



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Modelaje de un Sistema Urbano de Alcantarillado
Pluvial en el Area de Drenaje de los Esteros
Miraflores y Repesado, Ciudad de Guayaquil”

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

DANILO JOSE JIMENEZ QUIMIZ

Guayaquil - Ecuador

(2008)

DEDICATORIA

MIS PADRES

ESPECIAL MI MADRE QUE ESTA EN EL CIELO

MI ESPOSA

MIS HIJOS

MIS HERMANOS

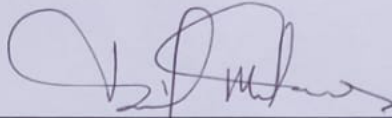
AGRADECIMIENTO.

A MI MADRE QUE
CON SUS CONSEJOS
PUDE GRADUARME
Y ESPERO QUE LA VEA
DESDE EL CIELO.

TRIBUNAL DE GRADO

ING. GASTON PROAÑO.

SUB DECANO ICT



ING. DAVID MATAMOROS C.

DIRECTOR DE TESIS.

ING. ALVIA AGUILAR

VOCAL PRINCIPAL.

ING. JORGE RENGEL

VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"LA RESPONSABILIDAD DEL CONTENIDO DE ESTA TESIS DE GRADO, ME
CORRESPONDE EXCLUSIVAMENTE; Y EL PATRIMONIO INTELECTUAL
DE LA MISMA A LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

DANILO JOSE JIMENEZ QUIMIZ

RESUMEN.

La Ciudad de Guayaquil a través de su historia ha sido un foco de innumerables inundaciones ocurridas durante la época invernal, por lo que es imperioso un diagnostico de las condiciones existente de todos los sistemas de alcantarillado pluvial así como de sus drenajes naturales.

Estas inundaciones provocan grandes daños a la ciudadanía la cual acarrearán pérdidas económicas y provocan enfermedades por lo que sumamente necesaria localizar donde se pueden producir estas inundaciones para crear un plan de contingencia o mitigar estas amenazas.

La presente tesis propone realizar este diagnostico utilizando herramientas de modelaje matemático y sistemas de información geográfica. Estas herramientas nos indicarán donde ocurren los problemas de inundación, los cuales con la ayuda de registros de inundaciones históricas contribuirán a soluciones debidas. Adicionalmente se podrá conocer los hidrogramas de descarga en cada una de las salidas a los cuerpos receptores, junto con un método para realizar otros montajes de modelos de diseño de redes de alcantarillado pluvial.

Con estos modelos se determinará cuales son los verdaderos caudales dentro de los sistemas de alcantarillado pluvial ya que el modelo no suma lo

picos de los hidrogramas sino que lo realiza de una forma transiente* y en tiempo real, también podemos determinar los volúmenes y tiempos de descargas luego del evento de diseño en forma inmediata.

Plantear nuevas alternativas de diseño basados en modelos matemáticos de alcantarillado pluvial.

Estos modelos matemáticos "Drenaje Urbano" son capaces de determinar en donde se producen los sitios críticos de inundación por topografía o por fallos del sistema de alcantarillado pluvial.

El área de estudio esta dentro de la ciudad de guayaquil y comprende las ciudadela de los Ceibos, Urdesa Central, Urdesa Norte, Paraíso, Alboradas, Kennedy, Kennedy Norte, Mapasingue Este y Oeste. La información básica para este estudio fue cedida por Intenatonal Water Services "Interagua"

El tiempo en que realizara la presente tesis se muestra en el cronograma siguiente.

Descripción	mes 1				mes 2				mes 3				mes 4				mes 5															
	S	1	S	2	S	3	S	4	S	1	S	2	S	3	S	4	S	1	S	2	S	3	S	4	S	1	S	2	S	3	S	4
Recopilación de la Información	■																															
Capítulo 1		■	■	■																												
Capítulo 2			■	■	■	■	■	■																								
Capítulo 3							■	■	■	■	■	■																				
Capítulo 4											■	■	■	■	■	■																
Capítulo 5															■	■	■	■	■	■												
Capítulo 6																			■	■	■	■	■	■								
Revisión de Tesis																											■	■				
Entrega y Revisión Final																															■	■

Esperando que este resumen sea de su aceptación.

Atentamente.

Danilo J Jiménez Quimiz.

**MODELAJE DE UN SISTEMA URBANO DE ALCANTARILLADO PLUVIAL
EN EL AREA DE DRENAJE DE LOS ESTEROS MIRAFLORES Y
REPRESADO, CIUDAD DE GUAYAQUIL**

1	Introducción	1-3
1.1	Antecedentes del problema.	1-3
1.2	Justificación de la investigación.	1-5
1.3	Alcance de la Tesis.	1-6
1.4	Objetivos.	1-8
1.4.1	Objetivos Generales.	1-8
1.4.2	Objetivos Específicos.	1-8
1.5	Estructura de la tesis.	1-9
2	Revisión de la literatura.	2-11
2.1	Métodos teóricos para diseñar sistemas de aguas lluvias.	2-11
2.2	Métodos informáticos aplicados al diseño de aguas lluvias	2-15
2.3	Problemas de drenaje en la Ciudad de Guayaquil	2-16
2.3.1	Cuencas Zona Norte	2-16
2.3.2	Cuencas Zona Centro	2-17
2.3.3	Cuencas Zona Sur	2-17
2.4	Estudios anteriores del área evaluada	2-19
3	Recopilación de la Información.	3-22
3.1	Generalidades.	3-22
3.2	Información Pluviométrica.	3-22
3.3	Información de Mareas.	3-25
3.4	Información de caudales en canales.	3-28
3.5	Usos de Suelo	3-31
3.6	Tipos de Suelos	3-32
3.7	Topografía	3-34
3.8	Cuencas de drenaje	3-35
4	Uso del Modelo SWMM.	4-37
4.1	Generalidades	4-38
4.2	Descripción del Modelo SWMM	4-39
4.3	Características de la modelación hidrológica	4-39
4.4	Procesamiento de datos necesarios para el modelo	4-41
4.4.1	Áreas de Aportación.	4-43
4.4.2	Número de Curva (CN)	4-43
4.4.3	Pendientes	4-47
4.4.4	Número de Manning (n) y Coeficiente de Encharcamiento (S)	4-47
4.4.5	Coeficientes de Impermeabilidad	4-48
▪	Red de Drenaje.	4-49
5	Análisis de Sensibilidad.	5-51
5.1	Análisis de Sensibilidad en Cuenca Miraflores	5-53
5.1.1	WIDTH.	5-54
5.1.2	N PERV:	5-55
5.1.3	N IMPERV	5-56
5.1.4	PCNT IMPERV	5-56
5.1.5	PCNT SLOPE	5-57
5.2	Análisis de Sensibilidad en Cuenca Represado	5-59

5.2.1	WIDTH	5-60
5.2.2	N PERV	5-61
5.2.3	N IMPERV	5-62
5.2.4	PCNT IMPERV	5-63
5.2.5	PCNT SLOPE	5-64
5.3	Proceso de Calibración	5-66
6	ANALISIS DE AREAS DE ENCHARCAMIENTO Y INUNDACION.	6-70
7	ANALISIS DE ESCENARIOS.	7-74
7.1	Escenario $Tr = 5$ años una hora de duración.	7-74
7.2	Escenario $Tr = 10$ años una hora de duración.	7-76
8	Bibliografía.	9-80
9	Anexos.	10-81

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema.

Según la historia, la ciudad de Santiago de Guayaquil constantemente fue relocalizada hasta que finalmente se construyó a las faldas del Cerro Santa Ana. La ciudad, desde sus inicios ha aportado al desarrollo comercial y a la economía local y nacional. Estos dos elementos de desarrollo son factores que han contribuido a su crecimiento espacial.

La población de Guayaquil ha sido influenciada a lo largo de la historia por la producción y el comercio, además de los saqueos de piratas y por los devastadores incendios de los que fue víctima a inicios de sus asentamientos. Muchos acontecimientos han incidido en el crecimiento poblacional, pero entre los más importantes están: la producción cacaotera a fines del siglo XIX y principios del XX, el desarrollo de obras como el acueducto y los tranvías eléctricos, el devastador incendio de 1896 que arrasó con dos de las terceras partes de la población, el flujo migratorio entre 1922 y 1929 a causa de la crisis económica. Otros hechos importante han sido el boom petrolero y bananero.

En la **Figura 1-1** se puede observar el crecimiento espacial de la ciudad a lo largo de la historia y su crecimiento disperso. Hasta el año 1966, Guayaquil crece a manera de una onda expansiva y con cierto orden. En 1974, si bien se denota un menor crecimiento, éste comienza a ser un poco disperso. En 1985, crecen paralelamente el sur, parte del oeste y el norte de la ciudad, creciendo, éste último, en diversos sectores. Esta situación se presenta también en los años que van de 1989 a 1995 a nivel de ciudad, pero con

menos grado de dispersión. A partir de 1995, se comienza a ver un crecimiento en mayor proporción y más ordenado en el oeste, a lo largo de la vía a la Costa y al norte de la ciudad.

Paralelamente al crecimiento poblacional, se produce el desarrollo comercial y económico de la ciudad, que atrae las actividades bancarias, públicas y comerciales de importación y exportación. Estas actividades se concentraron cerca del malecón Simón Bolívar, elemento urbanístico que crece a lo largo de la ribera del Río Guayas. Con el paso del tiempo, la Av. 9 de Octubre y el centro de la ciudad dejan de ser mayoritariamente residencial. Se inicia un notable crecimiento desordenado de Guayaquil hacia el norte de la ciudad, acelerándose más en la década 1970-1980 con la creación de nuevas ciudadelas.

Hasta antes de los años 1990, Guayaquil tuvo un crecimiento acelerado y significativo, pero a partir de esta fecha, este ritmo ha decrecido, tendiendo a mantenerse constante. El aumento de la población y las continuas lluvias han hecho que los ingenieros hidráulicos realicen un ordenamiento de sus cuencas de drenajes.

El ordenamiento de las cuencas data de tiempos históricos, siendo agravada la situación debido a que en la década de 1880, las calles estaban en un nivel inferior con respecto a las máximas mareas de los canales y sin pavimento. En esas épocas, durante las lluvias fuertes tanto los peatones como las bestias de carga se hundían en el lodo. Una reseña del periódico “La Nación” del 28 de marzo de 1884 presenta una imagen de la situación:

“Aguaje - Ayer fue extraordinario. Por el sur se inundó el Malecón desde la herrería del señor Machare hasta casi el portal del señor Mona; las primeras cuerdas transversales y la calle de Rocafuerte fueron cubiertas de agua, a tal extremo, que en algunas partes el tráfico de una acera a otra tuvo que hacerse en canoas o a hombros de cargadores que cobraban no poco por su trabajo.”

1.2 Justificación de la investigación.

La Ciudad de Guayaquil a través de su historia ha sido un foco de innumerables inundaciones ocurridas durante la época invernal, por lo que es imperioso un diagnóstico de las condiciones existentes de todos los sistemas de alcantarillado pluvial así como de sus drenajes naturales.

La presente tesis propone realizar este diagnóstico utilizando herramientas de modelaje matemático y sistemas de información geográfica. Estas herramientas nos indicarán donde ocurren los problemas de inundación, los cuales con la ayuda de registros de inundaciones históricas contribuirán a soluciones debidas. Adicionalmente se podrá conocer los hidrogramas de descarga en cada una de las salidas a los cuerpos receptores, junto con un método para realizar otros montajes de modelos de diseño de redes de alcantarillado pluvial.

Con estos modelos se determinará cuales son los verdaderos caudales dentro de los sistemas de alcantarillado pluvial ya que el modelo no suma lo picos de los hidrogramas sino que lo realiza de una forma transiente* y en tiempo real, también podemos

determinar los volúmenes y tiempos de descargas luego del evento de diseño en forma inmediata.

Este modelo esta basado en datos de campo entregados por International Water Services “INTERAGUA” y la Ilustre municipalidad de Guayaquil.

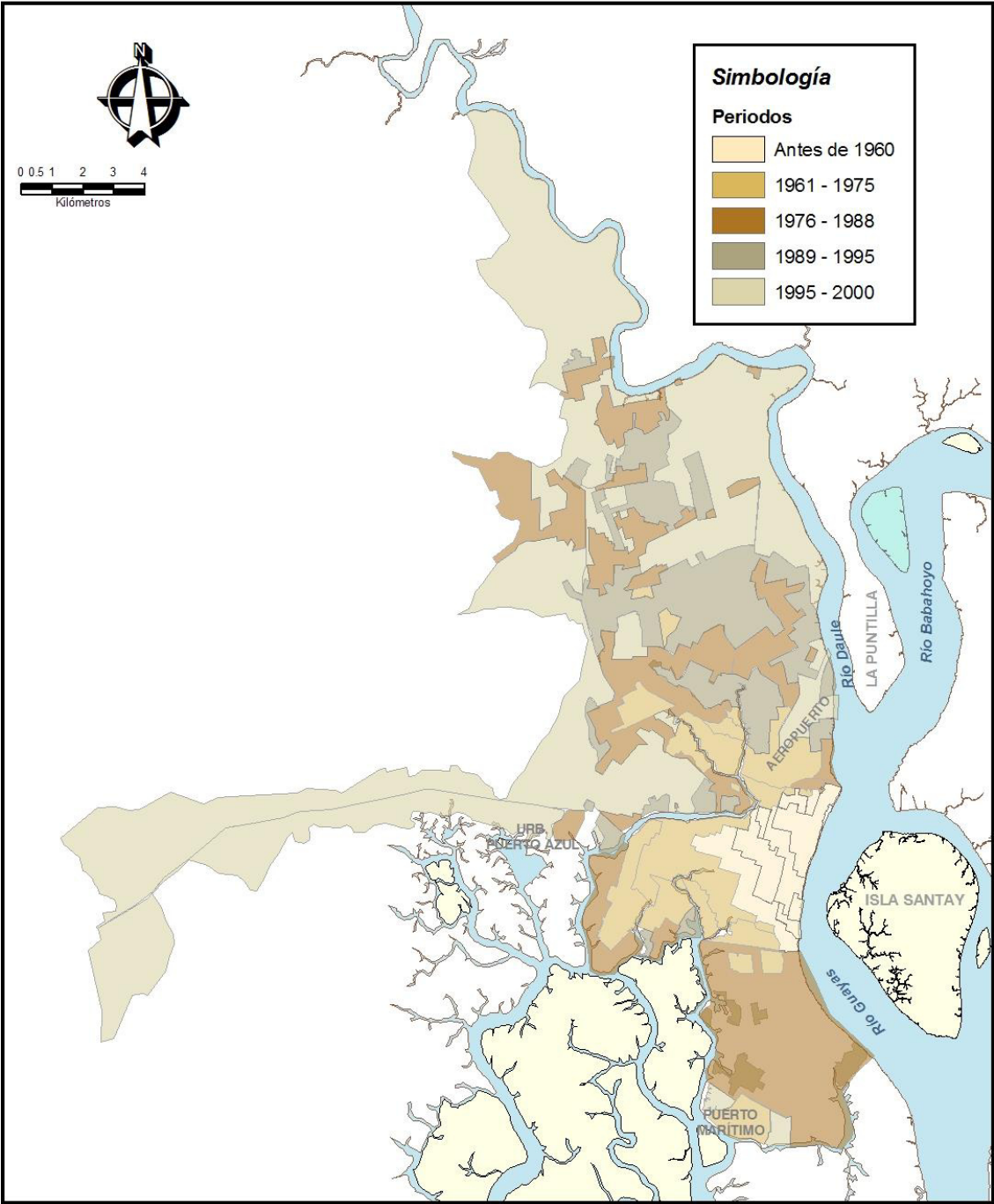
1.3 Alcance de la Tesis.

Esta tesis propondrá una metodología de cálculo para cuantificar y ubicar los posibles focos propensos a inundaciones en áreas urbanas, para el efecto se ha escogido las cuencas de drenaje urbana perteneciente al Estero Miraflores y Represado, basándose en modelos matemáticos y sistemas de información geográfica (SIG).

Esta tesis ayudara a que otros estudios realicen un análisis de cuantificación de daños de inundación y un análisis para mitigar estos daños.

**Flujo transiente: ES AQUEL FLUJO EN DONDE ALGUNA DE SUS PROPIEDADES DEL ESCURRIMIENTO (ACELERACION O VELOCIDAD) O DEL FLUIDO (VISCOSIDAD DENSIDAD) VARIAN CONRESPECTO AL TIEMPO, ESTO PARA UN PUNTO DADO DEL ESPACIO OCUPADO POR EL FLUIDO.*

Figura 1-1 Desarrollo urbanístico de la ciudad de Guayaquil



Fuente: Aquatec.S.A. – Envirosoft, 2006

1.4 Objetivos.

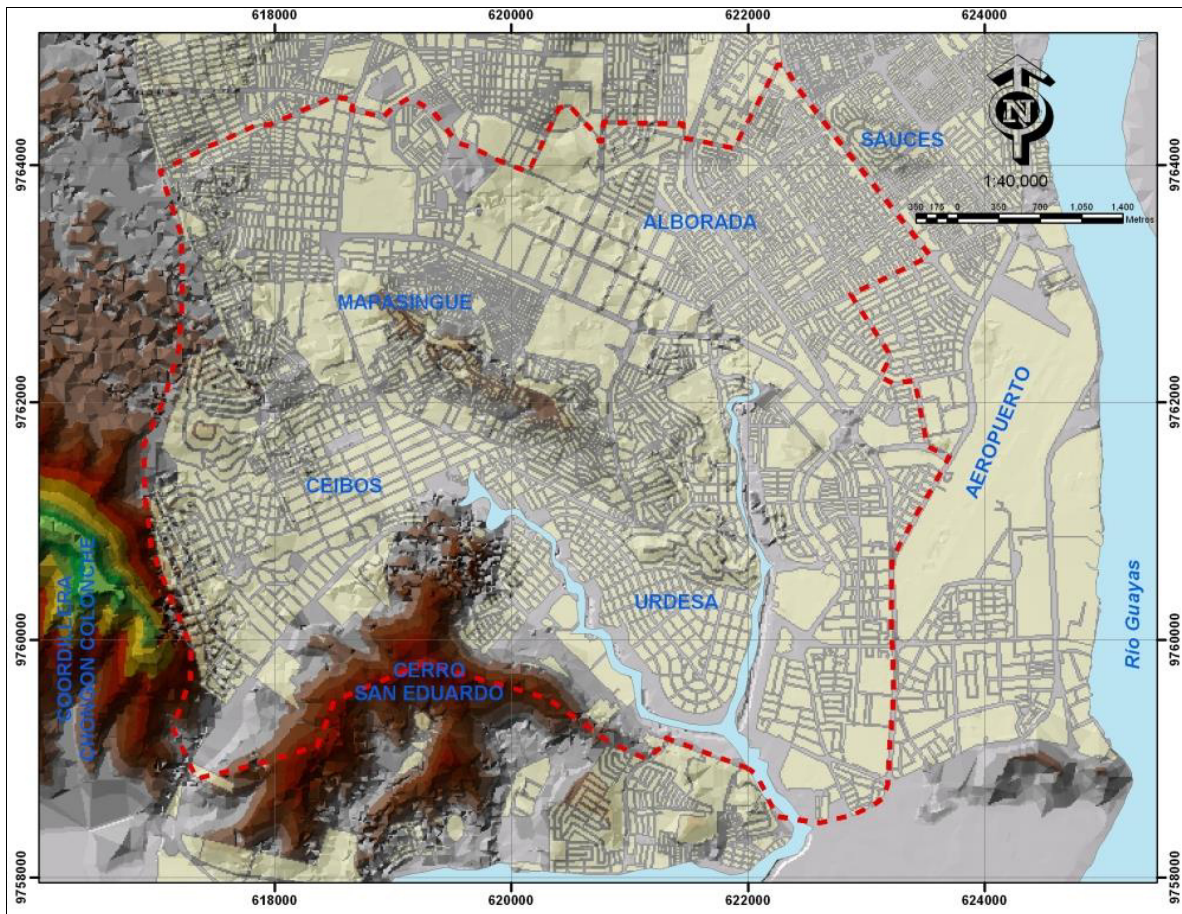
1.4.1 Objetivos Generales.

Plantear nuevas alternativas de diseño basados en modelos matemáticos de alcantarillado pluvial, determinar en donde se producen los sitios críticos de inundación por topografía o por fallos del sistema de alcantarillado pluvial.

1.4.2 Objetivos Específicos.

Determinar la respuesta con respecto a caudales y volúmenes, que ocurren en diferentes puntos de los sistemas que descargan a los Esteros Miraflores y Represado de la red Norte Central. En la **Figura 1.2**. Se muestra los límites del estudio de esta tesis.

Figura 1.2 Limite del Área Evaluada.



Fuente: Jiménez D., 2008

1.5 Estructura de la tesis.

En el capítulo uno se encuentran descritos los objetivos, alcance y la justificación de esta tesis de grado. Se describe como se propone ampliar el conocimiento en los métodos matemáticos para la modelación de drenaje de aguas lluvias y demostrar que estos son de gran ayuda en la toma de decisiones a corto y largo plazo.

En el capítulo dos se hace una descripción de la literatura revisada y de los métodos teóricos e informáticos utilizados para el diseño y análisis de los sistemas de aguas

lluvias. Además se describe la problemática de los sistemas de drenaje de la ciudad de Guayaquil y las conclusiones de los estudios y planes maestros de drenaje pluvial.

Seguido de esto en el capítulo tres se describe las fuentes y el origen de la información topográfica, pluvial, caudales en las descargas, precipitación, mareas, usos y tipos de suelo los cuales alimentaran al modelo de drenaje. Además se describe las campañas de campo realizadas para determinar las cotas y caudales en las descargas de aguas lluvias.

En el capítulo cuatro se analizan cada uno de los modelos utilizados para este fin y se realiza un balance en ellos y determinamos con cual trabajar. A continuación realizamos una descripción del modelo electo y de la forma en que se ingresan los parámetros de entrada. Asimismo se realizara un análisis de sensibilidad para determinar el o los parámetros que afectan significativamente al modelo y terminar con su respectiva calibración.

Luego de esto analizaremos los posibles problemas de inundación que se presentan en la cuenca de estudio y estudiaremos las posibles soluciones para evitar o minimizar dichos problemas. De las obras civiles (soluciones) seccionadas realizaremos un análisis de costos no muy detallado ya que este no es el alcance de esta tesis.

En el capítulo cinco se darán las conclusiones y recomendaciones de las obras seleccionas

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA.

Se reviso toda la información existente referente a aguas lluvias, que pertenece a International Water Services (INTERAGUA). Para tal efecto esta fue cedida bajo pedido y autorización del Ing. Ivon Melliger (Gerente General de Interagua, 2006). Los datos de mediciones pluviométricas fueron obtenidos del INAMHI y AQUATEC.S.A. Ver Anexo.

Adicionalmente se realizo una revisión exhaustiva de la bibliografía en temas de sistemas de aguas lluvias.

2.1 Métodos teóricos para diseñar sistemas de aguas lluvias.

Para el sistema de alcantarillado pluvial se debe analizar el sistema de recolección y transportación de las aguas de escorrentía pluvial tomando en cuenta los factores hidrológicos del sector. Para el estudio del sistema de alcantarillado pluvial se considera una serie de disposiciones con el fin de obtener resultados satisfactorios acorde con: las áreas de influencia, caudales de diseño que se fundamentan en el análisis de la curva de intensidad, duración y frecuencia propia de la población estudiada.

Para el diseño hidráulico se tendrá presente que la gradiente de energía sea continua y descendiente. Las tuberías no funcionan en toda su capacidad, así como su capacidad hidráulica sea suficiente para el caudal de diseño, con una velocidad de flujo que de lugar a auto limpieza.

Debemos recordar que el diseño hidráulico de las tuberías solo se ha realizado en base de la formula de manning.

$$Q = A * V$$

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Para diseñar un sistema de alcantarillado hay que determinar la cantidad de agua que deberá ser desalojada, necesiándose en muchos casos la estimación del escurrimiento máximo que se conozca. Toda obra de drenaje se la diseña normalmente para eliminar el escurrimiento resultante de una tormenta que tenga un periodo específico de retorno para trabajar sobre datos seguros.

Tiempos de Concentración.

El intervalo que emplea una gota de agua en trasladarse desde el lugar mas apartado al inicio de la canalización es lo que se denomina tiempo de llegada. El tiempo de escurrimiento es el que emplea el flujo en recorrer la tubería aguas abajo de un punto a otro. En el caso de que en una cámara concurren dos o mas colectores, se consideran como tiempo de concentración el mayor de ellos, en la practica el tiempo de concentración varia de 3 a 20 minutos.

A continuación se detallan las formulas utilizadas por INTERAGUA para esta zona.

$$T_c = \left(\frac{0.871 * L^3}{H} \right)^{0.385} * 60 \quad T_c: \text{Tiempo de Concentración en (min)}$$

Fuente: ECAPAG

L: Longitud del cauce principal en (Km)

H: Desnivel entre cabecera y descarga (m)

Por consiguiente INTERAGUA recomienda en sus diseños de urbanizaciones, iniciar el calculo con un $T_c = 5\text{min}$.

Sin embargo ECAPAG recomienda los siguientes tiempos de concentración.

- a) 15 minutos para terrenos de topografía plana.
- b) 10 minutos para terrenos con pendiente moderada.
- c) 5 minutos para terrenos con pendiente fuerte.

En la actualidad el departamento de diseño y proyectos de INTERAGUA utiliza un tiempo de concentración de cinco ya que este se encuentra normado en la Subsecretaría de Saneamiento Ambiental y Obras Sanitarias y el Ex - Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, IEOS.

Coefficiente de escurrimiento.

El coeficiente de escurrimiento es la relación que existe el caudal de infiltración y el caudal efectivo de lluvia, el coeficiente es inversamente proporcional al agua que se infiltra en el terreno hasta su saturación.

Dada las condiciones y características de nuestras zonas utilizaremos como coeficiente de escurrimiento 0.60 que esta de acuerdo con el plan maestro de alcantarillado de la ciudad de Guayaquil.

En la **Tabla 2.1** se encuentran los valores de escurrimiento “C” Recomendados por el Plan Maestro de Guayaquil realizado por ECAPAG.

TABLA 2-1 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

Clasificacion de Tierra	"C"
Calles y Techos	0.90
Areas Residenciales	0.60
Parques y Areas de Recreo	0.60
Altamente industrial	0.75
Ligeramente Industrial	0.75
Comercial	0.90

Fuente: ECAPAG.

Se reduce como volumen de escurrimiento a los líquidos recogidos por los diferentes alcantarillados durante el lapso de la lluvia conocido el volumen de lluvia, el área de drenaje y el porcentaje de escurrimiento. El flujo del agua de lluvia podrá calcularse rápidamente en metros cúbicos por segundo de acuerdo a la siguiente formula.

$$Q = CIA$$

Siendo.

Q: Escurrimiento.

C: Coeficiente de Escurrimiento.

I: Intensidad de precipitación en (mm/h).

A: Área del Terreno en (Ha)

2.2 Métodos informáticos aplicados al diseño de aguas lluvias

Anteriormente, los cálculos para la implementación y corrección de sistemas de alcantarillado pluvial eran realizados con la utilización de reglas de cálculos y tablas en Excel, en donde se hacían iteraciones simultáneas. Este trabajo era muy largo y a veces complicado. La utilización de modelos matemáticos en la ingeniería sanitaria ayuda a que los cambios en los sistemas de drenajes sean resueltos de una manera más rápida y confiable.

Actualmente existen varios programas que modelan sistemas de aguas lluvias uno de ellos es StormCad que es un programa perteneciente a la Haestad (Ver www.haestad.com, este programa no incluye el efecto de la marea en los sistemas de drenaje.

Otro modelo es Storm Water Management Model (SWMM), programa perteneciente a la Agencia de Protección de Medio Ambiente (EPA). Este programa si bien no es muy amigable con otros programas como por ejemplo autocad si involucra el efecto de la marea. Y es el que utilizaremos para la presente tesis. (Ver www.epa.com)

Estos modelos son alimentados por una serie de parámetros como: Infiltración, Pendiente, Coeficiente de manning, permeabilidad, impermeabilidad, ancho de la

cuenca diámetros de tubos y características de canales y ductos, de todos estos coeficientes se discutirá con detalle en los capítulos siguientes.

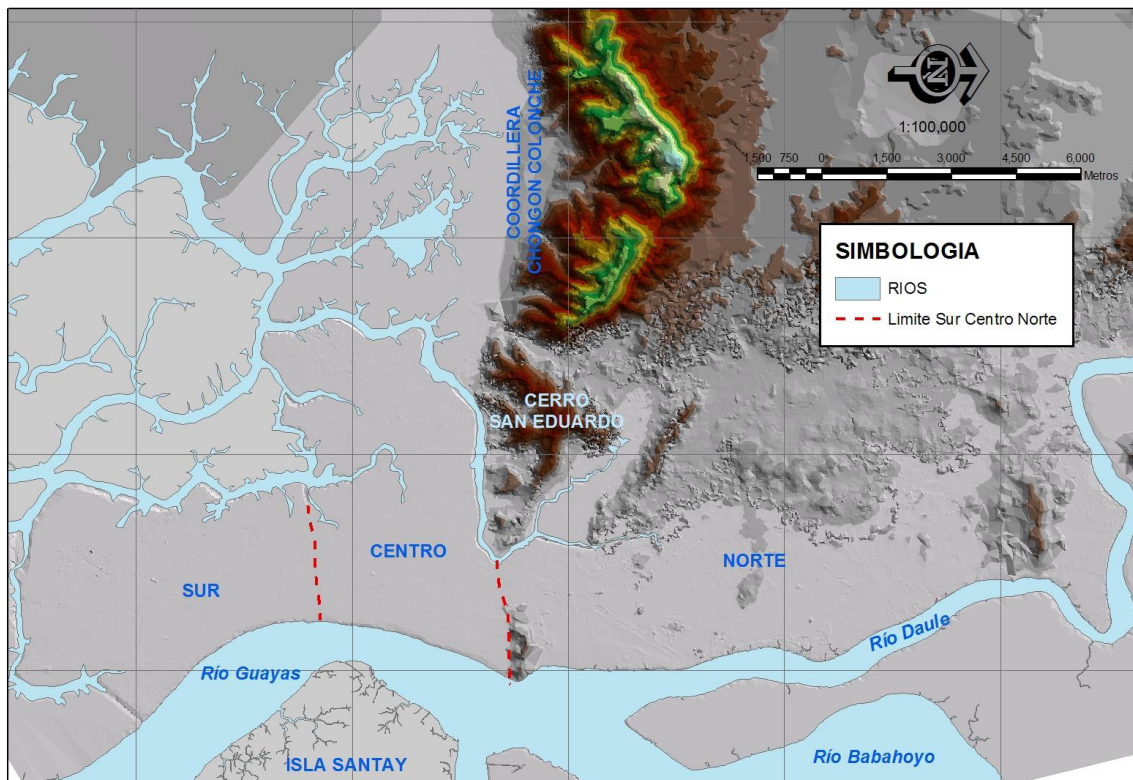
2.3 Problemas de drenaje en la Ciudad de Guayaquil

Para poder llegar a entender el problema de la Ciudad de Guayaquil en cuanto a su drenaje es necesario conocer las características geomorfológicas de cuencas que en ella intervienen. Para el efecto se ha dividido la ciudad en tres (zonas zona norte, zona centro y zona sur), como se muestra a continuación: Ver **Figura 2.1**.

2.3.1 Cuencas Zona Norte

La zona Norte está delimitada por una cadena montañosa hacia el oeste y el Río Daule hacia el este por lo que el escurrimiento superficial de sus cuencas es por lo general en sentido Sur-Sureste-Este. Las pendientes más pronunciadas se encuentran al oeste de la Vía Perimetral mientras que en la parte cercana al río se encuentran terrenos muy bajos y sujetos a inundaciones durante crecidas extraordinarias del río Daule.

Figura 2.1 Relimitación de Zonas de Acuerdo a INTERAGUA, 2008



Fuente: Jiménez D., 2008

2.3.2 Cuencas Zona Centro

En la zona Centro se encuentra la zona urbana más antigua de la ciudad y abarca la zonas de los suburbios. La zona Centro es de un relieve muy plano, sobresaliendo algunos cerros que delimitan las cuencas. Los cuerpos receptores de estas cuencas son el Río Guayas y el Estero Salado.

2.3.3 Cuencas Zona Sur

El relieve de la zona Sur es totalmente plano, con una elevación muy baja. Esta condición crea dificultades para la eliminación de las aguas de escorrentía. Las cuencas de esta zona drenan hacia el río Guayas y el Estero Salado.

Los problemas en el drenaje en la ciudad han existido desde hace mucho tiempo. Esto se debe a factores tales como:

- Conexiones en lugares donde no se debían hacer.
- Conexiones en lugares donde no se han dejado las pendientes respectivas.
- Falta de limpieza de los sistemas de alcantarillado de aguas lluvias.
- La falta de conciencia de la ciudadanía en el vertido de basura a canales, ductos, cajones y alcantarillas. **Foto 2.1.**



Foto 2-1 No limpieza de los canales de drenaje

Todo esto conlleva al no funcionamiento de los sistemas de alcantarillado los cuales provocan inundaciones en todas las zonas de Guayaquil. El sur, centro y norte de Guayaquil sufre inundaciones cuando se producen lluvias superiores a 80 mm/h y la marea de los esteros y el río está en su máximo nivel. **Foto 2.2, 2.3.**

Debido a la morfología de la ciudad de Guayaquil, se producen cuencas cuyos desniveles alcanzan hasta 2 m. Algunas de estas cuencas presentan drenajes propios, como son los esteros, que minimizan el proceso de inundación. Las cuencas que no presentan drenajes son más susceptibles a inundarse



Foto 2-2 Inundación provocada por el fenómeno del niño (Alborada 10^{ma} Etapa)
Fuente Diario el Universo, 1997



Foto 2-3 Inundación provocada por el fenómeno del niño (Mercado Central)
Fuente Diario el Universo, 1997

2.4 Estudios anteriores del área evaluada

El estudio de prefactibilidad de la Retención de flujo de los esteros analizados en esta Tesis (FODUR-C. Villao) planteó el represamiento de dicho estero a un nivel mínimo de + 1 msnm*, mediante diez alcantarillas de dos metros de ancho por un metro de altura embebidas en un terraplén de 10 m de ancho a una cota de + 3,3 msnm que permitía el tránsito vehicular.

El estudio de Lahmeyer-Cimentaciones (1998) acogió el estudio mencionado pero consideró que el nivel mínimo represado debería ser la cota + 2msnm. Propuso la instalación de 20 tuberías de hormigón armado (Ø 800 mm) con cota de invert, aguas arriba y aguas abajo, de +2 msnm y +0,5 msnm respectivamente, suponiendo que la máxima marea llega al nivel de + 3msnm. Previó dos alternativas de ubicación de compuertas manuales. Este estudio no analizó el tránsito de una máxima avenida cuando el nivel mínimo de represamiento se ubique en la cota + 2msnm. El ancho previsto para el terraplén fue de 4 m a una cota de +3,50 msnm, considerando que no sería utilizado para el tráfico vehicular.

En dicha época la M. 1. Municipalidad de Guayaquil tenía planificada la construcción de un nuevo puente sobre el Estero Salado para conectar la Universidad Católica con la Av. Kennedy (gasolinera a la entrada de Urdesa), proyecto que formaba parte del Plan de Desarrollo Urbano de Guayaquil (Período 2002-2004).

En el momento de iniciar los diseños de la Retención de Aguas en el estero, como parte de la primera fase del plan integral de recuperación para el estero salado (PIRES), la I. Municipalidad de Guayaquil informó que el puente descrito en el párrafo anterior no sería considerado para dicho periodo. La primera fase contemplaba el estudio de calidad de agua del estero y en lo posterior el estudio de la capacidad hidraulica de los colectores. Este proyecto estuvo a cargo del Grupo consultor Hidroestudios Cia. Ltda. Dentro de la primera Fase del PIREs se consideró de gran importancia y necesaria la aplicación de un modelo matemático de calidad de aguas.

**m.s.n.m.: Metros sobre el nivel del mar*

Dado que la I. Municipalidad de Guayaquil no disponía de un modelo de estas características, el Grupo Consultor Hidroestudios, rehabilitó un antiguo modelo de estado permanente, denominado Haro-3. El modelo es unidimensional, es decir presupone que los parámetros a modelar pueden ser representados por un valor único a lo largo, ancho y en la profundidad en un segmento cualquiera del cuerpo de agua. Esta suposición involucra también ciertas características hidrodinámicas pero que para la aproximación pueden ser representadas adecuadamente. La ventaja de la utilización de este modelo es que permitirá la decisión para la instalación de una cierta cantidad de aireadores. En lo posterior los colectores fueron analizados en un modelo matemático llamado HydroWorks*.

Dentro de lo que fue el Plan Maestro de Drenaje de la ciudad de Guayaquil realizado por la Consultora Aquatec S. A. se analizaron las capacidades hidráulicas de los sistemas de drenaje y se determinaron los daños causados por inundación en diferentes sitios de la ciudad.

Se obtuvieron hidrogramas de descargas en aquellos puntos más importantes como Orquídeas, Vergeles, Ceibos, etc.

* **Haro 3:** Modelo matemático de calidad de calidad de aguas, en esta página se puede encontrar más acerca de este modelo. www.ilec.or.jp/newsfiles/031029_dev_rep/h09/pdf/lakes_ar_c03s03.pdf

* **Hydroworks:** Es un modelo matemático que simula dinámicamente las aguas de escorrentía en cuencas urbanas. Aquí mas información www.statistik.tuwien.ac.at/oezstat/ausg981-2/langdell/langdell.ps

3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

3.1 Generalidades.

La información para esta tesis fue cedida por Interagua y por Aquatec. S.A. En la base geográfica de Interagua, en el área de estudio existen aproximadamente 126.5 km de tuberías de alcantarillado pluvial que fluctúan en diámetros de 8 pulg a 78 pulg. La longitud total de los canales en de 12.4 km y de los ductos cajón es de 14.0 km. En la **Tabla 3-1** se muestra un resumen del total de tuberías modeladas.

TABLA 3-1 DISTRIBUCION DE TUBERIAS DENTRO DEL ÁREA MODELADA

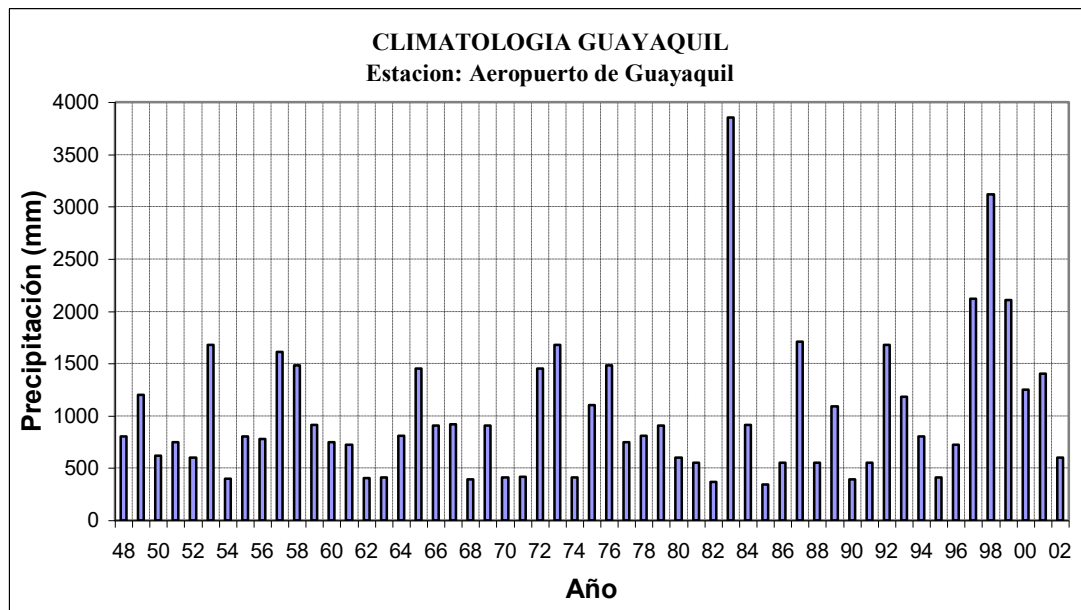
	Longitud de Tuberías (m)	Longitud de Ductos Cajón (m)	Longitud de Canales (m)
Total	126,462.00	14,041.00	12,440.00

Fuente: Jiménez D., 2008

3.2 Información Pluviométrica.

De la estación Pluviométrica ubicada en el aeropuerto Simón Bolívar de la ciudad de Guayaquil, se obtuvieron datos de precipitaciones anuales pluviométricas, con un periodo de registro de cincuenta y cinco años (1945-2002). En el periodo de registro se ha obtenido el promedio anual de precipitación pluvial de 1010 mm por año. El año más lluvioso ocurrió en 1983, registrándose una precipitación de 3850 mm; el año más seco fue en 1985 con una precipitación de 340 mm, como se muestra en la **Figura 3-1**.

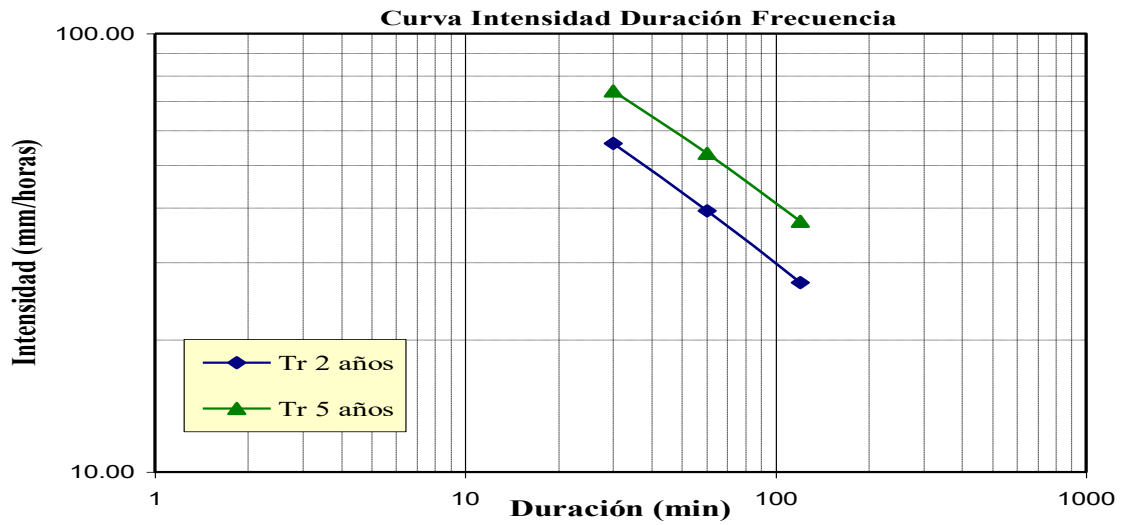
FIGURA 3.1 PRECIPITACIÓN ANUAL HISTÓRICA DE GUAYAQUIL



Fuente: INAMHI

Los datos históricos de lluvia y la curva de intensidad duración frecuencia generada por la Universidad Católica en lo que fue el (Plan Emergente de Drenaje Pluvial), fueron utilizados para seleccionar los eventos de diseño que permiten evaluar el desempeño del sistema ante eventos con periodos de retorno específicos. La intensidad para periodos de retorno de 2 y 5 años se presenta en la **Figura 3-2**.

FIGURA 3.2 INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA ESTACIÓN AEROPUERTO



Fuente: Universidad Católica Santiago de Guayaquil., 1998

Para distribuir la intensidad seleccionada en periodos de lluvia de una y dos horas se utilizó el método de Huff, en el cual se realiza una distribución porcentual de la Intensidad de lluvia en el tiempo. Con este método se calcularon lluvias de diseño para periodos de retorno de 2 y 5 años con una duración de una hora, como se observa en la

Tabla 3-2

TABLA 3-2 DISTRIBUCIÓN DE LLUVIA POR EL METODO DE HUFF

Periodo de Retorno de 2 años				Periodo de Retorno 5 años			
Duración de Una Hora, I = 39.42 mm/h				Duración de Una Hora, I = 53.23 mm/h			
porcentaje de tiempo de tormenta	minutos	Acumulado	Incremento	porcentaje de tiempo de tormenta	minutos	Acumulado	Incremento
0	0	0.00	0.00	0	0	0.00	0.00
5	3	1.18	1.18	5	3	1.60	1.60
10	6	2.37	1.18	10	6	3.19	1.60
15	9	3.55	1.18	15	9	4.79	1.60
20	12	4.73	1.18	20	12	6.39	1.60
25	15	5.91	1.18	25	15	7.98	1.60
30	18	7.49	1.58	30	18	10.11	2.13
35	21	9.07	1.58	35	21	12.24	2.13
40	24	10.64	1.58	40	24	14.37	2.13
45	27	12.61	1.97	45	27	17.03	2.66
50	30	14.98	2.37	50	30	20.23	3.19
55	33	17.74	2.76	55	33	23.95	3.73
60	36	22.47	4.73	60	36	30.34	6.39
65	39	27.59	5.12	65	39	37.26	6.92
70	42	31.14	3.55	70	42	42.05	4.79
75	45	33.51	2.37	75	45	45.25	3.19
80	48	35.08	1.58	80	48	47.38	2.13
85	51	36.26	1.18	85	51	48.97	1.60
90	54	37.45	1.18	90	54	50.57	1.60
95	57	38.24	0.79	95	57	51.64	1.06
100	60	39.42	1.18	100	60	53.23	1.60

Fuente: Jiménez D., 2008

3.3 Información de Mareas.

El Estero Salado, junto con el Río Guayas, forma parte del sistema estuarino del Golfo de Guayaquil. Históricamente se cree que ambos sistemas hídricos formaban parte de un gran delta, que se comunicaban entre sí hasta la gran llanura en donde hoy se asienta la ciudad de Guayaquil, tal como sucede hoy con los canales de Cascajal y Chupadores Grande. La separación, al norte del delta, se produjo por el gran arrastre de sedimentos, que poco a poco fueron embancándose hasta cubrir los canales y formar la planicie donde se asienta la ciudad.

El cauce del Río Guayas está a una cota mayor que el Estero Salado, pues éste se encuentra cercano al nivel del mar. Por sus características geomorfológicas, y por la falta de contribuyentes, el Estero Salado no tiene la dinámica hidráulica que posee el Río Guayas.

El Estero Salado está compuesto por una serie de esteros que se ramifican como son: el Mogón, Plano Seco, Puerto Liza, Mogollón, Las Ranas, el Muerto, Santa Ana, Libertad, Las Canoas, Chupadores Grandes, entre los más importantes. En la **Figura 3-3** se muestra la ubicación de algunos de los esteros que son afectados por las descargas pluviales de la ciudad de Guayaquil.

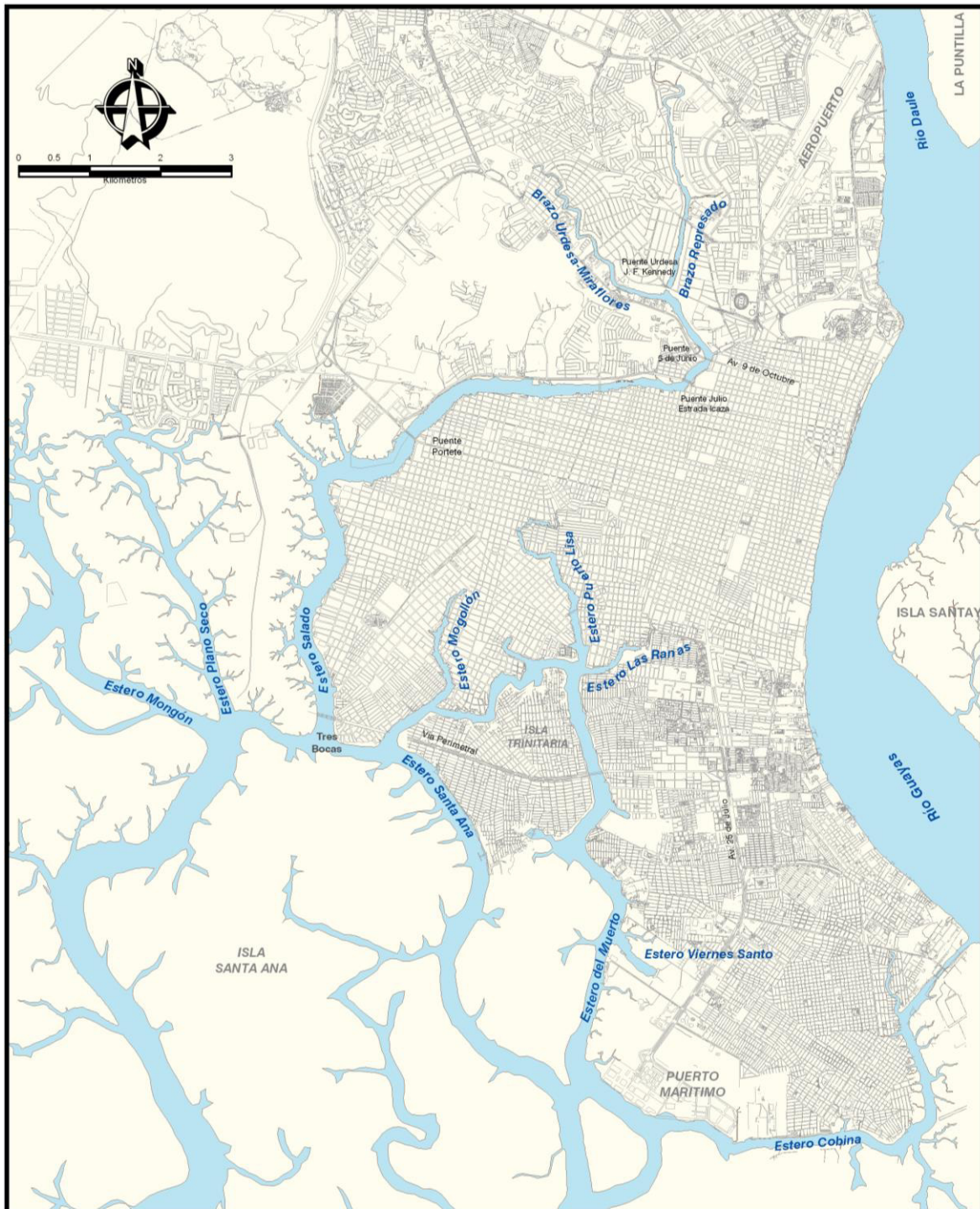
Los cuerpos receptores del sistema de drenaje de Guayaquil son altamente afectados por las mareas. La fuerza principal de la marea que actúa en el Golfo de Guayaquil corresponde a la componente armónica semidiurna $m = 12.42$ horas, la cual se debe a la atracción gravitacional de la luna; por tanto, se obtienen dos ciclos de marea cada día lunar, es decir, dos pleamares y dos bajamares cada 24.8 horas.

Como parte del Plan Maestro de Drenaje Pluvial, se llevó a cabo una campaña de monitoreo para levantamiento de datos en el Estuario Daule/Guayas. Se instalaron tres mareógrafos en tres estaciones del estuario: La Toma, La Aurora y el Malecón de Guayaquil. La **Figura 3-4** presenta los datos de mareas obtenidos en este estudio en un intervalo de una hora durante las 24 horas. Como se puede observar en la figura, la variación diurna en el nivel es de 3 metros en el Daule a la altura de La Toma y de 4 metros en el Guayas a la altura del Malecón. La medición se la realizó en dos meses del año 2006, el mes de Marzo y el mes de Septiembre, siendo estos meses de época húmeda y época seca respectivamente.

El efecto de las mareas produce una variación en los niveles de los puntos de descarga de los canales y colectores de drenaje, quedando éstos bajo el promedio de marea alta.

Dicha información de marea servirá como condición de frontera para el modelo matemático.

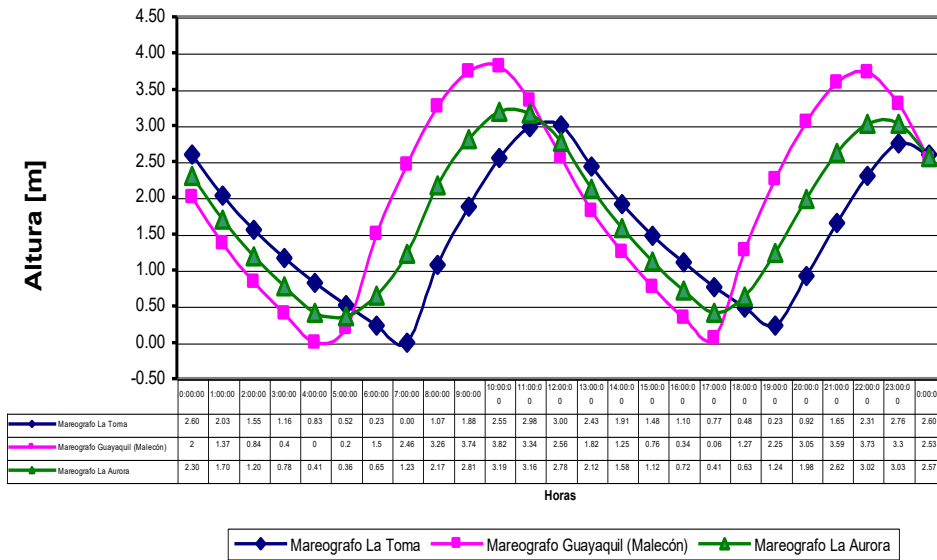
FIGURA 3.3 ESTERO SALADO Y SUS RAMIFICACIONES



Fuente: Jiménez D., 2008

Autor: Danilo Jimenez 3-27

FIGURA 3.4 MAREAS DEL ESTUARIO DAULE / GUAYAS

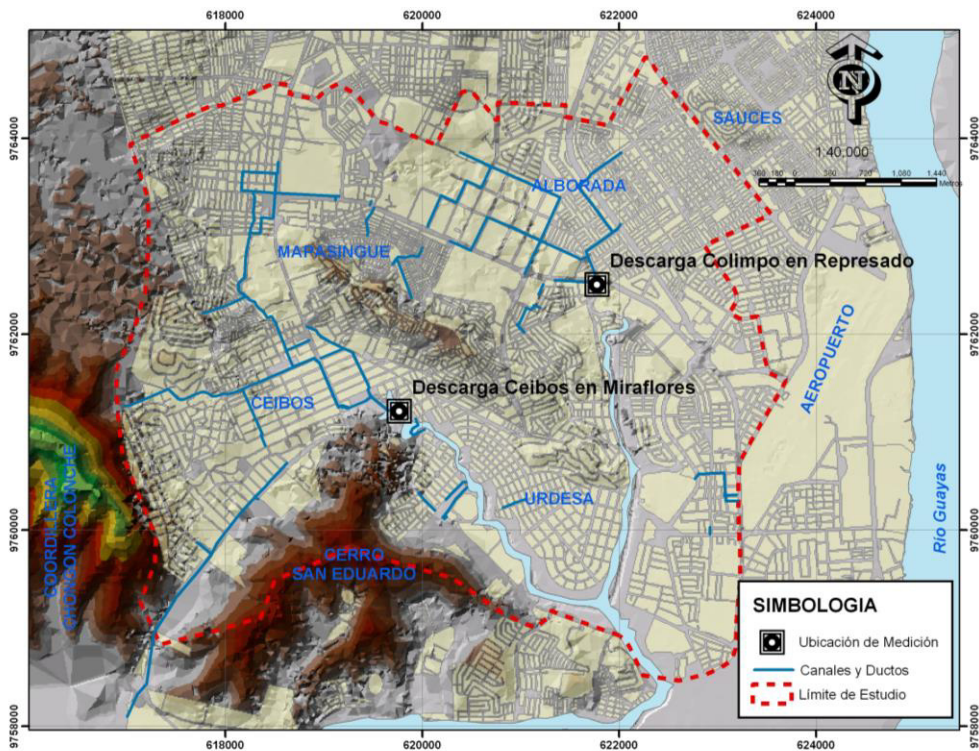


Fuente: Aquatec.S.A. – Envirosoft, 2006

3.4 Información de caudales en canales.

Se midieron Caudales en dos descargas principales, la primera esta ubicada en los Ceibos detrás de la federación ecuatoriana de fútbol y descarga al Estero Miraflores y el segundo esta ubicado en la avenida Juan Tanca Marengo junto a la empresa Colimpo y descarga al Estero Represado. Estos fueron medidos con un monitor de caudales marca Sontek modelo XR y SW. **Figura 3.5**

FIGURA 3.5 SITIOS DE MEDICION.



Fuente: Jiménez D., 2008

Los datos que proporciona el equipo son velocidades en dos direcciones, esto es, en flujo y en reflujo (marea baja y marea alta), debido a la influencia de la marea en los canales medidos. El programa del Sontek muestra un gráfico de color azul, rojo y verde en la que se muestran tres componentes de velocidad, siendo dos de estas las componentes más importantes. El gráfico de color verde muestra la resultante entre las dos componentes principales del movimiento del flujo “X y Y”, en la **Foto 3.1**. Se muestra el equipo de medición y los datos medidos en el canal Ceibos. La campaña de medición fue realizada desde el mes de febrero hasta la primera semana del mes de abril.

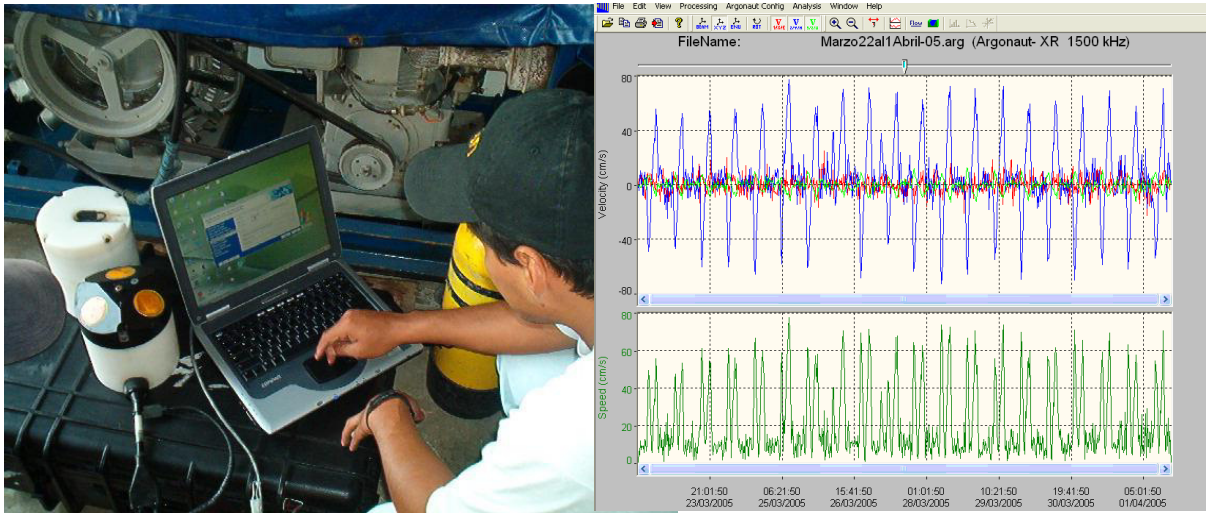
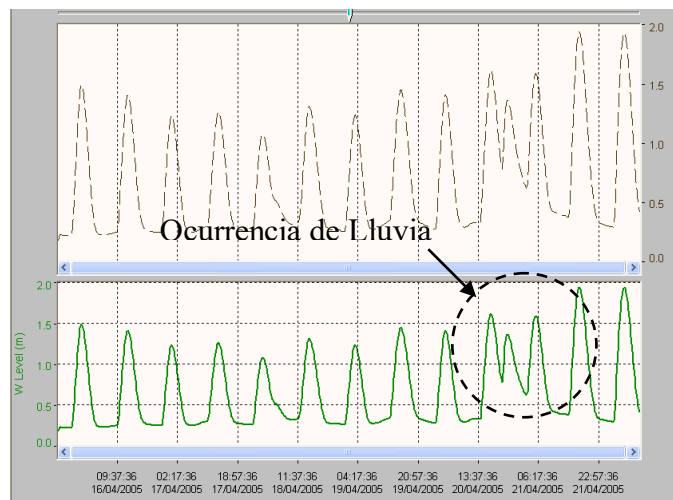


Foto 3-1 Descarga de caudales medidos en tiempo real y gráfico generado en descarga los Ceibos.

Con el mismo equipo se pudo medir la marea, luego esta fue correlacionada con las cotas IGM. En la **Figura 3.6** se puede mostrar como se muestra la curva de la marea en la descarga Ceibos, Además también se observa la ocurrencia de una lluvia en un intervalo de tiempo, es decir que ocurre un pico que no es periódico con respecto a los niveles del agua de estero.

FIGURA 3.6 SITIOS DE MEDICION.



Fuente: Aquatec.S.A. – Envirossoft, 2006

3.5 Usos de Suelo

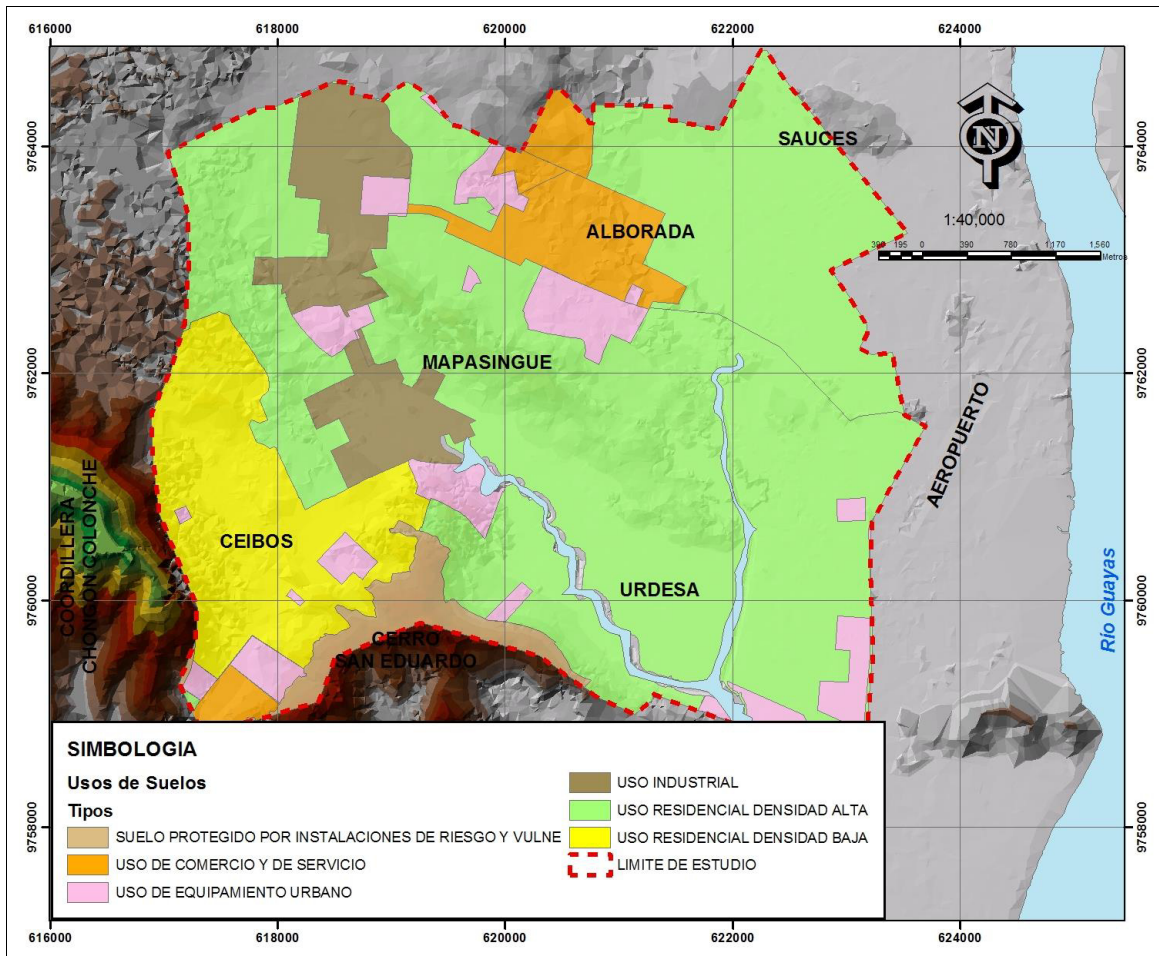
En área de estudio témenos cinco usos de suelos como son:

- Uso residencial densidad baja
- Uso residencial densidad alta
- Uso de comercio y de servicio
- Uso industrial
- Uso de equipamiento urbano

Estos usos de suelos serán los considerados para el cálculo de la escorrentía de aguas lluvias, de estos obtendremos factores que serán discutidos en el capítulo siguiente, dichos factores alimentaran al modelo matemático.

La información de usos de suelos fue cedida por el Departamento de Terrenos de la Municipalidad de Guayaquil. Como se observa en la **Figura 3.7**.

FIGURA 3.7 USOS DE SUELO.



Fuente: Municipio de Guayaquil.

3.6 Tipos de Suelos

En general, dentro de la superficie de estudio existe una gran cantidad de margas arcillosas y arcillas plásticas. En la **Tabla 3.3** se muestra los datos de depósitos coluviales y aluviales en Guayaquil.

TABLA 3-3 TIPOS DE SUELO (PRONAREC)

Formaciones litológicas y/o superficiales	Formas de Relieve	Suelos		
		Características	Taxonomía	Sigla
PIEDEMONTE: CONOS DE DEYECCION - ESPARCIMIENTO Y DEPOSITOS COLUVIO - ALUVIALES				
Depósitos aluviales de textura variable	Grandes conos de esparcimiento, con huellas de divagación localmente bien marcadas P. dom.: 12%	Suelos francos-limosos profundos; B.I.: 20-25 me/100 g.	HAPLUDOLLS Y FLUVENTIC EUTROPEPTS	Fid
VALLES Y LLANURAS ALUVIALES				
Depósitos aluviales de textura variable	Bancos y diques aluviales	Suelos francos a franco-arcillosos, profundos, con intercalaciones de arena fina	FLUVENTIC HAPLUDOLLS	Fid
	Basines, valles indiferentes, meandos y cauces abandonados	Suelos arcillosos profundos con problemas de hidromorfía, inundados parte o todo el año (a)	AQUEPTS	Fve + Fwe Fr
LLANURA FLUVIO - MARINA				
Depósitos fluvio-marinos, arenosos a limo-arenosos	Manglar	Suelos arcillo-limosos profundos con presencia de agua y sales	SULFAQUENTS	Im
	Salitral	Suelos arcillo-limosos profundos con presencia de sales	SALORTHIDS	Is
	Nivel altp plano	Suelos arcillosos profundos, con presencia de agua y sales	TROPAQUEPTS	Fve
	Nivel alto ligeramente ondulado	Suelos arcillosos profundos, con presencia de sales; pH 7; B.I.: 30 me/100 g.	VERTIC USTROPEPTS	Fvc
	Acumulaciones de lodo	Suelos limosos profundos con agua y sales	AQUEPTS	Fsf
RELIEVES COSTEROS Y CERROS TESTIGOS AISLADOS				
Complejo volcánico y volcánico - sedimentario de la cordillera costera, localmente intrusivos granodíoricos - rítmicos Afloramiento metamórfico aislados al Sur	Relieves moderados, localmente pequeños conos de deyección () P.dom.: 12%	Suelos rojizos arcillosos, medianamente profundos, localmente con piedras (en zonas coluvionadas). Saturación de bases: 50%; pH 6-7; B.I.: 15ME/100g	USTROPEPTS	Tb+ Vc
	Relieves fuertes. P.dom.: 40%	Suelos oscuros, francos, poco profundos; pH cercano a 7; B.I.: 30 me/100g	ENTICHAPLUSTOLLS	Mxc
		Suelos rojizos franco arcillosos, muy poco profundos. Saturación a bases 50%; pH 6-7; B.I.: 15me/100g	RHODIC USTORTHENTS	Exc
Calizas organógenas muy duras	Superficies incliadas con P. dom. 12-40% Abruptos circundantes con P. dom 70%	Suelos arcillosos muy poco profundos; pH 7; B.I. 40 me /100g, presencia de CO3 Ca.	USTORTHENTS PARALITHIC VERTIC USTROPEPTS	Exb Vxb
Depósitos superficiales coluvio-aluviales: bloques y guijarros en matriz arcillosa.	Transición entre cono de deyección - glacis de esparcimiento, ligeramente ondulado. P. don.: 12-25%	Suelos rojizos arcillosos, pedregosos profundos. Saturación de bases 50%; pH 6-7; B.I.: 15me/100g	SHELETAL RHODIC USTROPEPTS	Tpb

Fuente: Pronarec

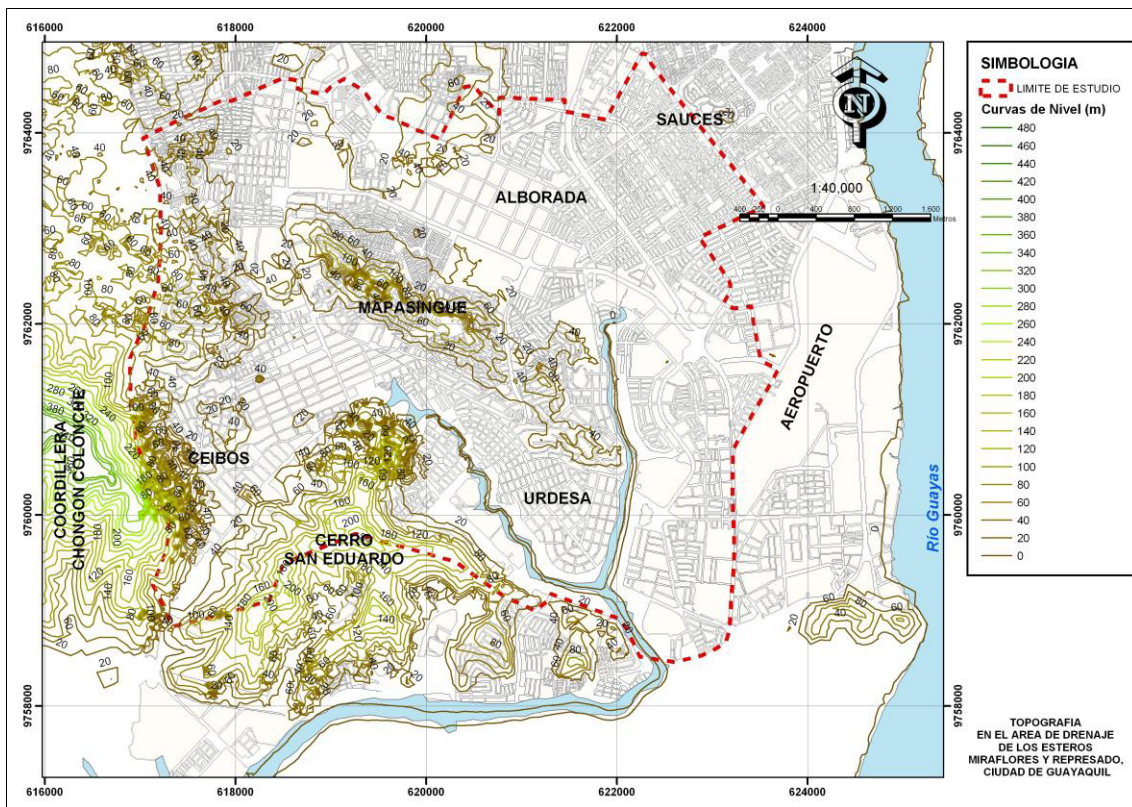
3.7 Topografía

La ciudad de Guayaquil está rodeada de cerros al noroeste y de estuarios al sur. Sus cerros, que son estibaciones de la cordillera Chongón-Colonche, presentan pendientes que varían del 20 al 45 %. En la planicie aluvial donde se encuentra asentada la ciudad se observa la presencia de tres afloramientos rocosos, uno ubicado a un costado de la ciudadela Bellavista, el segundo en el cerro Mapasingue con una prolongación hacia Urdesa y el tercero donde se encuentra asentado el barrio Las Peñas, cuyas cotas varían de 6 a 200 m.s.n.m. Al pie de sus cerros yace asentada gran parte de la ciudad, que presenta pendientes que varían del 1 al 3%, presentándose drenajes naturales que drenan hacia los esteros y ríos cercanos.

Las curvas de nivel que se presentan en la **Figura 3.8**, fueron generadas de la información topográfica cedida por Interagua y otra proporcionada por la ilustre municipalidad del Guayaquil. Esta información es actualizada tipo planimétrica y se presenta como “Latitud, Longitud, Elevación”, estos puntos se encuentran sobre los pozos de inspección (manholes) de aguas lluvias y en cada esquina de las manzanas de la ciudad. Las curvas de nivel fueron generadas por el programa CivilCad 2004* con un intervalo de 5mts mediante el proceso de triangulación.

** CivilCad: es un módulo de Autocad específico para generación de curvas de nivel mediante mallas de triangulación www.civilcad.org*

FIGURA 3.8 TOPOGRAFIA.



Fuente: Jiménez D., 2008

3.8 Cuencas de drenaje

Las cuencas en estudio en la presente tesis se encuentran al norte de la ciudad cubren ciudadelas tales como: Urdesa Central, Urdenor, Ceibos, Ceibos Norte, El Paraíso, Miraflores, Alborada, Ietel, Kennedy, Mapasingue, Prosperita, Lomas de la Prosperina y ciudadela Universitaria.

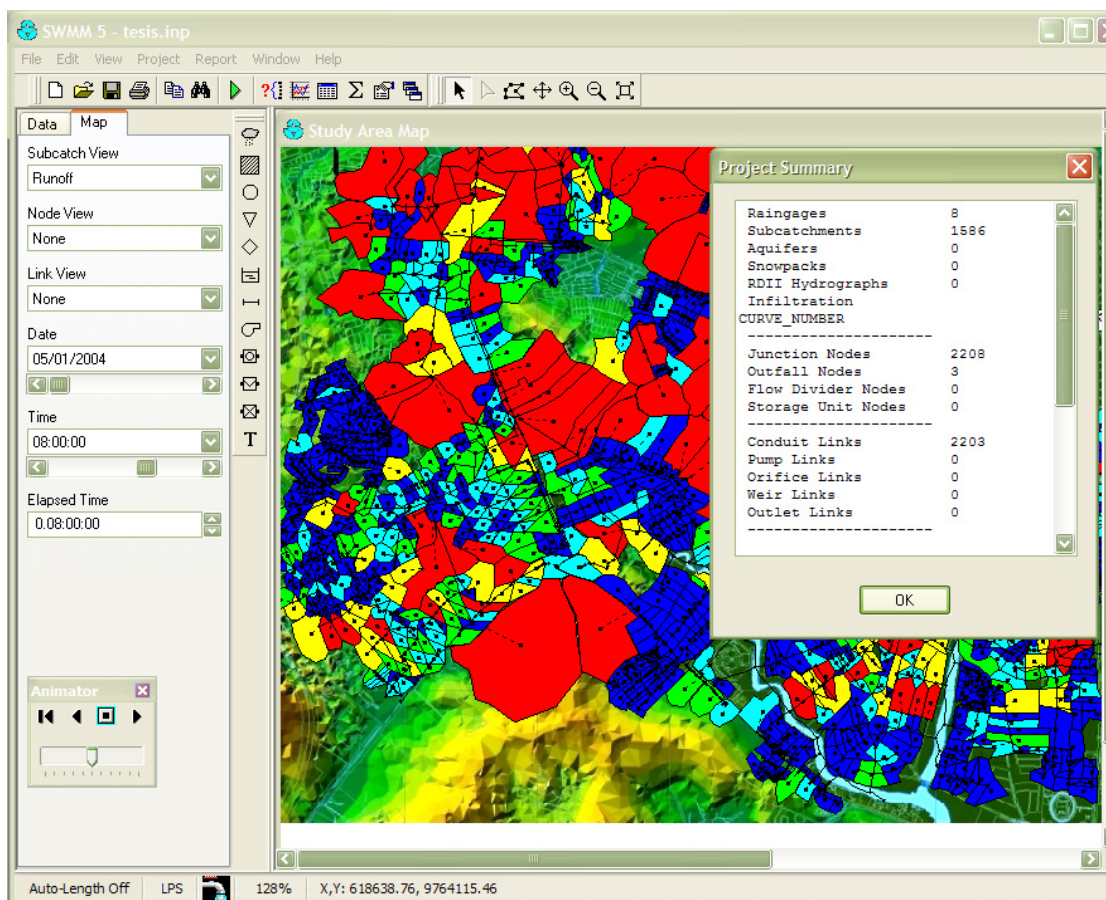
El área analizada es de 3,184ha, que representa dos cuencas. La división se la realizo siguiendo las curvas de nivel y la configuración de las red de drenaje de aguas lluvias, esta red natural consta principalmente de dos esteros a los que se los conoce son el

nombre de Miraflores el cual se encuentra hacia el sur y el otro Represado el cual se encuentra al norte. Las cuencas toman el nombre de dichos esteros.

Se contabilizaron 22 descargas hacia el estero Miraflores y 28 descargas hacia el estero Represado.

Dentro de estas dos cuencas tenemos varias áreas de aportación que drenan a cada uno de los pozos de inspección (manholes) de aguas lluvias. En la **Figura 3.9** se muestran datos generales de el numero total de micro cuencas (Subcatchments), manhole (Junction Nodes), tuberías, canales y ductos cajones (Conduit Links).

FIGURA 3.9 CUANTIA DE DATOS DEL MODELO.



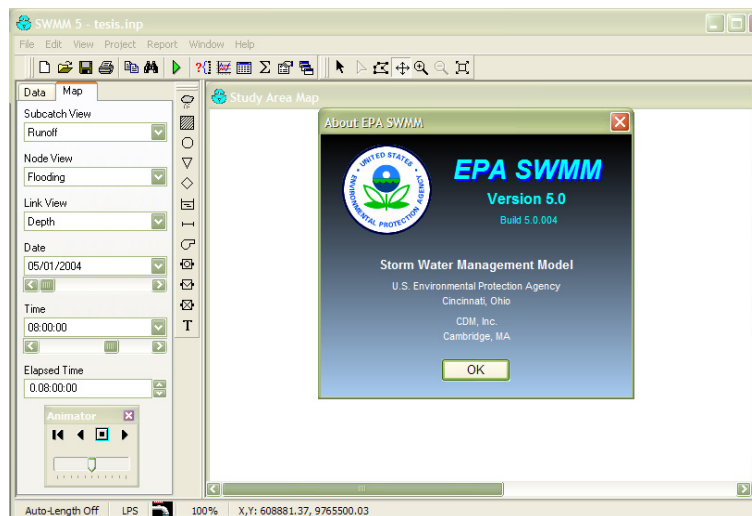
Fuente: Jiménez D., 2008

Las micro cuencas fueron generadas a partir de la base topográfica cedida por INTERAGUA, las que se digitalizaron tomando en cuenta las cotas circundantes de cada esquina para tener un polígono en donde se ingresara la información

4 USO DEL MODELO SWMM.

El programa utilizado para la simulación del sistema de drenaje es el Storm Water Management Model (SWMM) Versión 5, desarrollado por la US Environmental Protection Agency de Licencia Libre. El SWMM es un modelo de simulación de precipitación y escorrentía usado para simular la cantidad y calidad del escurrimiento en zonas urbanas para eventos simples de precipitación. El modelo está compuesto de diferentes módulos (“Blocks”) que permiten simular las diferentes etapas del escurrimiento, transporte, almacenamiento y tratamiento de las aguas lluvias. Para el modelo de la ciudad de Guayaquil se utilizaron los módulos RUNOFF y EXTRAN. El proceso de desarrollo del modelo se presenta en la **Figura 3.10**.

Figura 3.10 Storm Water Management Model (SWMM) Versión 5



Fuente: www.epa.com

4.1 Generalidades

En esta Tesis se presenta el trabajo efectuado para la modelación del sistema de alcantarillado pluvial de Guayaquil. El sistema modelado está constituido por las tuberías, canales y ductos cajón. El área total de las cuencas modeladas es de 3,184.0 hectáreas. En la **Tabla 4-1** se muestra la distribución del área modelada según el cuerpo receptor. La zona que drena hacia el Estero Repesado representa el 44.6 % del área modelada, mientras que el 55.4% drena hacia el estero Miraflores.

TABLA 4-1 Distribución de Área Modelada Según Cuerpo Receptor

Cuerpo Receptor	Cuencas Modeladas	Area Modelada (Hectareas)	Porcentaje de Area
Estero Miraflores	22	1,764.3	55.4%
Estero Repesado	28	1,419.7	44.6%
Total	50	3,184.0	100%

Fuente: Jiménez D., 2008

Según la información disponible en la base geográfica de INTERAGUA, en Guayaquil existen aproximadamente 126.4 km de tuberías de alcantarillado pluvial que fluctúan en diámetros de 8 mm a 78 mm. La longitud total de los canales es de 12.4 km y de los ductos cajón es de 14.0 km. En la **Tabla 4-2** se muestra un resumen del total de tuberías modeladas por cuenca.

TABLA 4-2 Distribución de longitud de tubería modelada por CUENCA

Cuencas	Longitud de Tuberías Modeladas (m)	Longitud de Ductos Cajón Modelados (m)	Longitud de Canales Modelados (m)
Estero Miraflores	53,858.35	8,818.34	8,086.68
Estero Repesado	72,623.83	5,223.42	4,353.37
Total	126,482.18	14,041.76	12,440.05

Fuente: Jiménez D., 2008

Toda esta información y aquellas recolectadas según el capítulo tres de esta tesis, será procesada en un SIG, para efectos de calcular todos los coeficientes correspondientes a cada área de aportación de cada uno de los sistemas de drenaje.

4.2 Descripción del Modelo SWMM

En esta Tesis se trabajó con dos componentes del SWMM, RUNOFF y EXTRAN. El componente del escurrimiento, modelado en RUNOFF, opera sobre el conjunto de áreas de aportación para cada subcuenca sobre las cuales la lluvia cae y genera el escurrimiento. El tránsito del escurrimiento, modelado en EXTRAN, se realiza a través de tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y reguladores. El SWMM calcula la cantidad y calidad del escurrimiento generado para cada cuenca, la tasa de flujo, el perfil del flujo y la calidad del agua en cada tubería y canal durante el período de simulación compuesto de múltiples periodos de tiempo. Ver

Figura 4.2.

El SWMM es un modelo hidrodinámico de simulación de precipitación y escurrimiento usado para simular las diferentes etapas del escurrimiento, transporte, almacenamiento y tratamiento de las aguas lluvias. Este modelo involucra el efecto de la marea en la descarga y transita los tiempos de concentración en forma hidrodinámica.

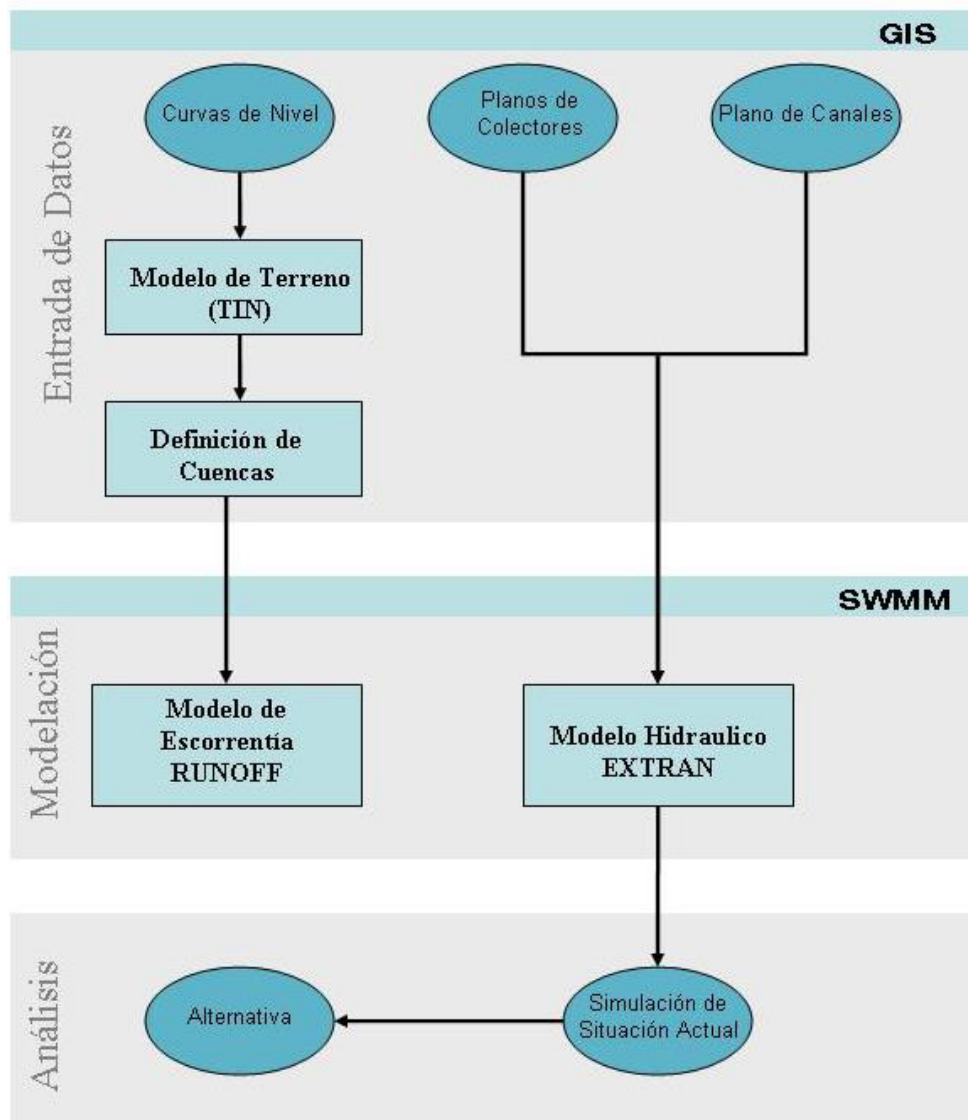
4.3 Características de la modelación hidrológica

El SWMM cuenta con varios procesos hidrológicos que producen el escurrimiento para zonas urbanas exclusivamente. Estos incluyen:

- Lluvia variable en el tiempo
- Evaporación desde superficies de agua
- Intercepción de la lluvia en depresiones
- Infiltración de la lluvia en las capas superiores de suelo.
- La percolación del agua infiltrada hacia capas acuíferas.
- Interflujo entre el acuífero y el sistema de transporte.
- Tránsito no lineal de la onda cinemática de la esorrentía superficial.

La variabilidad espacial de todos estos procesos se logra mediante la división del área de estudio en pequeños colectores constituidos por áreas homogéneas, cada una conteniendo una fracción de área permeable e impermeable. El escurrimiento superficial puede ser transitado entre las subáreas, entre cuencas o entre puntos de un sistema de conducción de drenaje.

Figura 4.2 Esquema de entrada y salida de datos del modelo SWMM



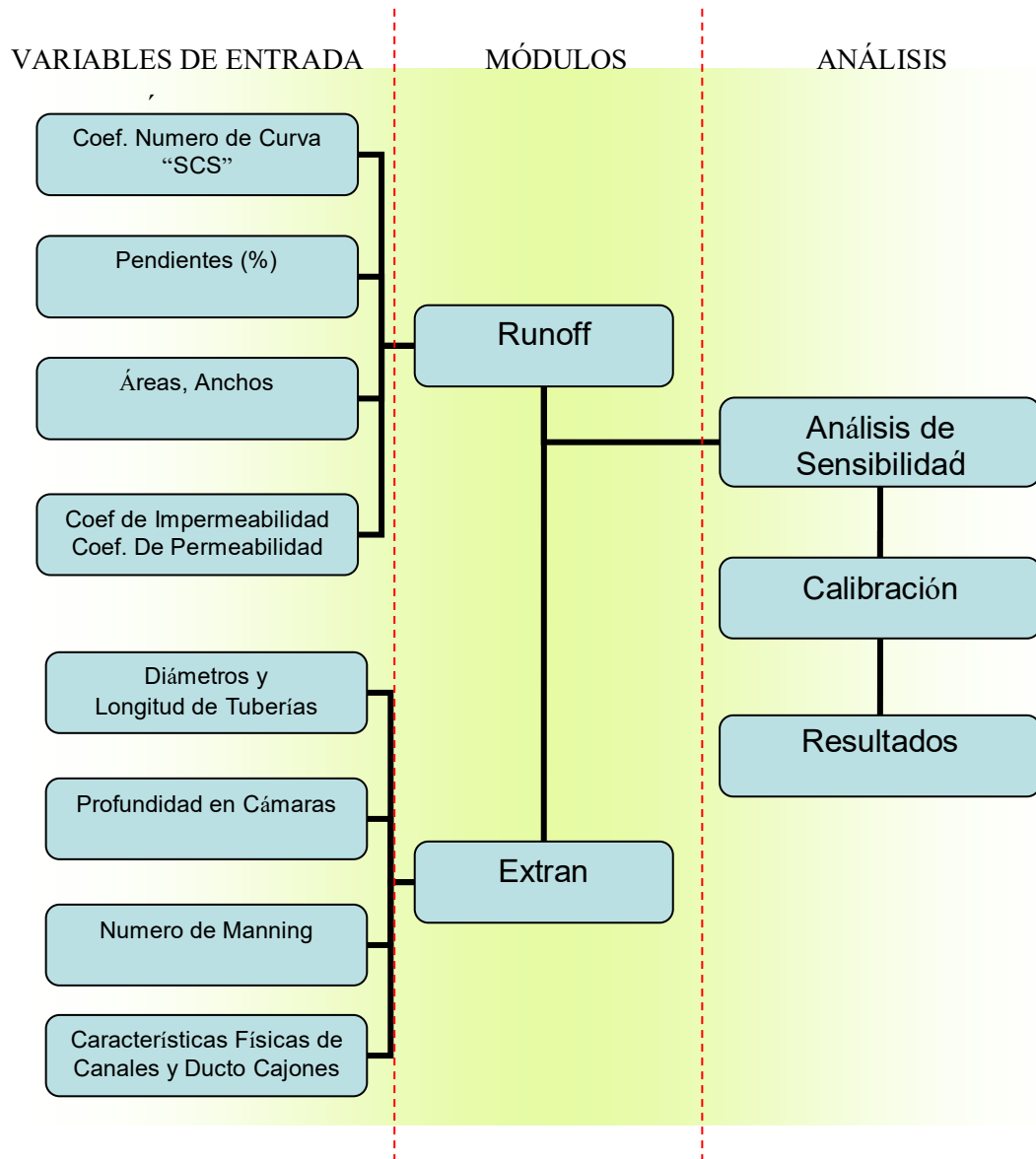
Fuente: Jiménez D., 2008

4.4 Procesamiento de datos necesarios para el modelo

Para montar el modelo de los sistemas que drenan al estero Mirafloes y Repesado se utilizó la información disponible en cuanto a la infraestructura de drenaje y a las características físicas del área. En la **Figura 4-3** se muestra cada uno de los componentes que se obtuvieron para el desarrollo del modelo. El método y la adaptación de los coeficientes para el montaje del modelo se la realizo con la ayuda de

un Sistema de Información Geográfica (GIS). El GIS utilizado es ArcMap 8.3 debido a la versatilidad he interacción con otros programas.

FIGURA 4-3 COMPONENTES DE DESARROLLO DEL MODELO

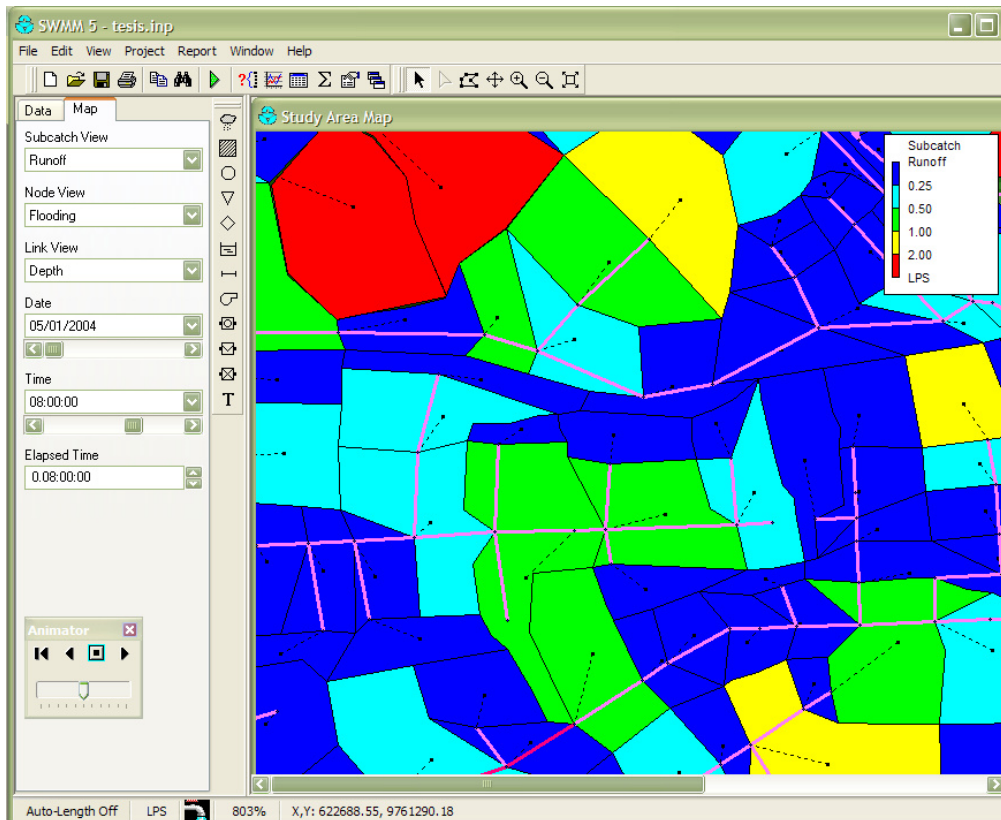


Fuente: Jiménez D., 2008

4.4.1 Áreas de Aportación.

El área de aportación de cada una de las cámaras de aguas lluvias se generó en base a las cotas de terreno observando su drenabilidad al punto más bajo de éstas el cual tiene su fin en una cámara de aguas lluvias. Estas áreas fueron generadas una a una en Autocad. Las áreas de aportación tienen un promedio 2.5 Ha. En la **Figura 4.4** se muestra la disposición de las áreas de aportación en el modelo SWMM.

FIGURA 4.4 AREAS DE APORACION.



Fuente: Jiménez D., 2008

4.4.2 Número de Curva (CN)

Los tipos de suelos existentes en la ciudad de Guayaquil corresponden a dos de los grupos hidrológicos clasificados por (SCS) como:

- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con alto contenido de arcilla.
- Grupo D: Suelos expansivos, arcillas altamente plásticas.

La distribución de estos tipos de suelo para la ciudad de Guayaquil se puede observar en la **Figura 4.5**

Una vez escogido el grupo de suelos, al uso de suelo se le asigna coeficientes CN y se los ubica dentro de la clasificación del grupo hidrológico de suelo según el (SCS) como se muestra en la **Tabla 4-3**, para posteriormente generar un plano que indique las características de suelo y uso de suelo en cada área de aportación.

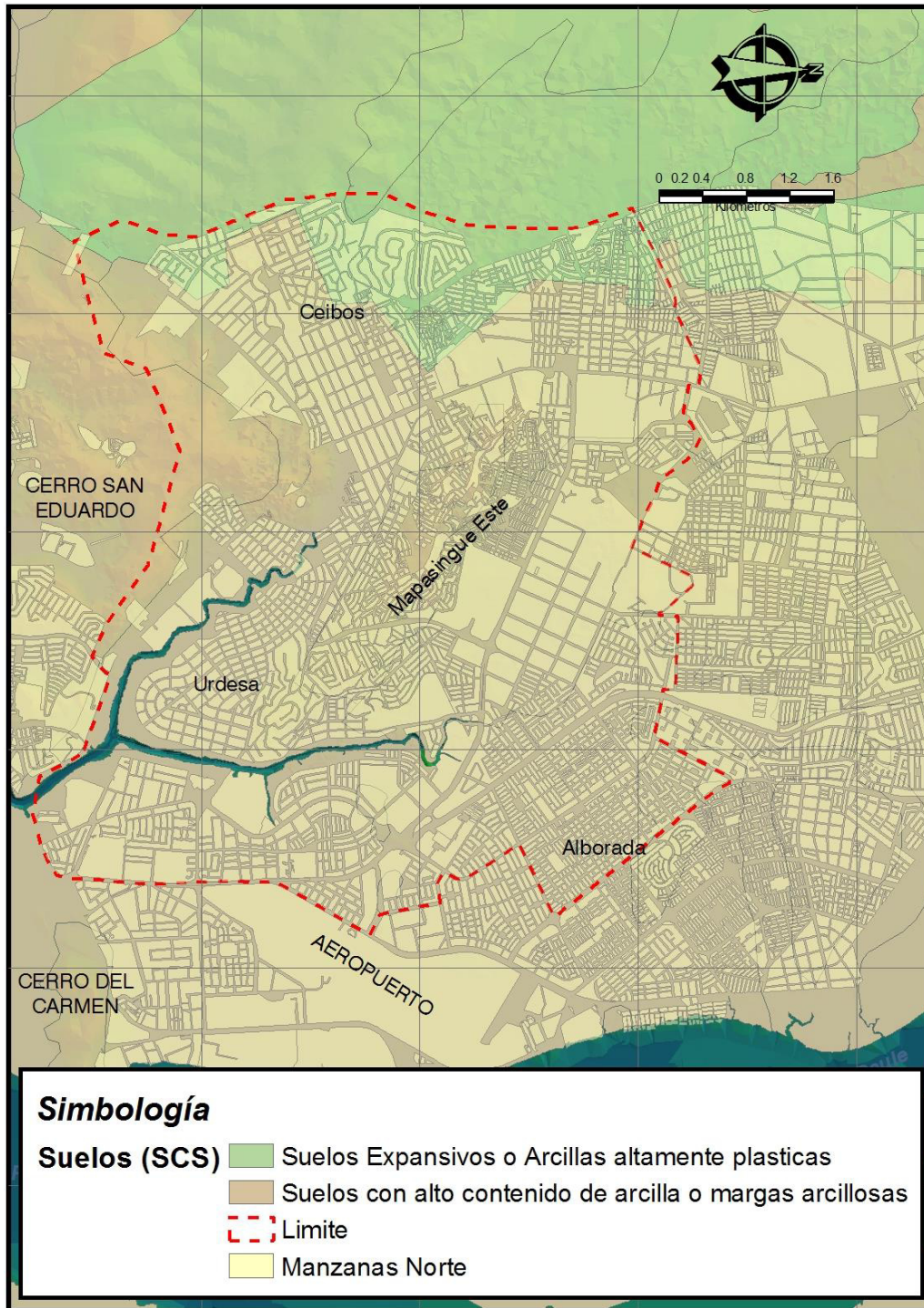
TABLA 4-3 GRUPO HIDROLÓGICO PARA USO DE SUELO.

Uso del Suelo			Grupo Hidrológico del Suelo			
			A	B	C	D
Praderas			30	58	71	78
Bosques	Cubierta pobre		45	66	77	83
	Cubierta buena		25	55	70	77
Espacios abiertos: con césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	Buena condición: cubierta de pastos sobre más del 75% del área		39	61	74	80
	Condición aceptable: cubierta de pastos sobre el 50 a 75% del área		49	69	79	84
Áreas comerciales y de tiendas (85% impermeable)			89	92	94	95
Zonas industriales (75% impermeable)			81	88	91	93
Zonas Residenciales	Tamaño medio de la parcela (m2)	Promedio de % impermeable				
	500	65	77	85	90	92
	1000	38	61	75	83	87
	1350	30	57	72	81	86
	2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84	
Tejados, parkings, superficies impermeables en general			98	98	98	98
Calles y carreteras	Pavimentadas, con bordillos y bocas de tormenta		98	98	98	98
	De grava		76	85	89	91
	De tierra		72	82	87	89

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con alto contenido de arcilla.
Grupo D: Suelos expansivos, arcillas altamente plásticas.

Fuente: Manual SWMM, 2007

FIGURA 4.5 GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SUELO SEGÚN SCS



Fuente: Aquatec.S.A. – Envirossoft, 2006

La **Tabla 4-4** presenta el método de ponderación de los coeficientes CN para cada una de las áreas de aportación.

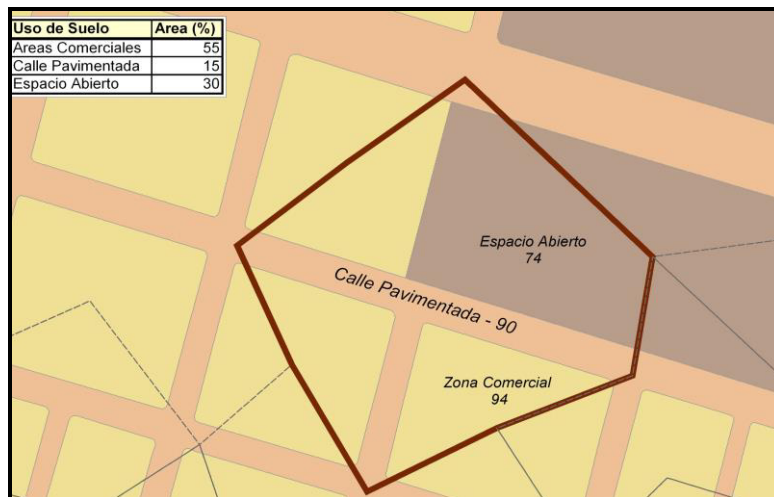
TABLA 4-4 PONDERACIÓN DE CN PARA AREAS DE APORTACIÓN

Uso del Suelo	Grupo hidrológico del Suelo		
	C		
	%	CN	Producto
Zona Comercial	55	94	51.7
Espacios Abiertos	35	74	25.9
Calles pavimentadas	15	90	13.5
	CNp =		91.1

Fuente: Jiménez D., 2008

El coeficiente Número de Curva (CN), fue adaptado a las zonas en estudio, a cada manzana, parcela y calles, ya sean de asfalto, cemento y arcilla. Se escogió hacer una ponderación de estos coeficientes CN ya que éstos son proporcionales al área de aportación de cada pozo de inspección (manhole), tal como se muestra en la **Figura 4.6**.

FIGURA 4.6 ÁREA DE APORTACIÓN TÍPICA



Fuente: Jiménez D., 2008

La distribución del número de curva obtenido para cada una de las zonas se presenta en las **Figuras 4.7**.

4.4.3 Pendientes

Para estimar la pendiente en cada área de aportación se utilizó un modelo digital de terreno (MDT), el cual dio mejores resultados en la generación de dichas pendientes. El MDT fue construido en base a la información topográfica obtenida por medio de la Municipalidad de la ciudad de Guayaquil.

4.4.4 Número de Manning (n) y Coeficiente de Encharcamiento (S)

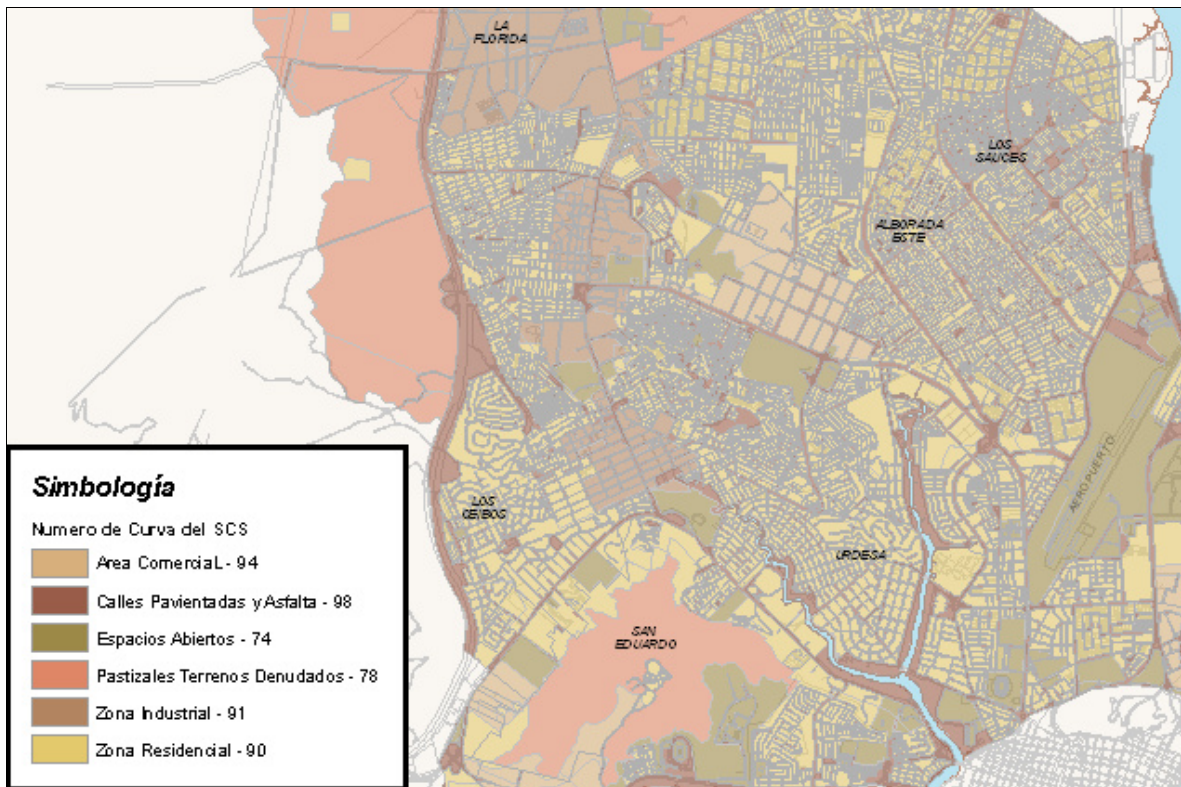
Para las áreas de aportación se utilizaron números de Manning correspondientes al flujo sobre diferentes superficies, como se observa en la **Tabla 4-5**.

TABLA 4-5 COEFICIENTE DE MANNING PARA SUPERFICIES

Superficie	Manning n
Asfalto Liso o Concreto	0.012
Asfalto Rugoso o Concreto	0.014
Arcilla Compacta	0.030
Pasto Poco Densos	0.200
Pasto Densos	0.350
Matorrales Densos	0.500

Fuente: Manual SWMM. 2007

FIGURA 4.7 ZONA NORTE



Fuente: Jiménez D., 2008

4.4.5 Coeficientes de Impermeabilidad

Los datos incluidos en la **Tabla 4-6** fueron usados para obtener el coeficiente de impermeabilidad. En esta tabla se muestran porcentajes efectivos de impermeabilidad para diferentes usos de suelo. Estos coeficientes fueron añadidos a cada una de las manzanas y calles, tanto para la zona dentro del área de estudio. De la misma forma que se realizó la ponderación en los coeficientes CN, también se realiza la ponderación para los coeficientes de impermeabilidad. Y de esta manera adaptar un valor ponderado a cada una de las áreas de aportación.

TABLA 4-6 PORCENTAJE DE IMPERMEABILIDAD EN FUNCIÓN DEL USO DE SUELO

Descripcion Uso de Suelo	Porcentaje Impermeable Efectivo
Zona Residencial Baja Densidad	30
Zona Residencial Mediana Densidad	40
Zona Residencial Alta Densidad	70
Tiendas	90
Zona Comercial	90
Zona Industrial	85
Areas Publicas	50
Parques	5
Espacios Abiertos	2
Pastizales	2

Fuente: Manual SWMM. 2007

▪ **Red de Drenaje.**

Para modelar la red de drenaje se utilizó el módulo EXTRAN en el cual se ingresan todas las características físicas de las tuberías, canales y ducto cajones. La información básica fue obtenida de las bases de drenaje pertenecientes a la concesionaria de agua potable “INTERAGUA” en las cuales se encontraron redes que no descargaban hacia algún cuerpo receptor, canal o ducto cajón. En muchos casos se encontraron sistemas que no tenían información de pendientes, cotas de terreno y cotas de invert.

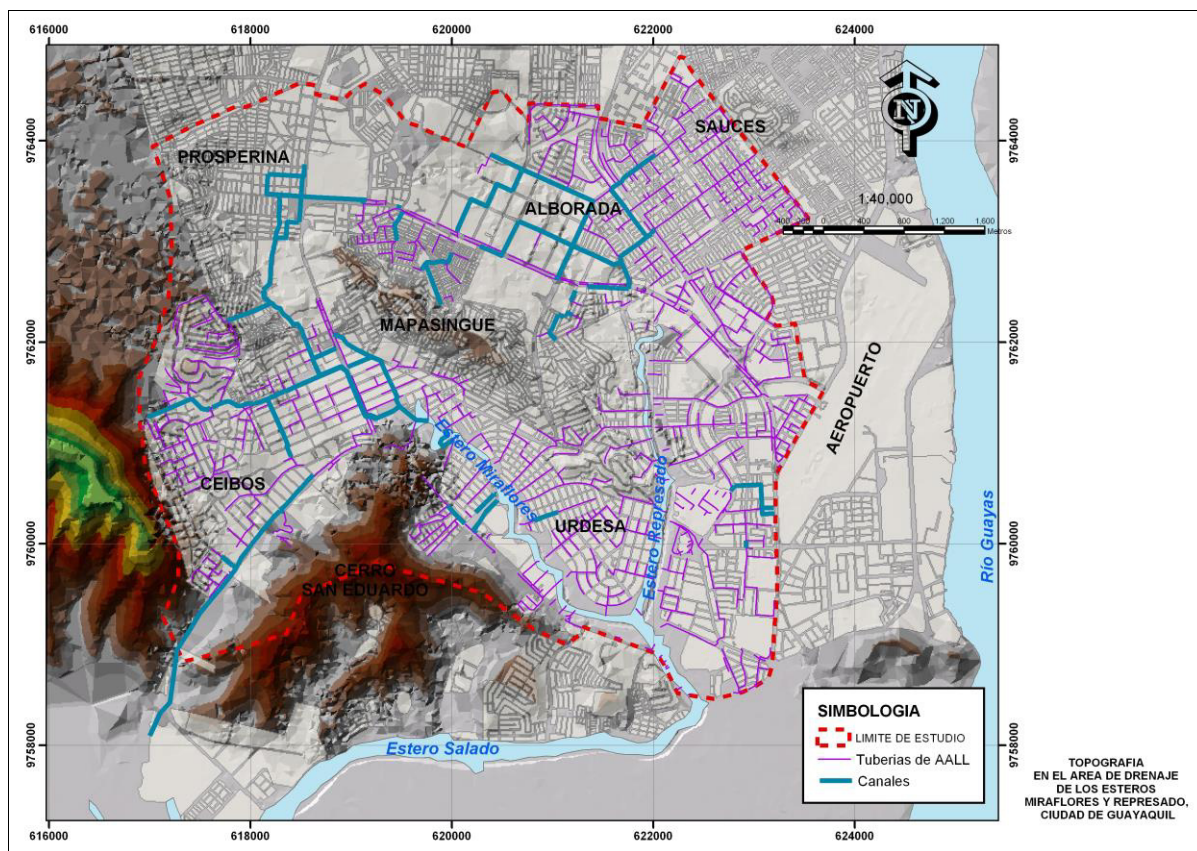
Para completar la información en ciertos sistemas, se realizaron cálculos de pendiente e invert tomando las cotas a las salidas a los cuerpos receptores, estos cálculos se los realizaron en un modelo de aguas servidas llamado **SewerCad***, el cual nos permite calcular los invert faltantes a través de condiciones de fronteras como datos existentes.

**SewerCad es una poderosa herramienta para desarrollar modelos de alcantarillado sanitario ver www.haestad.com.*

En otros casos la empresa Aquatec S.A. realizó una campaña de relevamiento de las cámaras de aguas lluvias en los sectores donde existe información escasa, como son Ceibos, Ceibos Norte y Urdesa. Esta información también fue ingresada al modelo.

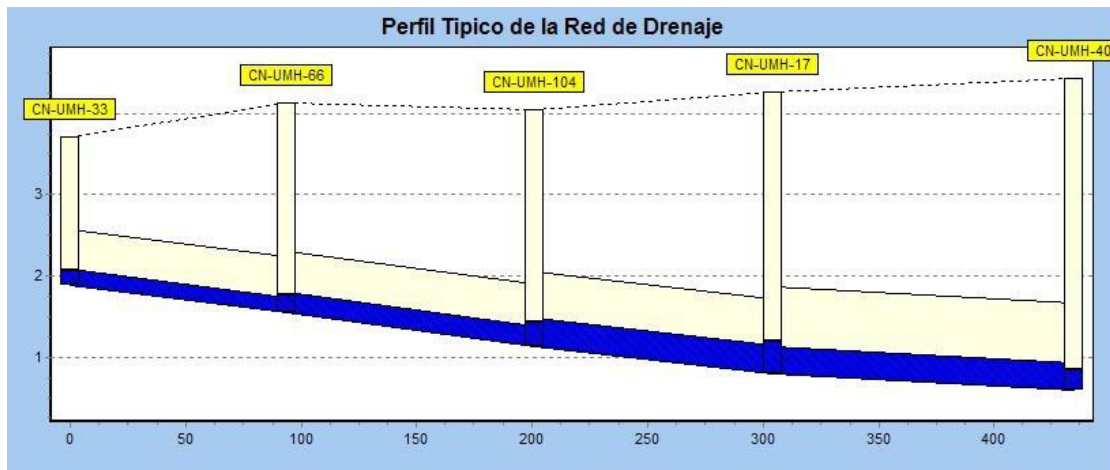
En la **Figura 4-8** se muestra un perfil típico generado luego de ingresar la información en el modelo. Es de tener en cuenta que debido a los años que tienen estas tuberías instaladas se han producido asentamientos en los pozos de infiltración (manholes) provocando que el sistema tenga pendientes negativas y no funcione totalmente a gravedad.

FIGURA 4.8 RED DE DRENAJE PLUVIAL



Fuente: Jiménez D., 2008

FIGURA 4.9 PERFIL TÍPICO DEL MODELO SWMM



Fuente: Jiménez D., 2008

5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

La evaluación del sistema de alcantarillado pluvial se realizó mediante simulaciones llevadas a cabo con un modelo matemático. La información recopilada a en el programa de medición sirvió para calibrar y verificar los modelos. Las variables de entrada del modelo de aguas lluvias y los módulos utilizados fueron analizadas en el capítulo 4.4. Una vez ingresadas las variables se procedió a realizar un análisis de sensibilidad para posteriormente realizar la calibración y utilizar el modelo en el análisis de los sistemas existentes.

El objetivo del análisis de sensibilidad es el de evaluar el comportamiento del modelo hidráulico al variar los parámetros individualmente y para un evento de lluvia específico. Con esto se busca identificar los parámetros que controlan el comportamiento del modelo (mayor incidencia en los hidrogramas de descarga) o los parámetros que son irrelevantes para el proceso de calibración.

Se realizó el análisis de sensibilidad en los modelos de las cuencas de los esteros Miraflores y Repesado con los periodos de lluvia correspondientes a los días 12 y 20 de Abril del 2005. En esta fecha se ubicaron los equipos pluviométricos y los correntómetros, De los pluviómetros se escogió la información del pluviómetro ubicado en el edificio actualmente llamado INMARAL-SALUD ubicado en la Av. Carlos Julio Arosemena junto al colegio 24 de Mayo.

A cada una de las variables se las afectó con decaimientos y crecimiento de porcentajes en las variables de entrada en el orden del -50%, -25%, +25% y +50%. Se analizaron los coeficientes o variables más importantes en los modelos de escorrentía urbana, que analizaremos son los siguientes:

- WIDHT (ancho de área de aportación)
- N PERV (coeficiente de manning para área permeable)
- N IMPERV (coeficiente de manning para área impermeable)
- PCNT IMPERV (porcentaje de área impermeable)
- PCNT SLOPE (pendiente promedio)

No se analizaran los otros coeficientes ya que aquellos corresponden a propiedades físicas del sistema que no pueden variar como: Longitud, Diámetro, Cotas de Terreno, Pendientes, Cotas de Invert, Profundidad de Pozos.

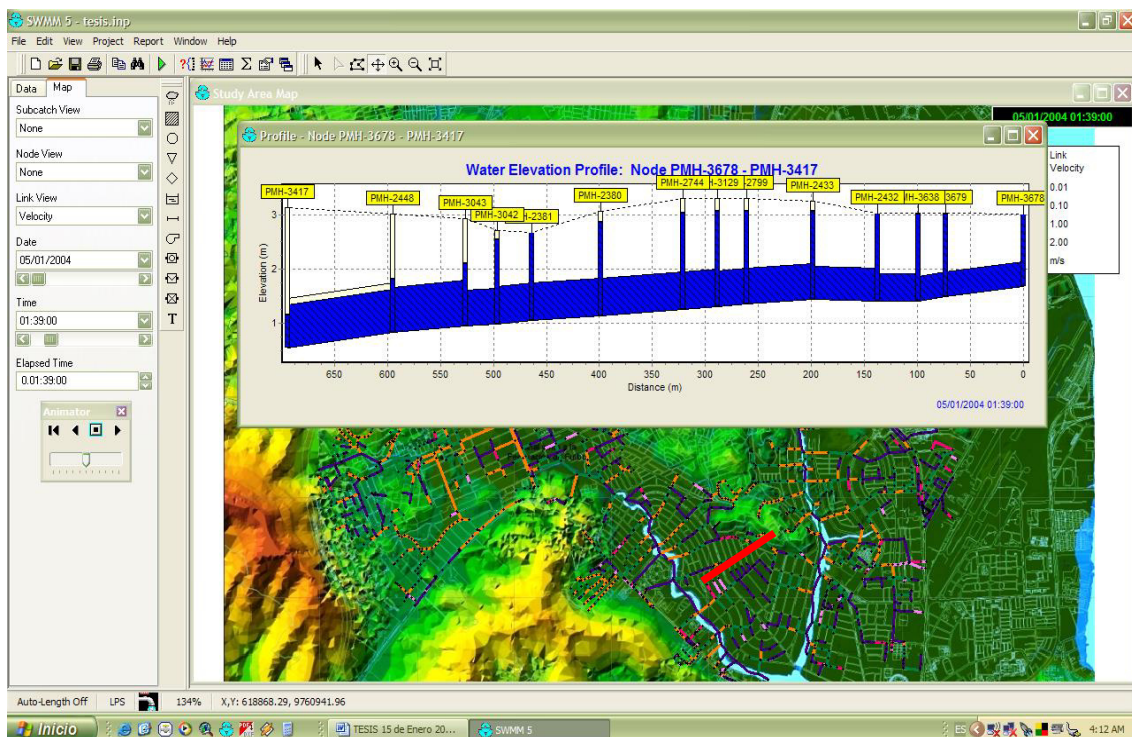
Las variables de entrada de ambas cuencas fueron revisadas mediante los ábacos y tablas propios de La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos “EPA” y el modelo Storm Water Management Model “SWMM”.

5.1 Análisis de Sensibilidad en Cuenca Miraflores

En la **Figura 5.1** se muestra la ubicación y perfil de una subcuena modelada para el cual se realizó el análisis de sensibilidad. En el perfil se muestra en nivel del agua en el canal para la lluvia del 20 de Abril la cual tuvo un acumulado de aproximadamente 160mm. Éste evento se utilizó para el análisis de sensibilidad. Ver **Figura 5.2**.

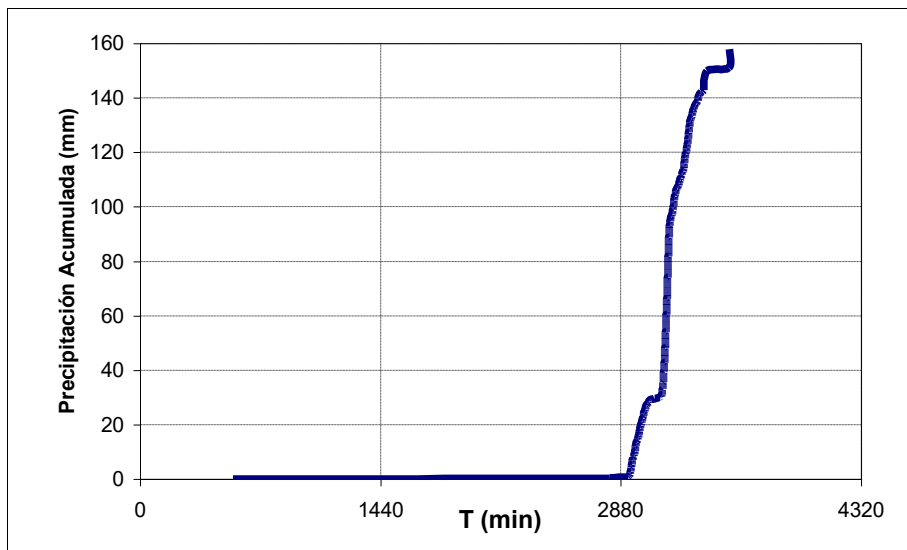
A continuación se presentan hidrogramas modelados en el sitio donde se realizaron las mediciones de velocidad y marea

FIGURA 5.1 UBICACIÓN Y PERFIL LONGITUDINAL SUBCUENA MIRAFLORES



Fuente: Jiménez D., 2008

FIGURA 5.2 LLUVIA ACUMULADA ESTACIÓN EDIFICIO INMARAL-SALUD "INTERAGUA"
18 DE AGOSTO AL 20 DE AGOSTO DEL 2005

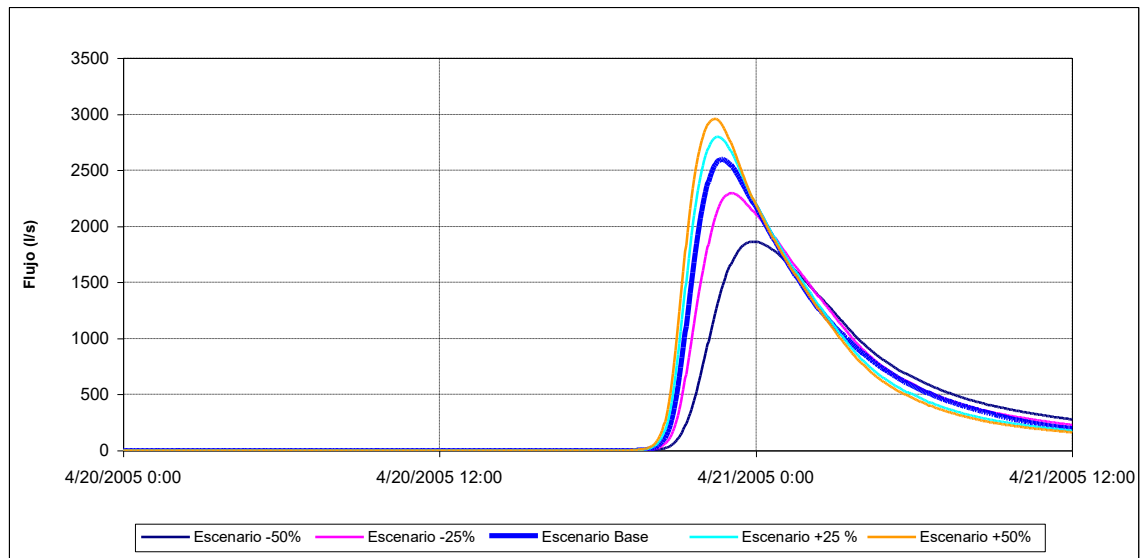


Fuente: Aquatec.S.A. – Envirosoft, 2005

5.1.1 WIDTH.

El ancho (WIDTH) es una relación entre el área de la cuenca de aportación dividida para el recorrido más largo del flujo al canal. Este parámetro, relacionado con el tiempo de concentración, resulto tener mucha influencia en el comportamiento del modelo. A medida que al factor “WIDTH” se incrementa el flujo también se incrementa ya que el área es directamente proporcional al volumen de agua que llega al canal. Por ejemplo, se encontró que un decrecimiento del 50% en el ancho de la cuenca de aportación puede afectar con un decrecimiento del 14.3% en el caudal pico como se muestra en la **Figura 5.3.**

FIGURA 5.3 VARIACIONES DEL COEFICIENTE (WIDTH)

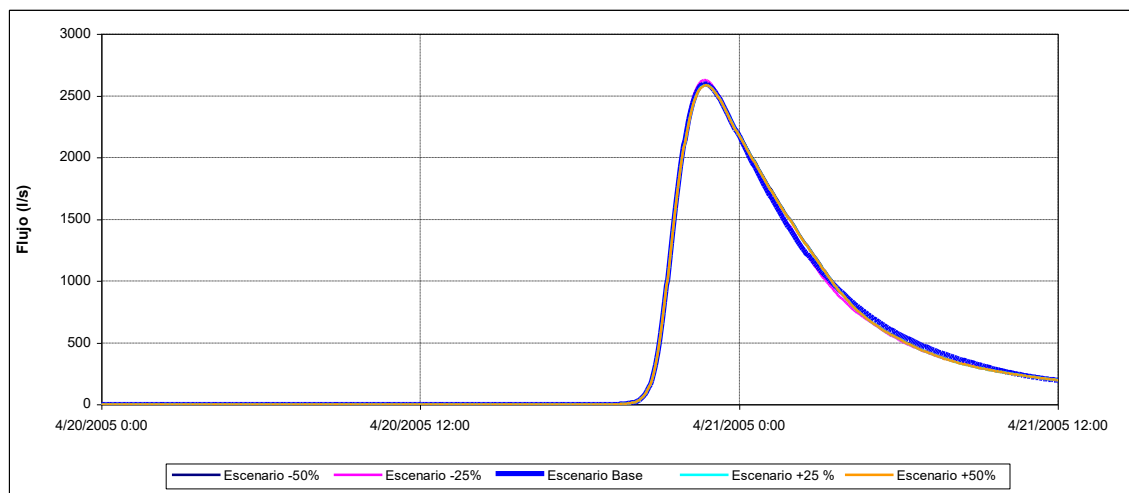


Fuente: Aquatec.S.A. – Envirosoft, 2006

5.1.2 N PERV:

Este coeficiente que representa la rugosidad del área permeable resultó tener poca influencia en el comportamiento del modelo como se muestra en la **Figura 5.4**. Esto se debe principalmente al porcentaje relativamente bajo de área permeable en la zona.

FIGURA 5.4 VARIACIONES DEL COEFICIENTE (N PERV)

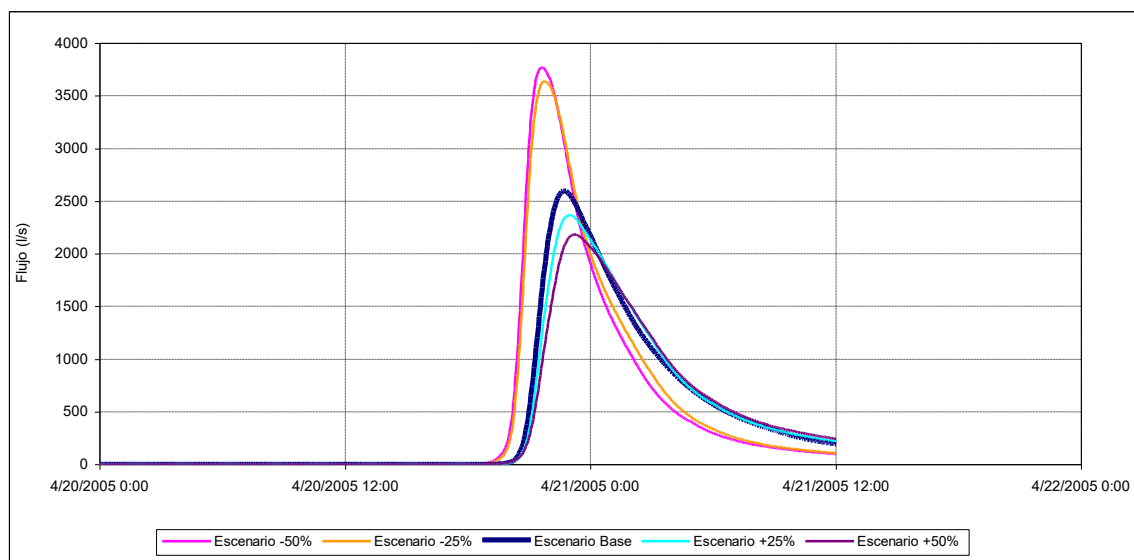


Fuente: Aquatec.S.A. – Envirosoft, 2006

5.1.3 N IMPERV

Este valor, que represente en coeficiente de rugosidad para las superficies impermeables, tiene mayor influencia en el comportamiento del modelo ya que este tipo de superficie se encuentra en gran cantidad en esta cuenca. Cuando se producen variaciones en el coeficiente “N IMPERV” en incrementos del 50%, también se produce decrecimiento del flujo del 5.88%. Por otro lado, cuando se produce un decrecimiento del 50% de esta variable, la cantidad de flujo aumenta en un 7.64%. En la **Figura 5.5** se muestra como varía el flujo en tiempo y volumen.

FIGURA 5.5 VARIACIONES DEL COEFICIENTE (N IMPERV)

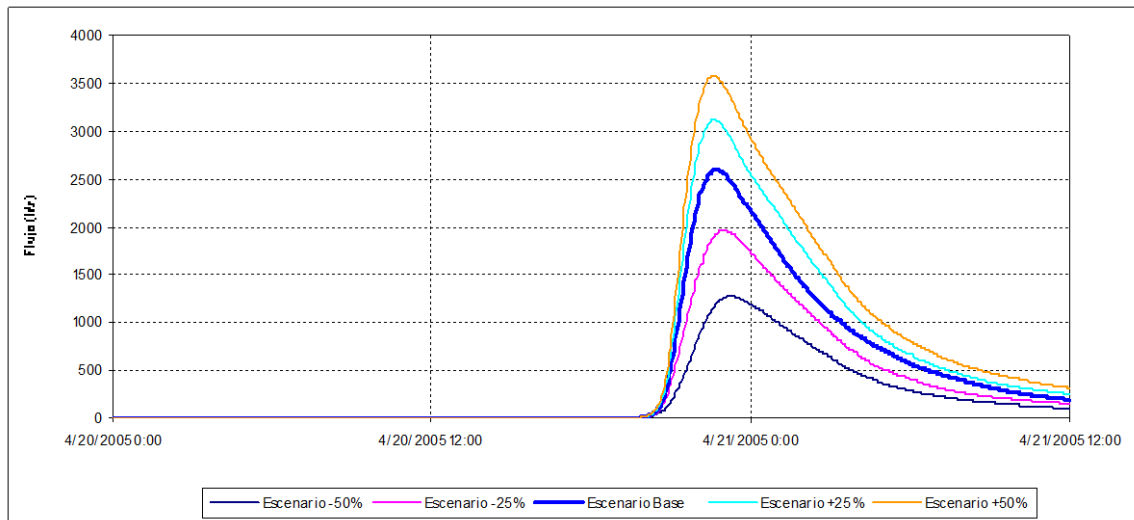


Fuente: Aquatec.S.A. – Envirosoft, 2006

5.1.4 PCNT IMPERV

Describe cuan impermeables son las áreas de aportación, es decir, que mientras más impermeable sea la superficie la cantidad de agua que llegue al canal será mayor. En la **Figura 5.6** se observa como a medida que este coeficiente disminuye el flujo también lo hace.

FIGURA 5.6 VARIACIONES DEL COEFICIENTE (PCNT IMPERV)



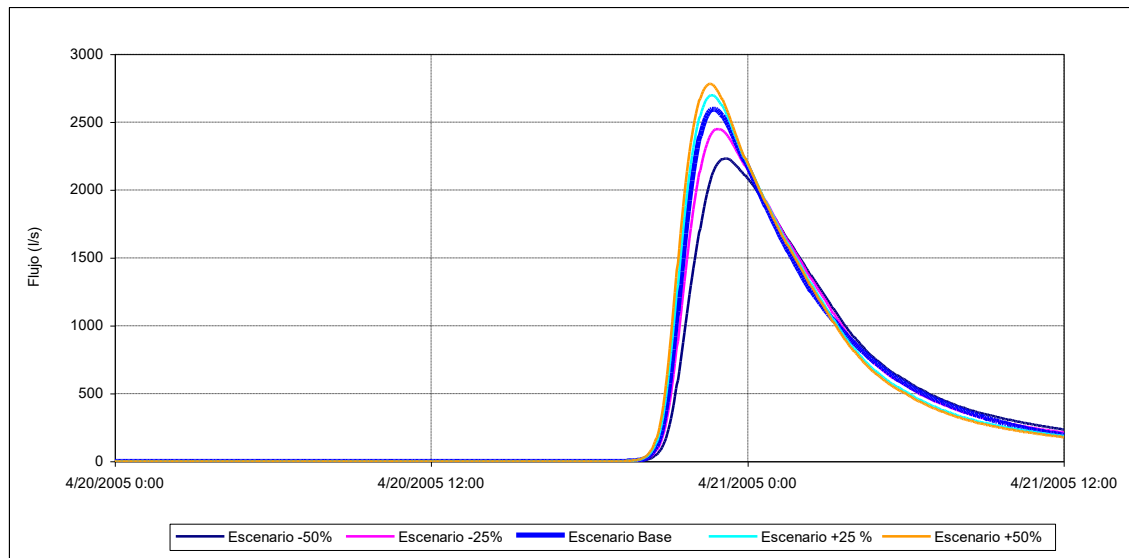
Fuente: Aquatec.S.A. – Envirosoft, 2006

5.1.5 PCNT SLOPE

Aguas abajo de las cuencas en estudio los valores de pendientes se encuentran en el orden de 3% y aguas arriba las pendientes se encuentran en el orden de 15%, esto significa que cuando se produce un incremento en esta variable el flujo también aumenta ya que el riesgo de encharcamiento es menor.

En la **Figura 5.7** muestra que las afectaciones al flujo producto de los incrementos y decrementos de la variable “PCNT SLOPE”, sean directamente proporcionales al hidrograma de descarga generado.

FIGURA 5.7 VARIACIONES DEL COEFICIENTE (PCNT SLOPE)



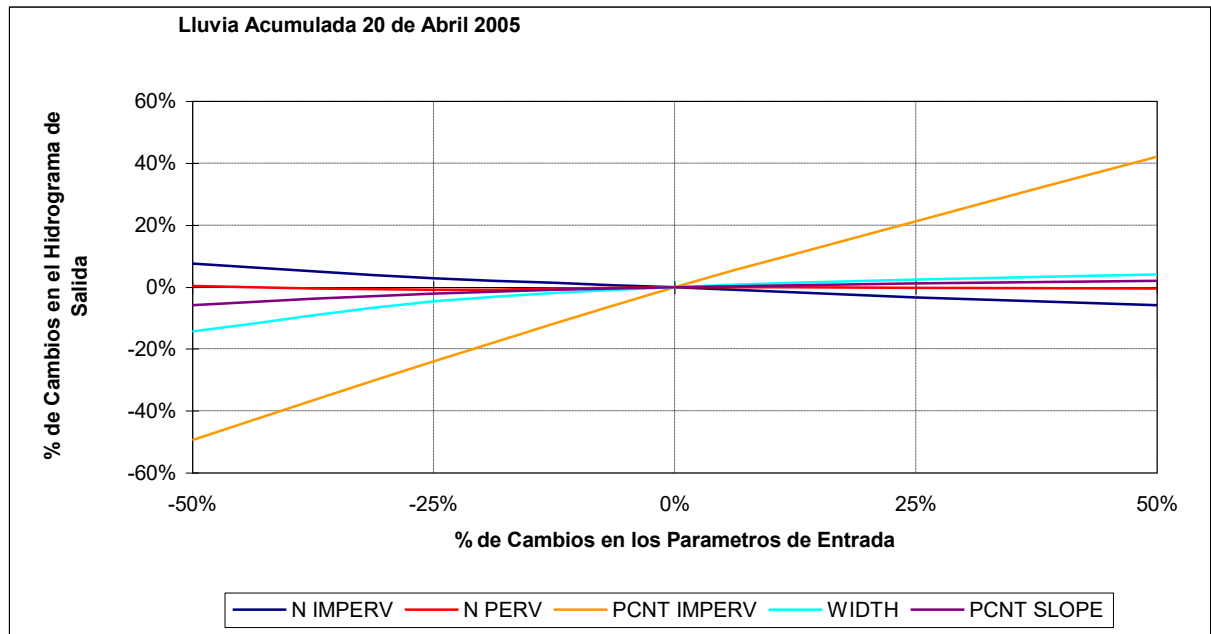
Fuente: Aquatec.S.A. – Envirosoft, 2006

El resumen del análisis de sensibilidad se presenta en la **Figura 24** donde se muestran los gradientes de sensibilidad para todos los parámetros evaluados. Esta figura muestra cuál es la respuesta del volumen de agua descargado al cambiar cada una de las variables de entrada. Los porcentajes fueron calculados en base a lo generado por el modelo “SWMM”. Además se puede observar que en su mayoría actúan en forma directamente proporcional a la cantidad de agua de descargada, siendo sólo uno el que tiene actuación inversa a la cantidad de flujo.

La variable con mayor influencia es el “PCNT IMPERV” ya que un incremento del 50% en este coeficiente produce un incremento del 38.9% en el hidrograma de descarga. Esta es la variable principal que se utilizó posteriormente para la calibración del modelo ajustándose dentro de los rangos permisibles. Otros dos parámetros, menos sensibles, que se utilizaron fueron el WIDTH y el N IMPERV. Como se explicó anteriormente, para esta cuenca, los parámetros PCNT PERV y N PERV son insensibles

al modelo. Esto se debe a que los suelos de las cuencas estudiadas son en su mayoría impermeables, por lo que los valores de estos coeficientes no tuvieron mayor incidencia.

FIGURA 5.8 RESUMEN DE ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD CUENCA MIRAFLORES.



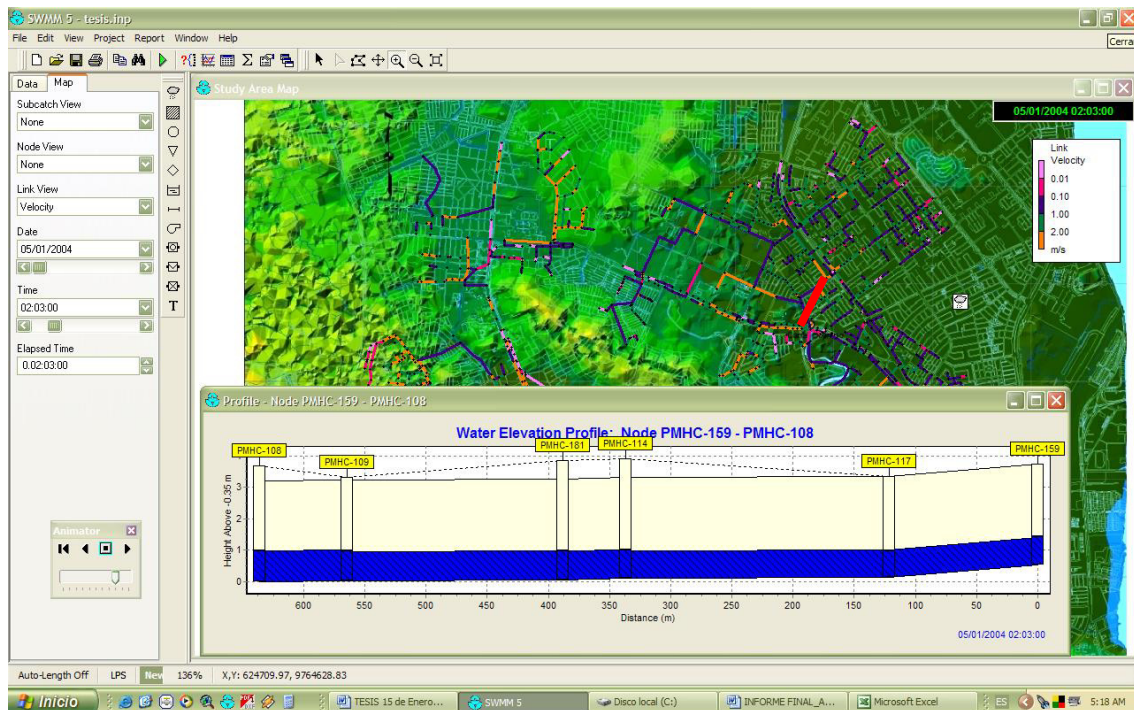
Fuente: Aquatec.S.A. – Envirosoft, 2006

5.2 Análisis de Sensibilidad en Cuenca Represado

Un ejercicio similar se realizó para la cuenca Represado. En la **Figura 5.9** se muestra la ubicación y perfil del canal modelado para el cual se realizó el análisis de sensibilidad.

En el perfil se muestra el nivel del agua en el canal para la misma lluvia del 20 de abril, la cual tuvo un acumulado de aproximadamente 160mm.

FIGURA 5.9 UBICACIÓN Y PERFIL DE CANAL REPRESADO

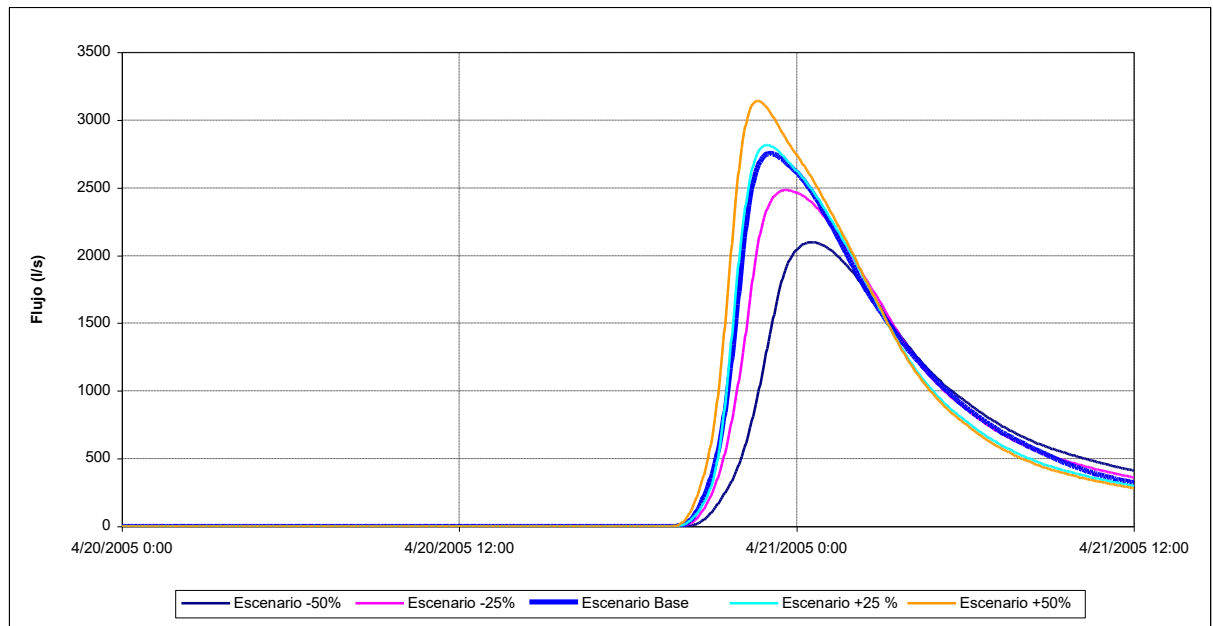


Fuente: Jiménez D., 2008

5.2.1 WIDTH

El caudal pico en esta cuenca también es afectado por el ancho mostrándose que un decrecimiento del 50% en el ancho afecta con un decrecimiento del 17.49% en la cantidad de flujo de salida y un crecimiento del 50% del ancho hace que el hidrograma de descarga aumente en un 5%. Esto se muestra en la **Figura 5.10**.

FIGURA 5.10 VARIACIONES DEL COEFICIENTE (WIDTH)

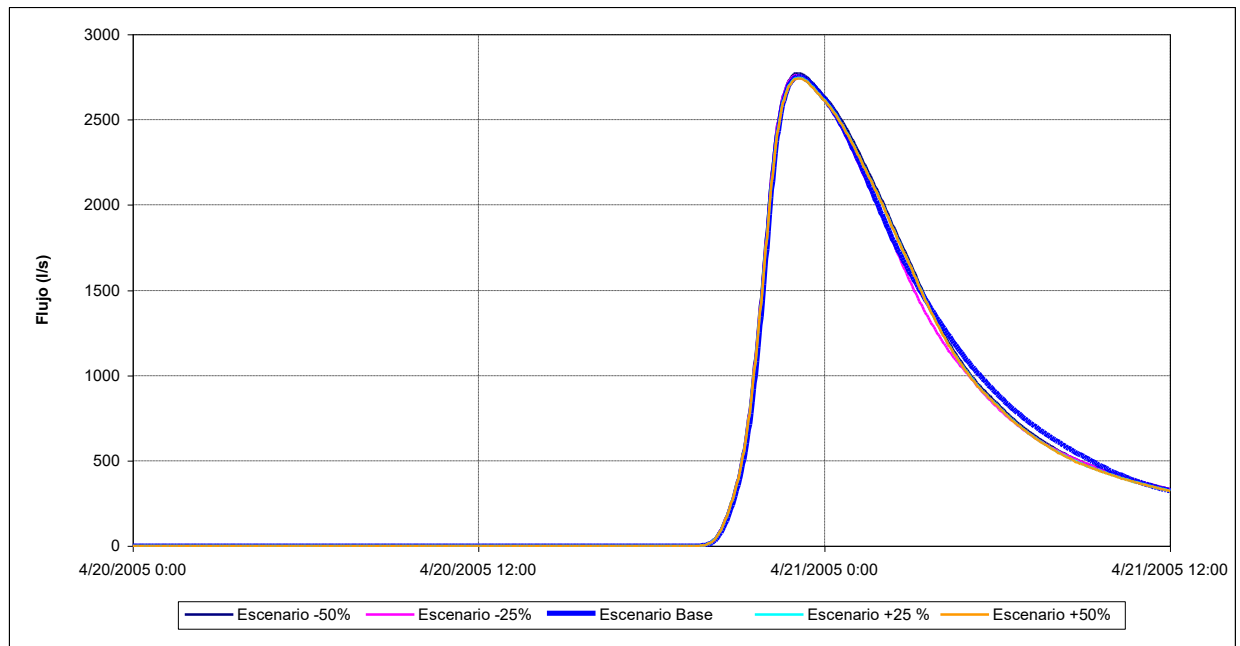


Fuente: Aquatec.S.A. – Envirosoft, 2006

5.2.2 N PERV

Al igual que la cuenca Represado el coeficiente “N PERV” es una de las variables que no afecta al hidrograma de descarga cuando a éste se le multiplica por el -50%, -25%, +25% y +50% de su valor, como se muestra en la **Figura 5.11**.

FIGURA 5.11 VARIACIONES DEL COEFICIENTE (N PERV)

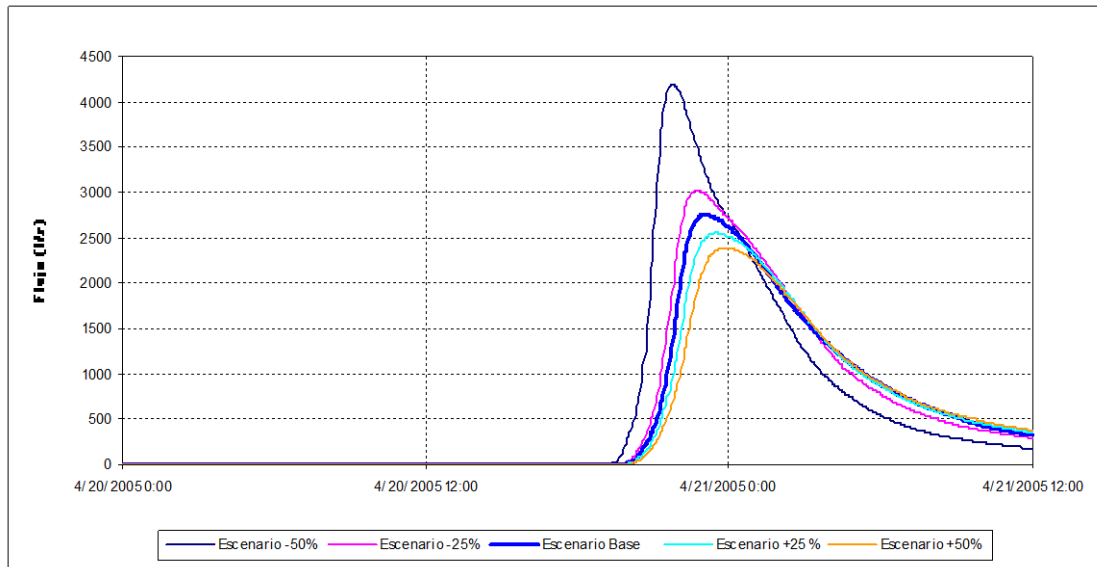


Fuente: Aquatec.S.A. – Envirosoft, 2006

5.2.3 N IMPERV

El número de Manning de aquellas superficies impermeables “N IMPERV”, es considerado dentro de este análisis ya que estas superficies se encuentran en gran cantidad en esta cuenca al igual que la cuenca Represado. En la **Figura 5.12** se observa que cuando la impermeabilidad es mayor el flujo llega más retardado y en menor cantidad al canal por donde transite.

FIGURA 5.12 VARIACIONES DEL COEFICIENTE (N IMPERV)

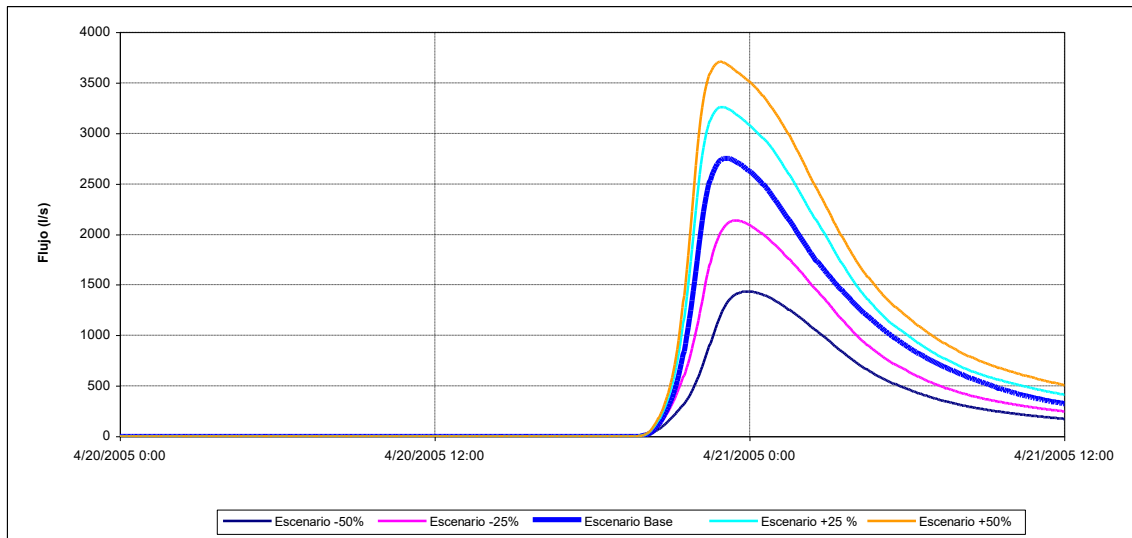


Fuente: Aquatec.S.A. – Envirosoft, 2006

5.2.4 PCNT IMPERV

En la **Figura 5.13** se observa como a medida que este coeficiente disminuye el flujo también lo hace. Por otro lado, el hidrograma comienza en el mismo tiempo para todas las variaciones del coeficiente analizado. El aumento de los valores de este coeficiente tiene una relación directa con la cantidad de flujo que se genera. Por ejemplo un aumento del 50% produce un incremento del 38.9% en el volumen del hidrograma desarrollado.

FIGURA 5.13 VARIACIONES DEL COEFICIENTE (PCNT IMPERV)

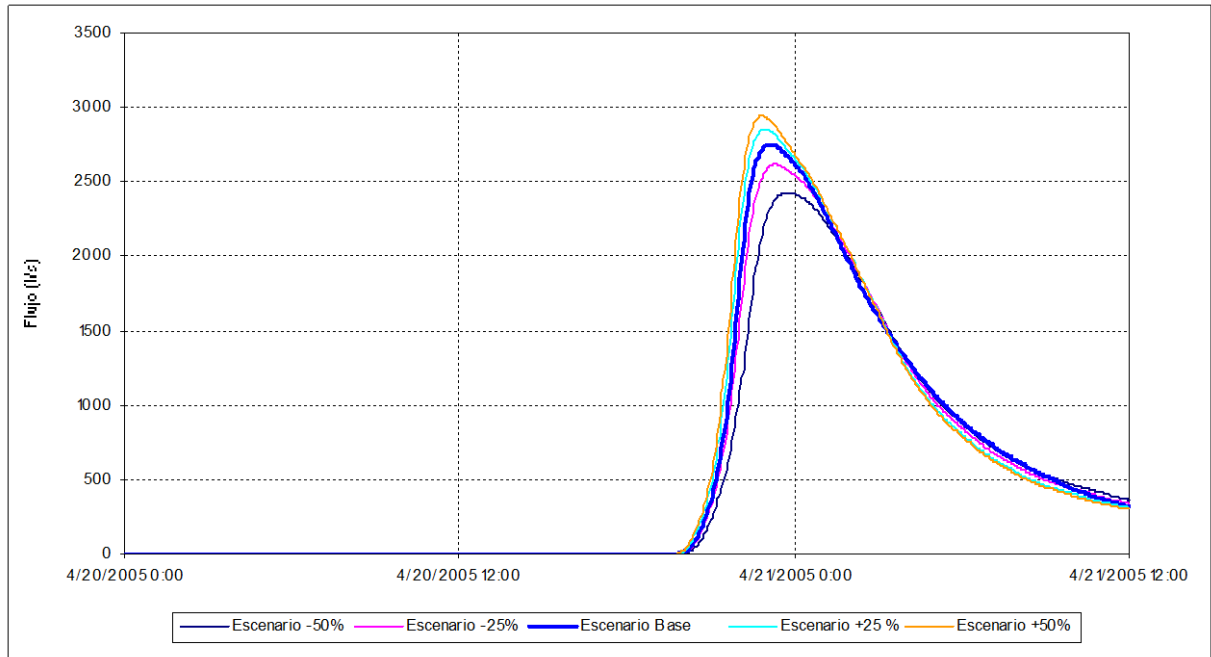


Fuente: Aquatec.S.A. – Envirosoft, 2006

5.2.5 PCNT SLOPE

Los cambios en las pendientes no tienen un cambio sustancial en el hidrograma de respuesta pero sí originan mayor cantidad de flujo a medida que éstas aumentan. Del análisis realizado se desprende que cuando las pendientes tienen un aumento del 50% el volumen de hidrograma generado aumenta en un 2.5% como se observa en la **Figura 5.14.**

FIGURA 5.14 VARIACIONES DEL COEFICIENTE (PCNT SLOPE)



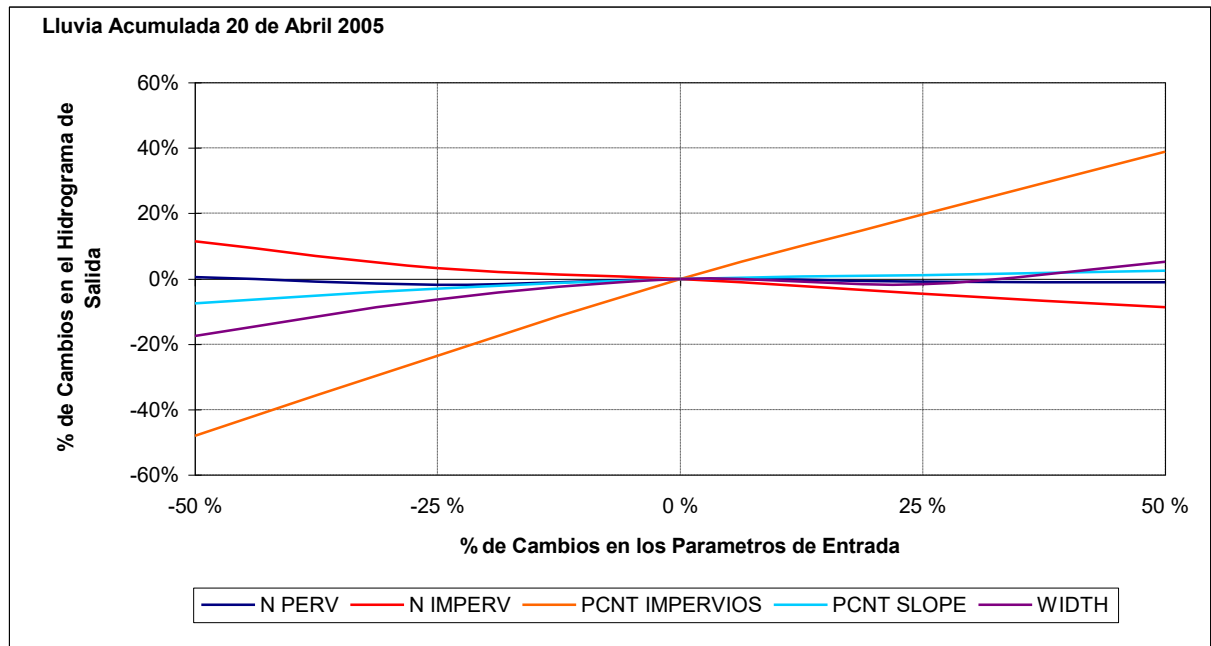
Fuente: Aquatec.S.A. – Envirosoft, 2006

En resumen se puede decir que, al igual que en la cuenca Represado, los coeficientes en su mayoría actúan en forma directamente proporcional a la cantidad de agua de descargada siendo solo uno el que tiene actuación inversa a la cantidad de flujo. En la **Figura 5.15** se puede observar como varían los coeficientes de entrada del modelo y como a afectado al hidrograma de descarga.

El orden de los parámetros según la sensibilidad al modelo es la siguiente: numero de Manning para las zonas permeables, pendiente del terreno, número de Manning para las zonas impermeables, ancho de las áreas de aportación y el porcentaje de impermeabilidad de las áreas de aportación. Aunque los cambios mas significativos se presenten con la variable “PCNT IMPERV” es de tener en cuenta que en el momento de la calibración esta no puede sufrir grandes cambios, ya que si le aumenta o

disminuye más del 13% se estarían utilizando valores que no corresponden al tipo de terreno del área analizada.

FIGURA 5.15 RESUMEN DE ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD CUENCA REPRESADO.



Fuente: Aquatec.S.A. – Envirosoft, 2006

5.3 Proceso de Calibración

Para el proceso de calibración se ajustaron principalmente los tres parámetros más sensibles según los resultados del análisis de sensibilidad:

- Porcentaje de área impermeable
- Ancho del área de aportación
- Número de Manning de área impermeable

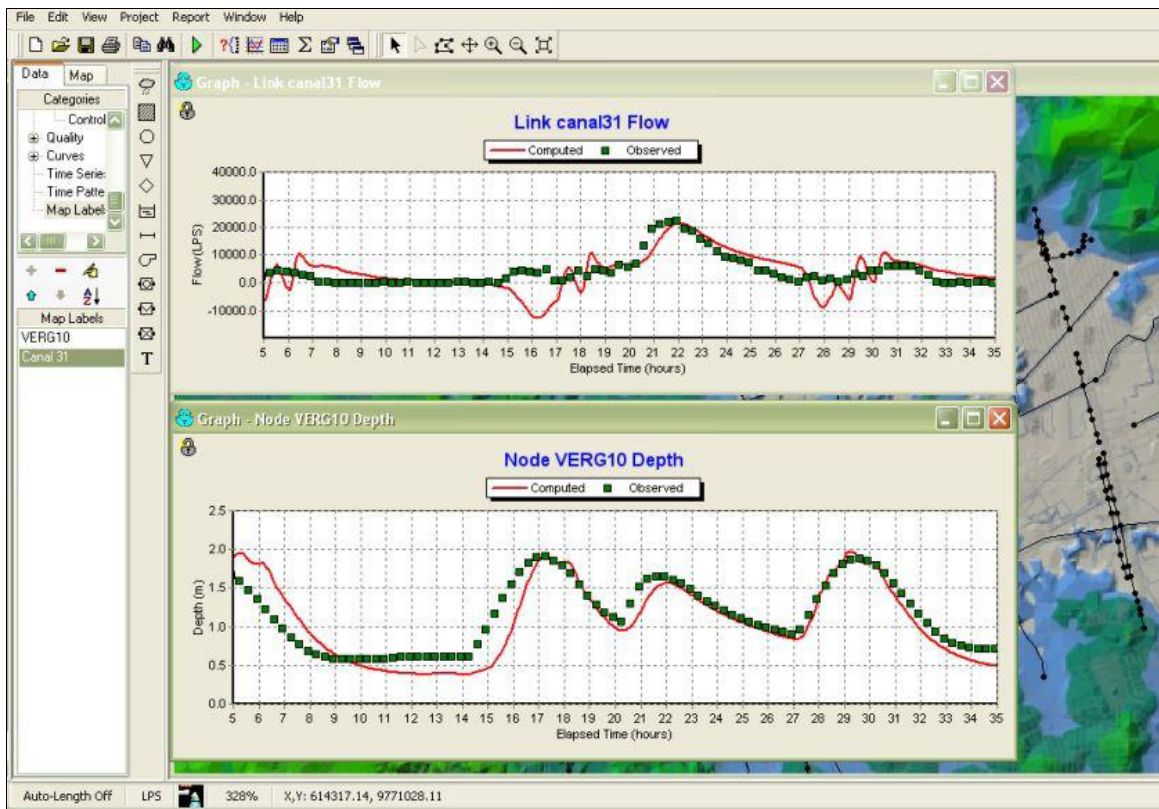
Se realizó principalmente una verificación y ajuste del porcentaje de área impermeable con el fin de elevar el volumen de agua calculado por el modelo que era lo que

mostraban los datos de medición. Debido a que el volumen de agua generado producto de la escorrentía es directamente proporcional al porcentaje de impermeabilidad y al coeficiente de Manning en los drenajes, se ha operado estos coeficientes de tal forma que no se pase de los rangos permitidos como se muestra en la **Tabla 1.1** del anexo.

Del grafico de sensibilidad y con buen criterio se tiene que la cantidad máxima y óptima para incrementar este coeficiente es el 10% de su valor inicialmente considerado. Es decir todas las áreas de aportación fueron afectadas con un incremento del 10% lo que hizo que se aumente el volumen de escorrentía generado, pero el volumen calculado por el modelo aun se encuentra por debajo del volumen obtenido en la campaña de medición.

Esto dio lugar a realizar ajuste en el número de Manning de cada uno de los canales, ductos y tuberías. Los rangos de trabajo de este canal se encuentran en la **Tabla 1.1** del anexo, por lo que para aumentar la cantidad de volumen en el modelo se tuvo que reducir el número de Manning al mínimo permitido para cada material. La disminución del número de Manning dio resultados positivos ya que el volumen de escorrentía calculado es muy similar al volumen obtenido en la etapa de medición. Ver **Figura 5.16**.

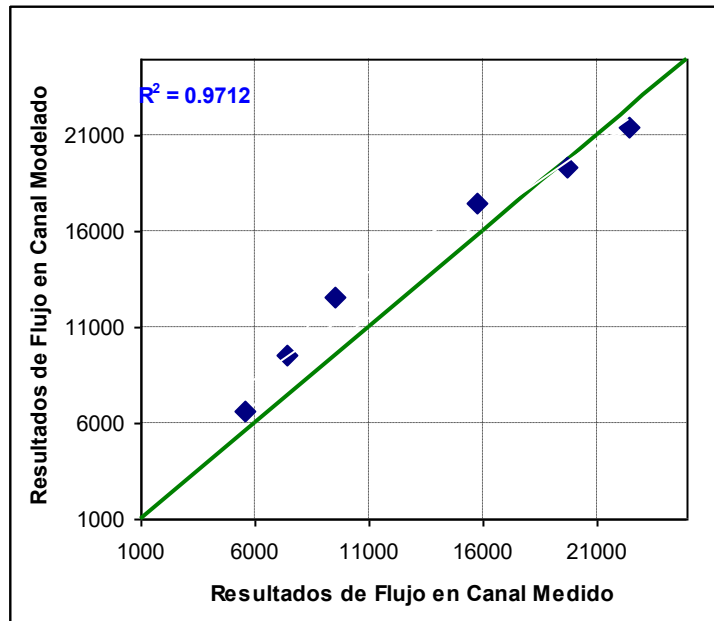
FIGURA 5.16 MODELO CALBRADO



Fuente: Aquatec.S.A. – Envirossoft, 2006

La **Figura 5.17** muestra un ajuste de los valores medidos versus los modelados para el canal 31 el cual esta junto a la Urbanización Urdenor (Junto a la Empresa Colimpo), el error residual R^D muestra que el ajuste es totalmente satisfactorio para los propósitos de la calibración, ya que cuando este valor tiende a (0.0) es desfavorable, mientras que cuando este valor tiende a (1.0) es satisfactorio.

FIGURA 5.17 AJUSTE LINEAL DEL MODELO CALIBRADO.



Fuente: Jiménez D., 2008

Es de entender que esta correlación lineal es para el instante que comienza la lluvia. La eficiencia del modelo es calculada según el “coeficiente de eficiencia” (E): desarrollado por Nash y Sutcliffe en (1970) con rasgos mínimos infinitos (pobre aproximación) a 1.0 (buena aproximación).

$$E = \frac{\left(\sum_{i=1}^N (O_i - O_{avg})^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2 \right)}{\left(\sum_{i=1}^N (O_i - O_{avg})^2 \right)}$$

Donde.

O_i, P_i Valor Observado y Predicho para cada evento modelado.

O_{avg}, P_{avg} Promedio Observado y Predicho

En la **Tabla 5.1** se muestran el resumen estadístico de la calibración.

TABLA 5-1 Estadísticos de datos Modelados y medidos.

Estadística		Canal Urbanizacion Urdenor
Medido	Promedio	13,397 l/s
	Media	12,617 l/s
	Desviacion Estandar	6,954 l/s
Modelado	Promedio	14,491 l/s
	Media	14,992 l/s
	Desviacion Estandar	5,832 l/s
Coeficiente de Correlacion Lineal (R²)		0.97
Coeficiente de Eficiencia (E)		0.99

Fuente: Jiménez D., 2008

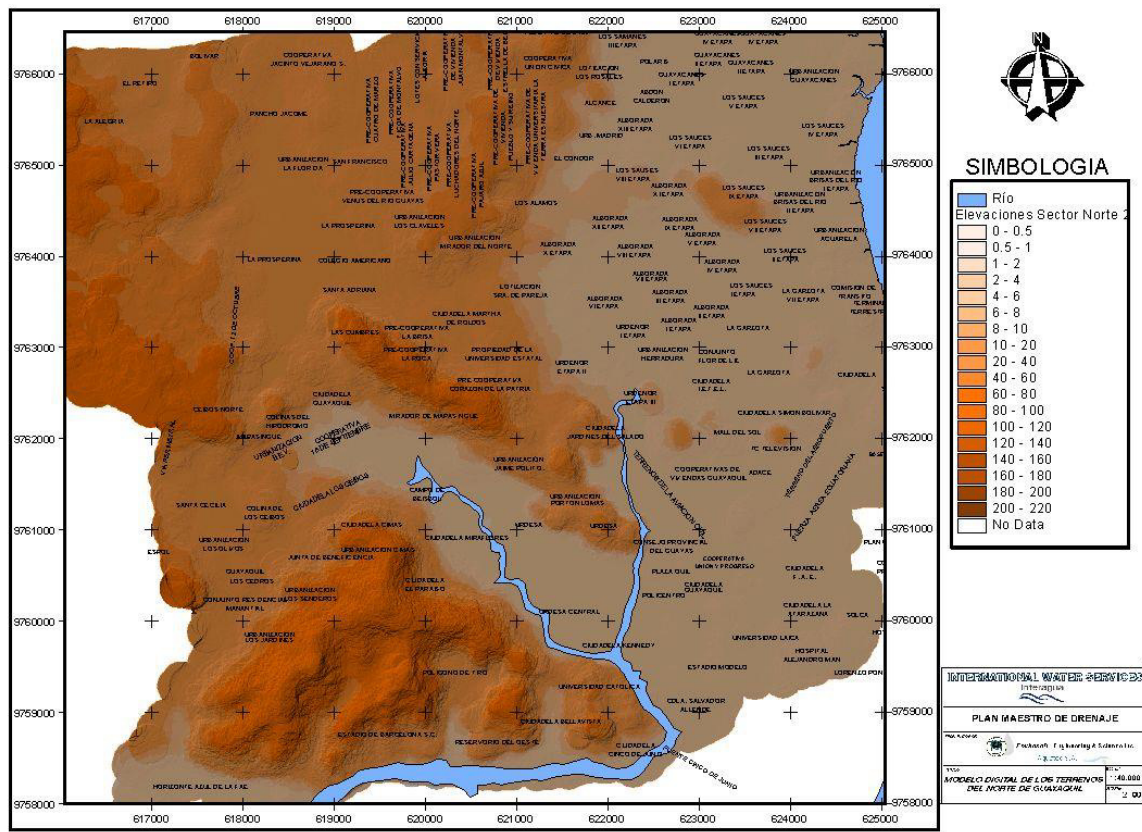
6 ANALISIS DE AREAS DE ENCHARCAMIENTO Y INUNDACION.

Una vez que se calibró el modelo se realizaron escenarios en donde se sometió al modelo a que responda con lluvias de 5 y 10 años de periodo de retorno con una duración de 1 hora.

Pero antes se determinó las áreas susceptibles a inundación sin cuantificar, la profundidad de inundación.

Para esto se ha utilizado la información topográfica del municipio de Guayaquil, con la que con la ayuda de un sistema de información geográfica (GIS) se realizo un modelo digital de terreno (MDT), como se muestra en la **Figura 6.2**. Con una extensión del GIS denominada (Hidro) se definió la dirección y sentido que toma el agua lluvia cuando cae al terreno.

FIGURA 6.1 MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT).

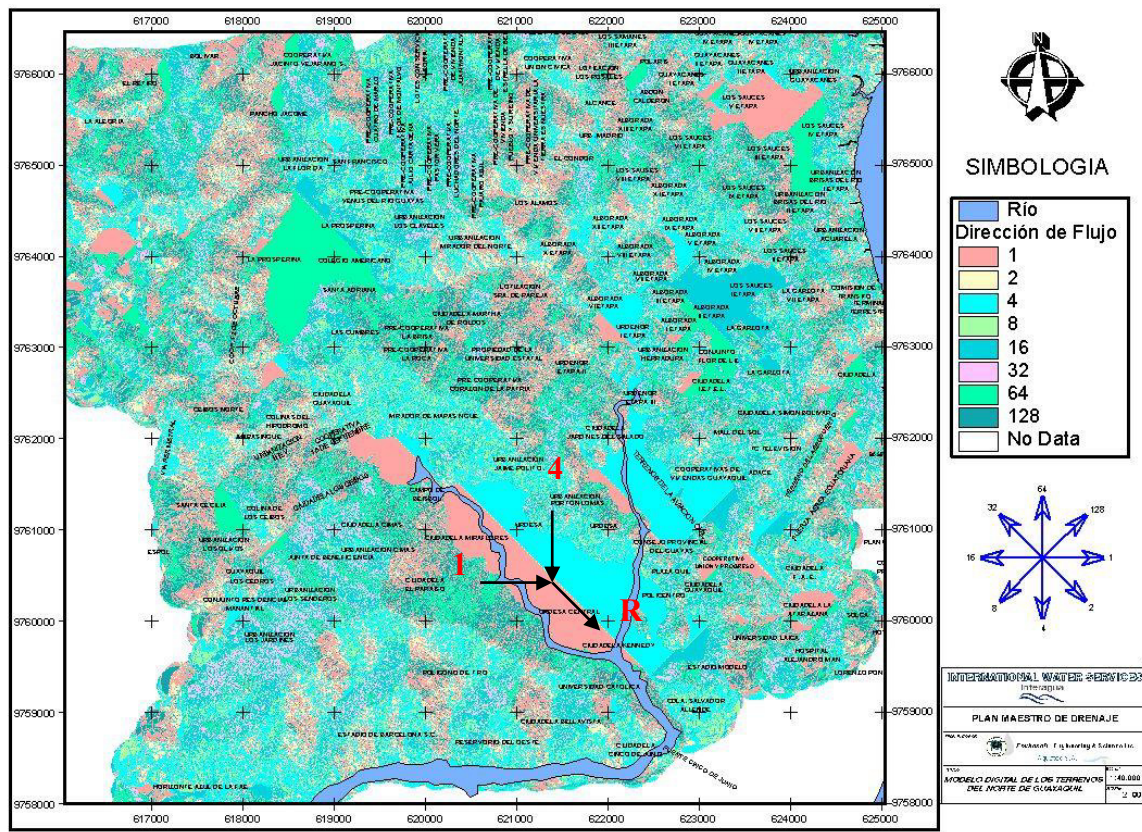


Fuente: Jiménez D., 2008

En la **Figura 6.2** se muestra el modelo de terreno a la izquierda y la dirección del flujo a la derecha. La dirección de flujo se la muestra con unos vectores numerados para cada color, como por ejemplo para el color uno el flujo tiene sentido hacia el este mientras que el color 4 el flujo tiene una orientación hacia el sur.

Si analizamos la **Figura 6.2** podemos ver que existen lugares en donde hay una convergencia de las direcciones de flujo, es decir si tomamos el ejemplo anterior existe una convergencia en sus direcciones de flujo dando como resultado un flujo que tiene dirección sureste, este caso tiene una coincidencia favorable ya que toma el sentido del estero Miraflores.

FIGURA 6.2 DIRECCION DE FLUJOS SEGÚN GEOMORFOLOGIA.

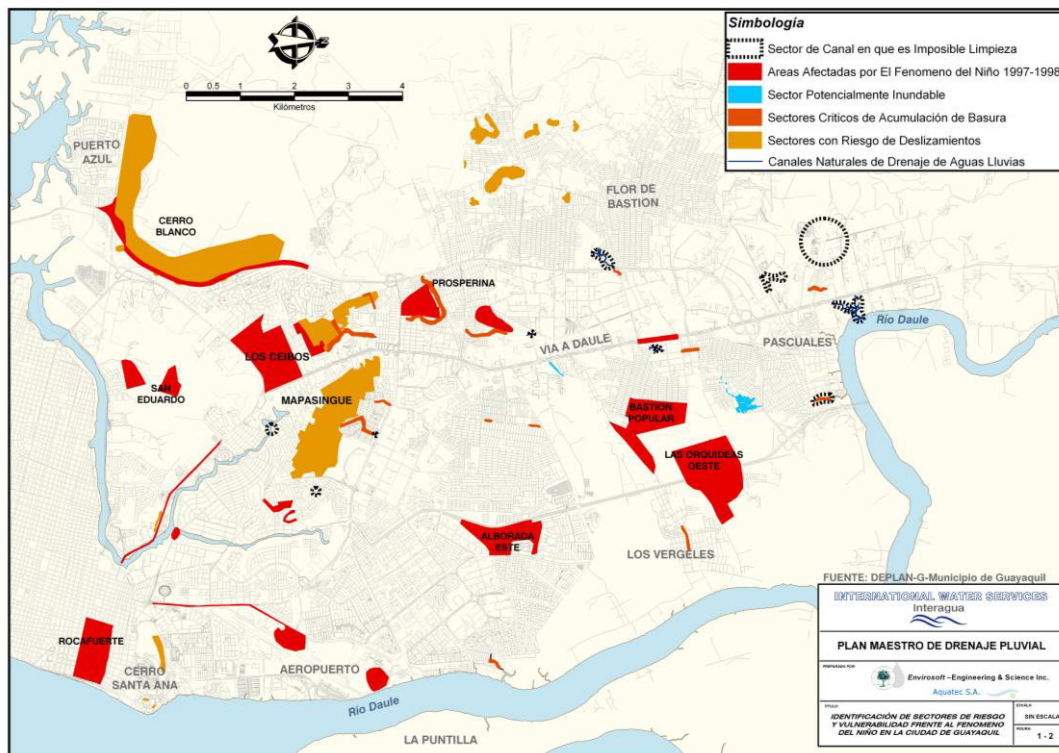


Fuente: Jiménez D., 2008

Este análisis se lo realizó para cada una de las convergencias de fluidos en toda la ciudad de Guayaquil, la cual arrojó datos excelentes los cuales fueron comparados con registros tomados por el municipio de Guayaquil cuando hubieron lluvias extraordinarias como las del Fenómeno del Niño.

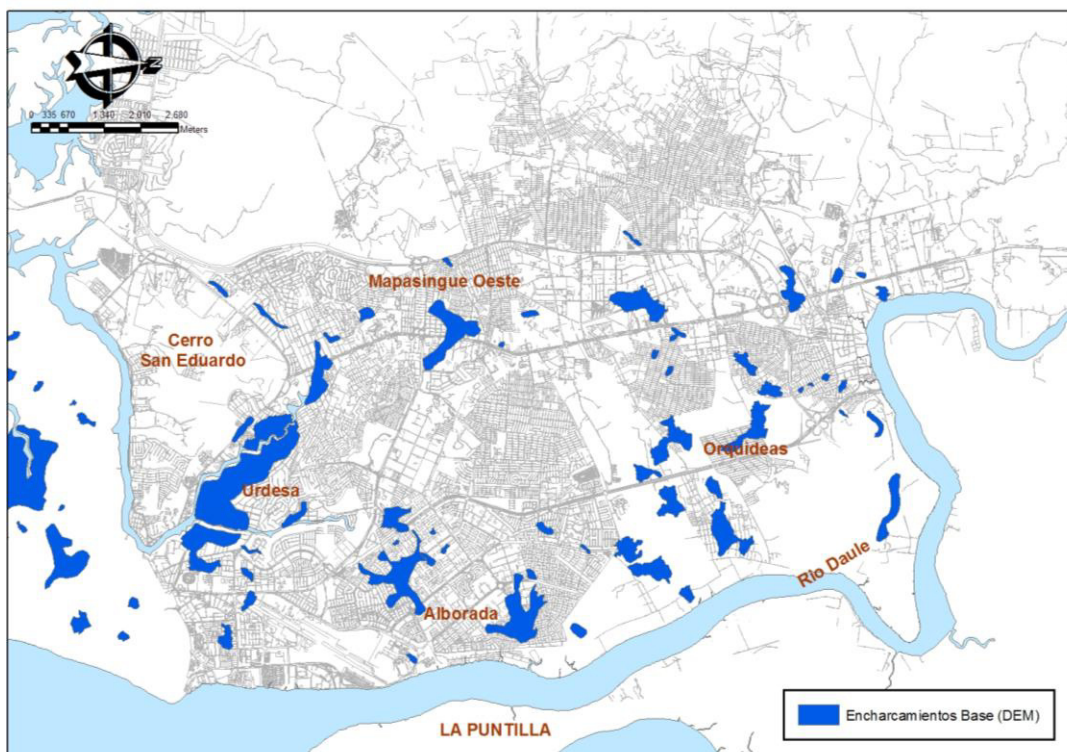
En las Figuras 6.3 y 6.4 se muestran los resultados de inundación generados por la ilustrada municipalidad de Guayaquil y los resultados obtenidos del MDT de la presente tesis, comparando estas se muestra áreas aproximadamente coincidentes como: Orquídeas, Urdesa, Ceibos, Bastión Popular y Alboradas.

FIGURA 6.3 AREAS DE INUNDACION SEGÚN MUNICIPIO DE GUAYAQUIL.



Fuente: Municipio de Guayaquil.

FIGURA 6.4 AREAS DE ENCHARCAMIENTO SEGÚN (MDT).



Fuente: Jiménez D., 2008

7 ANALISIS DE ESCENARIOS.

Conocidas estas áreas propensas a inundación, se procedió a cuantificar el volumen de inundación en estas áreas, para esto vamos a utilizar los resultados del modelo SWMM. Una vez que se calibró el modelo SWMM, se han realizado corridas del modelo con lluvias las cuales tienen periodos de retorno de 5 y 10 años.

7.1 Escenario $T_r = 5$ años una hora de duración.

El volumen de rebose de las cámaras de aguas lluvias se ha calculado con el SWMM para cada uno de los nodos en el modelo, este arroja resultados que no presentan mayor complicación excepto los puntos CN-OMH-2830, PMH-3394 y PMH-3853. Ver **Figura 7.1**. Estos puntos están ubicados a un costado del área de la ciudadela Los Ceibos y los otros dos están diagonal al centro comercial Alban Borja.

Si se desea conocer aproximadamente la altura de inundación en el punto junto al centro comercial sumariamos los volúmenes de los puntos PMH-3394 y PMH-3853, el cual da aproximadamente un volumen de 4,700m³. Al dividir este valor para un área de 1ha (10,000m²) nos da una altura de 0.47 m.

Por esto se recomienda realizar un cálculo exacto de las alturas de inundación con la ayuda de una buena topografía del sitio de inundación y un cálculo de daños materiales producto de estas inundaciones.

Además es necesaria la conexión entre cuencas de tal manera que se aumente la capacidad de retención de aguas lluvias dentro de los sistemas de drenaje.

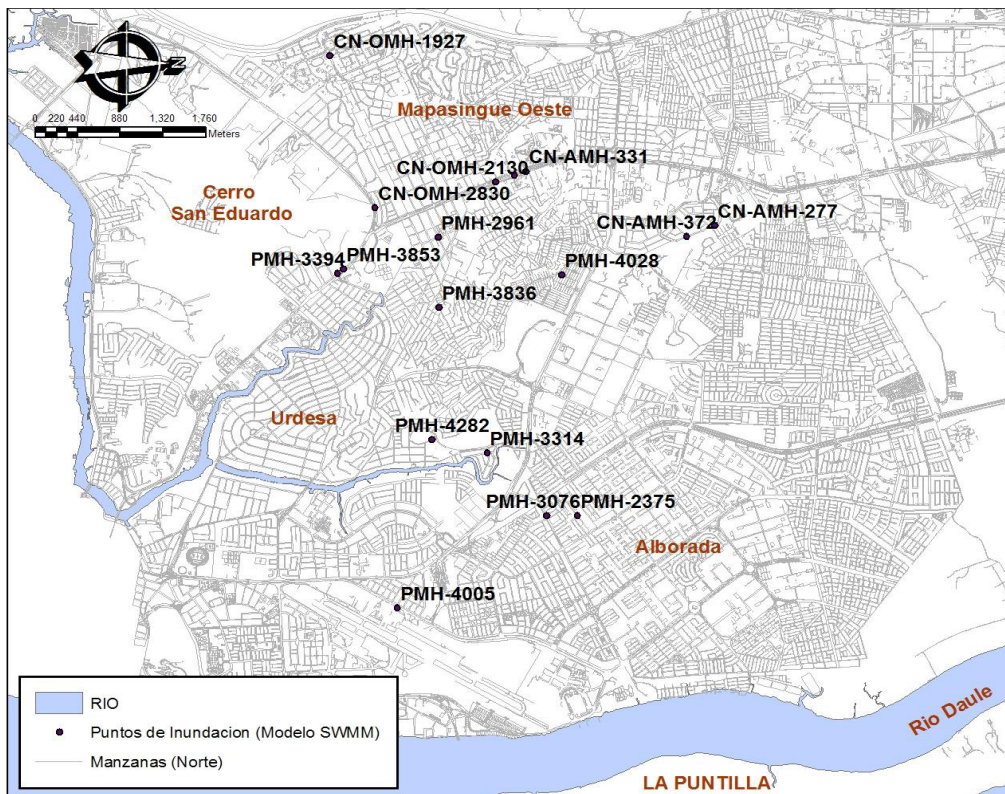
En la **Figura 7.2** se muestra la disposición de los puntos (pozos modelados en SWMM), en donde se producen reboses de aguas lluvias los mismos que provocan inundación.

FIGURA 7.1 VOLUMENES DE EXCESO EN CAMARAS DE AALL.

Statistics - Node PMH-3836 Flooding					
Summary					
Rank	Start Date	Event Duration, (hours)	Event Total (liters)	Exceedance Frequency (%)	Return Period (months)
1	05/01/2004	4.3	6708177.000	50.00	1.00

Fuente: Jiménez D., 2008

FIGURA 7.2 PUNTOS PROPENSOS A INUNDACIONES MODELADOS EN SWMM.



Fuente: Jiménez D., 2008

7.2 Escenario Tr = 10 años una hora de duración.

Al igual que en el escenario anterior el volumen de reboce de las cámaras de aguas lluvias se ha calculado con el SWMM para cada uno de los nodos en el modelo. Los resultados que son más preocupantes ya que aparecen mas áreas sujetas a inundación. Ver **Tabla 7-1**. Estos puntos están ubicados a un costado del área de la ciudadela los Ceibos, vía Daule kilometro 5, Centro comercial San Marino, Alborada etapa 10, diagonal al centro comercial Alban Borja, entre otros.

Al igual que el ejemplo anterior, si se desea conocer aproximadamente la altura de inundación aproximada en el punto junto al centro comercial se suma los volúmenes de los puntos PMH-3394 y PMH-3853, que da aproximadamente un volumen de 10,100m³. Esto representa una altura de 1.01 m. Esta altura de inundación potencialmente ocasionaría daños en la comunidad.

En la **Figura 7.3** se muestra la disposición de los nodos color rojo y amarillo (pozos modelados en SWMM), en donde se producen reboces de aguas lluvias los mismos que provocan inundación.

7.3 Escenario DEM en GIS.

Con la utilización del modelo digital de Terreno (DEM), y la información de mareas se ha procedido a determinar aproximadamente las cotas de las crestas máximas de marea en cada punto de medición, estas dan un promedio de 3.00m.s.n.m.

Debido a los fenómenos de deshielo en los polos y cambios climáticos en el nivel medio del mar los cuales provoca que los niveles de las mareas estén en aumento, esto nos lleva a realizar las siguientes preguntas.

1. Que pasa si el nivel del mar sube a un metro las arriba de lo normal?
2. Que pasa si el nivel del mar sube a un metro y medio las arriba de lo normal?
3. Que pasa si el nivel del mar sube a dos metro las arriba de lo normal?

Para contestar estas preguntas se han elaborado tres graficas que se encuentran en el Anexo.

FIGURA 7.3 MODELACION CON UN PERIODE DE RETORNO DE 10AÑOS.



Fuente: Jiménez D., 2008

TABLA 7-1 Puntos Modelados en SWMMM.

Codigo de Camara de AALL	Volumenes de Reboce de AALL			Posicion UTM WGS84	
	5 Años	10 Años	25 Años	X	Y
CN-OMH-1927		668397	1024126	617353.80	9760496.26
PMH-2961	529203	736635	974800	619381.21	9761621.75
PMH-3394		184177	558883	619785.92	9760576.11
PMH-3853	3254286	4960941	6954144	619736.33	9760634.32
PMH-4282			1002844	621646.71	9761550.73
PMH-4005		292174	518841	623526.79	9761200.43
PMH-3314	1321763	2106481	3036048	621793.02	9762126.98
PMH-3076		311285	466425	622494.45	9762739.45
PMH-4028		141928	296348	619803.96	9762896.17
PMH-2375		121458	526358	622499.69	9763066.42
CN-AMH-372	1652720	3051450	4328998	619372.00	9764195.37
CN-AMH-277		704553	3057829	619252.57	9764483.61
CN-AMH-331		99382	342159	618643.06	9762530.44
CN-OMH-2205	2377897	3150862	3839847	618691.10	9762414.90
CN-OMH-2130	502150	1080327	1463098	618765.06	9762215.73
PMH-3836	4369606	5481713	6707384	620166.01	9761630.44
CN-OMH-2830	27124130	38317260	44364128	619053.71	9760964.05

Fuente: Jiménez D., 2008

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De todo este análisis cuantitativo, se puede concluir que el sistema de alcantarillado de drenaje pluvial está colapsado, y que las herramientas de modelación de redes de drenaje tienen mucha aplicación y es necesaria su utilización para ubicar focos probables de inundación, para luego mitigar el impacto. Es así que esta herramienta "SWMM" es utilizada en países de primer mundo.

Al comparar las áreas de encharcamientos con las áreas de inundación registradas por la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil, nos damos cuenta que existe mucha similitud, y que es necesario realizar un cálculo exacto de las alturas de inundación con la ayuda de una buena topografía del sitio de inundación y un cálculo de daños materiales producto de estas inundaciones. Además es necesaria la conexión entre sistemas de cuencas de tal manera que se aumente la capacidad de retención de aguas lluvias dentro de los sistemas de drenaje.

El daño que producen las inundaciones además provocan daños en los vehículos y en las viviendas donde se produce ya que el agua de inundación daña electrodomésticos, juegos de sala y varios enseres.

RECOMENDACIONES.

Determinar posibles soluciones, como las siguientes:

- a) Almacenamientos que controlen los picos de caudal que se producen en una lluvia de magnitud elevada.

- b) Construcción de canales de pie de talud, para evitar el ingreso de sedimentos a los sistemas de alcantarillado pluvial.

- c) Instalación de válvulas de retención de flujo en las salidas a los cuerpos receptores.

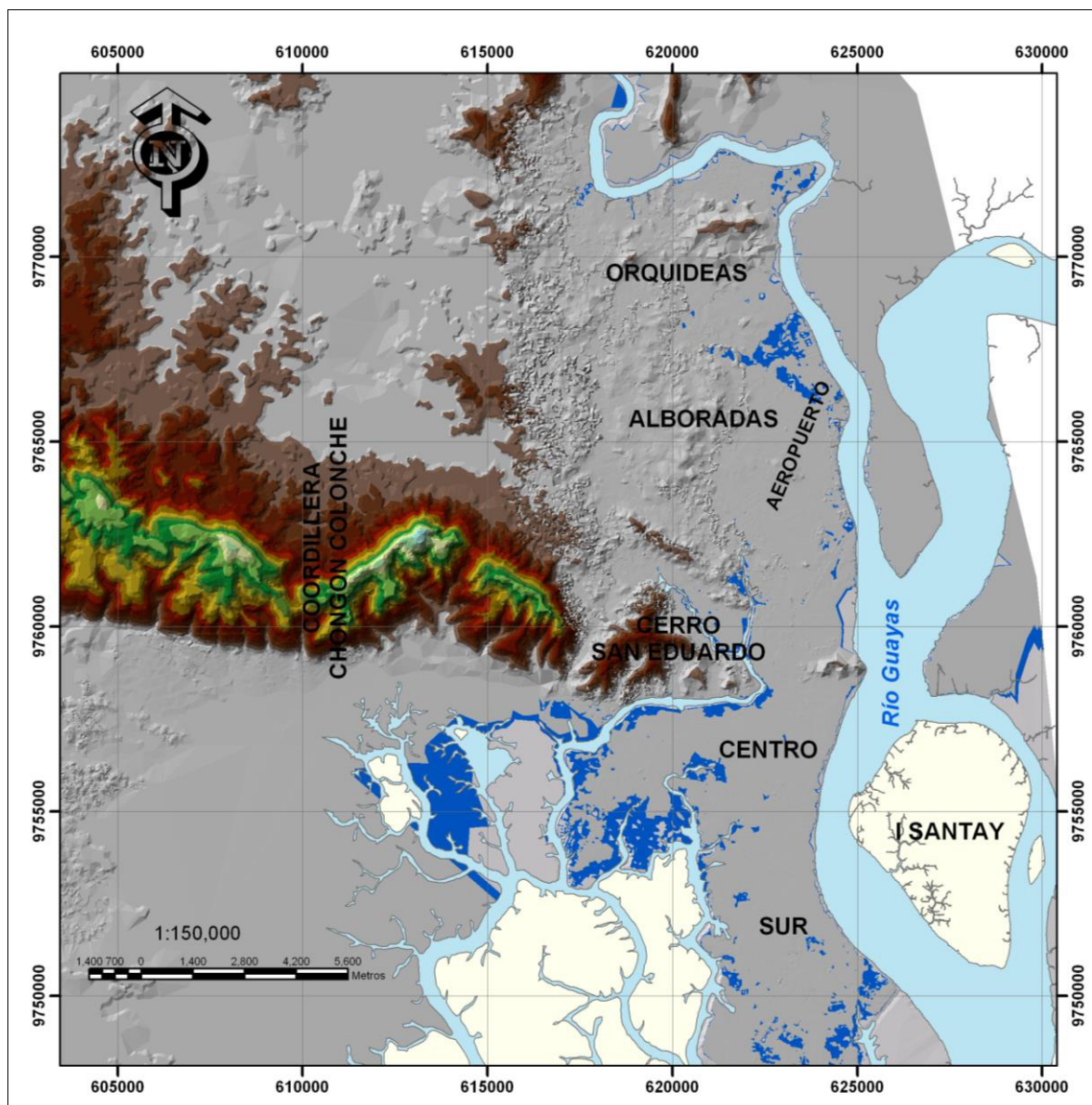
- d) Disminución de la amplitud de la curva de marea para evitar el ingreso de agua a los sistemas de alcantarillado pluvial.

9 BIBLIOGRAFÍA.

- [1]. CEDEGE 1997, Diagnóstico de Control de Inundaciones en la Cuenca Baja del Río Guayas.
- [2]. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente (Universidad Politécnica de Valencia)
- [3]. Información INAMHI
- [4]. Información IGM
- [5]. Subramanya, K. Engineering Hydrology. Mc Graw Hill, New Delhi, 1991.
- [6]. V.M. "Engineering Hydrology". Ed. Prentice Hall. 1989.
- [7]. Ven Te Chow, Hidrología Aplicado.
- [8]. Estudios de Inundación Realizados por la Universidad Católica de Guayaquil, 1990
- [9]. Plan Maestro de Drenaje Pluvial para International Water Services (Interagua), 2004

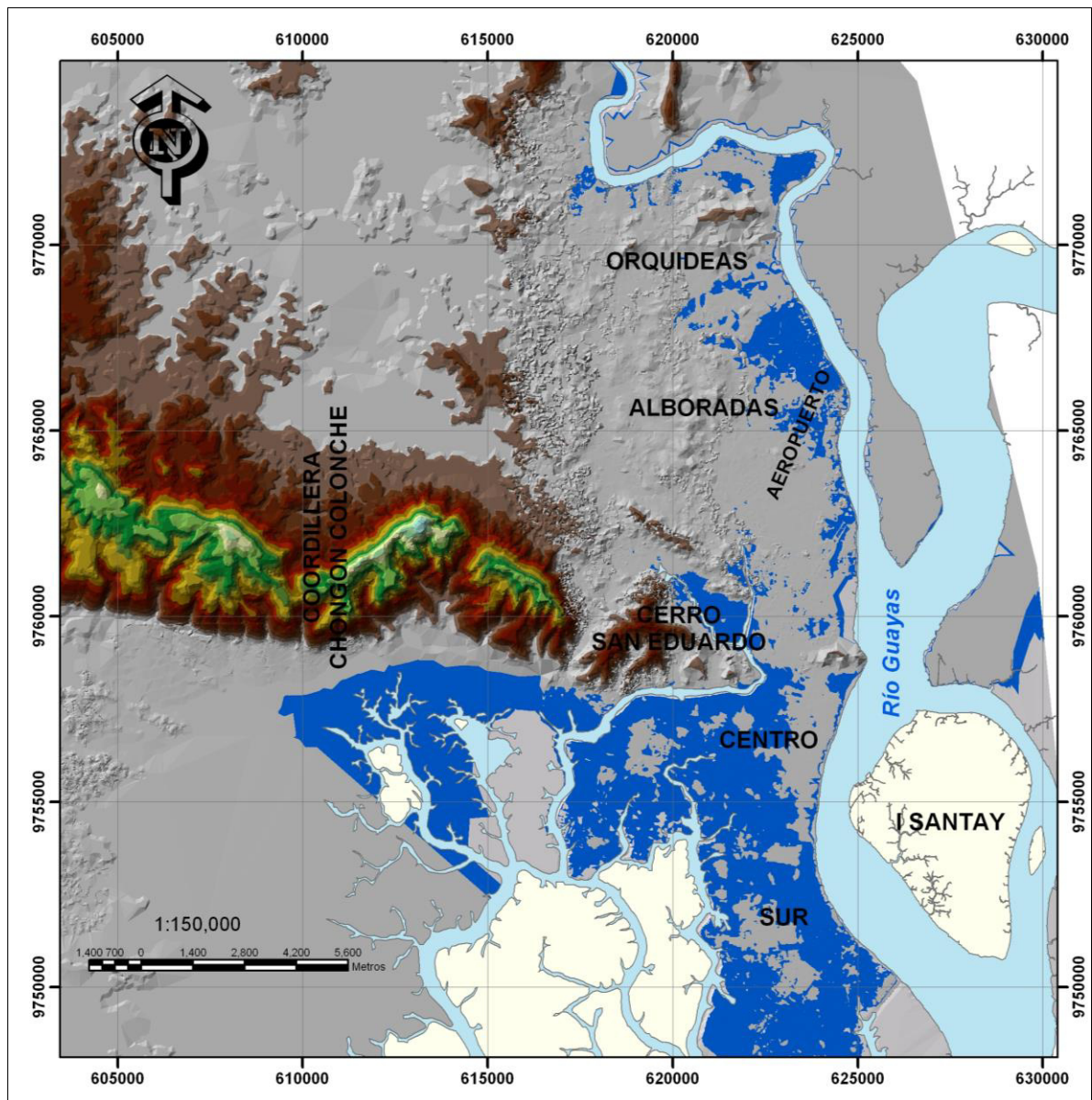
10 ANEXOS.

FIGURA 9.1 ELEVACION DE 1.00m EN EL NIVEL MAXIMO DE LA MAREA.



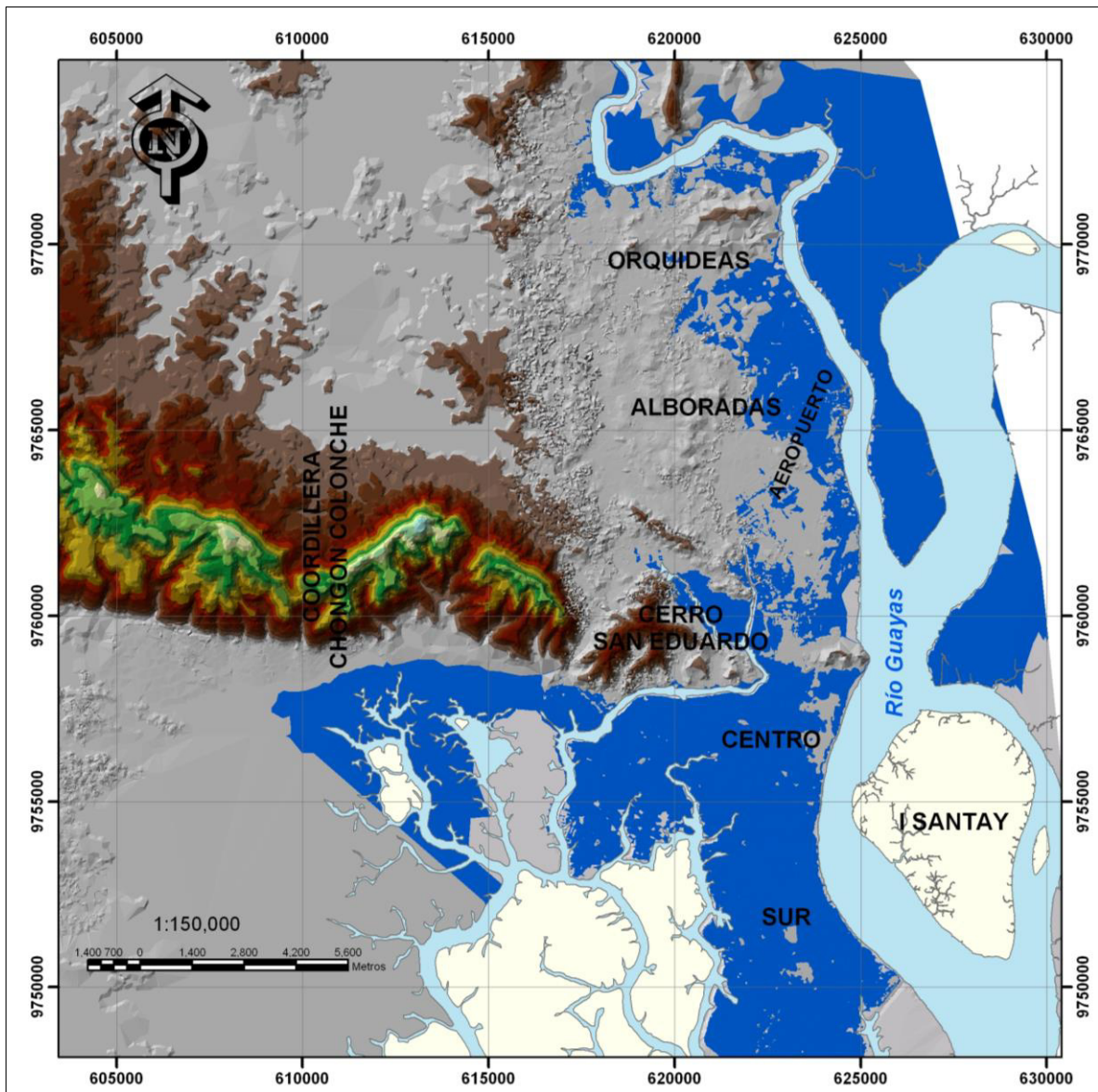
Fuente: Jiménez D., 2008

FIGURA 9.2 ELEVACION DE 1.50m EN EL NIVEL MAXIMO DE LA MAREA.



Fuente: Jiménez D., 2008

FIGURA 9.3 ELEVACION DE 1.5m EN EL NIVEL MAXIMO DE LA MAREA.



Fuente: Jiménez D., 2008

**ANEXO
RESUMEN AL
CICYT**



Modelaje de un Sistema Urbano de Alcantarillado Pluvial en el Área de Drenaje de los Esteros Miraflores y Represado, Ciudad de Guayaquil

Danilo José Jiménez Quimiz

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra ESPOL

Campus Gustavo Galindo Velasco Km. 30 1/2 Vía Perimetral, (593-4) 269269, Guayaquil, Ecuador
dfjimenezq@gmail.com

Director de Tesis: David Matamoros Camposano, Ph.D., Ingeniero Civil.

Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales, ESPOL,

Campus Gustavo Galindo Velasco Km. 30 1/2 Vía Perimetral, (593-4) 269269, Guayaquil, Ecuador
dmata@espol.edu.ec.

Resumen

La Ciudad de Guayaquil ha sufrido innumerables inundaciones en diversas ocasiones durante la época invernal. Por tal motivo, es importante realizar un diagnóstico de las condiciones existentes en todos los sistemas de alcantarillado pluvial así como de sus drenajes naturales en la ciudad. El presente trabajo propone utilizar herramientas de modelaje matemático y sistemas de información geográfica para realizar dicho diagnóstico. Estas herramientas son útiles para ubicar los sitios críticos de inundación los cuales son comparados con los registros históricos para proponer soluciones al problema de inundación. Adicionalmente se utilizan los hidrogramas de descarga hacia los cuerpos receptores en el modelaje de las redes de alcantarillado pluvial. Estos modelos pueden determinar los caudales reales en los sistemas de alcantarillado pluvial usando el método de aproximaciones transientes y estimaciones en tiempo real. También se puede determinar volúmenes y tiempos de descargas luego del evento de diseño en una forma inmediata. Este modelo está basado en datos entregados por la concesionaria de agua potable International Water Services "INTERAGUA" y la Ilustre municipalidad de Guayaquil.

Palabras Claves: Drenajes Urbanos, Estuarios, Aguas Lluvias, SWMM

Abstract

Guayaquil City has been flooded several times during rainy season. Therefore, it is important to perform a diagnostic of existing conditions in all storm water systems in the city. Present work proposes to use mathematical model tools and geographic information systems to perform that diagnostic. These tools are useful to locate critical flooding sites which are compared to historical records to propose adequate Solutions to the flooding problem. In addition, discharge hydrograms are used in the modeling of storm water systems. These models can determine actual flows in storm water systems by using the transient approach and real time estimations. It can also immediately be determined volumes and discharge times after design event. This model is based on data supplied by INTERAGUA (International Water Services), potable water concessionary in the city, and the Municipality of Guayaquil City.

Keywords: Urban drainages, Estuaries, Storm Water, SWMM

1. Introducción

Según la historia, la ciudad de Santiago de Guayaquil constantemente fue relocalizada hasta que finalmente se construyó a las faldas del Cerro Santa Ana. La ciudad, desde sus inicios ha aportado al desarrollo comercial y a la economía local y nacional. Estos dos elementos de desarrollo son factores que han contribuido a su crecimiento espacial. Es así que este es interrumpido en la época invernal, ya que esta provoca inundaciones y deterioro de las vías de acceso.

El ordenamiento de las cuencas de drenaje urbanas data de tiempos históricos, siendo agravada la situación debido a que en la década de 1880, las calles estaban en un nivel inferior con respecto a las máximas mareas de los canales y sin pavimento. En esas épocas, durante las lluvias fuertes tanto los peatones como las bestias de carga se hundían en el lodo

1.1 Alcance de la Tesis.

Esta tesis propondrá una metodología de cálculo para cuantificar y ubicar los posibles focos propensos a inundaciones en áreas urbanas, para el efecto se ha escogido las cuencas de drenaje urbana perteneciente al Estero Miraflores y Represado, basándose en modelos matemáticos y sistemas de información geográfica (SIG).

Esta tesis ayudara a que otros estudios realicen un análisis de cuantificación de daños de inundación y un análisis para mitigar estos daños.

2. Objetivos.

Plantear nuevas alternativas de diseño basados en modelos matemáticos de alcantarillado pluvial, determinar en donde se producen los sitios críticos de inundación por topografía o por fallos del sistema de alcantarillado pluvial.

2.1. Estructura de la tesis.

En el capítulo uno se encuentran descritos los objetivos, alcance y la justificación de esta tesis de grado. Se describe como se propone ampliar el conocimiento en los métodos matemáticos para la modelación de drenaje de aguas lluvias y demostrar que estos son de gran ayuda en la toma de decisiones a corto y largo plazo.

En el capítulo dos se hace una descripción de la literatura revisada y de los métodos teóricos e

informáticos utilizados para el diseño y análisis de los sistemas de aguas lluvias. Además se describe la problemática de los sistemas de drenaje de la ciudad de Guayaquil y las conclusiones de los estudios y planes maestros de drenaje pluvial.

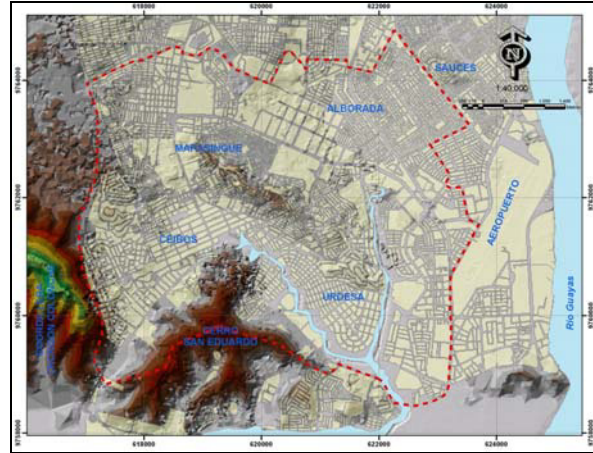


Figura 1. Área de Estudio.

Seguido de esto en el capítulo tres se describe las fuentes y el origen de la información topográfica, pluvial, caudales en las descargas, precipitación, mareas, usos y tipos de suelo los cuales alimentaran al modelo de drenaje. Además se describe las campañas de campo realizadas para determinar las cotas y caudales en las descargas de aguas lluvias.

En el capítulo cuatro se analizan cada uno de los modelos utilizados para este fin y se realiza un balance en ellos y determinamos con cual trabajar. A continuación realizamos una descripción del modelo electo y de la forma en que se ingresan los parámetros de entrada. Asimismo se realizara un análisis de sensibilidad para determinar el o los parámetros que afectan significativamente al modelo y terminar con su respectiva calibración.

Luego de esto analizaremos los posibles problemas de inundación que se presentan en la cuenca de estudio y estudiaremos las posibles soluciones para evitar o minimizar dichos problemas. De las obras civiles (soluciones) seccionadas realizaremos un análisis de costos no muy detallado ya que este no es el alcance de esta tesis.

En el capítulo cinco se darán las conclusiones y recomendaciones de las obras seleccionadas

2.2. Revisión de la literatura.

Se reviso toda la información existente referente a aguas lluvias, que pertenece a International Water

Services (INTERAGUA). Para tal efecto esta fue cedida bajo pedido y autorización del Ing. Ivon Melliger (Gerente General de Interagua, 2006). Los datos de mediciones pluviométricas fueron obtenidos del INAMHI y AQUATEC.S.A.

Adicionalmente se realizó una medición exhaustiva de la bibliografía en temas de sistemas de aguas lluvias.



Figura 2. Inundación provocada por el fenómeno del niño (Alborada 10ma Etapa) Fuente Diario el Universo, 1997

2.3. Métodos teóricos para diseñar sistemas de aguas lluvias.

Los diseños hidráulicos en tuberías son calculados con la ecuación de Manning, los tiempos de concentración característicos del sector de estudio, continuación se muestran las formulas que comúnmente se usan en estos diseños.

$$Q = A * V$$

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$Tc = \left(\frac{0.871 * L^3}{H} \right)^{0.385} * 60$$

- Q: Caudal en (m³/s)
- V: Velocidad (m/s)
- S: Pendiente (m/m)
- R: Radio Hidráulico (m²)
- L: Longitud del cauce principal en (Km)
- H: Desnivel entre cabecera y descarga (m)

2.4. Métodos informáticos aplicados al diseño de aguas lluvias

Anteriormente, los cálculos para la implementación y corrección de sistemas de alcantarillado pluvial eran realizados con la utilización de reglas de cálculos y tablas en Excel, en donde se hacían iteraciones simultáneas. Este trabajo

era muy largo y a veces complicado. La utilización de modelos matemáticos en la ingeniería sanitaria ayuda a que los cambios en los sistemas de drenajes sean resueltos de una manera más rápida y confiable.

Actualmente existen varios programas que modelan sistemas de aguas lluvias uno de ellos es StormCad que es un programa perteneciente a la Haestad (Ver www.haestad.com, este programa no incluye el efecto de la marea en los sistemas de drenaje.

Otro modelo es Storm Water Management Model (SWMM), programa perteneciente a la Agencia de Protección de Medio Ambiente (EPA). Este programa si bien no es muy amigable con otros programas como por ejemplo autocad si involucra el efecto de la marea. Y es el que utilizaremos para la presente tesis. (Ver www.epa.com)

Estos modelos son alimentados por una serie de parámetros como: Infiltración, Pendiente, Coeficiente de Manning, permeabilidad, impermeabilidad, ancho de la cuenca diámetros de tubos y características de canales y ductos, de todos estos coeficientes se discutirá con detalle en los capítulos siguientes.

3. Recopilación de la Información

La información para esta tesis fue cedida por Interagua y por Aquatec. S.A. En la base geográfica de Interagua, en el área de estudio existen aproximadamente 126.5 km de tuberías de alcantarillado pluvial que fluctúan en diámetros de 8 pulg a 78 pulg. La longitud total de los canales en de 12.4 km y de los ductos cajón es de 14.0 km. Ver Tabla.

Tabla 1. Tuberías por diámetro en el área de estudio

	Longitud de Tuberías (m)	Longitud de Ductos Cajón (m)	Longitud de Canales (m)
Total	126,462.00	14,041.00	12,440.00

3.1. Información Pluviométrica.

De la estación Pluviométrica ubicada en el aeropuerto Simón Bolívar de la ciudad de Guayaquil, se obtuvieron datos de precipitaciones anuales pluviométricas, con un periodo de registro de cincuenta y cinco años (1945-2002). En el periodo de registro se ha obtenido el promedio anual de precipitación pluvial de 1010 mm por año. El año más lluvioso ocurrió en 1983, registrándose una precipitación de 3850 mm; el año más seco fue en 1985 con una precipitación de 340 mm

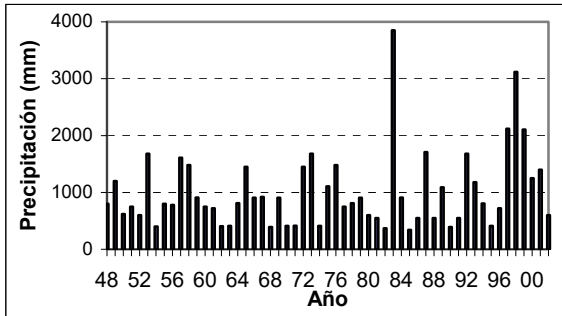


Figura 3. Precipitación Anual Histórica Estación Aeropuerto de Guayaquil.

Los datos históricos de lluvia y la curva de intensidad duración frecuencia generada por la Universidad Católica en lo que fue el (Plan Emergente de Drenaje Pluvial), fueron utilizados para seleccionar los eventos de diseño que permiten evaluar el desempeño del sistema ante eventos con periodos de retorno específicos, para periodos de retorno de 2 y 5 años.

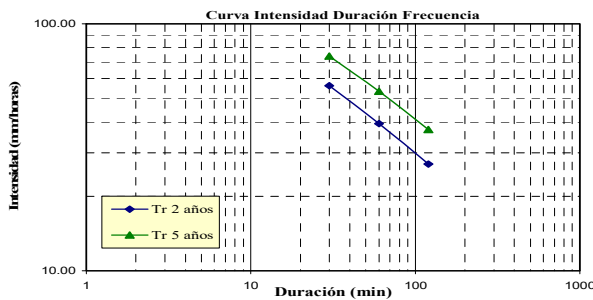


Figura 4. Curva Intensidad Duración Frecuencia.

3.2. Información de Mareas

El cauce del Río Guayas está a una cota mayor que el Estero Salado, pues éste se encuentra cercano al nivel del mar. Por sus características geomorfológicas, y por la falta de contribuyentes, el Estero Salado no tiene la dinámica hidráulica que posee el Río Guayas.

Para el estudio se realizaron mediciones en el río Daule, a la altura del sector denominado Malecón 2000, la Aurora y la Toma de Agua potable.

Los cuerpos receptores del sistema de drenaje de Guayaquil son altamente afectados por las mareas. La fuerza principal de la marea que actúa en el Golfo de Guayaquil corresponde a la componente armónica semidiurna $m = 12.42$ horas, la cual se debe a la atracción gravitacional de la luna; por tanto, se obtienen dos ciclos de marea cada día lunar, es decir, dos pleamares y dos bajamares cada 24.8 horas.

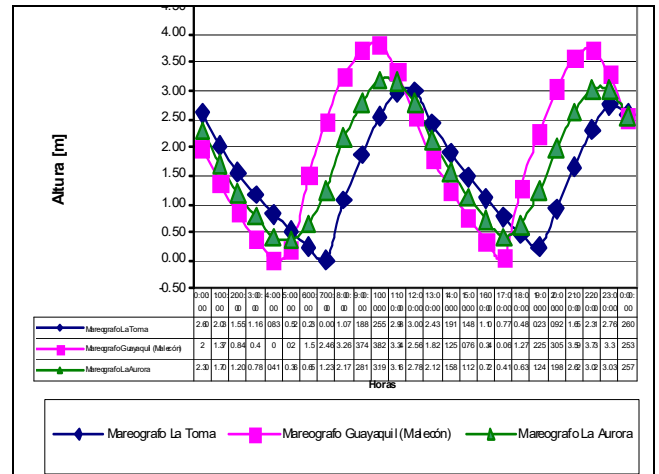


Figura 5. Curvas de Marea

3.3. Usos de Suelo

En área de estudio tenemos cinco usos de suelos como son: Uso residencial, densidad baja, Uso residencial densidad alta, Uso de comercio y de servicio, Uso industrial, Uso de equipamiento urbano.

Estos usos de suelos serán los considerados para el cálculo de la escorrentía de aguas lluvias, de estos obtendremos factores que serán discutidos en el capítulo siguiente, dichos factores alimentaran al modelo matemático.

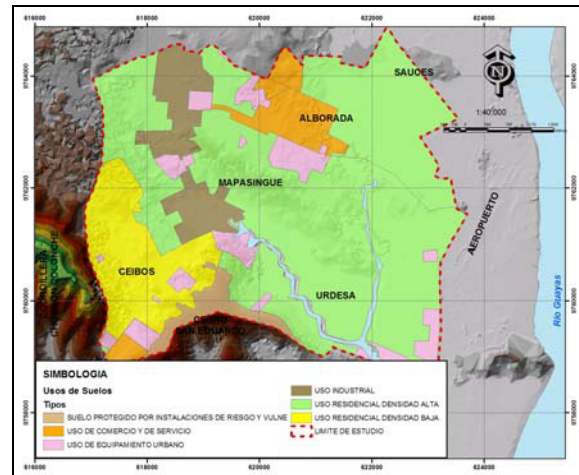


Figura 6. Usos de Suelo.

3.4. Topografía

Las curvas de nivel fueron generadas de la información topográfica cedida por Interagua y otra proporcionada por la ilustre municipalidad del Guayaquil. Esta información es actualizada tipo planimétrica y se presenta como "Latitud, Longitud,

Elevación”, estos puntos se encuentran sobre los pozos de inspección (manholes) de aguas lluvias y en cada esquina de las manzanas de la ciudad. Las curvas de nivel fueron generadas por el programa CivilCad 2004 con un intervalo de 5mts mediante el proceso de triangulación.

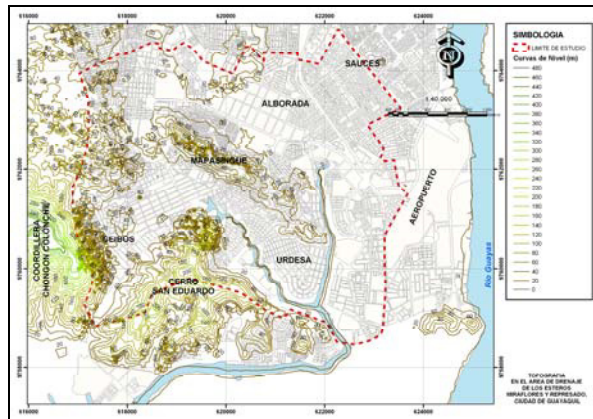


Figura 7. Topografía.

3.5. Cuencas de drenaje

Las cuencas en estudio en la presente tesis se encuentran al norte de la ciudad cubren ciudadelas tales como: Urdesa Central, Urdenor, Ceibos, Ceibos Norte, El Paraíso, Miraflores, Alborada, Ietel, Kennedy, Mapasingue, Prosperita, Lomas de la Prosperina y ciudadela Universitaria.

El área analizada es de 3,184ha, que representa dos cuencas. La división se la realizo siguiendo las curvas de nivel y la configuración de las red de drenaje de aguas lluvias, esta red natural consta principalmente de dos esteros a los que se los conoce son el nombre de Miraflores el cual se encuentra hacia el sur y el otro Repesado el cual se encuentra al norte. Las cuencas toman el nombre de dichos esteros.

Se contabilizaron 22 descargas hacia el estero Miraflores y 28 descargas hacia el estero Repesado.

4. Uso del Modelo SWMM.

El programa utilizado para la simulación del sistema de drenaje es el Storm Water Management Model (SWMM) Versión 5, desarrollado por la US Environmental Protection Agency de Licencia Libre. El SWMM es un modelo de simulación de precipitación y escorrentía usado para simular la cantidad y calidad del escurrimiento en zonas urbanas para eventos simples de precipitación. El modelo está compuesto de diferentes módulos (“Blocks”) que

permiten simular las diferentes etapas del escurrimiento, transporte, almacenamiento y tratamiento de las aguas lluvias. Para el modelo de la ciudad de Guayaquil se utilizaron los módulos RUNOFF y EXTRAN.



Figura 8. Software SWMM.

4.1. Características de la modelación hidrológica

El SWMM cuenta con varios procesos hidrológicos que producen el escurrimiento para zonas urbanas exclusivamente.

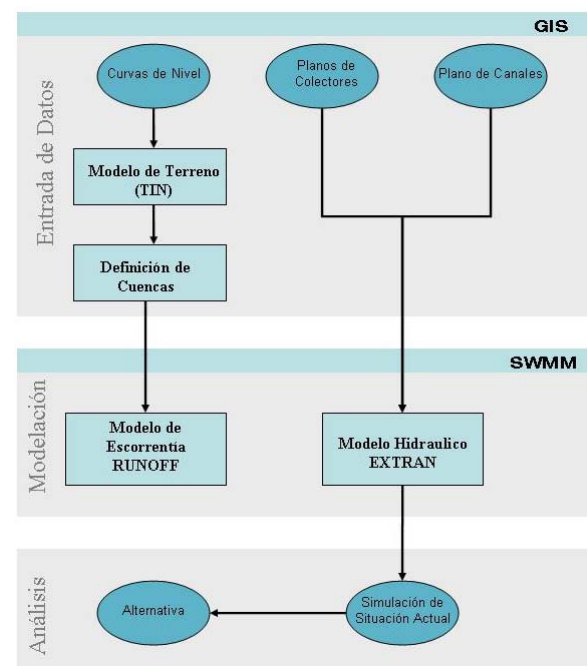


Figura 9. Datos Modelo SWMM.

Estos incluyen: Lluvia variable en el tiempo, Evaporación desde superficies de agua, Intercepción de la lluvia en depresiones, Infiltración de la lluvia en las capas superiores de suelo, La percolación del agua

infiltrada hacia capas acuíferas, Interflujo entre el acuífero y el sistema de transporte, Tránsito no lineal de la onda cinemática de la escorrentía superficial.

4.2. Áreas de Aportación.

El área de aportación de cada una de las cámaras de aguas lluvias se generó en base a las cotas de terreno observando su drenabilidad al punto más bajo de éstas el cual tiene su fin en una cámara de aguas lluvias. Estas áreas fueron generadas una a una en Autocad. Las áreas de aportación tienen un promedio 2.5 Ha

4.3. Número de Curva (CN)

Los agradecimientos pueden ser hechos a instituciones o individuos, los cuales no han sido referenciados en el artículo, y que han hecho una importante contribución en el desarrollo del trabajo. Se recomienda que este apartado sea incluido justo antes de la sección de referencias. Ver Tabla

Tabla 2. Grupo hidrológico para uso de suelo.

Uso del Suelo		Grupo Hidrológico del Suelo			
		A	B	C	D
Praderas		30	58	71	78
Bosques	Cubierta pobre	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
Espacios abiertos: con césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	Buena condición: cubierta de pastos sobre más del 75% del área	39	61	74	80
	Condición aceptable: cubierta de pastos sobre el 50 a 75% del área	49	69	79	84
Áreas comerciales y de tiendas (85% impermeable)		89	92	94	95
Zonas industriales (75% impermeable)		81	88	91	93
Zonas Residenciales	Tamaño medio de la parcela (m2)				
	500	77	85	90	92
	1000	61	75	83	87
	1350	57	72	81	86
	2000	54	70	80	85
	Promedio de % impermeable	51	68	79	84
Tejados, parkings, superficies impermeables en general		98	98	98	98
Calles y carreteras	Pavimentadas, con bordillos y bocas de tormenta	98	98	98	98
	De grava	76	85	89	91
	De tierra	72	82	87	89

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, margas arenosa.
Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con alto contenido de arcilla.
Grupo D: Suelos expansivos, arcillas altamente plásticas.

4.4. Pendientes.

Para estimar la pendiente en cada área de aportación se utilizó un modelo digital de terreno (MDT), el cual dio mejores resultados en la generación de dichas pendientes. El MDT fue construido en base a la información topográfica

obtenida por medio de la Municipalidad de la ciudad de Guayaquil.

4.5. Coeficientes de Impermeabilidad.

En esta tabla se muestran porcentajes efectivos de impermeabilidad para diferentes usos de suelo. Estos coeficientes fueron añadidos a cada una de las manzanas y calles, tanto para la zona dentro del área de estudio

Tabla 3. Coeficientes de Impermeabilidad.

Descripcion Uso de Suelo	Porcentaje Impermeable Efectivo
Zona Residencial Baja Densidad	30
Zona Residencial Mediana Densidad	40
Zona Residencial Alta Densidad	70
Tiendas	90
Zona Comercial	90
Zona Industrial	85
Areas Publicas	50
Parques	5
Espacios Abiertos	2
Pastizales	2

5. Análisis de Sensibilidad.

El objetivo del análisis de sensibilidad es el de evaluar el comportamiento del modelo hidráulico al variar los parámetros individualmente y para un evento de lluvia específico. Con esto se busca identificar los parámetros que controlan el comportamiento del modelo (mayor incidencia en los hidrogramas de descarga) o los parámetros que son irrelevantes para el proceso de calibración.

Se realizó el análisis de sensibilidad en los modelos de las cuencas de los esteros Miraflores y Repesado con los periodos de lluvia correspondientes a los días 12 y 20 de Abril del 2005. En esta fecha se ubicaron los equipos pluviométricos y los correntómetros, De los pluviómetros se escogió la información del pluviómetro ubicado en el edificio actualmente llamado INMARAL-SALUD ubicado en la Av. Carlos Julio Arosemena junto al colegio 24 de Mayo.

A cada una de las variables se las afectó con decaimientos y crecimiento de porcentajes en las variables de entrada en el orden del -50%, -25%, +25% y +50%. Se analizaron los coeficientes o variables más importantes en los modelos de escorrentía urbana, que analizaremos son los siguientes:

WIDHT (ancho de área de aportación)

N PERV (coeficiente de manning para área permeable)
 N IMPERV (coeficiente de manning para área impermeable)
 PCNT IMPERV (porcentaje de área impermeable)
 PCNT SLOPE (pendiente promedio)

No se analizaran los otros coeficientes ya que aquellos corresponden a propiedades físicas del sistema que no pueden variar como: Longitud, Diámetro, Cotas de Terreno, Pendientes, Cotas de Invert, Profundidad de Pozos.

5.1. Proceso de Calibración

Para el proceso de calibración se ajustaron principalmente los tres parámetros más sensibles según los resultados del análisis de sensibilidad:

- Porcentaje de área impermeable
- Ancho del área de aportación
- Número de Manning de área impermeable

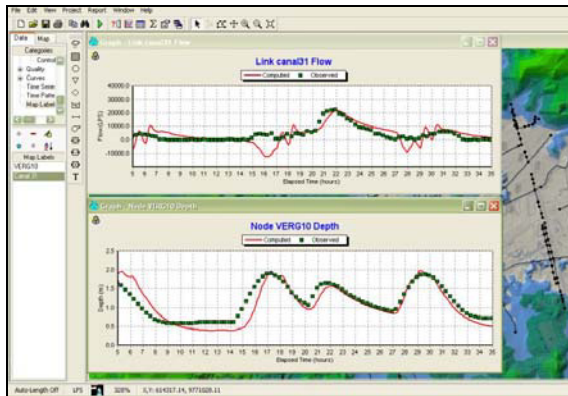


Figura 10. Modelo Calibrado.

Ajuste de los valores medidos versus los modelados para el canal 31 el cual esta junto a la Urbanización Urdenor (Junto a la Empresa Colimpo), el error residual RD muestra que el ajuste es totalmente satisfactorio para los propósitos de la calibración, ya que cuando este valor tiende a (0.0) es desfavorable, mientras que cuando este valor tiende a (1.0) es satisfactorio.

Es de entender que esta correlación lineal es para el instante que comienza la lluvia. La eficiencia del modelo es calculada según el “coeficiente de eficiencia” (E): desarrollado por Nash y Sutcliffe en (1970) con rasgos mínimos infinitos (pobre aproximación) a 1.0 (buena aproximación).

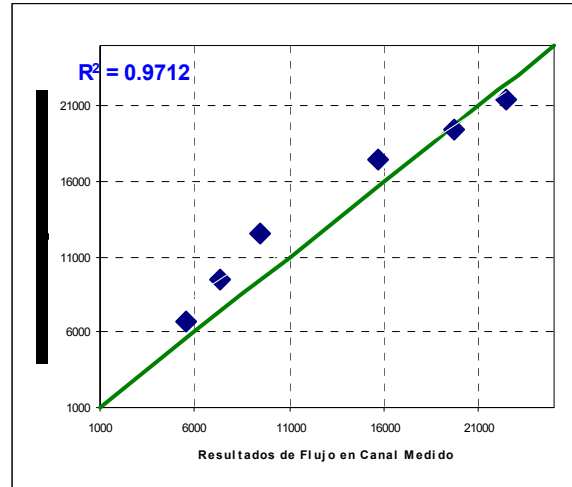


Figura 11. Ajuste Lineal.

6. Conclusiones y Recomendaciones.

De todo este análisis cuantitativo, se puede concluir que el sistema de alcantarillado de drenaje pluvial está colapsado, y que las herramientas de modelación de redes de drenaje tienen mucha aplicación y es necesaria su utilización para ubicar focos probables de inundación, para luego mitigar el impacto. Es así que esta herramienta “SWMM” es utilizada en países de primer mundo.

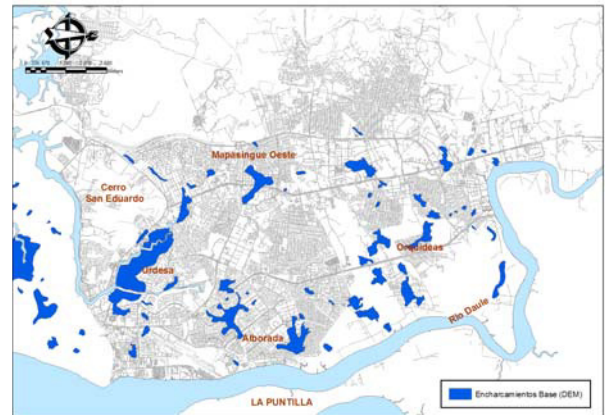


Figura 10. Resultado de Áreas Inundables.

Al comparar las áreas de encharcamientos con las áreas de inundación registradas por la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil, nos damos cuenta que existe mucha similitud, y que es necesario realizar un cálculo exacto de las alturas de inundación con la ayuda de una buena topografía del sitio de inundación y un cálculo de daños materiales producto de estas inundaciones. Además es necesaria la conexión entre sistemas de cuencas de tal manera que

se aumente la capacidad de retención de aguas lluvias dentro de los sistemas de drenaje.

Recomendaciones. Determinar posibles soluciones, como las siguientes:

1. Almacenamientos que controlen los picos de caudal que se producen en una lluvia de magnitud elevada.
2. Construcción de canales de pie de talud, para evitar el ingreso de sedimentos a los sistemas de alcantarillado pluvial.
3. Instalación de válvulas de retención de flujo en las salidas a los cuerpos receptores.
4. Disminución de la amplitud de la curva de marea para evitar el ingreso de agua a los sistemas de alcantarillado pluvial.

7. Calculo de Inundación por deshielo.

Como es de conocimiento global el fenómeno del deshielo en los polos es cada vez real debido al calentamiento global producto de las continuas emisiones de gases que destruyen la capa de ozono, esto acompañado de la quema y tala de grandes extensiones de bosque.

Debido a esto se ha realizado un análisis de la inundación que afectaría a la Ciudad de Guayaquil si los niveles de marea comenzaran a subir, continuación se muestran figuras de este fenómeno. Para lograr estas imágenes se integró la información Topográfica del Instituto Geográfico militar (IGM) y la Información batimétrica levantada por INTERAGUA, 2005.

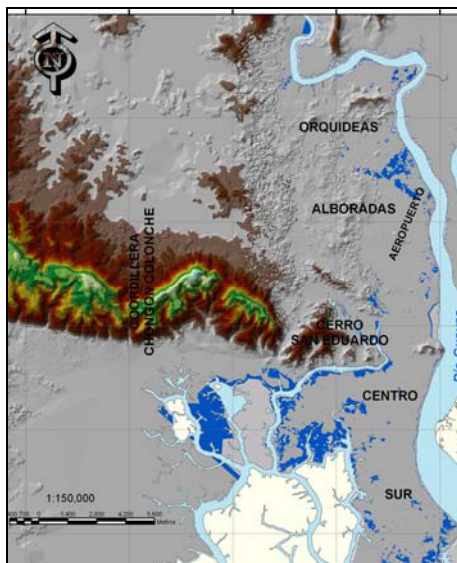


Figura 11. Elevación de 1.00m en el nivel máximo de la marea.

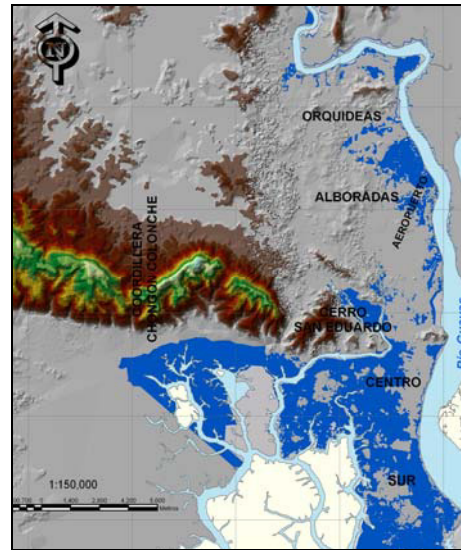


Figura 11. Elevación de 1.50m en el nivel máximo de la marea.

8. Referencias.

- [1] CEDEGE 1997, Diagnóstico de Control de Inundaciones en la Cuenca Baja del Río Guayas.
- [2] Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente (Universidad Politécnica de Valencia).
- [3] Información INAMHI .
- [4] Información IGM.
- [5] Subramanya, K. Engineering Hydrology. Mc Graw Hill, New Delhi, 1991.
- [6] V.M. "Engineering Hydrology". Ed. Prentice Hall. 1989.
- [7] Ven Te Chow, Hidrología Aplicado.
- [8] Estudios de Inundación Realizados por la Universidad Católica de Guayaquil, 1990
- [9] Plan Maestro de Drenaje Pluvial para International Water Services (Interagua),2004