



Congresso Internacional em Planejamento e Gestão Ambiental

DESAFIOS AMBIENTAIS DA URBANIZAÇÃO

11 - 15 de Setembro de 2005 – Brasília, Brasil

www.urbenvironcongress.com

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL CRECIMIENTO URBANO DE LA CIUDAD DE LOJA EN LOS CAUDALES DE CRECIDA EN LA CUENCA DEL RIO ZAMORA.

Ing. Fernando Oñate - Valdivieso
Área de Hidrología UCG-SIG de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL)
Campus San Cayetano Alto Loja - Ecuador
fronate@utpl.edu.ec fronate.v@gmail.com

Resumen

El notable crecimiento urbano que han experimentado varias ciudades en el Ecuador en los últimos años ha provocado cambios en el uso de suelo de las cuencas hidrográficas de las que ellas forman parte. Desde el punto de vista hidrológico el cambio de uso del suelo se ve reflejado en el cambio de la respuesta de una cuenca hidrográfica a eventos extremos de precipitación.

En el presente estudio se pretende realizar un análisis multitemporal (1976- 2002), a través de fotografía aérea, del crecimiento urbano de la ciudad de Loja, capital de la provincia ecuatoriana del mismo nombre, fronteriza con el Perú, para determinar el crecimiento de la mancha urbana y la variación del uso de suelo en el período considerando. Se generará tormentas de diseño de diversos períodos de retorno, construidas a partir de curvas Intensidad – Duración – Frecuencia, para implementar el modelo HEC – HMS del Cuerpo de Ingenieros de los estados Unidos para la generación de caudales de crecida según diferentes escenarios de crecimiento urbano. La evaluación de planicies de inundación se realizará aplicando el modelo HEC – RAS. El análisis multitemporal del crecimiento urbano, la obtención de parámetros hidrológicos y la presentación de resultados se realizará aplicando Sistemas de Información Geográfica.

Palabras clave

Crecimiento urbano, caudales de crecida, modelamiento hidrológico, Sistemas de Información Geográfica, Loja, HEC-HMS, HEC-RAS

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 en los últimos años; entre ellas la ciudad de 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 de este crecimiento urbano ha tenido en los eventos extremos de caudal, para ello se realizará el análisis multitemporal del crecimiento urbano a partir de fotografías aéreas, con datos de precipitación y aplicando el modelo HEC – HMS se generarán caudales de crecida para

diversos escenarios de cobertura y se evaluará el efecto que estos caudales tendrían para las zonas aledañas según las condiciones actuales. El procesamiento e la información espacial se realizará aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Materiales y métodos

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.

A partir de cartografía 1:50000 (IGM 1990) se elaboró un Modelo Digital del Terreno (DTM), utilizando las extensiones 3D Analyst y Spatial Analyst de ArcView 3.2^a. Aplicando el preprocesador hidrológico GEO-HMS y utilizando la información del DTM se creó el modelo geomorfológico de la cuenca en estudio, la

que se dividió en siete micro cuencas, se calculó sus características morfológicas más importantes y se utilizó para el modelamiento lluvia - escorrentía. El modelo geomorfológico de la cuenca se observa en la figura No. 3

Para la generación de caudales se implementó el modelo HEC – HMS del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, caracterizado por ser un modelo de un evento, ideal para el estudio de las relaciones lluvia escorrentía para 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:

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

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

En donde I_{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. 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 Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos para condiciones normales de humedad, la transformación de escorrentía superficial en caudal se realizó aplicando el Hidrograma Unitario del USCS y para el transito de caudales se aplicó el método de Muskingum y Cunge. Los tiempos de concentración y de retraso de cada una de las micro cuencas se determinó aplicando la formula de Kirpich y Los CN de cada micro cuenca fueron determinados en base al cruce de la información de tipo y uso de suelo utilizando la extensión Geoprocessing de 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 HEC – RAS, 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.

Los valores de precipitación para diferentes duraciones y períodos de retorno se indican en la tabla No. III y los caudales resultantes se presentan en la figura No. 4 y en la tabla No. IV. Las planicies de inundación en la salida de la cuenca Norte y Turunuma se presentan en las figuras No. 5 y 6.

Análisis de resultados.

El crecimiento que la ciudad de Loja ha experimentado en el período 1976 – 2002 ha sido del orden del 216 %, con un aumento de población del 148 %.

En el período analizado el crecimiento de la ciudad se ha realizado predominantemente la dirección sur occidental este del valle, zona caracterizada por poseer áreas relativamente planas, favorables para la

construcción, cosa que no sucede hacia el oriente.

El mayor incremento de áreas urbanas se presenta en la cuenca Malacatos, ya que en 1976 contaba con un 3 % de área urbana y en el 2002 con un 14 %.

La ciudad de Loja ocupa en la actualidad el 9.6 % de la cuenca total en estudio.

La relación entre el caudal y el aumento del área urbana es de tendencia lineal con un alto coeficiente de correlación.

Existe un mayor crecimiento relativo de los caudales de crecida para un período de retorno de 10 años que para un período de retorno de 100 años, considerando en ambos casos iguales escenarios de crecimiento urbano.

La cuenca Turunuma, por sus características de tipo y uso de suelo es la más propensa a las crecidas.

Los caudales de crecida en las cuencas Jipiro y Zamora Huayco son los de menor magnitud, debido en gran parte a que el sector oriental de ellas forma parte de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Podocarpus, zona dedicada a la conservación ecológica.

Las condiciones actuales del cauce actual del río Zamora a la salida de la cuenca, hacia el norte de la ciudad, es vulnerable a los caudales de crecida, ya que las áreas inundables para una crecida de 25 años de período de retorno comprometen a las zonas urbanas aledañas.

Conclusiones.

- Las cuencas que experimentan mayor crecimiento de área urbana son las que presentan un mayor incremento en sus caudales de crecida.
- Los caudales de crecida son más sensibles al crecimiento urbano si se consideran menores períodos de retorno.
- La presencia de sectores con buena características de retención superficial contribuyen a disminuir los picos máximos de la creciente, razón por lo que en las zonas de futuro crecimiento se deben contemplar amplias áreas verdes que a más de constituirse en zonas de recreación mitiguen el efecto que la urbanización tiene en las crecidas.
- Se debe implementar zonas de protección en las riberas de los ríos a fin de disminuir al mínimo el riesgo de daños producidos por eventos extremos de precipitación.
- A pesar del notable crecimiento urbano de la ciudad en el período analizado, el bajo porcentaje urbanizado en comparación al total de la cuenca y las amplias zonas con características de retención relativamente buenas en ella existentes, ha provocado que el incremento de los caudales de crecida, aunque significativo, no tenga un impacto de proporciones.
- La magnitud de los caudales en la hoya de Loja, está relacionada con el crecimiento urbano a través de una relación lineal.
- En la salida de la cuenca es necesario realizar un redimensionamiento de las obras de protección y así evitar el impacto que las crecidas tendrían en el área urbana aledaña a ella.
- Las obras de protección en la quebrada Turunuma satisfacen las condiciones de caudal generadas por la interacción de las condiciones actuales de uso de suelo y una tormenta con un período de retorno de 25 años.
- En ciudades con importante crecimiento horizontal el estudio del crecimiento urbano y su

impacto en la cuenca hidrográfica se constituye en un elemento fundamental para la planificación territorial.

Bibliografía

Chow V.T, R. Maidment, L. Mays, 1994, Hidrología aplicada, McGraw Hill Bogotá.

Martín J. P. Ingeniería fluvial, 2002 Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.

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

US Army Corps of Engineers, HEC – HMS user’s manual. 2001, California.

Tablas

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

Tabla No. I Valores de área urbana y población

CUENCA	CN – II				AREA (Ha)	tc (h)	tlag (h)
	1976	1984	1996	2002			
CENTRAL	93.4	95.0	95.0	95.0	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	0.470	0.282
TURUNUMA	74.4	74.7	74.9	75.0	2172.18	0.903	0.542
ZAMORA HUAYCO	65.6	65.8	66.0	66.0	4075.78	1.040	0.624

Tabla No. II Características de las cuencas en estudio

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 III Tormentas de diseño según período de retorno

Año	Área (Ha)	Tr			
		10	25	50	100
1976	606.0	95.3	136.5	169.3	282.8
1984	1084.9	100.3	142.4	175.6	290.9
1996	1838.2	105.9	148.8	182.9	300.9
2002	1915.3	107.9	151.0	185.6	304.5

Tabla IV Caudales generados a la salida de la cuenca según período de retorno

Año	I. A. - 1976 (%)	Incremento de Q con respecto a 1976 según TR (%)			
		10	25	50	100
1984	79.0	5.3	4.3	3.7	2.8
1996	203.3	11.2	9.0	8.0	6.4
2002	216.0	13.2	10.6	9.6	7.7

Tabla V Incremento porcentual de los caudales de crecida con respecto a 1976

Año	Caudal para TR = 25 (m3/s)			
	Malacatos	% R- 1976	Turunuma	% R- 1976
1976	66.2		32.1	
1984	69.4	4.8	32.8	2.2
1996	72.8	10.0	33.8	5.3
2002	74.2	12.1	34.2	6.5

Tabla VI Variación de los caudales de crecida en las cuencas Malacatos y Turunuma

Figuras

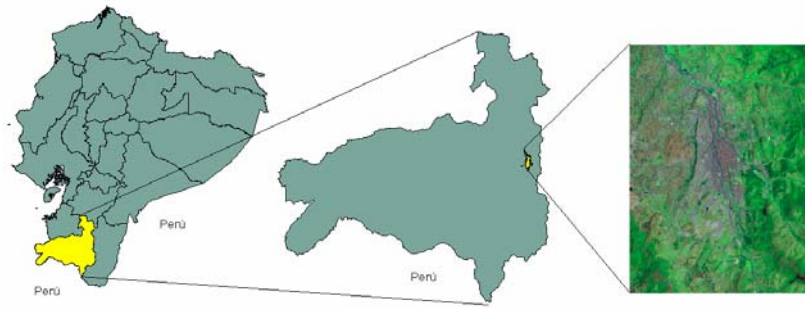


Figura No. 1 Ubicación de la ciudad de Loja (Ecuador)

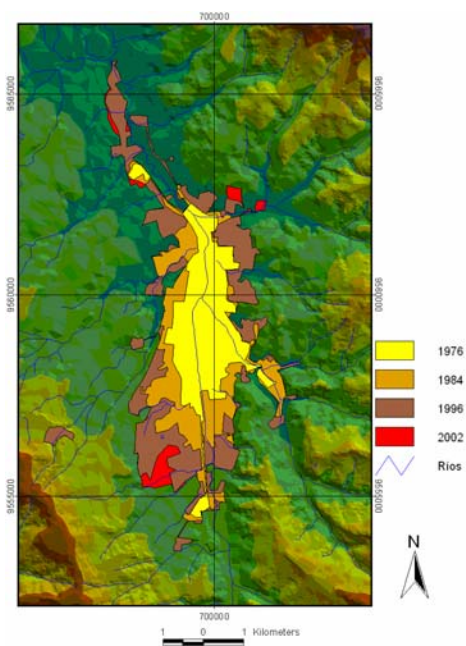


Figura No. 2 Análisis de crecimiento urbano

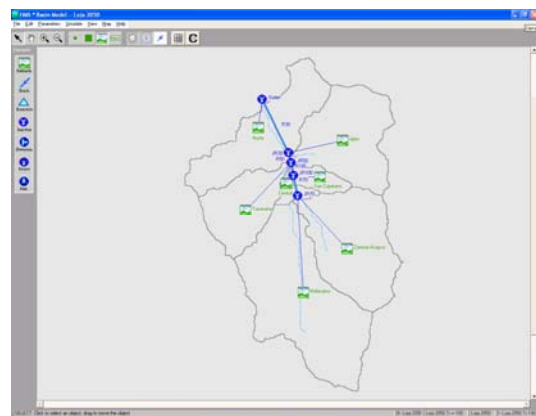
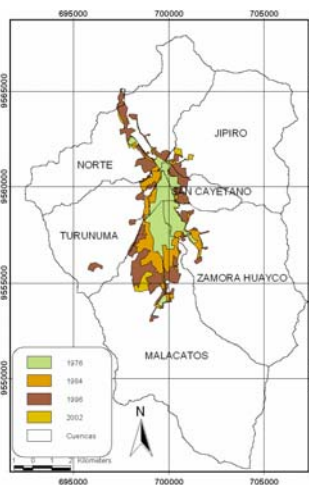


Figura No. 3 Cuencas en estudio y modelo geomorfológico de ellas

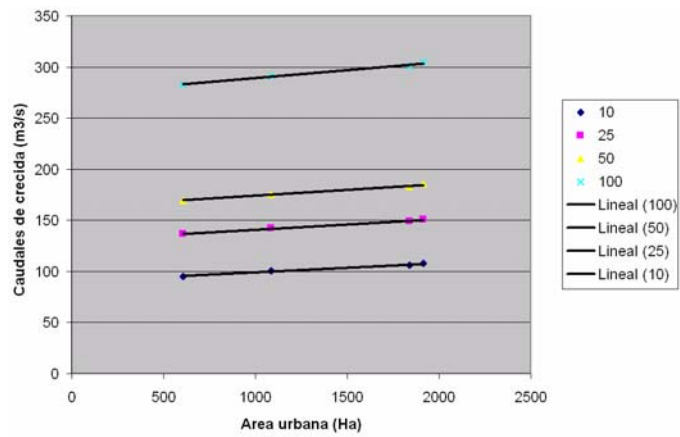


Figura No. 4 Relación entre caudales y crecimiento urbano

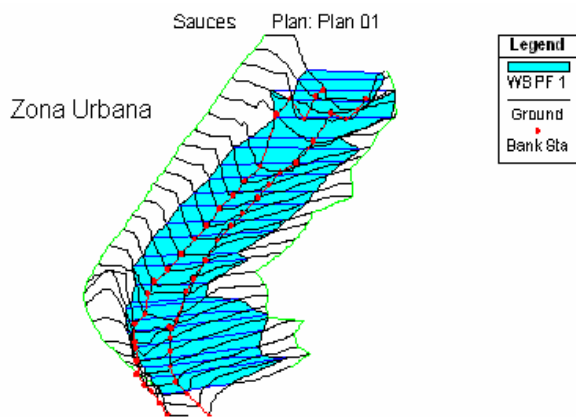


Figura No. 5 Áreas inundadas a la salida de la cuenca total

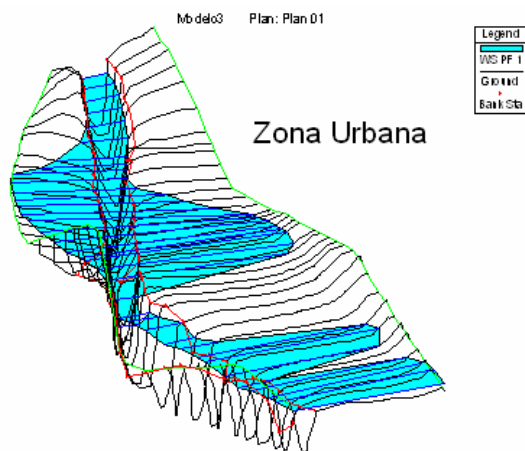


Figura No. 6 Áreas inundadas en la cuenca Turunuma