

## Régimen pluviométrico asociado a series de tiempo máximas en la subcuenca del río Villalobos

Juan Carlos Fuentes Montepeque

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS-USAC

Dirección para recibir correspondencia: [jcfuentes@ingenieria.usac.edu.gt](mailto:jcfuentes@ingenieria.usac.edu.gt)

Recibido: 22.10.2019

Aceptado: 13.05.2020

### Resumen:

La subcuenca del río Villalobos, que comprende la parte alta de la cuenca del río María Linda, está en un proceso constante de urbanización, con efectos en el comportamiento de los componentes del ciclo hidrológico. En la subcuenca se dispone de al menos 5 estaciones meteorológicas las cuales poseen registros mayores a 30 años y de calidad aceptable. Existen diversas metodologías para evaluar las redes de monitoreo meteorológico, en este análisis se utilizó la propuesta por Fattorelli & Fernández (2011), basada en la variabilidad del módulo pluviométrico. En el análisis se utilizaron series de lluvia diaria máxima anual, de las estaciones meteorológicas INSIVUMEH y Suiza Contenta, por ubicarse en área urbana y en área forestal, respectivamente. Mediante el uso de los softwares Hydrognomon y AFA, se analizaron las principales propiedades de las series, las cuales fueron homogeneidad, independencia, tendencia, distribución y variabilidad. En el análisis de variabilidad y tendencia, resaltan diferencias significativas para el caso de las series de la estación meteorológica INSIVUMEH. Para eventos con períodos de retorno de 100 años se obtuvo 140 y 250, para las series de las estaciones Suiza Contenta e INSIVUMEH, respectivamente, lo que denota una diferencia significativa.

Palabras clave: intervalo de confianza, módulo pluviométrico, lluvias máximas, tendencia, variabilidad, urbanización.

### Abstract:

The Villalobos river sub-basin, which includes the upper part of the María Linda river basin, is in a constant process of urbanization, with effects on the behavior of the components of the hydrological cycle. In the sub-basin there are at least 5 meteorological stations which have records older than 30 years and of acceptable quality. There are various methodologies to evaluate meteorological monitoring networks, in this analysis the proposal by Fattorelli & Fernández (2011), based on the variability of the pluviometric module, was used. In the analysis, annual maximum daily rainfall series were used, from the INSIVUMEH and Swiss Contenta meteorological stations, since they were located in urban areas and in forested areas, respectively. By using the Hydrognomon and AFA software, the main properties of the series were analyzed, which were homogeneity, independence, trend, distribution and variability. In the variability and trend analysis, significant differences stand out in the case of the INSIVUMEH meteorological station series. For events with return periods of 100 years, 140 and 250 were obtained, for the series of the Switzerland Contenta and INSIVUMEH stations, respectively, which denotes a significant difference.

Keywords: confidence interval, pluviometric module, maximum rainfall, trend, variability, urbanization.

### Introducción

La subcuenca del río Villalobos ubicada en la parte alta de la cuenca del río María Linda, posee un área de 310 km<sup>2</sup>, que comprende la principal área de aporte superficial al lago de Amatitlán, la cual se caracteriza

por poseer suelos permeables y en constante proceso de urbanización, en el año 2013 se estimó que el área urbanizada de la cuenca era de al menos el 30 %, según Fuentes (2013). En este análisis se utilizaron 5 estaciones meteorológicas que poseen registros mayores a 30 años en el área de la subcuenca, de las

cuales 3 pertenecen a INDE y 2 a INSIVUMEH; sin embargo, es importante mencionar que existen más estaciones con longitud de registros relativamente cortos. Se recolectaron las series temporales de excedencia anual correspondiente a lluvia diaria máxima anual de cada estación seleccionada, en las cuales se verificaron las principales propiedades: homogeneidad, independencia, tendencia, distribución y variabilidad. Los softwares que fueron utilizados para la aplicación de los modelos estadísticos fueron Hydrognomon v 4.1.0 y AFA v 1.1.

**Descripción del área de estudio**

La subcuenca se ubica en el área central de la república de Guatemala, entre los departamentos de Guatemala y Sacatepéquez, que incluye los municipios de Mixco, Guatemala, Santa Catarina Pinula, Villa Nueva, Villa Canales, San Miguel Petapa, Amatitlán, San Lucas Sacatepéquez, Santa Lucía Milpas Altas y Magdalena Milpas Altas, la mayor parte del área se ubica en el municipio de Guatemala.

El cauce principal de la subcuenca lo constituye el río Villalobos, el cual desemboca en el lago de Amatitlán en las coordenadas 90° 34’ 12’’ longitud Oeste y 14° 29’ 02’’ latitud Norte, a una altitud de 1,189 metros sobre el nivel del mar. La Tabla 1 indica las series que se analizaron.

**Tabla 1: Estaciones meteorológicas utilizadas en el análisis.**

No.	Estación	Altitud (msnm)	Longitud	Latitud	Año de inicio	Registro (años)
1	INSIVUMEH	1,502	90°31’58’’ ”	14°35’11’’ ”	1970	47
2	Suiza Contenta	2,105	90°39’40’’ ”	14°37’08’’ ”	1973	44

**Fuente: INSIVUMEH (2018)**

Se consideraron estas estaciones meteorológicas por estar ubicadas en condiciones de uso en área urbana y en área forestal, para el caso de las estaciones INSIVUMEH y Suiza Contenta, respectivamente.

**Metodología**

Para la evaluación de la red de monitoreo meteorológico se utilizó la metodología propuesta por Fattorelli & Fernández (2011), la cual considera la variabilidad del módulo pluviométrico. Cabe resaltar que existen otras metodologías que se basan únicamente en el área de la cuenca y algunas consideran el relieve de la misma.

La homogeneidad de las series fue estimada mediante la prueba de Cramer, considerada la más completa, descrita por Escalante & Reyes (2005). La prueba de Anderson, descrita por Gómez et al. (2010), se aplicó para la estimación de la independencia de las series, la cual consistió en el trazo de la función de autocorrelación conjuntamente con intervalos de confianza.

La significancia de la tendencia de las series fue estimada mediante la aplicación del test no paramétrico de Spearman, conocido como Spearman Rank Order Correlation, descrito por Kundzewicz & Robson (2000), siendo ampliamente utilizado por la Organización Meteorológica Mundial. Para la estimación de datos “dudosos”, se aplicó la metodología del USWR Council descrita por Fattorelli & Fernández (2011).

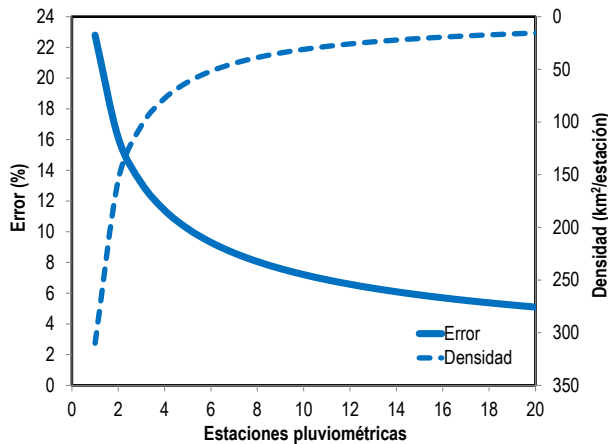
La estimación de las lluvias diarias máximas anuales fue estimada mediante la distribución teórica de frecuencia conocida como Valor Extremo Generalizada o Distribución General de Valores Extremos, descrita por Gómez et al. (2010). Las series fueron ploteadas en papel probabilístico a escala Gumbel, de acuerdo con la metodología propuesta por Varas & Bois (2005). La posición de ploteo o estimación probabilística que se utilizó fue la de Gringorten. Las series fueron trazadas conjuntamente con los intervalos de confianza de acuerdo a la metodología descrita por Mejía (2012). El software AFA se empleó para la estimación de la independencia y homogeneidad, mientras que para la distribución y variabilidad se utilizó el software Hydrognomon.

**Resultados**

El error estimado es de 12 %, tal como se muestra en la Figura 1. La disminución del error es posible mediante el aumento de la densidad de la red de monitoreo meteorológico, para lo cual es imprescindible que

prevalezca el concepto de disponer de una red de estaciones que sea óptima y económica. Al considerar las estaciones con registros mayores a 30 años, se obtiene una densidad de 52 km<sup>2</sup>/estación, sin embargo, al emplear estaciones con registros menores la densidad aumenta.

**Figura 1: Error y densidad asociados al número de estaciones en la subcuenca del río Villalobos.**



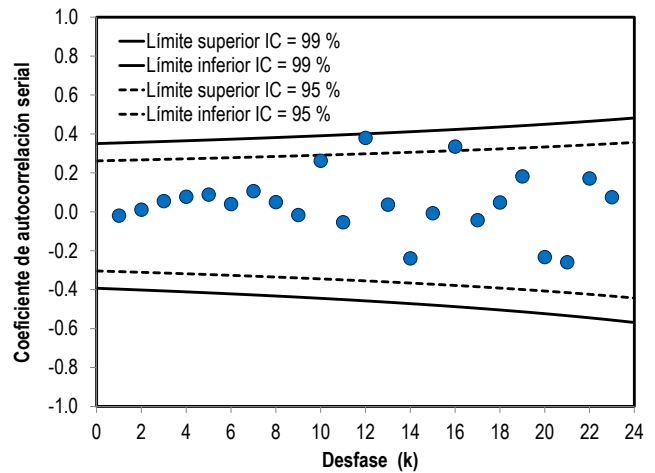
Como puede observarse en la Tabla 2, ambas series son homogéneas, “es decir, estadísticamente todos los datos pertenecen a la misma población”, lo cual se comprueba mediante la aplicación de la prueba de Cramer.

**Tabla 2: Resultados obtenidos en la prueba de Cramer.**

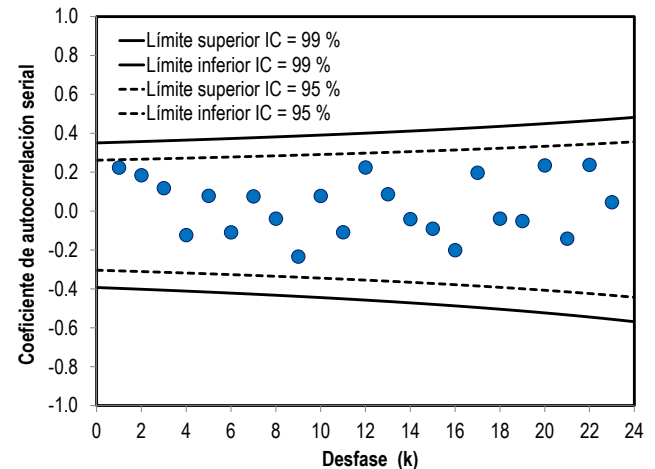
Serie	t estimado		t teórico		Resultado
	t <sub>60</sub>	t <sub>30</sub>	t <sub>60</sub>	t <sub>30</sub>	
INSIVUMEH	1.82	2.07	2.06	2.18	Homogénea
Suiza Contenta	0.39	1.02	2.06	2.20	Homogénea

Asimismo, ambas series temporales son independientes, tal como se observa en las Figuras 2 y 3, en donde todos los puntos están comprendidos dentro de los intervalos de confianza trazados al 90 y 95 % de confianza. Además, se evidencia que no existe un patrón definido o gradiente.

**Figura 2: Función de autocorrelación de la serie temporal de estación INSIVUMEH.**



**Figura 3: Función de autocorrelación de la serie temporal de estación Suiza Contenta.**



Los dos componentes de la tendencia son sentido y significancia, en ambas series el sentido de la pendiente es positivo, tal como se muestra en la Tabla 3. De la prueba realizada, se deduce que la significancia (del sentido) está presente únicamente en la serie temporal de la estación meteorológica INSIVUMEH.

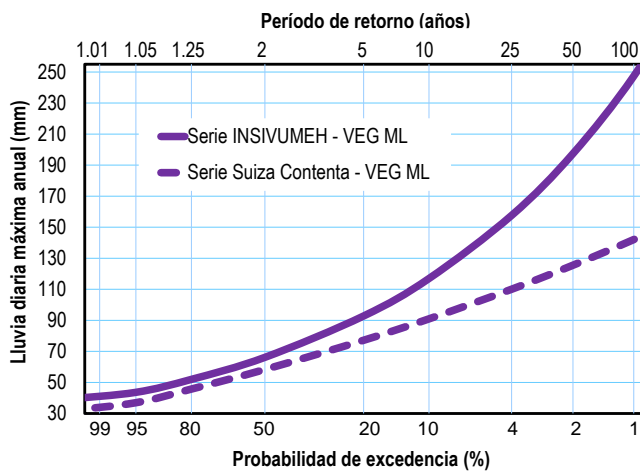
**Tabla 3: Significancia de la tendencia en las series temporales.**

Serie	Coeficiente rs (Spearman)	Estadístico		Significancia
		estimado	teórico	
INSIVUMEH	0.38	5.68	2.01	Presente

Serie	Coeficiente rs (Spearman)	Estadístico		Significancia
		estimado	teórico	
Suiza Contenta	0.05	0.51	2.02	Ausente

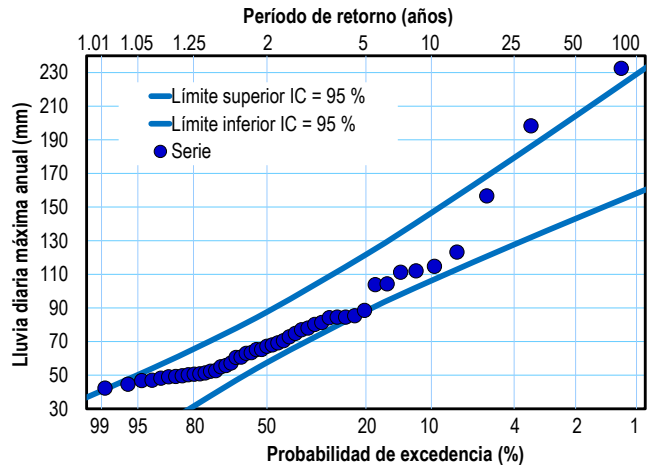
En la Figura 4, se muestran las lluvias diarias máximas anuales estimadas para períodos de retorno hasta de 100 años, mediante la aplicación de la distribución teórica de frecuencia Valor Extremo Generalizado.

**Figura 4: Lluvias diarias máximas anuales de las series temporales.**

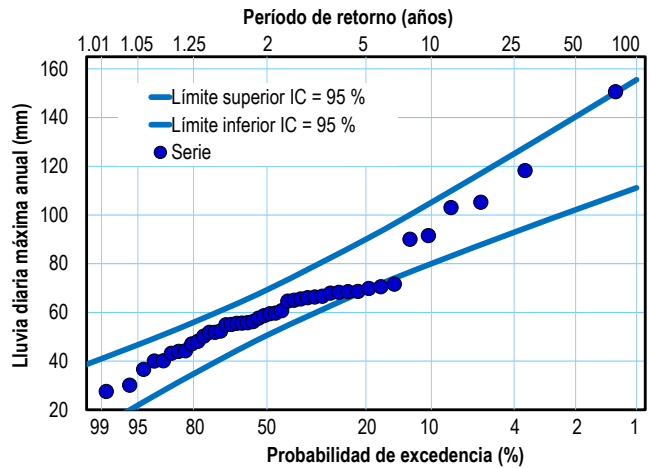


En las Figuras 5 y 6, se muestra el análisis de variabilidad de las series, lo cual se realizó mediante el trazo de los intervalos con probabilidades del 90 y 95 % de confianza, en escala de acuerdo con la distribución Normal.

**Figura 5: Intervalos de confianza en la serie de lluvia diaria máxima anual, estación meteorológica INSIVUMEH.**



**Figura 6: Intervalos de confianza en la serie de lluvia diaria máxima anual, estación meteorológica Suiza Contenta.**



### Análisis de resultados

Si bien los resultados obtenidos con la metodología propuesta por Fattorelli & Fernández (2011), para evaluar la red de monitoreo meteorológico se consideran aceptables, la misma debe ser complementada con los criterios de establecimiento y operación de una red de monitoreo meteorológica e hidrométrica que sea óptima y económica. En tal sentido, se considera que es factible aumentar la densidad de estaciones en la subcuenca del río Villalobos en una o dos, con el objetivo de contar con

mayor precisión del comportamiento espacial y temporal de la lluvia.

Ambas series son homogéneas e independientes, de acuerdo con las pruebas efectuadas; sin embargo, la homogeneidad en una serie puede perderse principalmente por cambios de ubicación de la estación, así como a la dinámica en el uso de la tierra en una cuenca hidrográfica. En el análisis se aplicó la prueba de Cramer por considerarse la más completa, sin embargo, existen otras como *t* Student y Helmert, que pueden ser aplicadas.

La independencia en las series en estudio denota que las mismas no poseen un patrón definido, por ejemplo la presencia de gradientes o errores sistemáticos. La prueba de Anderson es ampliamente utilizada y recomendada para la estimación de la independencia en series temporales hidrológicas o meteorológicas. Cabe resaltar, que previo a realizar un análisis de frecuencia es imprescindible que las series cumplan con estas dos propiedades: homogeneidad e independencia.

La tendencia de las series posee sentido positivo, mínimo en el caso de la serie temporal de la estación meteorológica Suiza Contenta; sin embargo, la misma únicamente posee significancia estadística para el caso de la serie temporal de la estación meteorológica INSIVUMEH, tal como se muestra en la Tabla 3. Asimismo, ambas series presentan un dato “dudoso” o “atípico”, en lo que corresponde al límite máximo, lo cual puede ser considerado como normal en series extremas. Al revisar las series, estos datos “dudosos”, corresponden a los valores de lluvia generada durante los eventos huracán Mitch (1998) y tormenta tropical Agatha (2010).

En ambas series se denota la presencia de valores fuera del intervalo de confianza trazados al 95 % de confiabilidad), como se muestra en las Figuras 5 y 6, con mayor evidencia en la serie de la estación INSIVUMEH. Las series tienden a presentar coeficientes de sesgo positivos, con valores de 2.37 y 1.74, para las series de las estaciones INSIVUMEH y Suiza Contenta, respectivamente. Las lluvias diarias máximas anuales tienden a ser de mayor magnitud en la estación INSIVUMEH. La diferencia en los eventos estimados se acentúa a partir de períodos de retorno iguales o mayores a 10 años. Para eventos con períodos

de retorno de 100 años los valores de lluvia obtenidos son de 140 y 250 milímetros, para las series de las estaciones Suiza Contenta e INSIVUMEH, respectivamente, Figura 4.

La distribución teórica de frecuencia Valor Extremo Generalizada, genera resultados aceptables en ambas series, dado a que al estimar su ajuste en mediante el error cuadrático mínimo, se obtienen resultados similares a los obtenidos en el estudio realizado por Fuentes (2013), en donde no se aplicó esta distribución. Es importante resaltar que los parámetros estimados en esta distribución teórica fueron mediante momentos lineales, por considerarse que generan mayor ajuste.

Es relevante destacar que actualmente la subcuenca del río Villalobos está en un proceso continuo de urbanización, con los consecuentes impactos asociados en cada uno de los componentes del ciclo hidrológico.

## Conclusiones

El error obtenido del 12 % se considera aceptable, de acuerdo con las condiciones biofísicas de la subcuenca se concluye que cumple con el criterio de una red óptima y económica.

Es más evidente y significativo el impacto en el régimen de lluvia en el área de cobertura de la estación meteorológica INSIVUMEH, en donde la tendencia es significativa, tal como se describe en la Tabla 3, lo cual puede ser atribuido al proceso constante de urbanización al que actualmente está expuesta la subcuenca del río Villalobos.

En ambas series, la tendencia en el comportamiento de la lluvia posee sentido positivo; sin embargo, únicamente posee significancia en la serie de la estación meteorológica INSIVUMEH.

La serie temporal de la estación meteorológica Suiza Contenta, no manifiesta alteración significativa en su régimen, lo cual se observa al trazar la serie con intervalos de confianza al 95 %, tal como se puede observar en la Figura 6.

## Agradecimientos

Al personal del Departamento de Hidrología de INSIVUMEH, por proporcionar información meteorológica para la realización del estudio. Al ingeniero M.Sc. Miguel Delgado por compartir sus

conocimientos en el uso del software Hydrognomon. Asimismo, al ingeniero César de León, por sus observaciones y aportes al presente estudio.

### Referencias

- Escalante, C., & Reyes, L. (2005). *Técnicas estadísticas en hidrología*. México: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Fattorelli, S.; Fernández, M. (2001). *Diseño Hidrológico*. Water Assessment & Advisory Global Network
- Fuentes, J. (2013). *Impacto hidrológico asociado al proceso de urbanización en la subcuenca del río Villalobos*. Tesis Maestría Académica en Hidrología. Universidad de Costa Rica
- Gómez, J.; Aparicio, J.; Patiño, C. (2010). *Manual de análisis de frecuencias en hidrología*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- INSIVUMEH. (2018). *Series de lluvia diaria máxima anual de estaciones meteorológicas INSIVUMEH y Suiza Contenta*. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
- Kundzewicz, Z., & Robson, A. (2000). *Detecting trend and other changes in hydrological data*. WCDMP
- Mejía, J. (2012). *Hidrología aplicada*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima
- Varas, E.; Bois, P. (1998). *Hidrología probabilística*. Ediciones Universidad Católica de Chile
- .