavas torrenciales o flujos de lodos, tal y como lo demuestran los hechos que ocurren con cada nueva temporada de

lluvias, o los acontecimientos ocurridos en diciembre de 1999.

De ahí la importancia de los efectos positivos que pueden tener la planificación y el análisis de riesgos en prevenir, evitar o mitigar las consecuencias de similares eventos climatológicos.

Por otra parte, la evaluación de los datos climatológicos primarios resulta de vital importancia para la elaboración de proyectos de ingeniería relacionados con los cursos o el transporte de agua.

Es por ello que toda planificación territorial y análisis de riesgos ambientales asociados a eventos climatológicos, así como los cálculos de estructuras relacionadas con el agua, resultan poco útiles si los mismos se basan en informaciones o datos que no indican los posibles cambios ocurridos, o factibles de ocurrir, sobre las tendencias de las variables en estudio.

En particular, los datos sobre intensidad – frecuencia y duración de lluvias son fundamentales para el cálculo de crecientes utilizadas para el diseño de sistemas de drenaje, obras de contención de torrentes y sedimentos, aliviaderos de presas, planificación de planicies inundables, y en la elaboración de planes de contingencia para reducir o mitigar el riesgo natural asociado a inundaciones o flujos de lodos, entre otros.

El trabajo que se presenta determinó los cambios en las tendencias de la intensidad de las lluvias máximas en la zona norte – costera, analizando su comportamiento durante el mayor número de años de registro disponibles para las estaciones pluviométricas de esta zona del país, sin determinar las posibles causas que pudieran haberlos provocado, dado que esas variaciones influirán en la planificación en el análisis de riesgos.

II. SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Se recabaron los registros de las estaciones pluviométricas de la región norte costera con más de veinte años de mediciones.

En el caso de las estaciones pluviométricas que eran gestionadas hace años por el Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea (FAV) se obtuvieron datos de lluvias con duraciones de 5, 10, 15, 30 y 45 minutos y 1 y 24 horas de seis estaciones ubicadas en el área de estudio que

cumplían con la condición de poseer al menos veinte años de registro. De estas seis estaciones cinco (Coro, Barcelona, Porlamar, Cumaná y Maiquetía) fueron entregadas series de excedencia anual hasta el año 1996 y desde ese año hasta 1999 planillas de medición mensuales. En el caso de la última estación (Güiria) fueron suministradas las planillas de medición mensuales hasta el año 1999, faltando las correspondientes al año 1994.

En el caso de las estaciones que fueron gestionadas por el antiguo Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, y que actualmente son gestionadas por el INAMEH, fueron obtenidos registros que se encontraban constituidos por series de excedencia mensual hasta el año 1995 ó 1996 para duraciones de lluvia de 15, 30 y 45 minutos y 1, 2, 3, 6, 9, 12 y 24 horas.

En este último caso fueron suministrados datos de treinta estaciones ubicadas en el área de estudio que cumplían con el requisito de poseer al menos veinte años de registro (Boca de Uchire, La Cerca, Puerto La Cruz, Barcelona, Morón – Dique, San José de Yaruara, Macuto, Puerto Cruz, Naiguatá, Los Caracas, Caruao, Osma, Tocopero, Puerto Cumarebo, Tocuyo de la Costa, Carenero, Tacarigua de la Laguna, San José de Río Chico, Cúpira – Tesoro, Porlamar, Boca del Pozo, Juan Griego, Paraguachí, Pedro González, La Guardia, El Indio, Cariaco – Muelle, Río Caribe, Paraguaipoa y San Rafael del Moján).

III. HOMOGENEIDAD DE LAS MUESTRAS

A fin de garantizar la homogeneidad de los datos suministrados, se verificó su ubicación geográfica de manera de determinar si habían sufrido modificaciones durante el período estudiado.

De esta manera se pudo conocer que en aquellos casos en los cuales se había efectuado el traslado de la estación (Coro, Maiquetía y Güiria), la entidad responsable de efectuar las mediciones en esa época (FAV), había efectuado las correcciones necesarias para garantizar la homogeneidad de los registros.

Dado que el resto de las estaciones no fueron trasladadas durante el período de registro suministrado,

Chico, se descartaron series de tiempo correspondientes a ciertas duraciones de lluvias.

no se requirió un análisis de doble masa para comprobar la homogeneidad de las muestras.

IV. ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES

Posteriormente, con los datos suministrados se completaron o generaron las series de excedencia anual para cada duración de lluvia.

En los casos en los cuales las series no resultaban continuas por presentar datos faltantes, o en aquellos en los cuales los datos suministrados presentaban vacíos de información para los meses correspondientes al período de lluvias en la zona en la cual se encuentra la estación, se procedió a sintetizar los datos faltantes mediante el procedimiento utilizado por el United States Weather Bureau (USWB).

El procedimiento utilizado por el USWB estima las cantidades de precipitación a partir de las observaciones realizadas en tres estaciones cercanas, espaciadas en lo posible y situadas uniformemente alrededor de la estación de la cual no se dispone el registro.

Si la precipitación anual de las estaciones que permiten el cálculo del dato faltante, no difiere en más de un 10 % de la precipitación normal para la estación en la cual el registro no existe, se considera adecuado un promedio aritmético simple de las precipitaciones de las tres estaciones seleccionadas, en caso contrario se debe realizar un promedio ponderado **(13) (14)**.

Una limitación impuesta para la aceptación de una serie de tiempo es que para completar el registro no fuese necesario generar más de cuatro años.

La imposibilidad de sintetizar algunos de los datos faltantes motivó la eliminación del estudio de las estaciones Güiria, La Cerca, Puerto La Cruz, Tocopero, Tocuyo de la Costa y San Rafael del Moján, debido a que no fue posible encontrar tres estaciones circundantes con mediciones para el año correspondiente al dato o datos faltantes.

Por la misma razón, en las estaciones Boca de Uchire, Tacarigua de la Laguna y San José de Río

Por último, se descartaron series que tenían menos de 25 datos para evitar que los datos sintetizados influyeran en los resultados

La Tabla I contiene la ubicación geográfica de las estaciones seleccionadas, mientras que en la Tabla II se relacionan las estaciones con las duraciones de las lluvias y los periodos seleccionados.

Tabla I: Estaciones, duraciones de lluvia y periodos seleccionados

Estación	Ubicación	
	Latitud N	Longitud W
Barcelona- Aeropuerto (Estado Anzoátegui)	10° 27'	69° 41'
	Altitud: 7 m.s.n.m.	
Boca de Uchire (Estado Anzoátegui)	10° 08' 48"	65° 25' 40"
	Altitud: 6 m.s.n.m.	
Carenero (Estado Miranda)	10° 32' 18"	66° 07' 19"
	Altitud: 10 m.s.n.m.	

Caruao (Estado La Guaira - Distrito Federal)	Latitud N 10° 36'	Longitud W 66° 20' 53"
	Altitud: 10 m.s.n.m.	
Coro – Aeropuerto (Estado Falcón)	Latitud N 11° 25'	Longitud W 69° 41'
	Altitud: 16 m.s.n.m.	
Cúpira - Tesoro (Estado Miranda)	Latitud N 10° 09' 27"	Longitud W 65° 42' 56"
	Altitud: 22 m.s.n.m.	
Osma (Estado La Guaira - Distrito Federal)	Latitud N 10° 36' 54"	Longitud W 66° 20' 53"
	Altitud: 30 m.s.n.m.	
San José de Río Chico (Estado Miranda)	Latitud N 10° 18' 23"	Longitud W 66° 00' 42"
	Altitud: 8 m.s.n.m.	
Tacarigua de la Laguna (Estado Miranda)	Latitud N 10° 18' 30"	Longitud W 65° 52' 32"
	Altitud: 2 m.s.n.m.	

Tabla II: Estaciones, duraciones de lluvia y periodos seleccionados

Estación	5 min	10 min	15 min	30 min	45 min	1 hora	3 horas	6 horas	9 horas	12 horas	24 horas
Barcelona	1961 - 1999	1961 - 1999	1961 - 1999	1961 - 1999	1961 - 1999	1961 - 1999					1961 - 1995
Boca de Uchire			1967 - 1999	1967 - 1999						1963 - 1999	1963 - 1999
Carenero			1955 - 1983	1955 - 1983		1955 - 1999	1955 - 1999	1955 - 1999	1955 - 1999	1955 - 1999	1955 - 1999
Caruao			1969 - 1996	1969 - 1996		1969 - 1996	1969 - 1996	1969 - 1996	1969 - 1996	1969 - 1996	1969 - 1996
Coro	1955 - 1986	1955 - 1986	1955 - 1986	1955 - 1986	1955 - 1986						1955 - 1985
Cúpira - Tesoro	1967 - 1996	1967 - 1996				1963 - 1996	1963 - 1996	1963 - 1996	1963 - 1996	1963 - 1996	1963 - 1996
Osma			1969 - 1996	1969 - 1996		1969 - 1996	1969 - 1996	1969 - 1996	1969 - 1996	1969 - 1996	1969 - 1996
San José de Río Chico			1963 - 1996	1963 - 1996						1963 - 1996	1963 - 1996
Tacarigua de la Laguna						1964 - 1995					1964 - 1995

V. TENDENCIAS POR PROMEDIOS MÓVILES

Se decidió evaluar la tendencia de las series de tiempo seleccionadas por medio del procedimiento de los promedios móviles.

El método se aplicó haciendo los promedios en grupos con 13, 15, 17, 19 y 21 datos, desfasando cada grupo del anterior en un año, produciendo de esta manera una nueva serie de datos para cada extensión de los grupos (13, 15, 17, 19 y 21).

Con el objeto de hacer evidente cualquier tendencia existente en las series generadas con los promedios, se seleccionó el mejor ajuste posible a una línea recta.

Cabe señalar que en todos los casos se buscaron los mejores cuadrados de los coeficientes de correlación (R^2) para las expresiones lineales, aun cuando algunos de esos resultaron extremadamente bajos.

Luego se seleccionaron todas las tendencias en series de promedios móviles que tuvieran un R^2 superior a 0,80, por considerar que en esos casos la tendencia lineal pudiera aceptarse como representativa de la serie de tiempo evaluada al ser alto el grado de correlación ¹ (15).

¹ En un estudio anterior al presente realizado para la misma zona geográfica no se impuso esta condición por lo que se consideró oportuno hacerlo.

La Tabla III contiene los resultados de la evaluación de las tendencias por el método de los promedios móviles. La pendiente de la recta (m) indica si la tendencia es a ascender o aumentar (positiva), o a descender (negativa).

Tabla III: Tendencias por promedios móviles

Barcelona				
Duración	Max. R2	Existencia	m	Tendencia
5 min.	0,48	No		
10 min	0,69	No		
15 min	0,22	No		
30 min	0,20	No		
45 min	0,40	No		
1 hora	0,68	No		
24 horas	0,48	No		
Boca de Uchire				
Duración	Max. R2	Existencia	m	Tendencia
15 min.	0,52	No		
30 min	0,40	No		
1 hora	0,97	Sí	-0,76	Desciende
24 horas	0,98	Sí	-1,78	Desciende
Carenero				
Duración	Max. R2	Existencia	m	Tendencia
15 min.	0,14	No		
30 min	0,09	No		
1 hora	0,15	No		
3 horas	0,17	No		
6 horas	0,15	No		
9 horas	0,12	No		
12 horas	0,15	No		
24 horas	0,10	No		
Caruao				
Duración	Max. R2	Existencia	m	Tendencia
15 min.	0,91	Sí	-0,30	Desciende
30 min	0,90	Sí	-0,30	Desciende
1 hora	0,96	Sí	-0,82	Desciende
3 horas	0,96	Sí	-1,78	Desciende
6 horas	0,96	Sí	-1,78	Desciende
9 horas	0,92	Sí	-1,81	Desciende
12 horas	0,92	Sí	-1,77	Desciende
24 horas	0,92	Sí	-2,40	Desciende
Coro				
Duración	Max. R2	Existencia	m	Tendencia
5 min.	0,19	No		
10 min	0,10	No		
15 min	0,68	No		
30 min	0,65	No		
45 min	0,61	No		
1 hora	0,57	No		
24 horas	0,26	No		
Cúpira Tesoro				
Duración	Max. R2	Existencia	m	Tendencia
15 min.	0,37	No		
30 min	0,48	No		
1 hora	0,64	No		
3 horas	0,61	No		
6 horas	0,63	No		
9 horas	0,63	No		
12 horas	0,67	No		
24 horas	0,82	Sí	-0,90	Desciende

Osma				
Duración	Max. R2	Existencia	m	Tendencia
15 min.	0,85	Sí	0,25	Ascende
30 min	0,62	No		
1 hora	0,64	No		
3 horas	0,55	No		
6 horas	0,52	No		
9 horas	0,52	No		
12 horas	0,41	No		
24 horas	0,69	No		
San José de Río Chico				
Duración	Max. R2	Existencia	m	Tendencia
15 min.	0,52	No		
30 min	0,62	No		
1 hora	0,64	No		
24 horas	0,82	Sí	-0,92	Desciende
Tacarigua de la Laguna				
Duración	Max. R2	Existencia	m	Tendencia
1 hora	0,87	Sí	-1,09	Desciende
24 horas	0,60	No		Desciende

VI. TENDENCIAS POR MANN KENDALL

Además, y dado que era de esperarse que, como en realidad ocurrió, no todas las series de tiempo siguieran una tendencia lineal, se decidió efectuar una evaluación adicional con una herramienta aceptada por la hidrología para este tipo de análisis.

La elección de la herramienta debía considerar las características particulares de las series de tiempo seleccionadas para el estudio pues, aun cuando el teorema del límite central establece que en la medida que la muestra sea más grande es de esperar que la misma siga una distribución de probabilidad normal, debe asegurarse que dicha elección sea la idónea.

Fue por eso que se decidió evaluar si las series de tiempo seleccionadas se ajustaban a la distribución de probabilidad normal, porque en caso de no hacerlo la elección debía recaer sobre una prueba no paramétrica.

A tal efecto se procedió a realizar una prueba de bondad de ajuste ji-cuadrado, para lo que cada serie de tiempo fue dividida en 11 intervalos (16).

Los resultados de la prueba de bondad de ajuste se encuentran reflejados en la tabla 4, habiéndose sombreado las series cuyas distribuciones de probabilidad no se ajustan a la distribución normal.

Tabla IV: Resultados de la prueba ji-cuadrado de bondad de ajuste a una distribución de probabilidad normal

Estación	5 min	10 min	15 min	30 min	45 min	1 hora	3 horas	6 horas	9 horas	12 horas	24 horas
Barcelona	15,19	20,48	5,64	10,61	11,79	6,95					4,27
Boca de Uchire			9,40	18,87		15,78					51,25
Carenero			4,96	6,28		7,53	57,71	30,33	21,42	32,19	20,75
Caruaa			19,83	5,64		6,68	10,31	10,13	19,86	11,92	14,85
Coro	11,83	8,72	16,12	7,36	21,87	8,21					41,04
Cúpira - Tesoro			11,64	11,34		11,09	14,81	6,29	14,89	14,76	32,42
Osma			-29,65	-2,19		1,79	19,30	27,06	6,23	1,79	-1,86
San José de Río Chico			11,49	5,78		9,32					6,04
San José de Yaruara			-7,34	9,94		-7,24		9,28	8,52	-9,10	39,84
Tacarigua de la Laguna						3,30					8,98

k= 11	(Intervalos de frecuencia seleccionados)
m= 2	(parámetros empleados: media y varianza)
v= 8	(v=k-m-1)
$\chi_{v,095}$ = 15,51	

Dado que más de un tercio de las series de tiempo seleccionadas no se ajustan a la distribución normal se decidió emplear la prueba de Mann – Kendall. Para determinar la dirección de la tendencia, ascendente o descendente, se calculó el coeficiente de correlación de Kendall – τ .

Ésta es una prueba no-paramétrica, ampliamente utilizada en hidrología para la determinación de tendencias en series de datos hidrometeorológicos cuando las series no se ajustan a una distribución normal, que además resulta robusta para evaluar series que se encuentren sesgadas, que contengan valores extremos que puedan considerarse dudosos², y tengan bajos coeficientes de correlación para ajustes lineales(17).

La Tabla V resume los resultados obtenidos al aplicar la prueba de Kendall – τ a cada una de las series seleccionadas con un nivel de confiabilidad del 97,5%, indicando para cada caso si se detectó una tendencia para las intensidades de las lluvias. El signo del coeficiente τ indica si la tendencia, en caso de haberse detectado, es a ascender o aumentar (positivo) o a descender (negativo).

Tabla V: Tendencias detectadas por Mann – Kendall, y dirección de las mismas por Kendall τ

Duración	S	Var(S)	Z	Existencia	τ	Tendencia
Barcelona						
5 min.	-173	6834	-2,08	Sí	-0,23	
10 min	-65	6834	-0,77	No	-0,09	Desciende
15 min	-63	6834	-0,75	No	-0,09	
30 min	9	6834	0,10	No	0,01	
45 min	13	6834	0,15	No	0,02	
1 hora	-7	6834	-0,07	No	-0,01	
24 horas	69	4958	0,97	No	0,12	
Boca de Uchire						
15 min.	-49	4958	-0,68	No	-0,08	
30 min	-99	4958	-1,39	No	-0,17	
1 hora	-281	6834	-3,39	Sí	-0,38	Desciende
24 horas	-339	6834	-4,09	Sí	-0,46	Desciende
Carenero						
15 min.	4	2842	0,06	No	0,01	
30 min	24	2842	0,43	No	0,06	
1 hora	-61	10450	-0,59	No	-0,06	
3 horas	25	10450	0,23	No	0,03	
6 horas	-53	10450	-0,51	No	-0,05	
9 horas	-45	10450	-0,43	No	-0,05	
12 horas	-39	10450	-0,37	No	-0,04	
24 horas	-47	10450	-0,45	No	-0,05	
Caruaa						
15 min.	-88	2562	-1,72	No	-0,23	
30 min	-54	2562	-1,05	No	-0,14	
1 hora	-72	2562	-1,40	No	-0,19	
3 horas	-64	2562	-1,24	No	-0,17	
6 horas	-82	2562	-1,60	No	-0,22	
9 horas	-56	2562	-1,09	No	-0,15	
12 horas	-56	2562	-1,09	No	-0,15	
24 horas	-70	2562	-1,36	No	-0,19	

² Se decidió no eliminar los datos dudosos de las series seleccionadas, con la finalidad de mantener la longitud de los registros y la totalidad de las series de tiempo viables por el número de años disponibles, en

el entendido que se debían seleccionar pruebas en las que esta decisión no afectase los resultados del análisis.

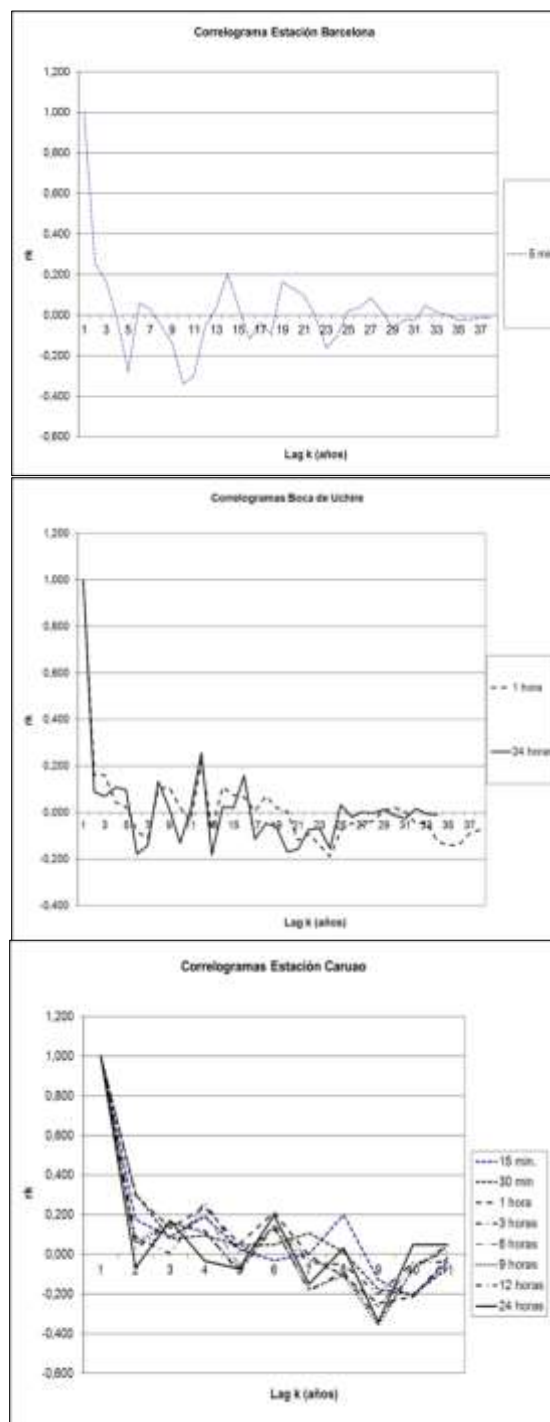
Coro						
Duración	S	Var(S)	Z	Existencia	τ	Tendencia
5 min.	-66	3803	-1,05	No	-0,13	
10 min	-72	3803	-1,15	No	-0,15	
15 min	-32	3803	-0,50	No	-0,06	
30 min	8	3803	0,11	No	0,02	
45 min	22	3803	0,34	No	0,04	
1 hora	20	3803	0,31	No	0,04	
24 horas	-25	3462	-0,41	No	-0,05	
Cúpira Tesoro						
Duración	S	Var(S)	Z	Existencia	τ	Tendencia
15 min.	140	3142	2,48	Sí	0,32	Asciende
30 min	177	3142	3,14	Sí	0,41	Asciende
1 hora	25	4550	0,36	No	0,04	
3 horas	-55	4550	-0,80	No	-0,10	
6 horas	-67	4550	-0,98	No	-0,12	
9 horas	-55	4550	-0,80	No	-0,10	
12 horas	-65	4550	-0,95	No	-0,12	
24 horas	-97	4550	-1,42	No	-0,17	
Osma						
Duración	S	Var(S)	Z	Existencia	τ	Tendencia
15 min.	113	4550	1,66	No	0,20	
30 min	91	4550	1,33	No	0,16	
1 hora	63	4550	0,92	No	0,11	
3 horas	-39	4550	-0,56	No	-0,07	
6 horas	-7	4550	-0,09	No	-0,01	
9 horas	-9	4550	-0,12	No	-0,02	
12 horas	-19	4550	-0,27	No	-0,03	
24 horas	-13	4550	-0,18	No	-0,02	
San José de Río Chico						
Duración	S	Var(S)	Z	Existencia	τ	Tendencia
15 min.	-23	4550	-0,33	No	-0,04	
30 min	-25	4550	-0,36	No	-0,04	
1 hora	-35	10450	-0,33	No	-0,04	
24 horas	-343	10450	-3,35	Sí	-0,35	Desciende
Tacarigua de la Laguna						
Duración	S	Var(S)	Z	Existencia	τ	Tendencia
1 hora	-36	3803	-0,57	No	-0,07	
24 horas	14	3803	0,21	No	0,03	

VII. PERSISTENCIA

El último análisis que se efectuó se hizo con la finalidad de determinar la persistencia o *memoria* de las series de tiempo.

Es así que se determinó la función de autocorrelación de cada muestra y se graficaron los resultados para cada serie de tiempo en la que se determinó la existencia de alguna tendencia significativa.

La figura 1 muestra los correlogramas de cada una de las series en las que se determinó la existencia de alguna tendencia por alguno de los métodos empleados. Cuando el correlograma decae rápidamente hacia cero después de unos pocos lags (k, periodo en años) se dice que la serie tiene baja persistencia o *memoria corta* (17).



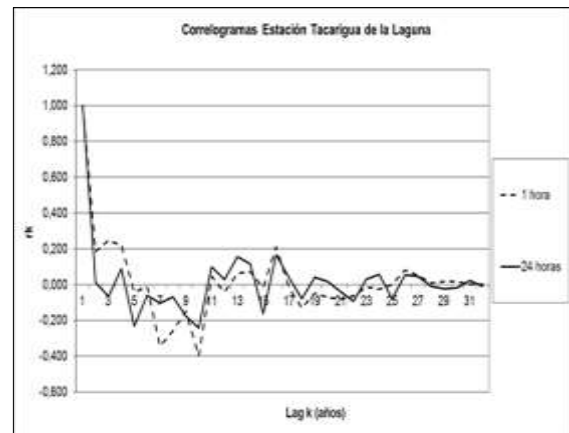
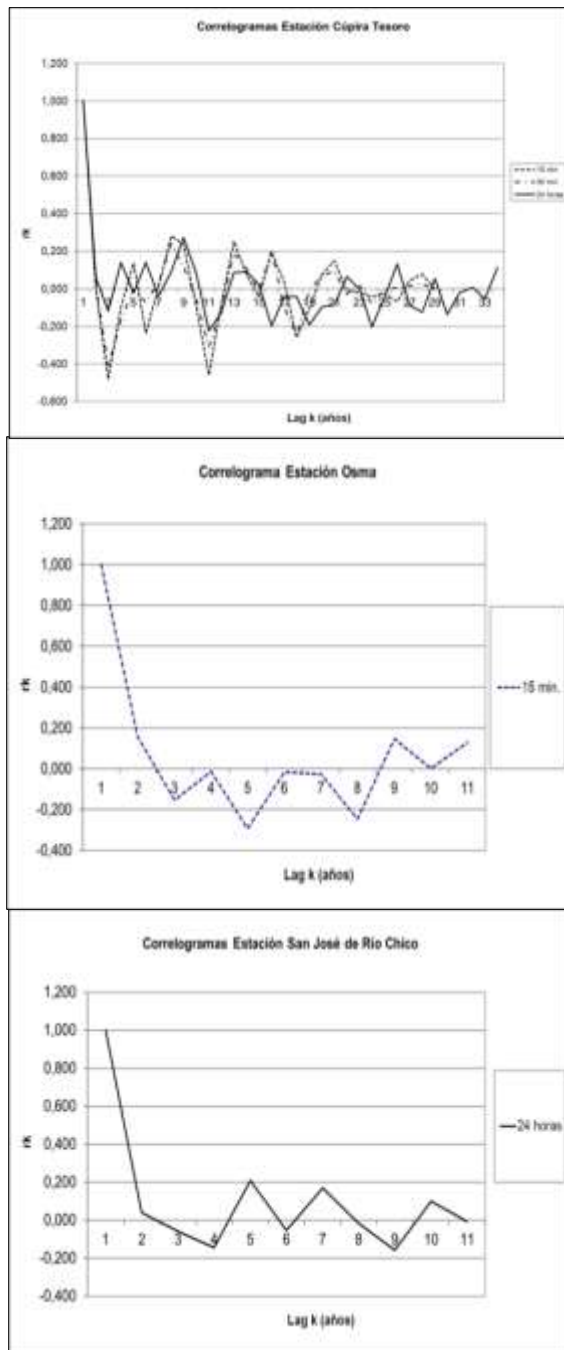


Figura 1: Correlogramas de las series de tiempo en las que se determinó la existencia de alguna tendencia

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tanto el análisis del ajuste lineal por promedios móviles como en el de Mann – Kendall coincidieron en la existencia de tendencias para las mismas series de tiempo en las estaciones Boca de Uchire (1 hora y 24 horas), y San José de Río Chico (24 horas). En todos los casos la tendencia es descendente o a la disminución.

En el caso de los promedios móviles se detectaron también tendencias para todas las duraciones en Caruao, Cúpira - Tesoro (24 horas), Osma (15 minutos), y Tacarigua de la Laguna (1 hora y 24 horas). En todos los casos la tendencia detectada fue descendente o a la disminución, a excepción de Osma en la que es al aumento o ascenso.

Por su parte Mann – Kendal detectó tendencias adicionales para Barcelona (5 minutos), y Cúpira – Tesoro (15 y 30 minutos). Para el primer caso la tendencia es al descenso o disminución, mientras que para el último, fueron de ascenso o aumento.

Con relación a la evaluación de la persistencia o *memoria* de las series en todos los casos se determinó que es baja o de *memoria corta*, pues la caída de la primera parte del gráfico es notoria alcanzando valores del coeficiente de correlación (r_k) por debajo de cero, en los primeros cinco *lags* (k , periodo en años) para la mayoría de las duraciones de lluvia analizadas.

IX. CONCLUSIONES

Para lluvias con duraciones inferiores a una hora no se determinó que existe una tendencia única, dado que para algunas estaciones las intensidades aumentan (Cúpira – Tesoro y Osma), y en la mayoría de las estaciones no se encontró tendencia alguna.

En los casos de lluvias con duraciones iguales o superiores a una hora el análisis indica una tendencia a la disminución de las intensidades en las estaciones Boca de Uchire, Caruao, Cúpira – Tesoro, San José de Río Chico, y Tacarigua de la Laguna. Para el resto de las estaciones no se encontró alguna tendencia.

Se pudo constatar que tanto el método de los promedios móviles como en el Mann – Kendall ofrecen la posibilidad de hacer análisis sobre tendencias que no resultan contradictorios entre ellos, pues en los casos en los que se detectaron tendencias para ambos estas coincidieron en el sentido.

Al verificar la persistencia se detectó que para todas las series de tiempo evaluadas es baja o de *memoria corta*.

Dadas las limitaciones que impidieron la evaluación de un mayor número de estaciones meteorológicas de la región, se considera conveniente repetir el análisis una vez que se disponga del volumen necesario de datos en un mayor número de estaciones, con la finalidad de continuar con el estudio en esa región del país.

En virtud de que las conclusiones sobre tendencias determinadas sólo son aplicables a la región norte costera, se considera oportuno repetir la evaluación en otras regiones del país a fin de determinar si las mismas se repiten o difieren en ellas.

REFERENCIAS

- [1] **Itiowe, T., Agidi, Victor and Musa, Hasssan S.** *Analysis of Rainfall Trends and Patterns in Abuja, Nigeria*. 34, s.l. : Current Journal of Applied Science and Technology, 2019, Current Journal of Applied Science and Technology, pp. 1-7.
- [2] **Amogne, Asfaw; Simane, Belay; Hassen , Ali; Bartinder, Amare.** *Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in Woleka sub-basin*. 19, s.l. : Elsevier, 2018, Weather and Climate Extremes, pp. 29-41.
- [3] **U.S. Global Change Research Program.** *Fourth National Climate Assessment*. s.l. : U.S. Global Change Research Program, 2018.
- [4] **Arnone, P.; Pumo, D.; Viola, F.; Noto, L. V.; La Loggia, G..** *Rainfall statistics changes in Sicily*. 17, s.l. : Copernicus Publications, 2013, Hydrology and Earth System Sciences, pp. 2449-2458.
- [5] **Longobardi, Antonia and Villani, Paolo.** *Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area*. s.l. : Royal Meteorological Society, 2009, International Journal of Climatology.
- [6] **Jain, Sharad K.** *Trend analysis of rainfall and temperature data for India*. 1, s.l. : Current Science, 2012, Current Science, Vol. 102, pp. 37-49.
- [7] **Segura, Hans; Espinoza, Jhan C.; Junquas, Clementine; Vuille, Mathias.** *New insights into the rainfall variability in the tropical Andes on seasonal and interannual time scales*. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4590-8>, s.l. : Springer-Verlag GmbH Germany, Enero 2019, Clymate Dynamics.
- [8] **Mayowa, Olaniya O. and et.al.** *Trends in rainfall and rainfall-related extremes in the east coast of peninsular Malaysia*. 8, s.l. : Indian Academy of Sciences, Diciembre 2015, Earth System Sciences, Vol. 124, pp. 1609 -1622.
- [9] **Van Elten, Eddie J. B.** *Inter-annual Rainfall Variability of Arid Australia: greater than elsewhere?* 1, s.l. : Routledge, Marzo 2009, Australian Geographer, Vol. 40, pp. 109 - 120.
- [10] **Méndez González, Jorge, Nívar Cháidez, José de Jesús and González Ontiveros, Vladimir.** *Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México*. 65, 2008, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, pp. 38 - 55.
- [11] **Calahorrano, Julia; Mnazano, Mery; Gualli, Dolores; Fabian , Silva; Audelo, Mario; Tingo, Javier.** *Análisis de tendencia en la precipitación anual (1964 – 2011) en la cuenca del Pastaza - Ecuador*. 2, Septiembre 2017, Aqua-LAC, Vol. 9, pp. 73 -84.
- [12] **Campos - Aranda, Daniel F.** *Búsqueda de tendencias en la precipitación anual del estado de Zacatecas, México; en 30 registros con más de 50 años de registro*. 3, Julio - septiembre 2015, Ingeniería Investigación y Tecnología, Vol. XVI, pp. 355 - 368.
- [13] **Linsley, Jr, Ray K., Kohler, Max A. and Paulus, Joseph L.H.** *Hidrología para ingenieros*. Segunda edición. Bogotá : Mc Graw Hill, 1977. p. 386.
- [14] **Young, Kenneth C.** *A three-way model for interpolating monthly*. 120, s.l. : MonthlyWeather Review , 1992.
- [15] **Viana del Barrio, María C.** *Título del Trabajo de Grado, Master en Ingeniería*

Ambiental. Determinación de los posibles cambios en las tendencias del patrón de intensidad – frecuencia y duración de las lluvias en la zona norte – costera del país. Caracas : Universidad Católica Andrés Bello, 2007.

- [16] **Chow, Ven Te, Maidment, David R. and Mays, Larry W.** *Hidrología aplicada*. Bogotá : McGraw Hill, 1994. p. 584.
- [17] **Maidment, David R.** *Handbook of Hydrology*. s.l. : McGraw Hill, 1993.