

## MARCA DE CRECIENTE EN UN TRAMO CARAQUEÑO DEL RÍO GUAIRE

L. G. HIDALGO Y J. A. HIDALGO

Ingenieros en Ejercicio Independiente  
P.O.Box 54611, Ipostel Plaza Venezuela, Caracas, Venezuela  
Email: hidalgoplaza@yahoo.com, iesus@cantv.net

Recibido: marzo de 2006

Recibido en forma final revisado: abril de 2007

### RESUMEN

Los autores presentan y analizan fotografías de marcas de nivel máximo dejadas por las aguas de una gran creciente del río Guaire el 8 de febrero de 2005 cerca de Plaza Venezuela (Caracas, Venezuela). El aplastamiento de la vegetación contra el cauce ayudó a definir los máximos de nivel de agua. Durante el pico de la creciente el río parece haber cambiado de afluente a efluente. La información presentada es básica para investigaciones futuras relacionadas con el río. El patrón satelital de nubes quedó especificado y documentado.

*Palabras clave:* río, creciente, afluente, efluente.

### WATERMARKS IN A STRETCH OF THE RIVER GUAIRE IN CARACAS

#### ABSTRACT

As main issues, the authors present pictures of maximum watermarks produced by a high rise of the Guaire River near Plaza Venezuela (8 Feb 2005, Caracas, Venezuela). As in other cases, the deformation of vegetation by the pressure of the water helps to define the marks. During the maximum stage the river seems to change regime from affluent to effluent. The satellite cloud pattern was reported.

*Keywords:* river, rise, affluent, effluent.

### INTRODUCCIÓN

Desde las grandes crecientes del año 1999 en Venezuela, se ha hecho común la observación de los ríos después que ocurren las crecientes con la finalidad de estimar el máximo nivel alcanzado por el agua en las riberas. En oportunidades, la presencia de observadores permite identificar algunos puntos de referencia, en otros casos la observación directa no es posible o no hay observador. Como una de las tareas de los ingenieros es la inspección de daños causados por eventos naturales en la infraestructura, en el presente caso se hizo una revisión de las riberas del río Guaire cerca de Plaza Venezuela (Caracas) después de la creciente del martes 8 de febrero de 2005. En la figura 1 se presenta la ubicación relativa de Caracas al sur del Mar Caribe.

La observación del cauce mostró un aplastamiento de la vegetación que crece por encima de la sección de piedra y concreto. En la figura 2 se presenta un croquis de la cuenca hidrográfica en estudio (419 km<sup>2</sup>). En la figura 3 se muestra

un plano del tramo fluvial en observación. Debido tanto al gran tamaño vertical del cauce como a lo empinado de los taludes no se pudo hacer levantamiento métrico completo de todo el tramo, por lo que se decidió usar fotografías. En esa figura, desde el Puente PV-UCV hasta el tubo de agua hay 125 m y AB representa la traza de una sección transversal del cauce antes de la curvatura.

El río Guaire, después de Plaza Venezuela, sigue rumbo general SE hasta caer en el río Tuy.

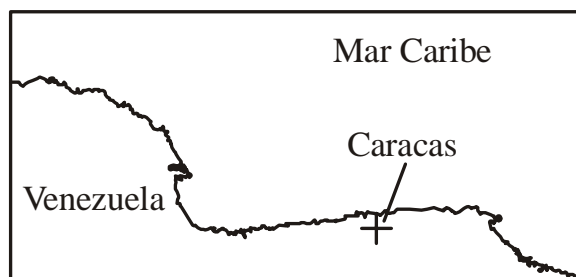
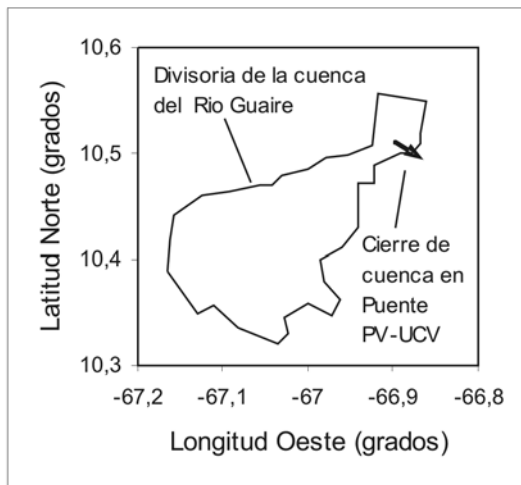
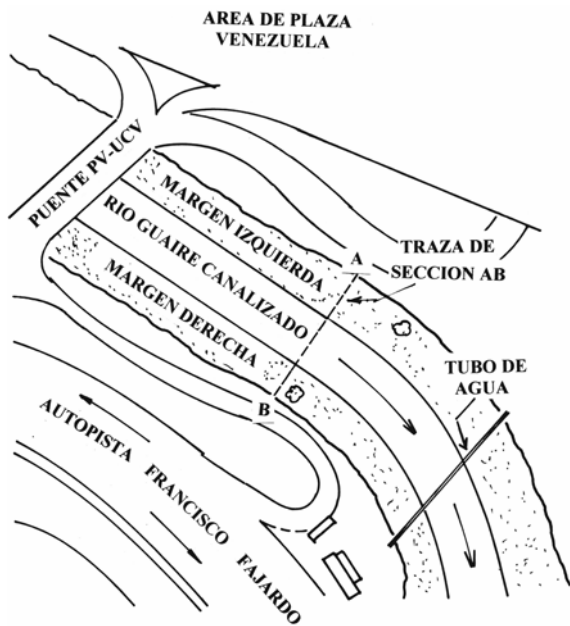


Figura 1. Ubicación relativa de Caracas.



**Figura 2.** Croquis de la Cuenca del río Guaire cerrando en el puente entre Plaza Venezuela (PV) y la Universidad Central (UCV). 419 km<sup>2</sup>.



**Figura 3.** Croquis del tramo fluvial estudiado.

## OBJETIVO

El objetivo principal del trabajo es la determinación de la cota y el caudal de flujo del río Guaire en una sección cerca de Plaza Venezuela (Caracas) al momento del pico de creciete del martes 8 de febrero de 2005.

## METODOLOGÍA

Se incluyó recopilación y análisis de datos de lluvias como primer paso, luego se trató la creciete y el caudal máximo. Se usó el análisis fotográfico de las marcas de creciete

dejadas por el flujo de agua en la vegetación. La forma y geometría de una sección transversal se obtuvieron mediante análisis de fotos, mediciones en el sitio y estudio de mapas y planos topográficos. El caudal se determinó en primera aproximación con la fórmula de Manning y el método Monte Carlo.

## LLUVIAS

Desde el lunes 7 hasta el martes 8 de febrero de 2005 ocurrieron lloviznas y lluvias en la zona centro norte de Venezuela; algunas lluvias fueron muy intensas y en la cuenca del Guaire produjeron al menos una creciete notoria por el alto nivel de las aguas en el cauce que en algunos tramos sobrepasaba la canalización e inundaba calles (martes 8 de febrero de 2005 5:27 PM HLV). HLV es Hora Legal de Venezuela referida a 60°W (UTC = HLV + 4).

En la tabla 1 se presentan datos horarios de cantidad de lluvia en mm de estaciones cerca de los límites de la cuenca. La observación de esta tabla permite determinar que el lapso de mayor intensidad de lluvia va desde las 12 M hasta las 3 PM HLV del día martes 8 de febrero de 2005.

**Tabla 1.** Espesores de lluvia en algunas estaciones del área (martes 8 Feb 2005).

Lapsos 8 Feb 2005	Ávila Los Venados	Caracas Caurimare	Naiguatá Litoral
HLV-HLV	mm	mm	mm
10-11	0.4	0.1	0.2
11-12	0.8	2.7	8.9
12-13	29.6	8.4	30.9
13-14	6.3	2.9	28.0
14-15	5.1	10.3	8.4
15-16	1.2	8.6	10.2
16-17	0.1	4.1	4.8
17-18	0.2	2.1	4.6

Para confirmar que las lluvias abarcaron gran parte de la cuenca, en las figuras 4-7 se presentan vistas satelitales de la región donde se encuentra la cuenca, es decir, Región Centro Norte de Venezuela. Esas figuras son cortes de figuras mayores obtenidas vía Internet durante las lluvias por cortesía de Joint Office for Science Support/UCAR (JOSS/UCAR). En dichas figuras, las áreas claras representan toques fríos de nubes y las áreas oscuras representan superficies tibias de aguas o de suelos. Entre las 16:10 UTC (02:10 PM HLV) y las 18:38 UTC (02:38 PM HLV) no hubo imagen del GOES-12 ni en la Web PACS Venezuela de JOSS/UCAR ni en la Web de satélites geo-estacionarios de la NASA. Esta falta de imagen impide obtener una visión exacta del

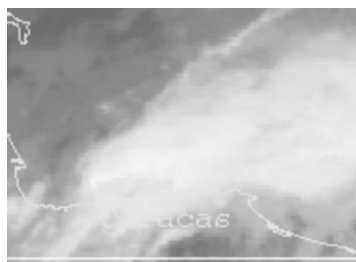
lento (casi estacionario) movimiento del sistema nuboso de bandas NE a SW productor de las lluvias. La casi estacionalidad de la banda de nubes produjo grandes espesores de lluvia en tiempos de 1 hora, por ejemplo, de 12 M a 1 PMHLV.



**Figura 4A.** Vista satelital original del área de estudio a las 15:39 UTC GOES-12 Canal IR04 (11:39 HLV) infrarrojo térmico. 8 Feb 2005. Cortesía de *Joint Office for Science Support/UCAR*.



**Figura 4B.** Ídem figura 4B, pero contrastada para mejor visualización.



**Figura 5A.** Ídem figura 4A para las 16:09 UTC.



**Figura 5B.** Ídem figura 4B para las 16:09 UTC.



**Figura 6A.** Ídem figura 4A para las 18:39 UTC.



**Figura 6B.** Ídem figura 4B para las 18:39 UTC.



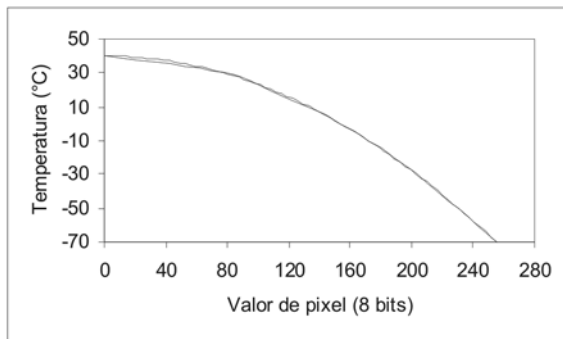
**Figura 7A.** Ídem figura 4A para las 19:09 UTC.



**Figura 7B.** Ídem Fig. 4B para las 19:09 UTC.

En la figura 8 se presenta la curva de calibración de los píxeles originales de las figuras 4A, 5A, 6A, 7A. En esas figuras, el tono blanco se usa para la menor temperatura de la escala de grises (-70°C. Píxel de valor 255) y el negro se

usa para la mayor temperatura de la escala (40°C, Píxel de valor 0). Entre el blanco y el negro hay una escala no lineal de gradación de grises (8 bits) indicada en la figura 8. En los alrededores de Caracas, los tonos de grises van desde 188 hasta el 217 que equivalen a temperaturas entre -20°C y -40°C que, por estar por debajo de 0°C, implican superficies de cristales de hielo. Como el satélite está haciendo las mediciones desde arriba se concluye que el tope de las nubes está formado por hielo muy frío. Debido a que la forma de las nubes no es de tipo convectivo, entonces esas nubes podrían provenir de influencia de masas de aire de regiones muy frías como la ártica.



**Figura 8.** Curva de calibración del canal IR04 del Satélite GOES-12.

Las figuras 4B, 5B, 6B y 7B contienen sectores contrastados para visualizar algunos detalles de la cobertura de nubes pero en ellas se ha perdido la calibración original. La figura 8 no se aplica a estas figuras.

Las lluvias cesaron hacia el momento reflejado en la figura 7 debido a la división de la banda de nubes en dos bandas aproximadamente paralelas quedando Caracas dentro de un cielo menos nublado. La ausencia de los sondeos atmosféricos verticales locales, ya sea por medio de radiosonda o por medio de perfiladores de viento, impide el análisis de este fenómeno atmosférico con mayor profundidad científica.

## CRECIENTE

El martes 8 de febrero de 2005 al final de la tarde, después de horas de lluvia intensa, las aguas del río Guaire alcanzaban niveles muy altos. Diversos periódicos venezolanos como El Universal, El Nacional y Ultimas Noticias, presentaron al día siguiente miércoles 9, en primera plana, fotografías de las superficies del flujo de agua; pero no se indican las horas de las fotografías. La oficina de reporteros de El Universal indicó las 5:27 p.m. como hora aproximada de sus fotos. Una inspección del cauce del río Guaire entre Plaza Venezuela y la Universidad Central de Venezuela(UCV) del siguiente día miércoles 9, no indicaba daños mayores en el cauce, sin embargo, la vegetación tipo gramínea mostraba

notorio aplastamiento y direccionamiento causado por la presión dinámica del agua. Debido a que el acceso al tramo es difícil para el uso de instrumentos de mediciones topográficas finas, se decidió usar fotografía para registrar la marca de creciente. Con GPS y una cinta métrica se hicieron algunas mediciones adicionales. Las mencionadas fotos de la prensa muestran ríos muy turbulentos.

## FOTOGRAFÍAS

Las fotografías de las marcas se realizaron el día sábado 12 de febrero 2005, cuatro días después de la creciente, entre 10:30 y 11:45 am HLV, con una cámara de film 35 mm y película a color. En la figura 9 se muestra el puente desde donde se observó, en el día 9, el estado de la vegetación y desde donde se tomaron diversas fotografías del recorrido del flujo de agua.



**Figura 9.** Puente PV-UCV visto desde el tubo de agua hacia el oeste. Se usó cámara digital el día 15 feb. 2006, casi un año después de la creciente.

En la figura 10 se puede observar el aspecto general del tramo fluvial estudiado, aguas abajo del puente de la figura 9. Obsérvese al fondo una gran tubería de agua potable de 60 pulgadas de diámetro de Hidrocapital. Esta tubería permitió estudiar algunos aspectos geométricos de la fotografía. Esta tubería no aparece en los planos topográficos y mapas usados. Detrás de la tubería hay una pasarela. El extremo izquierdo de la tubería está hacia el Norte y el derecho hacia el Sur. Se observan en las márgenes las marcas del pico de creciente como una especie de límite entre pasto normal y pasto aplastado. Hacia el área del fondo de la foto la marca era muy visible.



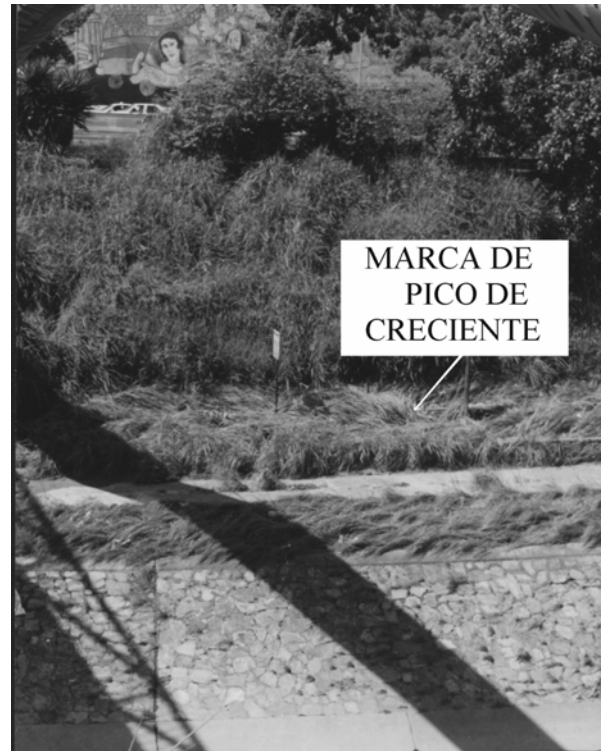
**Figura 10.** Vista general del cauce del río Guaire aguas abajo de Puente PV-UC, después de la creciente del 8 febrero 2005. Foto del 12 Febrero 2005.

La figura 11 presenta un área cerca de NE de las bases del puente a la margen izquierda que muestra con detalles la deformación de la vegetación en el sentido del flujo de agua. El tipo de gramínea resultó lo suficientemente arraigada para que el flujo de agua no la arrancara. En planos disponibles se pudo interpolar una cota de pico en el orden de 860 msnm. El fondo del cauce permanece casi siempre cubierto por flujo de agua desde hace muchos años y no es posible determinar con exactitud la forma del cajón de centralización de flujo.



**Figura 11.** Marca de creciete cerca del puente PV-UCV (Margen izquierda, Norte) dejada por la creciete del 8 Feb. 2005 5:27 PM HLV. Foto del 12 Feb. 2005.

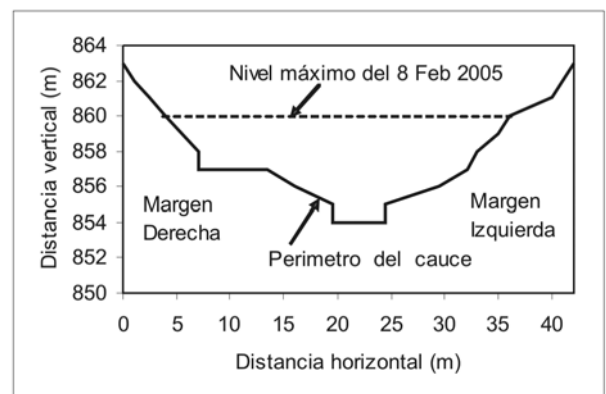
Como se puede notar en la figura 11, la marca de pico de creciete es notable cerca del tope del canal de entrada; además, algunos vástagos de la hierba quedaron dirigidos hacia la derecha de la foto, hacia aguas abajo. Por encima de la marca pico, la vegetación no presenta deformación; no hubo flujo de agua por encima de esa marca. El tono claro de algunas partes de la hierba quebrada, se debe al desecamiento por el Sol, desde el día 8 de febrero (día de la creciete), al día 12 de febrero de 2005, día del registro fotográfico. Casi todo el tramo presentaba aplastamiento de vegetación, direccionamiento de vástagos y cambio de color en los quiebres. La figura 12 muestra la marca de creciete en otro lugar. De nuevo existe separación entre vegetación normal y vegetación aplastada abajo.



**Figura 12.** Marca de creciete cerca del tubo de agua (Margen derecha, Sur) dejada por la creciete del 8 Febrero 2005 5:27 PM HLV. Foto del 12 Feb. 2005.

### SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CAUCE

Uno de los objetivos de algunas tomas fotográficas era la definición de un perfil transversal de cauce de forma que permitiera cuantificar la altura del tirante de agua del máximo o pico de creciete, según las marcas en la vegetación. Por ello, se usó la baranda del puente y un pequeño nivel de burbuja para nivelar la cámara durante la toma fotográfica de forma que el rayo central estuviera en la horizontal. Con ayuda de esas fotos, mapas, planos y de mediciones con cinta métrica y GPS se determinó parte de la geometría de la figura 13.



**Figura 13.** Sección transversal AB del Río Guaire aguas abajo del Puente PV-UCV, durante el pico de creciete del 8 Feb 2005 5:27 PM HLV.

Los principios de evaluación de este tipo de fotos han sido desarrollados por Hidalgo (1993) en base a la geometría de la cámara y algún cuerpo, como el tubo de agua, que permita establecer escalas. La posición de la sección AB ya ha sido presentada en la figura 3.

### CAUDAL EN EL PICO DE CRECIENTE

Para el cálculo del caudal en el momento del pico de creciente de la figura 13, como primera aproximación se usó la fórmula de Manning (Chow, Maidment y Mays, 1994) (tabla 2).

**Tabla 2.** Valores para aplicar la formula de Manning.

A= Área de sección mojada: 114.3 m <sup>2</sup>
P = Perímetro mojado: 36.0 m
S = Pendiente del cauce: 0.002777
Número de Manning (concreto): 0.012
Número de Manning (planicie, matorrales): 0.050
Número de Manning (Piedra): 0.023
n = Número de Manning promedio adoptado: 0.0283
Q = Caudal = $(1/n)A(A/P)^{2/3} S^{1/2}$ m <sup>3</sup> /s

El número de Manning promedio mencionado en la tabla 2 se obtuvo mediante promedio aritmético para lograr un estimado preliminar del caudal. El estudio detallado del tipo de superficie del cauce no se incluyó en el presente trabajo; sin embargo, las superficies del cauce son de cemento, piedras, hierbas, arbustos y ocasionalmente árboles. Con esta información se buscaron los números de Manning indicados por la bibliografía y se promediaron para obtener 0.0283, algo menor que vegetación natural y algo mayor que concreto puro. Para calcular el error debido a la incertidumbre en el número 0.0283 se colocó una variación aleatoria pequeña de  $\pm 20\%$  en dicho número (Método Monte Carlo).

Con ayuda de la tabla 2 y el método Monte Carlo se calculó un caudal de  $460 \pm 113$  m<sup>3</sup>/s con una superficie libre de 6 m sobre el fondo. Este valor representa el 38% del caudal que se obtendría para un tirante de agua de 9 m sobre el fondo en la cota máxima del canal de 863 msnm. Este caudal es de  $1210 \pm 239$  m<sup>3</sup>/s. Además, el caudal obtenido de 460 m<sup>3</sup>/s es el 42% del caudal máximo probable para la cuenca del Guaire en Los Caobos (cerca de Plaza Venezuela) que es de 1100 m<sup>3</sup>/s (Álvarez, *et al.*, 1968).

### INSPECCIÓN DEL CAUCE EN EL AÑO 2006

Entre el 9 Feb. 2005 y el 21 Feb. 2006 se hicieron inspecciones al tramo en estudio para verificar el estado del cauce. El 21 Feb. 2006 se observó la vegetación de las riberas y se tomaron fotografías similares a las figuras 10 y 11 para producir las figuras 14 y 15. La vegetación relacionada con

la marca de creciente creció de nuevo y no se observan marcas tan pronunciadas como las observadas el 9 Feb. 2005. Parte del canal ha sido reparado con nuevas capas de cemento (figura 14).



**Figura 14.** Ídem figura 10 para el 21 de Feb. 2006. Se usó cámara digital. Hora 3:34 PM HLV.



**Figura 15.** Igual a la figura 11 para el 21 de febrero de 2006, 3:36 PM HLV. Obsérvese que la cubierta de cemento ha sido reparada y que la vegetación es normal.

### DISCUSIÓN

Hasta el presente estado de la exposición, los resultados obtenidos presentan un interés de Ingeniería porque dan indicación del caudal o magnitud de la creciente; sin embargo hay dos aspectos que necesitan mayor discusión para el tramo estudiado.

Primero, el caudal de 460 m<sup>3</sup>/s, posiblemente subestimado por el método de Manning, se encuentra por debajo del máximo que puede soportar el río. El segundo aspecto a considerar que viene a ser el motivo principal de la presente exposición es que el nivel máximo alcanzado por el río en

varias partes del tramo estudiado coincide con el límite superior de los desagües (colectores) que llegan al Guaire. Esto implica que el río pudo pasar de afluente receptor de aguas laterales de drenajes subterráneos a efluente dador de agua a los colectores. En otras palabras, existe la posibilidad que el río Guaire usara los colectores para drenar agua permaneciendo la cota máxima de creciente por debajo de la cota máxima de colectores (860 msnm). Algunas inundaciones de avenidas y calles pueden haber sido causadas por el propio río a través de la vía inversa de drenaje. Este fenómeno amerita el desarrollo de dispositivos que impidan que el río, al alcanzar la cota máxima de los colectores que le llegan pueda introducir flujo en forma efluente.

## CONCLUSIÓN

La metodología aplicada produce, para la creciente del 8 Feb 2005 5:27 PM HLV del río Guaire, en una sección transversal cerca del gran tubo de agua (Hidrocapiatal) de Plaza Venezuela, un caudal de 460 m<sup>3</sup>/s que corresponde a una cota de 860 msnm y un espesor de agua sobre el fondo del cauce de 6 m. Este caudal representa el 38% del caudal máximo que puede soportar la sección estudiada con una cota de 863 msnm. y un espesor sobre el fondo de 9 m. Entonces, la creciente en esa sección no presentó riesgos de inundación por desborde del flujo de agua hacia el exterior del cauce.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los periodistas y fotógrafos del diario El Universal, particularmente al Lic. Juan Francisco Alonso, por la información sobre la ocurrencia de una creciente del Guaire. Esta información inició la colecta de datos sobre el fenómeno y la determinación precisa de la geometría del cauce del río. Específicamente se agradece la indicación de la hora del pico (5:27 PM del 8 de febrero de 2005), la cual es importante para el conocimiento de la Hidrología del Guaire. Sin el Atlas del Valle de Caracas, publicado por la UCV (Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica), habría sido casi imposible la realización del presente trabajo. Se agradece al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN, Caracas), el suministro de datos de cantidad de lluvia con los cuales se preparó la tabla 1.

## REFERENCIAS

ÁLVAREZ, R. J., SANCHEZ, F. K., KLANKE A., GUERRA, A. A., CONVIT, R. (1968). *Atlas climatológico e hidrológico de la cuenca hidrográfica del Valle de Caracas*. Ediciones de la Biblioteca UCV-Caracas.

CHOW, VEN T., MAIDMENT, D. R. & MAYS, L. W. 1194. *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill. Bogotá.

HIDALGO, LUIS G. (1993). Features of smoke plume determined from successive photographs. *Meteorolo Mag*, 122 (1454): pp.218-250.