

**XXII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
CIUDAD GUAYANA, VENEZUELA, OCTUBRE 2006**

**DISTRIBUCION TEMPORAL DE LA PRECIPITACION
EN LA CUENCA DEL RIO VIRILLA, COSTA RICA**

Rafael Murillo Muñoz

*Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica,
San José, Costa Rica, E-mail: rmurillo@eic.ucr.ac.cr*

RESUMEN:

La distribución temporal de la precipitación en la cuenca del río Virilla, Costa Rica, fue analizada en esta contribución. Se determinó que en esta cuenca, la más urbanizada de ese país, se presentan al menos cuatro distribuciones temporales de precipitación pluvial. La ocurrencia de estas distribuciones está estrechamente ligada con los vientos predominantes en la región y la geomorfología de la cuenca. Adicionalmente, se demarcaron preliminarmente las zonas de influencia de cada una de las distribuciones temporales con el fin de proveer a la comunidad de ingenieros la información necesaria para resolver muchos problemas hidrológicos.

ABSTRACT:

The time distribution of the rainfall on the Virilla river basin, Costa Rica, was analyzed in this contribution. It was found that within the basin, the most urbanized in this country, there are at least four rainfall temporal patterns. The occurrence of these patterns is closely related to the prevailing winds and the geomorphology of the region. In addition, the influence zone of each temporal distribution was preliminary mapped with the aim of providing to the engineering community the needed information to solve many hydrological problems.

PALABRAS CLAVES: hietograma; distribución temporal, precipitación

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la distribución temporal de la precipitación es un asunto de primordial importancia en la solución de muchos problemas hidrológicos, como por ejemplo en el diseño de sistemas de recolección de aguas pluviales. De hecho, este problema ha despertado considerable interés en las últimas décadas debido a la expansión descontrolada de muchas ciudades Latinoamericanas y el consecuente aumento en la frecuencia de inundaciones en éstas áreas.

La distribución temporal de la precipitación es también importante en el estudio de la erosión del suelo y el potencial de inundación de ciertos tipos de tormentas. De igual forma, la comprensión adecuada del comportamiento de una tormenta a lo largo del tiempo es fundamental en el entendimiento de los procesos atmosféricos que generan la precipitación pluvial.

Esta contribución presenta el estudio de la distribución temporal de la precipitación pluvial que ocurre en la cuenca del río Virilla, Costa Rica. Esta cuenca presenta el mayor desarrollo urbano de este país y por ende concentra la mayor parte de su población. Por ello, la caracterización de la distribución temporal en esta área de Costa Rica proveerá a la comunidad de ingenieros con información de vital importancia para el análisis de la infraestructura actual así como también para la adecuada planificación y diseño de las obras necesarias de cara al futuro.

LA CUENCA DEL RÍO VIRILLA

El río Virilla drena las aguas provenientes de la zona más urbanizada de Costa Rica. En su cuenca se encuentra la ciudad de San José, capital del país, así como también las ciudades de Alajuela y Heredia. En estas tres ciudades reside actualmente más del 30 por ciento de la población de Costa Rica, es decir, cerca de 1.5 millones de personas.

La cuenca se encuentra delimitada por la confluencia de los ríos Grande y Virilla; los cuales forman el Grande de Tárcoles y que desemboca en el océano Pacífico. El límite Noreste de la cuenca lo traza la Cordillera Central hasta el cerro Cabeza de Vaca, al Sureste el Alto de Ochomogo, cerros de la Carpintera y la Fila Ventolera. Al Sur lo hace el Alto Tablazo y los cerros de Escazú mientras que al Oeste el límite lo traza la divisoria de aguas de los ríos Picagres y Chucás (Protti et al., 1983). La Figura 1 muestra el modelo de elevación digital de la zona en consideración.

El área total de drenaje del río Virilla es de 897.28 km² y tiene una elevación media de 1276 m.s.n.m. De acuerdo con Murillo Muñoz (1994) la cuenca del río Virilla difícilmente puede ser cubierta en su totalidad por un mismo evento de precipitación debido a su forma alargada. Su alto valor de densidad de drenaje (1.5 m/m²) indica que está conformada por suelos fácilmente erosionables y es una cuenca con velocidad de respuesta media a alta como lo indica la pendiente media del río (3.38%). El río Virilla por su parte tiene una longitud total de 60.7 km y puede ser clasificado como un río maduro en donde se presentan influencias tanto de montaña como de planicie por lo que en su cauce se pueden encontrar tanto tramos rectos como curvos y estar compuesto por gravas, cantos rodados y arenas.

La cuenca presenta variaciones significativas de temperatura, en donde las temperaturas mínimas se dan en las regiones montañosas de la Cordillera Central mientras que las máximas en las partes bajas como por ejemplo en las ciudades de Alajuela y Santa Ana. Las temperaturas mínimas promedio en toda la cuenca oscilan entre los 14.5°C y los 18.5°C mientras que las máximas promedio entre los 22°C y los 30°C. La temperatura promedio mensual se encuentra entre los 18.5°C y 24°C dependiendo de la época del año. Con respecto a la humedad relativa, el sector Este de la cuenca se ve afectado por la entrada de humedad proveniente del Caribe, por lo que la humedad relativa se mantiene con muy poca variación (entre 77 y 88%) a lo largo del año. Por su parte, el sector Oeste de la cuenca está más influenciado por el régimen Pacífico y por ello la variación mensual es mayor. El valor mínimo de humedad relativa es cercano al 65% en el mes de Febrero y el valor máximo es aproximadamente de 85% durante los meses de Septiembre y Octubre.

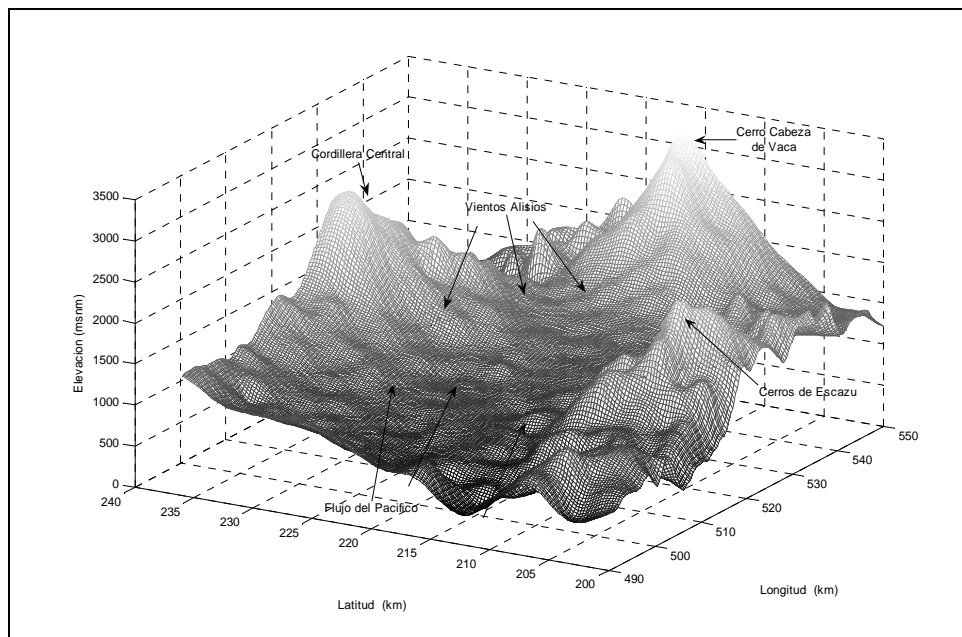


Figura 1.- Modelo de elevación digital de la cuenca del río Virilla, Costa Rica. Proyección Costa Rica Lambert Norte.

PRECIPITACIÓN Y VIENTOS

La distribución de los vientos en la cuenca del río Virilla es variada. En la época seca, comprendida entre diciembre y abril, se tiene que los vientos predominantes penetran la cuenca por el sector Este de la misma. Estos vientos son los alisios y contienen humedad proveniente del Caribe (Figura 1); su presencia durante esta época, provoca que en la mayor parte de la cuenca se presenten vientos con componente Noreste. Durante la época lluviosa (mayo a noviembre), se registra un flujo del Pacífico que penetra en la cuenca a través del cañón del río Grande de Tárcoles; este flujo se suma a los ya mencionados del Caribe, lo que viene a modificar el comportamiento del viento con componente Noreste prevaleciente en la época seca.

Los vientos con humedad proveniente del Pacífico llegan a la cuenca con una dirección predominante que varía entre Oeste y Suroeste, estos vientos descargan por orografía parte de su humedad en la Cordillera Central, ubicada en la parte Norte de la cuenca. Este flujo Pacífico enfrenta además los Cerros de Escazú, ubicados en el límite Sur, en donde descargan también parte de su humedad. Este efecto orográfico provoca una sombra de lluvia que afecta a las partes bajas de la cuenca que se encuentran a sotavento de éste flujo. Este efecto es responsable de que en las partes bajas de la cuenca se registren las precipitaciones anuales mínimas con valores inferiores a 1800 mm tal y como se aprecia en la Figura 2. Cuando el flujo Pacífico se encuentra con los alisios, se produce un frente de brisa, lo que da como resultado precipitaciones importantes. La ubicación de este frente de brisa depende de la intensidad de los flujos ya mencionados y de la época del año.

INFORMACIÓN BÁSICA

La información utilizada en esta contribución fue obtenida de la red de pluviógrafos disponible en la cuenca del río Virilla. La lista de estaciones pluviográficas utilizada junto con sus ubicaciones se detalla en la Tabla 1. La consistencia en el registro de estas estaciones fue verificada por Murillo Muñoz (1994).

En total más de 200 registros de diferentes tormentas fueron utilizados para derivar las distribuciones temporales que se presentan en esta contribución. Estas tormentas ocurrieron en el período comprendido entre 1970 y 1990. Los incrementos de precipitación para cada tormenta fueron recolectados a intervalos de 10 minutos.

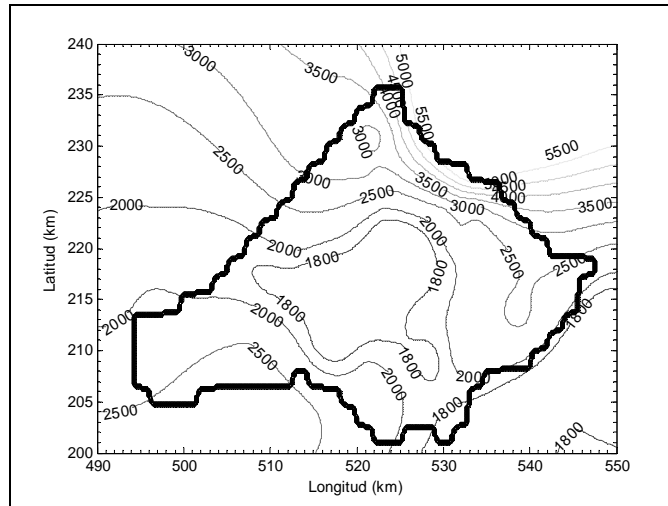


Figura 2.- Mapa de precipitación promedio anual en milímetros en la cuenca del río Virilla para el período 1970 a 1990. Proyección Costa Rica Lambert Norte.

Tabla 1.- Lista de estaciones pluviográficas.

Número	Estación	Ubicación		Elevación [m.s.n.m.]
		[Latitud]	[Longitud]	
84001	San José	09°56'	84°05'	1172
84021	A.J. Santamaría	10°00'	84°12'	932
84034	Embalse La Garita	09°57'	84°21'	460
84046	San Josecito	10°02'	84°00'	1450
84074	Aeropuerto Pavas	09°58'	84°08'	997
84075	Coop. Café, Naranjo	10°07'	84°23'	1100
84096	Sabana Norte	09°56'	84°06'	1120
84111	Santa Lucía	10°01'	84°07'	1200
84115	Sabanilla	10°01'	84°07'	1200
69505	Vara Blanca	10°10'	84°09'	1500

CURVAS MASA PROMEDIO

El método tradicional para obtener una distribución temporal de diseño es el de determinar curvas masa promedio con base en todas las tormentas analizadas. La curva promedio de cada estación pluviográfica fue utilizada para investigar la aplicabilidad de esta metodología.

La Figura 3 presenta las curvas masa adimensionales de cada estación en donde la precipitación se expresa como un porcentaje de su valor total y el tiempo como un porcentaje de la duración total de la tormenta. A grandes rasgos, la Figura 3 indica que no existe un comportamiento típico para las tormentas que se producen en la cuenca del río Virilla. Sin embargo, las curvas muestran que cerca del 90% de la precipitación ocurre en la primera mitad de la tormenta. El restante 10% precipita en la segunda mitad como una lámina de intensidad uniforme. Esta lámina se refleja como una línea recta en la parte superior de la "S" que describen las curvas masa.

La Figura 3 sugiere además que la distribución temporal de la lluvia en la cuenca del río Virilla presenta variaciones espaciales importantes. Por ello, una única curva de masa promedio no es representativa de la situación de la cuenca así como tampoco adecuada como patrón temporal de diseño. Es evidente que para caracterizar la distribución temporal de las lluvias en la cuenca del río Virilla es necesario considerar la variación espacial de la distribución temporal de la lluvia.

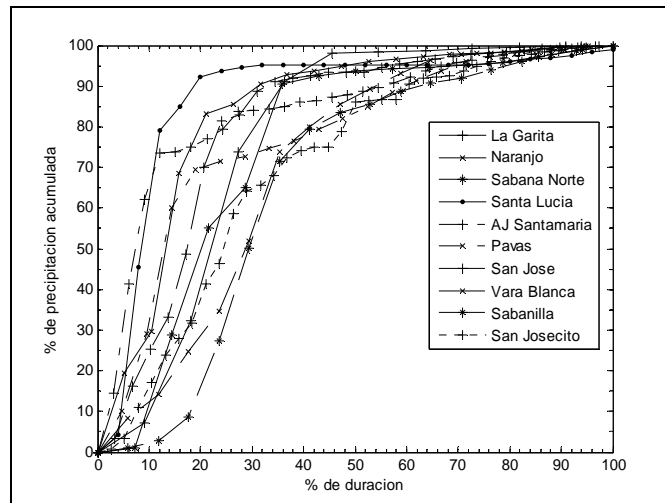


Figura 3.- Curvas de masa adimensionales de las tormentas.

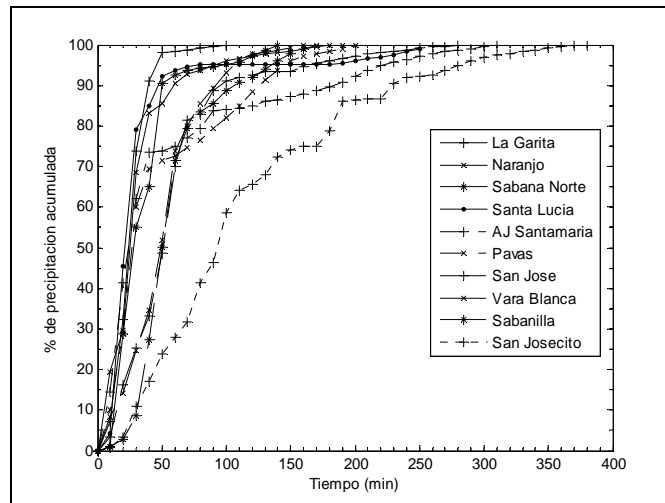


Figura 4.- Curvas de masa promedio de las estaciones consideradas.

DISTRIBUCIONES TEMPORALES CARACTERÍSTICAS

El desarrollo de una única curva masa promedio para la cuenca del río Virilla no representa adecuadamente los patrones temporales existentes en esa cuenca, tal y como se indicó en la sección anterior. Estos patrones temporales se muestran en la Figura 4. En esta figura se pueden distinguir cuatro tipos de distribuciones temporales, las cuales se muestran con mayor claridad en la Figura 5.

El primer tipo de distribución observado en la cuenca del río Virilla corresponde a tormentas con intensidades altas (Figura 5a). Valores mayores 180 mm/hr para una duración de 5 minutos y un período de retorno de 10 años se pueden esperar en este tipo de distribución (Murillo Muñoz, 1994). En esta distribución más del 50% de la precipitación total ocurre en los primeros 30 minutos de la tormenta mientras que cerca del 90% en los primeros 40 a 50 minutos. Este tipo de distribución se encuentra en las estaciones La Garita, Naranjo, Sabana Norte y Santa Lucía tal y como se presenta en la Figura 5a. Adicionalmente, la Figura 6a presenta los hietogramas característicos correspondientes a las mencionadas estaciones. Como se puede apreciar en esta figura, los incrementos de precipitación a cada 10 minutos sobrepasan el 40 %. Así mismo, la figura sugiere que el evento principal de lluvia tiene una duración menor de una hora, luego de la cual se dan incrementos de precipitaciones menores al 5%. La duración total de la tormenta en estas estaciones es de aproximadamente 3 horas.

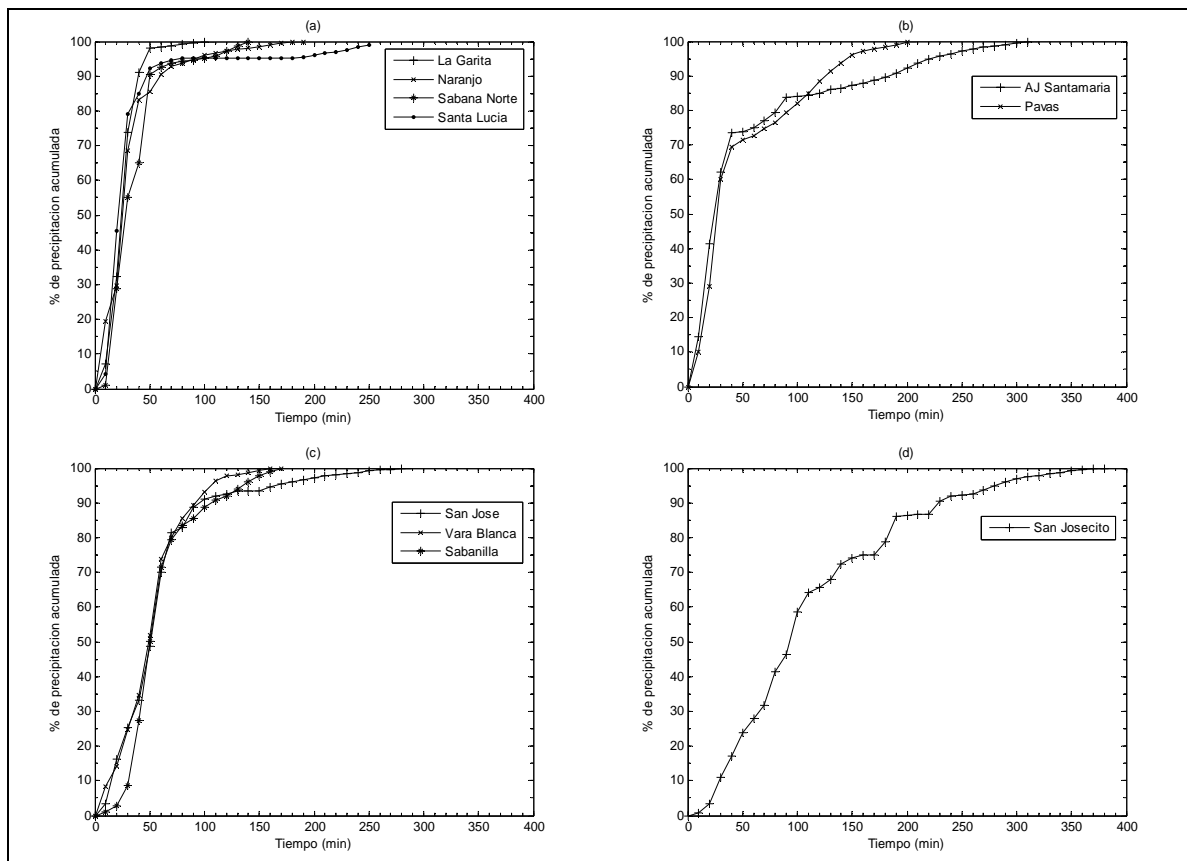


Figura 5.- Distribuciones temporales características. (a) De intensidades altas. (b) De transición. (c) De intensidades medias. (d) De intensidades bajas.

El segundo tipo de distribución temporal esta representado por las estaciones A.J. Santamaría y Pavas (Figura 5b). En este grupo, denominado de transición, se dan intensidades altas al inicio de la tormenta con cerca del 50% de la precipitación ocurriendo en los primeros 30 minutos. Este comportamiento es similar al observado en la distribución anterior. El hietograma característico de estas estaciones (Figura 6b) indica además que los incrementos de precipitación en 10 minutos son menores al 35% de la precipitación total. En forma similar a la distribución anterior, el evento principal de lluvia ocurre en los primeros 50 a 60 minutos con intensidades que pueden superar los 180 mm/hr en 5 minutos y 10 años de periodo de retorno. Sin embargo, pasado este tiempo solamente el 70% de la precipitación total ha ocurrido y el restante 30% de la lluvia precipita en los siguientes 150 a 200 minutos, esta condición da origen a una segunda fase en la tormenta como se aprecia en la Figuras 6b. Durante esta segunda fase la intensidad de la lluvia disminuye considerablemente y los incrementos de precipitación en cada intervalo es menor al 5%.

Las estaciones de San José, Vara Blanca y Sabanilla son ejemplos del tercer tipo de distribución temporal registrada en la cuenca del río Virilla. Esta distribución se caracteriza por tener intensidades medias (160 mm/hr en 5 minutos y 10 años de periodo de retorno) en donde el 50% de la precipitación se da en los primeros 50 minutos mientras que el siguiente 40% en un periodo similar de tiempo (Figura 5c). La precipitación en cada intervalo es menor al 25% y la duración del evento principal de la tormenta llega a alcanzar las 3 horas, tal y como se aprecia en la Figura 6c.

Finalmente el cuarto tipo de distribución temporal se caracteriza por intensidades bajas. Las intensidades para 5 minutos en 10 años de periodo de retorno tienen valores cercanos a los 150 mm/hr. En esta distribución temporal el 50% de la lluvia precipita en los primeros 90 a 100 minutos mientras que el 90% en aproximadamente 230 minutos (Figura 5d). Los porcentajes de precipitación a intervalos de 10 minutos no sobrepasan el 15% tal y como se observa en la Figura 6d. En este tipo de distribución no se aprecia un evento principal y la duración total de la tormenta

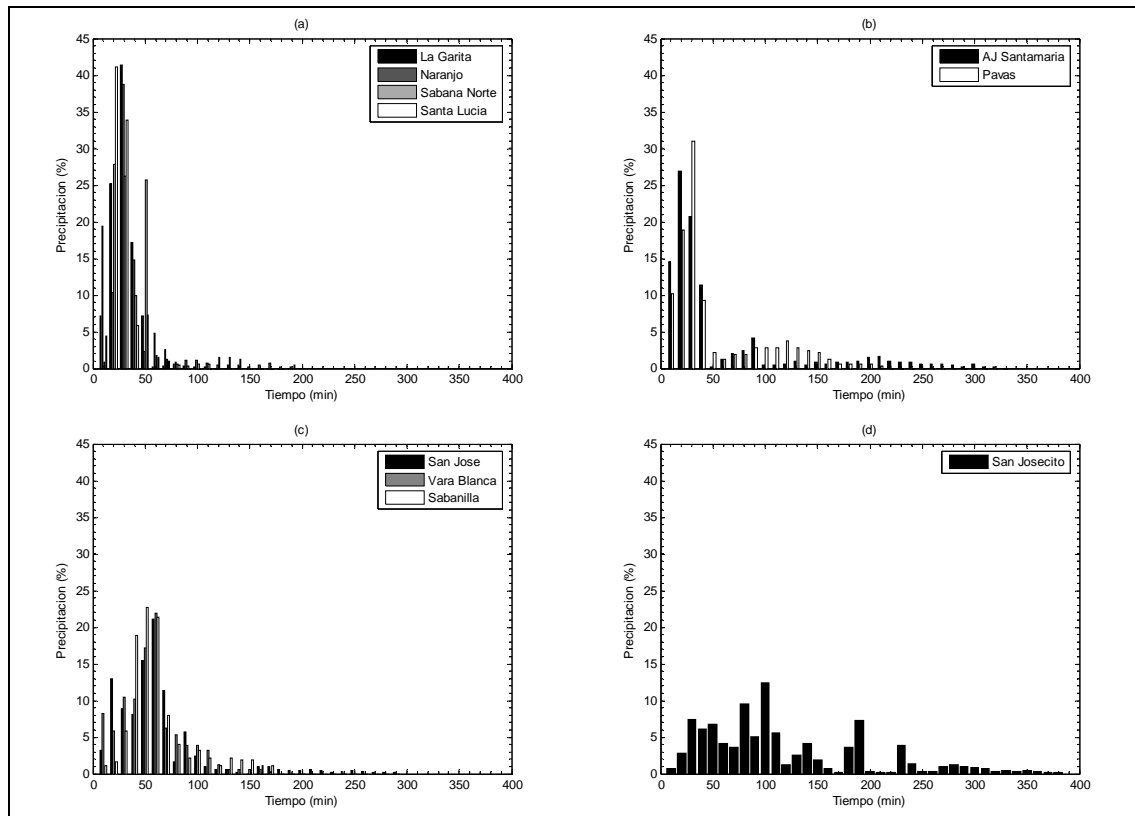


Figura 6.- Hietogramas característicos de las diferentes estaciones. (a) Embalse La Garita, Coop. Café Naranjo, Sabana Norte y Santa Lucía. (b) A.J. Santamaría y Aeropuerto Pavas. (c) San José, Vara Blanca y Sabanilla. (d) San Josecito.

sobrepasa las 6 horas. Esta es la distribución típica de eventos ocasionados por los vientos alisios provenientes del Caribe.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los cuatro tipos de distribución temporal discutidos anteriormente están influenciados en gran medida por los vientos predominantes en la cuenca. Las estaciones de Embalse La Garita, Santa Lucía, Sabana Norte y Coop. Café Naranjo, las cuales indican altas intensidades de lluvia, reciben la influencia directa de los vientos provenientes del Pacífico. Estos vientos llegan a la cuenca a través del cañón del Grande de Tárcoles. La Cordillera Central y los Cerros de Escazú fuerzan a este flujo del Pacífico a ascender rápidamente, lo cual junto con las temperaturas cálidas del área y el albedo de la mancha urbana, producen un fenómeno de tipo convectivo que da origen a las altas intensidades de precipitación registradas en las mencionadas estaciones.

El efecto convectivo mencionado anteriormente es también responsable por las altas intensidades registradas en las estaciones de A.J. Santamaría y Aeropuerto Pavas. Sin embargo, estas estaciones reciben también la influencia directa de los vientos alisios y por ende, éstos vientos ejercen su influencia en la distribución temporal de estas estaciones. Esta influencia es responsable por la segunda fase de precipitación observada en estas dos estaciones.

Las estaciones de San José, Vara Blanca y Sabanilla son ejemplos de la distribución temporal que caracteriza el frente de brisa que ocurre en la cuenca del río Virilla. Este frente de brisa se forma por el choque del flujo del Pacífico y los vientos alisios provenientes del Caribe. La confluencia de estos dos flujos da origen a un patrón temporal de lluvia que asemeja una distribución normal sesgada hacia la derecha. Sin embargo, esta característica debe ser estudiada como más detalle.

Por otra parte, la estación San Josecito es un típico ejemplo de las zonas de la cuenca del río Virilla bajo la influencia de los vientos alisios. Estos vientos traen humedad del mar Caribe y los eventos provenientes de esta región se caracterizan por su baja intensidad pero larga duración. Esta distribución también se presenta durante los temporales que afectan ocasionalmente a la cuenca del río Virilla y que pueden abarcar gran parte de la misma.

Finalmente, el área de influencia de cada una de las distribuciones temporales mencionadas anteriormente se encuentra delineada en la Figura 7. Esta demarcación se realizó con base en el análisis detallado de la precipitación y los vientos predominantes en la cuenca. Esta zonificación permite la escogencia adecuada de la distribución temporal a utilizar en un proyecto específico. Sin embargo, esta delimitación es preliminar y el lector debe ser juicioso a la hora de utilizar esta información pues la ubicación de las zonas de influencia varía con la intensidad de los flujos de viento y la época del año.

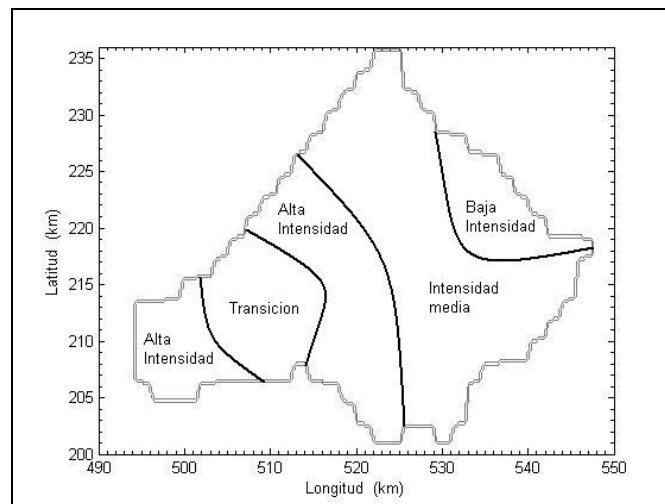


Figura 7.- Delimitación preliminar de las zonas de influencia de cada distribución temporal de la cuenca del río Virilla. Proyección Costa Rica Lambert Norte.

CONCLUSIONES

La cuenca del río Virilla tiene la mayor concentración de población en Costa Rica e incluye tres de las principales ciudades de este país. A pesar de ser una cuenca con menos de 900 km² la cuenca presenta por lo menos cuatro distribuciones temporales. Estas distribuciones dependen de las áreas de influencia de los vientos del Pacífico y los alisios del Caribe.

Por sus características de elevación y clima, dentro de la cuenca del río Virilla se presenta un fenómeno convectivo que da origen a precipitaciones intensas en aquellas zonas que reciben la influencia directa del flujo Pacífico. En estas zonas se da el primer tipo de distribución temporal.

Por otro lado, las mismas características geomorfológicas permiten también el ingreso de los vientos alisios que traen humedad desde el Caribe costarricense. Esta humedad precipita por efectos orográficos y su patrón de lluvia es de bajas intensidades pero larga duración, el cual constituye el segundo tipo de distribución temporal.

El tercer tipo de distribución temporal ocurre al converger el flujo del flujo del Pacífico con los vientos alisios, fenómeno que da origen al denominado frente de brisa. Las precipitaciones que ocurren en la zona de influencia de este frente de brisa tienen una distribución temporal más distribuida en el tiempo y que asemeja una distribución normal. Las intensidades de lluvia producidas bajo esta distribución tienen valores medios.

Finalmente, el cuarto tipo de distribución temporal se da en aquellas zonas que inicialmente son afectadas por el flujo Pacífico por lo cual reciben precipitaciones intensas, pero que sin embargo, son también afectadas por los vientos alisios una vez que el flujo Pacífico se debilita. En

estas zonas por ello, se da una segunda fase en los eventos de precipitación la cual se caracteriza por intensidades bajas.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), al Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN) y la Universidad de Costa Rica (UCR) la anuencia desinteresada a facilitar la información utilizada en esta contribución.

REFERENCIAS

Murillo Muñoz, R.E. (1994). “Estudio de Intensidades de Lluvia en la Cuenca del Río Virilla”. Proyecto Final de Graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

Protti, E. et al. (1983). *El Sistema Fluvial del Tárcoles*. Imprenta Nacional, San José, Costa Rica.