

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

**APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE FOTOINTERPRETACIÓN,
MODELAMIENTO HIDROLÓGICO Y SIG EN UN ESTUDIO DE
HIDROLOGÍA URBANA EN LA SIERRA ECUATORIANA**

Fernando Oñate - Valdivieso

Área de Hidrología, Universidad Técnica Particular de Loja
Campus San Cayetano, calle Marcelino Champagnat s/n, Loja - Ecuador
fronate@utpl.edu.ec fronate.v@gmail.com

RESUMEN:

Desde el punto de vista hidrológico el cambio de uso de suelo se ve reflejado en la respuesta que una cuenca hidrográfica presenta ante eventos extremos de precipitación. En el presente trabajo se pretende analizar la variación de la respuesta hidrológica de una cuenca al aumento de uso urbano en ella, combinando técnicas de fotointerpretación, Sistemas de Información Geográfica y Modelamiento Hidrológico.

ABSTRACT:

From the hydrologic point of view the change of the use of soil is reflected on the answer that a basin hydrographic presents in extreme precipitations events. The present work tries to analyze the variation of the hydrologic answer of a basin in the increase of urban use in it combining technical of photo-interpretation, geographic information systems and hydrologic simulation.

PALABRAS CLAVES: Fotointerpretación; modelo hidrológico; SIG

INTRODUCCIÓN

El cambio de uso de suelo en una cuenca hidrográfica repercute notablemente en la respuesta que ella presenta ante un evento extremo de precipitación. El continuo crecimiento de los centros urbanos produce un constante cambio del uso de suelo en las cuencas hidrográficas de las que forman parte, provocando el aumento de áreas impermeables en las que la retención superficial del agua proveniente de la precipitación es casi nula. Este aumento de la impermeabilidad se ve reflejado en la disminución de los tiempos de concentración de la cuenca, en la forma del hidrograma y en la magnitud de los caudales de crecida.

Varias ciudades en el Ecuador han experimentado un acelerado crecimiento, que se pone de manifiesto en un notable incremento del área urbanizada en los últimos años. Una de esas ciudades es Loja, capital de la provincia del mismo nombre ubicada al sur de la República del Ecuador y fronteriza con el Perú. El presente estudio pretende realizar el análisis que la influencia que este crecimiento ha tenido en los eventos extremos de caudal, para ello se realizará el análisis multitemporal de la variación de superficie urbana a partir de fotografías aéreas, para con datos de precipitación y aplicando el modelo HEC – HMS se generar caudales de crecida para diversos escenarios de cobertura y se evaluar el efecto que dichos caudales tendrían en las zonas aledañas a las riveras de los ríos en varios lugares de interés. El procesamiento e la información espacial se realizará aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realiza en la ciudad de Loja, ubicada a 4° de latitud sur, en una zona limítrofe con el Perú. La ciudad tiene una extensión aproximada de 2500 Ha y cuenta con una población de 130 000 habitantes. La ciudad ocupa la parte media de la subcuenca inicial del río Zamora, con un área de 20 000 Ha hasta el punto de interés. El caudal medio del río Zamora al atravesar la ciudad de Loja es de es de 4 m³/s, con períodos de estiaje entre los meses de mayo a septiembre y pudiendo presentar caudales de crecida importantes en la temporada lluviosa. La cuenca posee una altura media de 2400 msnm, una pendiente media del 30%. La pendiente media del cauce principal es de 8.3%. La cuenca posee cobertura vegetal en buena condición pudiendo identificarse principalmente pastizales, matorrales y cobertura boscosa.

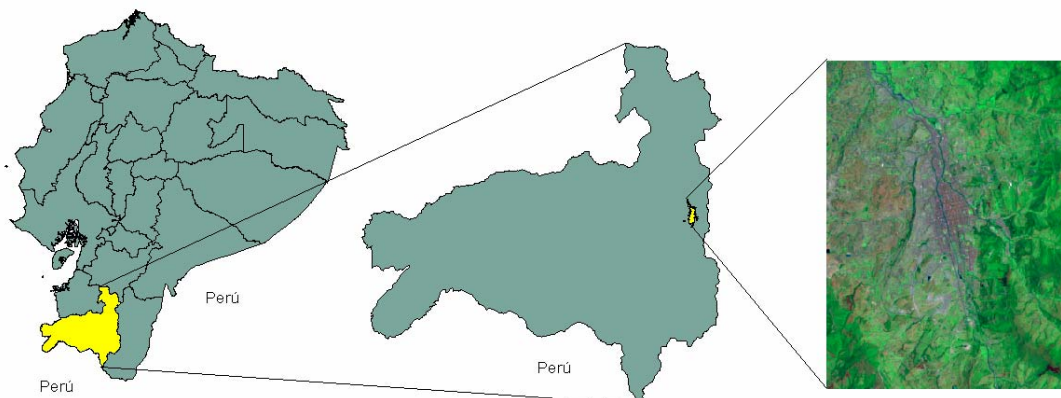


Figura 1.- Ubicación de la zona de estudio

El análisis del crecimiento urbano se realizó a partir de la fotointerpretación de fotografías aéreas correspondientes a los años 1976, 1984, 1998 (Esc. 1:50 000) y 2002 (Esc. 1:5000), georeferenciadas, obteniéndose los polígonos correspondientes al área urbana en cada una de esas fechas. Se recopiló información histórica de tipo y uso de suelo de la zona de estudio, la que combinada con los datos del crecimiento urbano de la ciudad, permitió elaborar mapas particulares para cada año considerado en este estudio, ocho en total, utilizando ArcView 3.2^a. El crecimiento del área urbana se presenta en la figura No. 2

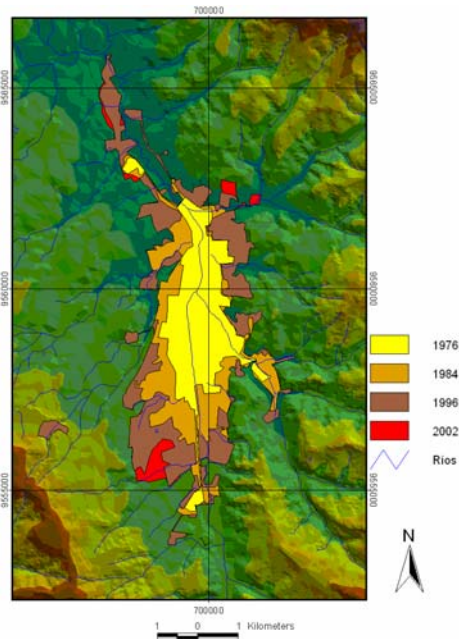


Figura 2.- Área urbana de la ciudad de Loja en diferentes fechas

Con base en la cartografía 1:50 000 existente (IGM 1990) se elaboró un Modelo Digital del Terreno (DTM) aplicando ArcView 3.2^a, para luego, aplicando el preprocesador hidrológico GEO-HMS del US Army Corps of Engineers (USACE), crear un modelo geomorfológico de la cuenca subdividida en siete micro cuencas; información base para el modelamiento. El modelo geomorfológico de la cuenca se observa en la figura No. 3.

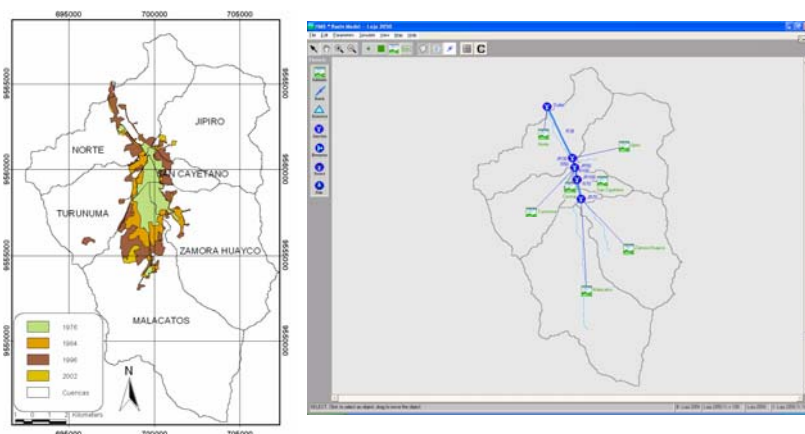


Figura 3.- Modelo de la cuenca en estudio

La generación de caudales se realizó mediante el modelo HEC – HMS del USACE, modelo caracterizado por ser de un solo evento, ideal para el estudio de relaciones lluvia escorrentía en eventos extremos. La precipitación fue modelada a partir de las ecuaciones de intensidad correspondientes a la zona 30 de intensidades (INAMHI, 1999), zona en la que se encuentra la ciudad de Loja, para 10, 25, 50 y 100 años de período de retorno. Las ecuaciones de intensidad para la zona 30 de intensidades son las siguientes:

$$I_{TR} = 92.854 * Id_{TR} * t^{-0.4083} \quad [1]$$

$$I_{TR} = 480.47 * Id_{TR} * t^{-0.8489} \quad [2]$$

En dichas ecuaciones Id_{TR} es la intensidad máxima para el período de retorno, t es la duración de la tormenta en minutos e I_{TR} es la intensidad en mm/h para un período de retorno determinado. La ecuación No. 1 es válida entre 5 y 43 minutos, la No. 2 es válida entre 43 minutos y 1440 minutos.

Las abstracciones se cuantificaron aplicando la metodología del número de la curva (CN) del US Soil Conservation Service (USSCS) para condiciones normales de humedad, la transformación de escorrentía superficial en caudal se realizó aplicando el Hidrograma Unitario del USSCS y para el tránsito de caudales se aplicó el método de Muskingum y Cunge. Los tiempos de concentración y de retraso de cada una de las microcuencas se determinaron aplicando la fórmula de Kirpich y los CN de cada microcuenca se obtuvieron en base a la intersección de la información de tipo y uso de suelo utilizando en ArcView 3.2^a. Los caudales obtenidos se validaron en base al método área pendiente según niveles históricos.

En cada escenario de crecimiento urbano se aplicaron las tormentas de diseño con diferente período de retorno, obteniéndose una gráfica en la que se relaciona el crecimiento urbano, los caudales resultantes y los períodos de retorno de las tormentas consideradas.

En varios lugares de interés se realizó el levantamiento topográfico a detalle a fin de modelar, utilizando el modelo HEC – RAS del USACE, el comportamiento que tendrían obras de conducción y protección, así como los cauces naturales, ante los caudales extremos resultado de la interacción de las diversas tormentas de diseño y las condiciones futuras de urbanización.

RESULTADOS OBTENIDOS

El crecimiento urbano de la ciudad de Loja entre 1976 y 2002 se observan en la figura No. 2 y un resumen del área ocupada por la ciudad y su población respectiva en cada toma temporal se indican en la tabla No.1. Las características morfológicas de las microcuencas se presentan en la tabla No.2. Los valores de precipitación para diferentes duraciones y períodos de retorno se indican en la tabla No. 3 y los caudales resultantes se presentan en la tabla No. 4. La relación entre el caudal, los períodos de retorno y el crecimiento urbano se presenta en la figura No. 4 y las planicies de inundación en la salida de la cuenca total se presentan en la figura No. 5.

Tabla 1.- Valores de Área Urbana y Población

Año	AREA URBANA (Ha)	POBLACIÓN
1976	606.02	47697
1984	1084.86	71652
1998	1838.18	107130
2002	1915.31	118532

Tabla 2.- Características de las Microcuencas en Estudio

CUENCA	CN – II				AREA (Ha)	tc (h)	tlag (h)
	1976	1984	1996	2002			
CENTRAL	93.4	95	95	95	144.42	0.442	0.265
JIPIRO	65.1	65.1	65.3	65.4	3356.74	0.834	0.501
MALACATOS	74.8	75.3	75.8	75.9	6218.78	1.644	0.986
NORTE	76.1	76.2	76.8	76.9	3580.99	0.757	0.454
SAN CAYETANO	74.3	75.5	77.3	77.3	526.97	0.47	0.282
TURUNUMA	74.4	74.7	74.9	75	2172.18	0.903	0.542
ZAMORA HUAYCO	65.6	65.8	66	66	4075.78	1.04	0.624
ÁREA TOTAL DE LA CUENCA					20075.86		

Tabla 3.- Valores de Precipitación Según el Período de Retorno

Duración (min.)	Precipitación (mm) según TR (años)			
	10	25	50	100
5	11.0	12.0	12.8	15.2
15	21.1	23.0	24.6	29.2
60	40.9	44.6	47.6	56.5
120	45.4	49.5	52.8	62.7
180	48.3	52.7	56.2	66.7

Tabla 4.- Caudales generados a la Salida de la Cuenca Total Según el Período de Retorno

Año	Tr			
	10	25	50	100
1976	95.3	136.5	169.3	282.8
1984	100.3	142.4	175.6	290.9
1996	105.9	148.8	182.9	300.9
2002	107.9	151.0	185.6	304.5

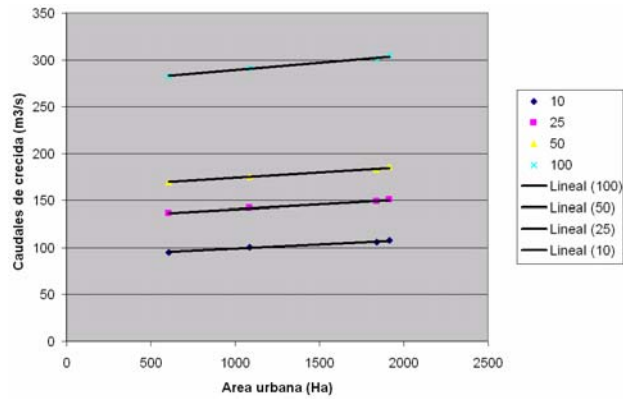


Figura 4.- Relación entre el Caudal, el Período de Retorno y el Crecimiento Urbano

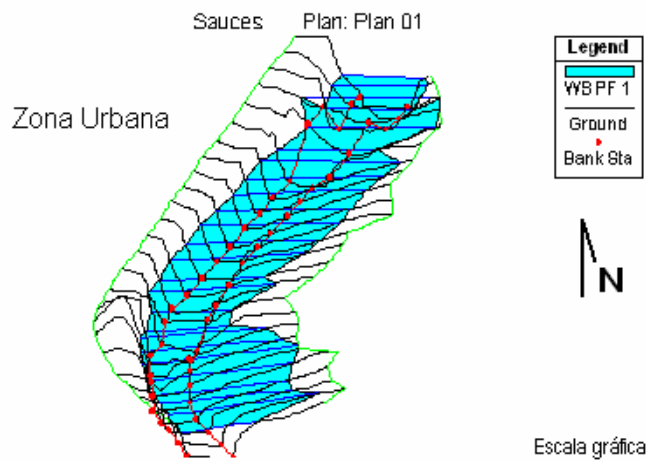


Figura 5.- Zonas Inundadas a la Salida de la Cuenca Total para un Caudal de Crecida de $T_r = 25$ Años

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Durante el período considerado el área urbana en la zona de estudio ha experimentado un aumento del orden de 216 %, pero a pesar de esto, solo cubre el 9.6 % del total de la cuenca en estudio. La relación entre el caudal, el período de retorno y el aumento del área urbana presenta una tendencia lineal con un alto coeficiente de correlación, pero hay que recordar el hecho de que se empleó un reducido número de observaciones para obtener la relación. Se evidencia un mayor incremento de caudales, para un mismo período de retorno, en las microcuencas en las que el crecimiento urbano ha sido mucho más significativo.

CONCLUSIONES.

Las cuencas que experimentan mayor crecimiento de área urbana son las que presentan un mayor incremento en sus caudales de crecida, observándose una relación de tipo lineal. Si el porcentaje de área cubierta por un uso urbano es reducido en comparación al de las zonas ocupadas por vegetación en buenas condiciones, se puede esperar un efecto reducido del aumento de áreas urbanas en los caudales picos a presentarse luego de un evento extremo de precipitación.

Si bien las muy variables combinaciones de tipo de suelo, tipo de coberturas, condiciones topográficas, meteorológicas y de crecimiento urbanos que pueden presentarse de una localidad a otra, hace que no se pueda generalizar una expresión que relacione el crecimiento urbano con los caudales extremos, si son muy notorias las capacidades de análisis que técnicas como los SIG, la teledetección en general y los modelos hidrológicos brindan para el estudio y análisis hidrológico.

BIBLIOGRAFÍA

Chow V.T, R. Maidment, L. Mays. (1994). “Hidrología aplicada”. McGraw, Hill Bogotá.

Martín J. P. (2002). “Ingeniería fluvial”. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.

Osman A., R.J. Houghtalen. (2003). “Urban Hydrology, Hydraulics, and Stormwater Quality: Engineering Applications and Computer Modeling”. Wiley and Sons Inc., Ney Jersey

Rodríguez L. (1999). “Lluvias intensas”. Instituto Ecuatoriano de Meteorología e Hidrología (INAMHI) Quito, Ecuador.

US Army Corps of Engineers. (2001). “HEC–HMS user’s manual”. California.

US Army Corps of Engineers. (2001). “HEC–RAS user’s manual”. California.