

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE CRECIDAS EN LA CUENCA
DEL RÍO MACHÁNGARA EN LA CIUDAD DE QUITO**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

ALEXIS GABRIEL AGUILAR ALEGRIA
alexis_aga@hotmail.com

DIRECTOR: DR. – ING. LAUREANO ANDRADE CH.
laureano.andrade@epn.edu.ec

Quito, Junio 2010

DECLARACIÓN

Yo, Alexis Gabriel Aguilar Alegría, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Alexis Gabriel Aguilar Alegría

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Alexis Gabriel Aguilar Alegría, bajo mi supervisión.

Dr.-Ing. Laureano Andrade Chávez
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Jesús, que eres capaz de darme fuerza en mis momentos de flaqueza y permitirme creer que existe algo más grande para mí allá afuera.

A mis padres y hermanos por ser la inspiración y fortaleza en este camino a la culminación de mi carrera.

A mi tío Eddie y mi tía Mary, por creer en mí desde el momento que desee ser Ingeniero Civil y siempre estar prestos con sus consejos.

Gracias a mis tutor Dr.-Ing. Laureano Andrade por ser mi guía durante todo este camino de conocimientos y aprendizaje.

Al Dr.-Ing. Marco Castro por su interés y sabiduría en los momentos de duda.

Al Ing. Ciro Menéndez por su valiosa contribución y apoyo.

A mi templo del saber cómo es la Escuela Politécnica Nacional por prestarme todas las facilidades para obtener información en sus bibliotecas.

A Luis y Adry, por apoyarme con sus consejos y conocimientos en momentos de confusión y permitirme ver de otra manera hacer un proyecto de tesis.

A mis amigos: Juan Pablo, Galo, Andrés, Roberto, José Miguel, Marco, Henry y Jorge por su interés y empuje en días de frustración.

A todos, que de una u otra manera fueron parte de este proyecto de titulación...

GRACIAS.

Alexis Gabriel Aguilar Alegría

DEDICATORIA

A mis papitos:

Narcisa Aguilar y Rubén Cruz, todo el sacrificio que hemos tenido como familia me fortaleció y fueron parte indispensable para que nunca desmaye, siendo mi ejemplo y apoyo en cada una de las etapas de mi vida. Por todo ello, me siento orgulloso de ser lo que soy y que ustedes quisieron que fuera.

Les dedico mi tesis con todo mi amor.

Alexis Gabriel Aguilar Alegría

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FOTOS	XIII
RESUMEN	XIV
PRESENTACIÓN	XVI
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 ALCANCE.....	3
CAPITULO 2 CONFORMACIÓN DE LA BASE DE DATOS Y DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE	4
2.1 LA FORMACIÓN DE CRECIDA EN EL RÍO MACHÁNGARA	4
2.2 BASE DE DATOS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE DE LA CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA	9
2.2.1 UBICACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA	9
2.2.2 RED HIDROGRÁFICA Y CONDICIONES DE DRENAJE	12
2.2.3 MORFOLOGÍA Y TIPO DE SUELOS.....	13
2.3 CARACTERÍSTICA FÍSICAS DE LAS SUBCUENCAS DE DRENAJE	16
2.4 USO DEL SUELO.....	25
2.4.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA.	26
2.4.2 SITUACIÓN NATURAL DE LA CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA.....	28
2.4.3 USO FUTURO DEL SUELO (T=50 AÑOS)	29
2.5 INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA	31
2.6 PRECIPITACIÓN.....	35
2.6.1 PRECIPITACIONES MEDIAS.....	35
2.6.2 LLUVIAS INTENSAS.....	37
2.7 INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.....	41
2.8 INFORMACIÓN HIDRÁULICA	42
2.8.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TRAMO EL RECREO-EL TRÉBOL	42
2.8.2 OBRAS HIDRÁULICAS.....	46

CAPITULO 3 PROCESOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS ASOCIADOS CON LA FORMACIÓN DE CRECIDA Y PROPAGACIÓN DE CAUDALES	54
3.1 METODOLOGÍA.....	54
3.1.1 CUENCAS DE ANÁLISIS.....	55
3.1.2 INTEGRACIÓN DE LAS CUENCAS DE ANÁLISIS.....	59
3.2 MODELACIÓN DE LA RELACIÓN LLUVIA-ESCURRIMIENTO	65
3.2.1 MÉTODO DE LA RELACIÓN LLUVIA-ESCURRIMIENTO.....	66
3.2.2 HIETOGRAMA DE INTENSIDADES.....	69
3.2.3 PRECIPITACIÓN EFECTIVA.....	72
3.2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA HEC-MHS 3.1	76
3.2.5 INFORMACIÓN REQUERIDA POR EL PROGRAMA HEC-HMS 3.1 PARA REALIZAR LAS SIMULACIONES.....	77
3.3 SIMULACIÓN DEL TRÁNSITO DE CRECIDA EN CAUCES	78
3.3.1 MÉTODOS NUMÉRICOS PARA LA SOLUCIÓN DEL FLUJO PLANO NO PERMANENTE CON SUPERFICIE LIBRE	80
3.3.2 ESQUEMAS DE RESOLUCIÓN PARA LAS ECUACIONES COMPLETAS DE SAINT VENANT.....	81
3.3.3 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA HEC-RAS 4.0.....	83
3.3.4 INFORMACIÓN REQUERIDA POR EL PROGRAMA HEC-RAS PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN	84
3.3.5 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE REPRESENTATIVO DE RUGOSIDAD “n”	85
3.3.6 GENERACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE PERDIDA DE ENERGÍA.....	87
3.3.7 CONDICIONES DE BORDE DEL PROGRAMA HEC-RAS.....	88
CAPITULO 4 DEFINICIÓN DE ESCENARIOS PARA LA MODELACIÓN	90
4.1 ESCENARIO 1	93
4.2 ESCENARIO 2	93
4.3 ESCENARIO 3	93
4.4 ESCENARIO 4	94
4.5 ESCENARIO 5	94
4.6 ESCENARIO 6	94
4.7 ESCENARIO 7	95
4.8 ESCENARIO 8	95
4.9 ESCENARIO 9	95
4.10 ESCENARIO 10	95
4.11 ESCENARIO 11	96
4.12 ESCENARIO 12	96
4.13 ESCENARIOS 13-14-15-16-17-18:.....	96
CAPITULO 5 CALIBRACIÓN-VERIFICACIÓN DEL MODELO Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS	97

5.1	CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN CUALITATIVA DE MODELOS HIDROLÓGICOS	97
5.1.1	CALIBRACIÓN N°1	98
5.1.2	CALIBRACIÓN N° 2	98
5.2	GENERACIÓN DE CRECIDA SEGÚN ESCENARIOS	101
5.2.1	ESCENARIO 1	101
5.2.2	ESCENARIO 2	104
5.2.3	ESCENARIO 7	106
5.3	ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS	114
5.3.1	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE ESCENARIO 1 Y ESCENARIO 2	114
5.3.2	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE ESCENARIO 1 Y ESCENARIO 7	116
CAPITULO 6	MAPAS DE AMENAZA DE INUNDACIONES	119
6.1	INCIDENCIAS HISTÓRICAS DE INUNDACIONES	119
6.2	ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES	121
6.2.1	AMENAZA MEDIA.....	121
6.2.2	AMENAZA BAJA	122
CAPITULO 7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	125
7.1	CONCLUSIONES.....	125
7.2	RECOMENDACIONES	127
CAPITULO 8	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		129
CAPITULO 9	ANEXOS	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Ubicación de la Cuenca del río Machángara.	10
Figura 2.2	Subcuencas de drenaje en la cuenca del río Machángara.....	11
Figura 2.3	Tramos de tránsito en la cuenca del río Machángara	13
Figura 2.4	Suelo Tipo en la cuenca del río Machángara	15
Figura 2.5	Uso del Suelo en la cuenca del río Machángara	26
Figura 2.6	Crecimiento del uso urbano según el P.G.D.T.	30
Figura 2.7	Áreas de protección ecológica	30
Figura 2.8	Ubicación de las Estructuras de paso en el tramo El Recreo-El Trébol.....	47
Figura 3.1	Mapa de las cuencas de análisis.	55
Figura 3.2	Mapa de la cuenca Alta.	56
Figura 3.3	Tramo de la Cuenca Media (El Recreo – El Trébol)	58
Figura 3.4	Mapa de cuenca baja.....	59
Figura 3.5	Integración de las cuencas de análisis.	60
Figura 3.6	Integración de la cuenca Alta.....	61
Figura 3.7	Integración de la cuenca Media	62
Figura 3.8	Integración de la cuenca Baja.....	63
Figura 3.9	Integración de la cuenca del río Machángara.	64
Figura 3.10	Integración de los hidrogramas de crecida en el Punto A,B, y C	65
Figura 3.11	Hidrograma unitario triangular SCS-US.....	69
Figura 4.1	Diagrama de escenarios	92

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1	Distribución de frecuencias de las duraciones de 288 eventos de tormentas (Quito-Observatorio).....	6
Gráfico 2.2	Variación de la Precipitación con la Altitud	36
Gráfico 2.3	Variación de Intensidad Máximas Izobamba	40
Gráfico 2.4	Variación de Intensidad Máximas Quito-Observatorio.....	40
Gráfico 2.5	Caudales medio diarios de las estaciones del río Machángara.....	41
Gráfico 5.1	Tendencia de los Caudales Simulados con los Caudales de Referencia.	101
Gráfico 5.2	Hidrograma de crecida en el Punto A del Escenario 1.....	102
Gráfico 5.3	Hidrogramas de crecida del Tramo 3 para el Escenario 1	102
Gráfico 5.4	Hidrogramas de crecida en el Punto B. para el Escenario 1	103
Gráfico 5.5	Hidrogramas de crecida en el Punto C para el Escenario 1	103
Gráfico 5.6	Hidrograma de crecida en el Punto A para el Escenario 2	104
Gráfico 5.7	Hidrograma de crecida del Tramo 3 para el Escenario 2	105
Gráfico 5.8	Hidrogramas de crecida en el punto B para el Escenario 2.....	105
Gráfico 5.9	Hidrogramas de crecida en el punto C para el Escenario 2.....	106
Gráfico 5.10	Hidrograma de crecida en el Punto A para el Escenario 7	107
Gráfico 5.11	Hidrogramas del Tramo 3 para el Escenario 7	107
Gráfico 5.12	Hidrogramas de crecida en el Punto B para el Escenario 7	108
Gráfico 5.13	Hidrograma de crecida en el Punto C para el Escenario 7	108
Gráfico 5.14	Hidrogramas de Salida del tramo 3 para el Escenario 1 y 2	114
Gráfico 5.15	Hidrograma de crecida del Tramo 3 para el Escenario 1.....	115
Gráfico 5.16	Hidrograma de crecida del Tramo 3 para el Escenario 2	115
Gráfico 5.17	Hidrogramas de Crecida en el Punto A para el escenario 1 y 7.....	116
Gráfico 5.18	Hidrogramas de Salida del tramo 3 para el Escenario 1 y 7	117
Gráfico 5.19	Hidrogramas de crecida en el punto C para los escenario 1 y 7.....	118

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1	Caudales máximos para el río Machángara - Cumbayá.....	5
Cuadro 2.2	Caudales máximos del río Machángara - Cumbayá	8
Cuadro 2.3	Ubicación de la Cuenca del río Machángara	9
Cuadro 2.4	Tramos de tránsito de la cuenca del río Machángara	12
Cuadro 2.5	Tipos de suelo en la cuenca del río Machángara.....	14
Cuadro 2.6	Características Físicas de las Subcuencas de Drenaje	17
Cuadro 2.7	Uso actual del suelo de la cuenca del río Machángara	27
Cuadro 2.8	Uso natural del suelo de la cuenca del Río Machángara	28
Cuadro 2.9	Situación Futura del suelo en la cuenca del Río Machángara	31
Cuadro 2.10	Estaciones Meteorológicas	32
Cuadro 2.11	Valores Medios Mensuales de Temperatura	33
Cuadro 2.12	Evaporación de Tanque Clase A.....	34
Cuadro 2.13	Variación de la Precipitación con la Altitud	35
Cuadro 2.14	Valores Característicos de Pluviosidad Mensual	36
Cuadro 2.15	Valores Característicos de Pluviosidad Anual.....	36
Cuadro 2.16	Intensidades de lluvia Izobamba	39
Cuadro 2.17	Intensidades de lluvia Quito-Observatorio.....	39
Cuadro 2.18	Caudal Base para las Subcuencas del río Machángara.....	41
Cuadro 2.19	Ubicación del tramo El Recreo - El Trébol.....	42
Cuadro 2.20	Coeficientes de Pérdidas de Energía para el modelo HEC-RAS	46
Cuadro 2.21	Coordenadas de las estructuras de paso a lo largo del tramo El Recreo- El Trébol	47
Cuadro 3.1	Números de Curva (CN) para la cuenca del río Machángara.....	76
Cuadro 3.2	Aspectos considerados para determinar el coeficiente “n”	86
Cuadro 3.3	Valor del coeficiente “n” en el cauce del río Machángara	87
Cuadro 3.4	Condiciones de Borde en el proceso hidráulico.....	88
Cuadro 5.1	Datos Usados para Calibración N° 2.	99
Cuadro 5.2	Resultados de la Calibración:	99
Cuadro 5.3	Verificación de los Resultados	100
Cuadro 5.4	Cuadro Resumen de los Escenarios Simulados para la cuenca del Río Machángara	109
Cuadro 5.5	Velocidades en las estructuras para el Escenario 1.....	110
Cuadro 5.6	Velocidades en las estructuras para el Escenario 3.....	110
Cuadro 5.7	Velocidades en las estructuras para el Escenario 5.....	110
Cuadro 5.8	Velocidades en las estructuras para el Escenario 7.....	111
Cuadro 5.9	Velocidades en las estructuras para el Escenario 9.....	111
Cuadro 5.10	Velocidades en las estructuras para el Escenario 11.....	111

Cuadro 5.11	Resumen del comportamiento de las estructuras con la condición Actual del suelo	112
Cuadro 5.12	Resumen del comportamiento de las estructuras con la condición Natural del suelo.	112
Cuadro 5.13	Carga de Agua en las estructuras del tramo 3.....	113
Cuadro 5.14	Cuadro Comparativo de las Estructuras de Paso entre E-1 y E-7	117

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 2.1	Subcuenca Quebrada Caupicho	18
Foto 2.2	Subcuenca Quebrada Ortega.....	19
Foto 2.3	Subcuenca del río Grande	20
Foto 2.4	Subcuenca Quebrada Caupicho A.J. río Grande.	20
Foto 2.5	Zona del sur de Quito.....	21
Foto 2.6	Cuenca del río Machángara desde El Recreo hasta El Trébol	22
Foto 2.7	Zona del centro de Quito.	22
Foto 2.8	Cuenca de la quebrada Rumipamba	23
Foto 2.9	Norte de Quito.....	24
Foto 2.10	Vista aérea de la junta del río Machángara con el río San Pedro.....	25
Foto 2.11	Vista general, desde aguas arriba, del tramo del río Machángara en el sector El Trébol.	44
Foto 2.12	Cauce del río Machángara aguas abajo de la descarga del túnel existente en el sector El Trébol	44
Foto 2.13	Tipo de vegetación en las márgenes.....	45
Foto 2.14	Salida del embaulamiento nuevo en El Trébol.....	48
Foto 2.15	La Molinera visto desde aguas abajo.....	49
Foto 2.16	La Molinera vista desde aguas arriba	49
Foto 2.17	Embaulamiento Cumandá visto desde aguas abajo	50
Foto 2.18	Puente La Recoleta visto desde aguas arriba.....	50
Foto 2.19	Puente La Recoleta visto desde aguas abajo	51
Foto 2.20	Embaulamiento Chimbacalle visto desde aguas arriba.....	51
Foto 2.21	Visto a la entrada del túnel de encauzamiento de la Rodrigo de Chávez	52
Foto 2.22	Vista a la salida del túnel de encauzamiento de la Rodrigo de Chávez	52
Foto 2.23	Embaulamiento en el parque Concha Acústica	53
Foto 6.1	Sitio de amenaza media, sector de Chimbacalle	122
Foto 6.2	Sectores de Amenaza Baja. El Trébol	123

RESUMEN

La cuenca del Río Machángara, está ubicada al noroccidente de la Provincia de Pichincha, Distrito Metropolitano de Quito (D.M.Q.), forma parte del sistema hidrográfico del río Guayllabamba. El río principal que cruza toda la cuenca es el Machángara. Su área de drenaje es 227,4 km². Se alimenta con los caudales del río Grande, Quebrada Ortega y Quebrada Rumipamba.

El proyecto de tesis tiene como objetivo principal la obtención de mapas de amenaza de inundación del río Machángara, para los diferentes escenarios de Uso del Suelo y de ocurrencia de lluvias intensas. Para cumplir el objetivo principal es necesario modelar la cuenca con el programa HEC-HMS para el proceso hidrológico. Además, para modelar la propagación de la crecida para el tramo El Recreo – El Trébol se utilizó el programa HEC-RAS para el proceso hidráulico. Con lo cual se pretende mejorar el conocimiento sobre la incidencia del avance de la frontera urbana en la formación de crecida y el aumento del riesgo por inundaciones.

Para realizar el proceso hidráulico e hidrológico fue necesario que la cuenca del río Machángara se divida en 10 subcuencas, para las cuales se determinó las características físico-geográficas de cada una de ellas. A continuación las subcuencas creadas se agrupan para formar las 3 cuencas del Río Machángara: Cuenca Alta, Cuenca Media y Cuenca Baja. Cada una de las cuencas fue modelada con el programa HEC-HMS para generar los hidrogramas de crecida. Además, el cauce de la cuenca Media fue modelado con el programa HEC-RAS para generar la laminación de Hidrograma de Entrada al recorrer el cauce desde el Recreo hasta el Trébol.

Para cada uno de los procesos realizados se manejó escenarios, las cuales, las principales variables fueron el uso del suelo y el período de recurrencia de la intensidad de lluvia actuante en las subcuencas. Se consideró el Uso Actual del Suelo, la condición Natural del suelo y el Uso Futuro del suelo (50 años). Los períodos de recurrencia para la intensidad de lluvia fueron 50 años, 100 años y 200 años.

El proceso hidráulico se desarrollo tomando en cuenta las estructuras de paso existentes en el cauce desde El Recreo hasta El Trébol. Los resultados de la modelación hidráulica permitieron crear los mapas de amenaza de inundación.

Para el proceso de calibración se manejo el caudal máximo del hidrograma de crecida en el punto de El Trébol con el uso del suelo actual y con una intensidad de lluvia actuante para un período de retorno de 50 años. Mientras para el proceso de verificación de las modelaciones hidrológicas se uso los caudales máximos de los Hidrogramas de Crecida con una intensidad de lluvia actuante para un período de recurrencia de 100 años y 200 años bajo el uso del suelo actual. Para el análisis de escenarios se tomo como ejemplo el escenario 1, escenario 2, escenario 7 en los Puntos 1,2 y 3 con los Hidrogramas de Crecida generados. Para el resto de escenarios se realizo una tabla de resultados con los caudales pico, el volumen de escurrimiento, el volumen de laminación, las velocidades y las alturas de sobreelevación aguas arriba de las estructuras de paso.

Cada escenario genero un hidrograma de crecida en cada una de los puntos de interés. Estos hidrogramas nos otorgan como resultados importantes el caudal máximo y el volumen de escurrimiento. El caudal máximo obtenido para los escenarios 1-2, 3-4 y 5-6 en el punto 1 fueron 209.5 m³/s, 243.6 m³/s y 280 m³/s respectivamente. Mientras para los escenarios 7-8, 9-10 y 11-12 fueron 123.9m³/s, 145.8 m³/s y 169.7 m³/s respectivamente. Indicando una clara diferencia entre los escenarios con el uso del suelo actual y los escenarios con el uso del suelo natural (sin zona urbana. Los caudales máximos en el punto de 2 tienen la presencia del fenómeno de laminación, el cual produce una reducción considerable con la presencia de las estructuras de paso existentes.

PRESENTACIÓN

El cambio de uso del suelo por el aumento de la frontera urbana en la ciudad de Quito, la intensidad de la lluvia sobre la cuenca de drenaje y la presencia de estructuras de paso en el río Machángara como alcantarillas y embaulados, ejercen gran influencia en la ocurrencia y magnitud de las crecidas y también en los caudales máximos. Dando lugar al incremento de la amenaza por inundación de las poblaciones asentadas en las riberas del río Machángara.

Por ello, es necesario generar mapas de amenaza de inundación del río Machángara para diferentes escenarios, tomando en consideración los factores de uso del suelo, intensidad de lluvia y presencia de las estructuras de paso. El cual, permita desarrollar un plan de emergencia en épocas de lluvia.

Para realizar cada uno de los escenarios y generar los hidrogramas de crecida se consideró utilizar el programa HEC-HMS 3.0, que incorpora diferentes procedimientos de cálculo. Mientras para la propagación de crecida en el cauce del tramo el Recreo hasta el Trébol se utilizó el programa Hec-Ras 4.0.

Cada escenario modelado de la cuenca del río Machángara genera como resultados los hidrogramas de crecida, hidrograma laminado y, mapa de amenaza de inundación de la zona el Recreo hasta el Trébol.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

El presente estudio hidrológico contiene la caracterización del régimen hídrico y la evaluación de los caudales máximos del río Machángara.

El área de estudio está constituida por la cuenca hidrográfica del río Machángara, cuya información hidrométrica es limitada, en la cantidad de años de registro.

Gran parte de la ciudad de Quito se localiza al interior de la cuenca de drenaje del río Machángara, además este río constituye la descarga principal de la red de drenaje de aguas lluvias y servidas de la ciudad. Por consiguiente, las características de la superficie de drenaje han cambiado en función del avance de la frontera urbana de la ciudad, aspecto que repercute en la ocurrencia y magnitud de los caudales máximos.

El desarrollo del presente trabajo contempló en su fase inicial la recopilación, almacenamiento, análisis y crítica de los datos hidrometeorológicos existentes y levantados en la zona de estudio, que posteriormente son utilizados para evaluar, analizar y generar conclusiones y recomendaciones que permitirán a la toma de decisiones para mitigar las posibles amenazas de inundaciones de ciertos barrios ubicados en las riberas del río.

En el presente proyecto se propone el estudio de los escenarios, que permiten considerar los cambios en el uso del suelo, resultado del avance de la frontera urbana y establecer los parámetros necesarios para la simulación del fenómeno lluvia-escurrimiento en la cuenca hidrográfica del río Machángara, generando información sobre los caudales máximos de crecida, útil para el análisis de la amenaza de inundaciones de áreas ribereñas al río Machángara.

1.1 OBJETIVOS

El proyecto tiene como objetivo principal la obtención de mapas de amenaza de inundación del río Machángara, para diferentes escenarios de uso del suelo y de recurrencia de lluvias intensas. Con lo cual, se pretende mejorar el conocimiento

sobre la incidencia del avance de la frontera urbana en la formación de crecidas y el aumento del riesgo por inundaciones.

Los objetivos específicos propuestos son:

- Modelar las relaciones precipitación – escurrimiento en la cuenca del río Machángara.
- Simular la propagación de la crecida en el río Machángara, tomando en consideración tanto la topografía del cauce como la presencia de estructuras.
- Evaluar la influencia en los caudales máximos del cambio en el uso del suelo, resultado del avance de la frontera urbana.
- Determinar el efecto de las estructuras de paso existentes desde el Recreo hasta el Trébol sobre los hidrogramas de crecida.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La modelación de las relaciones precipitación – escurrimiento, se sustenta en la ecuación hidrológica para las cuencas hidrográficas; y por otra parte, el tránsito o propagación de crecida en los cauces se evalúa en base a modelaciones hidráulicas, que son herramientas útiles y poderosas para determinar los niveles de inundación ante eventos que aún no han ocurrido y que podrían presentarse como consecuencia de la incidencia antrópica en las cuencas de drenaje y en los cauces.

Lo expuesto requiere analizar procesos como: distribución espacial y temporal de las lluvias intensas, infiltración, escurrimiento superficial, tránsito de crecida en cauces, etc.

La disponibilidad de información físico–geográfica para la cuenca del río Machángara se encuentra a escala 1:5 000 y el modelo digital del cauce del río Machángara desde el Recreo hasta el Trébol se encuentra a escala 1:1 000. Los datos de lluvias intensas de estaciones y aforos localizadas en la cuenca del río Machángara indican que el volumen de información, si bien es limitado, es suficiente para determinar los caudales del río Machángara para los diferentes

escenarios a través del soporte de programas de cómputo como el HEC-HMS y el HEC-RAS.

Por una parte el tema de tesis es amplio, pues permite aplicar conceptos climatológicos, hidrológicos e hidráulicos, junto con herramientas informáticas, y por otra, los objetivos propuestos son claros y prácticos en la medida que se propone generar aplicaciones para resolver problemas concretos relativos al drenaje urbano de la ciudad de Quito.

1.3 ALCANCE

Se propone la:

- Caracterización físico – geográfica y climática de la cuenca del río Machángara, considerando tres escenarios de uso del suelo: a) situación natural (sin área urbana), b) situación actual y c) situación futura (año 2050). Se evalúa también diferentes períodos de retorno para las lluvias intensas: 50 , 100 y 200 años.
- Definición del modelo digital del cauce del río Machángara desde el Recreo hasta el Trébol y las estructuras de paso existentes.
- Modelación de la relación lluvia - escurrimiento para la cuenca de río Machángara.
- Simulación del tránsito de crecida en el cauce del río Machángara considerando las estructuras de paso existentes desde el Recreo hasta el Trébol.
- Generación de mapas de amenazas por inundaciones del río Machángara para los escenarios propuestos.

CAPITULO 2

CONFORMACIÓN DE LA BASE DE DATOS Y DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

2.1 LA FORMACIÓN DE CRECIDAS EN EL RÍO MACHÁNGARA

Para el entendimiento y el análisis del problema en general se revisó estudios anteriores relacionados con el tema en cuestión, del cual se logró obtener lo siguiente:

EPN, 1986. INFORME PRELIMINAR DE PREFACTIBILIDAD – ÁREA DE HIDROLOGÍA – PROYECTO TRASVASE DEL RÍO MACHÁNGARA.

En ese estudio se analiza la disponibilidad de información climatológica e hidrométrica; se revisa la consistencia de los registros, las curvas de descarga; se generan las curvas de duración general; y, se determinan los caudales medios, mínimos y máximos, en función de la información disponible a esa fecha.

Las estaciones meteorológicas, consideradas en ese estudio son las siguientes:

Sobre el Clima: Izobamba, Chillogallo San Juan, Conocoto, Quito Aeropuerto, Quito Observatorio, Tumbaco, Cotocollao, Uyumbicho y Cumbayá

Sobre Hidrometría: Machángara – Guápulo y Machángara – Dos Puentes.

La determinación de los caudales máximos se sustentó en datos de caudales máximos instantáneos de los años 1982, 1983 y 1984, de la estación Machángara - Dos Puentes. Se precisa que el caudal máximo registrado en el año 1983 (200 m³/s), corresponde aproximadamente a un período de retorno de 20 años. Los caudales con probabilidad asignada se determinaron aplicando la ecuación de Ven T. Chow, con coeficientes de frecuencias de tipo Gumbel, y asumiendo un coeficiente de variación igual a 0.6 para la serie de caudales máximos anuales.

Los caudales máximos propuestos en ese estudio, para el sitio del proyecto, se presentan en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1 Caudales máximos para el río Machángara - Cumbayá

Período de retorno (años)	Caudal Máximo (m³/s)
25	224
50	260
100	295
200	326
1000	412

Elaboración: EPN-1986

Fuente: EPN, 1986.

EEQ, 1986. INFORME TÉCNICO PREVIO A LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DEFINITIVO- PROYECTO DE TRASVASE DEL RÍO MACHÁNGARA.

Este informe recoge las principales recomendaciones de los estudios de Hidrología, Geología y Geotecnia, Ambiental e hidráulica del proyecto de Trasvase del río Machángara.

Sobre los caudales máximos se incluye el siguiente comentario: “Con respecto a los caudales de crecida, se ha seleccionado aquel correspondiente a un período de retorno de 50 años, cuya magnitud es de 350 m³/s”.

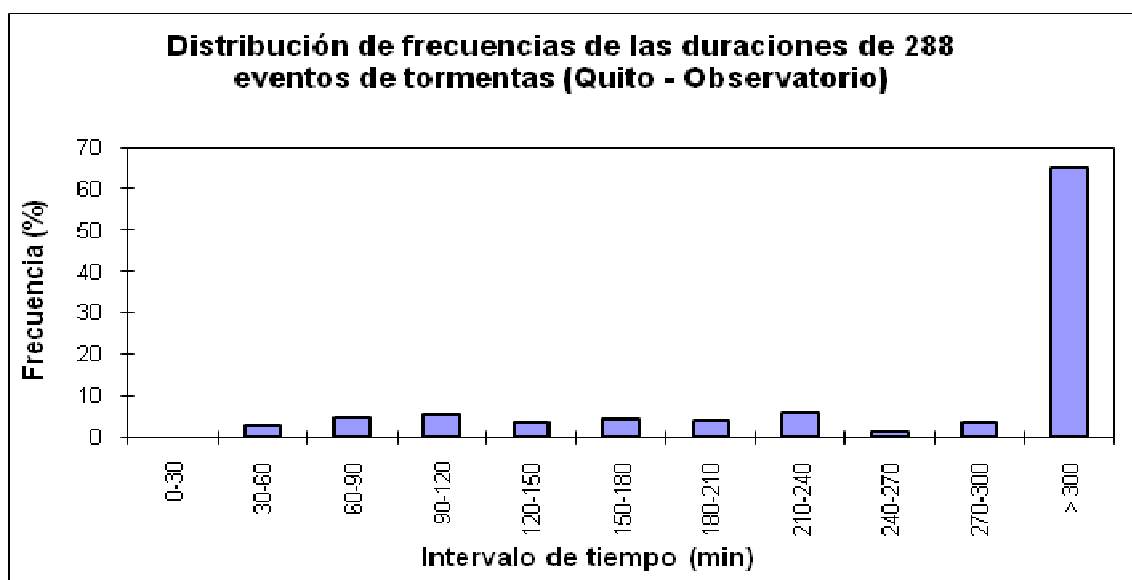
EGESCO, 1994. ESTUDIOS DEFINITIVOS DEL CONTROL DE ESCURRIMIENTO EN LAS LADERAS DEL PICHINCHA, INFORME HIDROLOGÍA - TOMO II CARACTERIZACIÓN FÍSICO CLIMÁTICA. EMAAP-Q

Incluye datos sobre precipitaciones mensuales, precipitaciones máximas de 24 horas, temperatura media mensual, velocidad máxima y dirección del viento, velocidad media del viento, nubosidad, humedad relativa, heliofanía y evaporación.

BELTRÁN, F., 1995. "INVESTIGACIÓN DE HIETOGRAMAS CRÍTICOS Y EVALUACIÓN DEL EFECTO DE SIMULTANEIDAD DE TORMENTAS EN QUITO". PROYECTO DE TITULACIÓN. EPN

En este Proyecto de Titulación se analizan 288 tormentas registradas en Quito entre 1915 y 1992, con diferentes porcentajes de 0%, 50%,100% de la cantidad de lluvia igual a 25,4 mm (1plg.); se muestra que la duración de los eventos de lluvia varía entre 34 minutos (0,57 h) y 1920 minutos (32 h). La distribución de frecuencias de las duraciones reales de las lluvias se muestra en el siguiente Gráfico 2.1.

Gráfico 2.1 Distribución de frecuencias de las duraciones de 288 eventos de tormentas (Quito-Observatorio)



Fuente: BELTRÁN, F., 1995

- No se presentan tormentas con lámina de precipitación total, mayor a 20 mm con duraciones menores a 30 min.
- El 65 % de los eventos tienen duraciones mayores a 300 min.
- Para duraciones entre 30 min y 300 min las frecuencias son semejantes y menores a 10%.
- Se detecta el aumento de las intensidades máximas en el tiempo, como resultado del avance de la frontera urbana.

TAHAL-IDCO, 1997, “PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO” – FASE DE DIAGNÓSTICO (HIDROLOGÍA).

Los cálculos referidos en el Plan Maestro (TAHAL-IDCO, 1997) muestran caudales máximos específicos de las Laderas Norte, variables entre 1,4 m³/s/km² y 6,3 m³/s/km², con período de retorno de 25 años, aplicando el método U.S. SCS. Se definen caudales máximos para diferentes secciones de embaulamiento del río Machángara.

Además se establecen los caudales máximos para la sección de encauzamiento en el sector el Trébol, con área de drenaje igual a 139.60 km², y período de retorno de 25 años: 176,00 m³/s (año 1996); 211.20 m³/s (año 2012) y 237,10 m³/s (año 2 025).

INAMHI, 1999. “ESTUDIO DE LLUVIAS INTENSAS”.

El informe de INAMHI – 1999 presenta relaciones de intensidad - duración – periodo de retorno para estaciones de base, cuyas áreas de influencia o zonas se obtuvieron mediante polígonos de Thiessen. La generalización de las ecuaciones se apoya en correlaciones de intensidades de corta duración con las de 24 horas, para las cuales (las de 24 horas) se disponen de mapas de isolíneas de igual intensidad, con períodos de retorno dados.

CEMAPRIMES, 2005. ESTUDIOS DE REHABILITACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CUMBAYA- HIDROLOGÍA. EEQ S.A.

Se determinan las características físico-geográficas de las diferentes áreas de aportación de la cuenca del río Machángara, se analizan en detalle las condiciones de drenaje, se evalúa la variabilidad climática estacional e interanual, incluyendo las relaciones intensidad – duración – período de retorno.

El procedimiento de determinación de caudales máximos, ante la ausencia de información hidrométrica suficiente, consiste en la obtención de hidrogramas de crecida, por el modelo U.S. Soil Conservation Service. Para el efecto, se utiliza el paquete HEC-HMS.

En la aplicación del modelo se considera la duración crítica de la lluvia igual a 300 minutos para toda la cuenca del río Machángara hasta la sección final (Cumbayá). En todos los casos se asume el mismo patrón de tormenta, es decir la distribución temporal de intensidades de tipo Huff 10% del Segundo Cuartil, se adoptan las relaciones intensidad – duración – período de retorno de la estación Quito Observatorio, y se trabaja con los períodos de retorno de 1,01; 1,15; 2; 5; 10; 25; 50 y 100 años.

Los caudales máximos recomendados (Ver Cuadro 2.2), corresponden a una condición de humedad antecedente media para la cuenca, y no se considera el efecto de reducción de la intensidad máxima con el área.

Cuadro 2.2 Caudales máximos del río Machángara - Cumbayá

Período de retorno (años)	Caudal Máximo (m ³ /s)
10	273.4
25	333.3
50	380.7
100	426.8

Fuente: CEMAPRIMES, 2005.

A manera de comprobación de los resultados, se aplicó relaciones hidráulicas con los datos de la secciones de aforos, ubicada 100 m aguas arriba de la Captación Cumbayá, y el nivel de crecida máximo observado (calado = 5,08 m), que podría corresponder a un período de retorno entre 10 y 25 años. El caudal máximo obtenido es 299,2 m³/s.

La producción de sedimentos de la cuenca del río Machángara se compone de sedimentos en suspensión y de arrastre, además junto con los caudales líquidos, son transportados escombros y basuras, cuyos depósitos son visibles en las márgenes y áreas de inundación. Se consideró una descarga total de sedimentos en suspensión y de fondo de 61 708 t/año.

2.2 BASE DE DATOS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE DE LA CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA

Los datos que se obtuvo para la modelación hidrológica de la cuenca del río Machángara consta de la carta digitalizada de la zona a escala 1:5 000, precipitaciones mensuales, temperatura mensuales, evaporación mensual, aforos del río Machángara, mediciones pluviográficas de estaciones en la cuenca del río Machángara y mapas de uso del suelo actual del D.M.Q.

De igual forma, para el tránsito de crecidas en el río Machángara, se utiliza la cartografía digital a escala 1:1 000 del tramo entre el Recreo y el Trébol. Se realizó el levantamiento de campo a los embaulamientos o estructuras de paso que se encuentran en el tramo El Recreo-El Trébol.

2.2.1 UBICACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA

La cuenca del río Machángara está ubicada al noroccidente de la Provincia de Pichincha, Distrito Metropolitano de Quito y constituye parte del sistema hidrográfico del río Guayllabamba (Ver Figura 2.1). El río principal que drena la cuenca es el Machángara, y el punto de descarga de la cuenca se establece antes de la unión con el río San Pedro. El área de drenaje es 227,4 km², la longitud del cauce principal es aproximadamente de 37,49 km, son afluentes de la cuenca el río Grande, Quebrada Ortega y Quebrada Rumipamba, entre las más importantes. En el Cuadro 2.3 se indican las coordenadas más representativas de la cuenca, como es el punto más alejado en su parte superior y el punto de salida

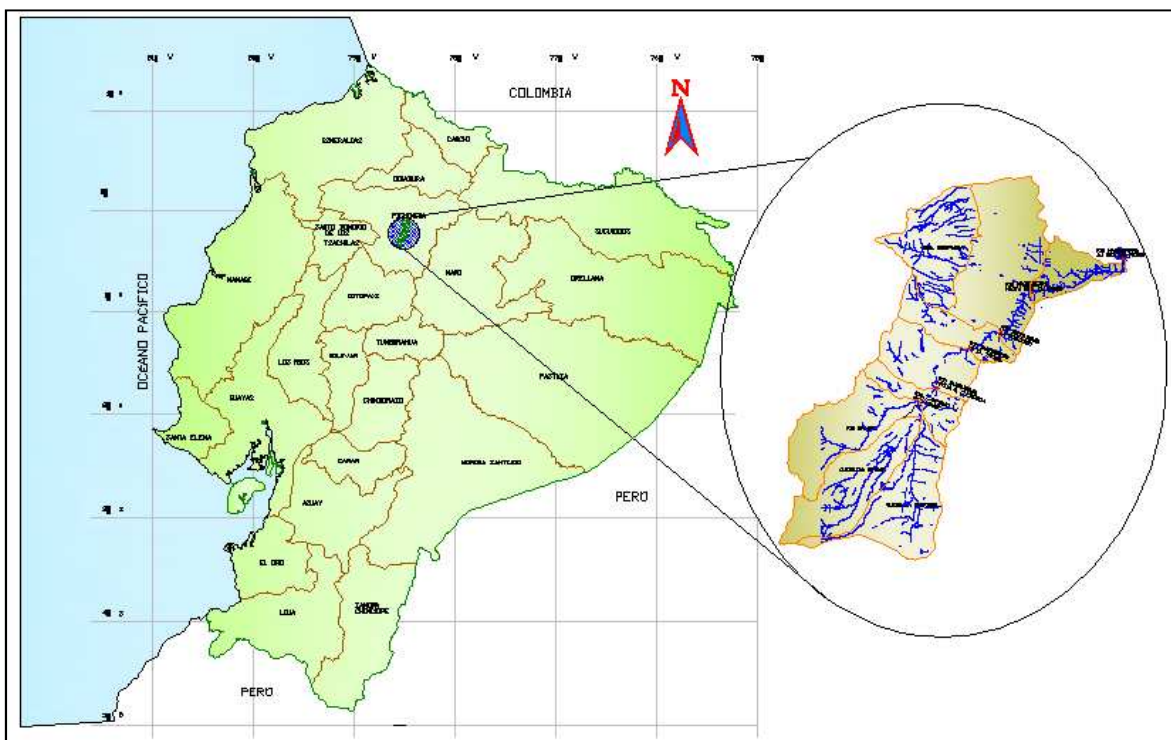
Cuadro 2.3 Ubicación de la Cuenca del río Machángara

COORDENADAS		Cota	Observación
X	Y	m s.n.m.	
487 365,30	9'962 005,75	4 175	Punto más alejado de la parte superior
509 862,90	9'980 509,30	2 300	Sección de salida

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: Cartografía Digital escala 1:5 000

Figura 2.1 Ubicación de la Cuenca del río Machángara.



Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: Cartografía Digital escala 1:5 000

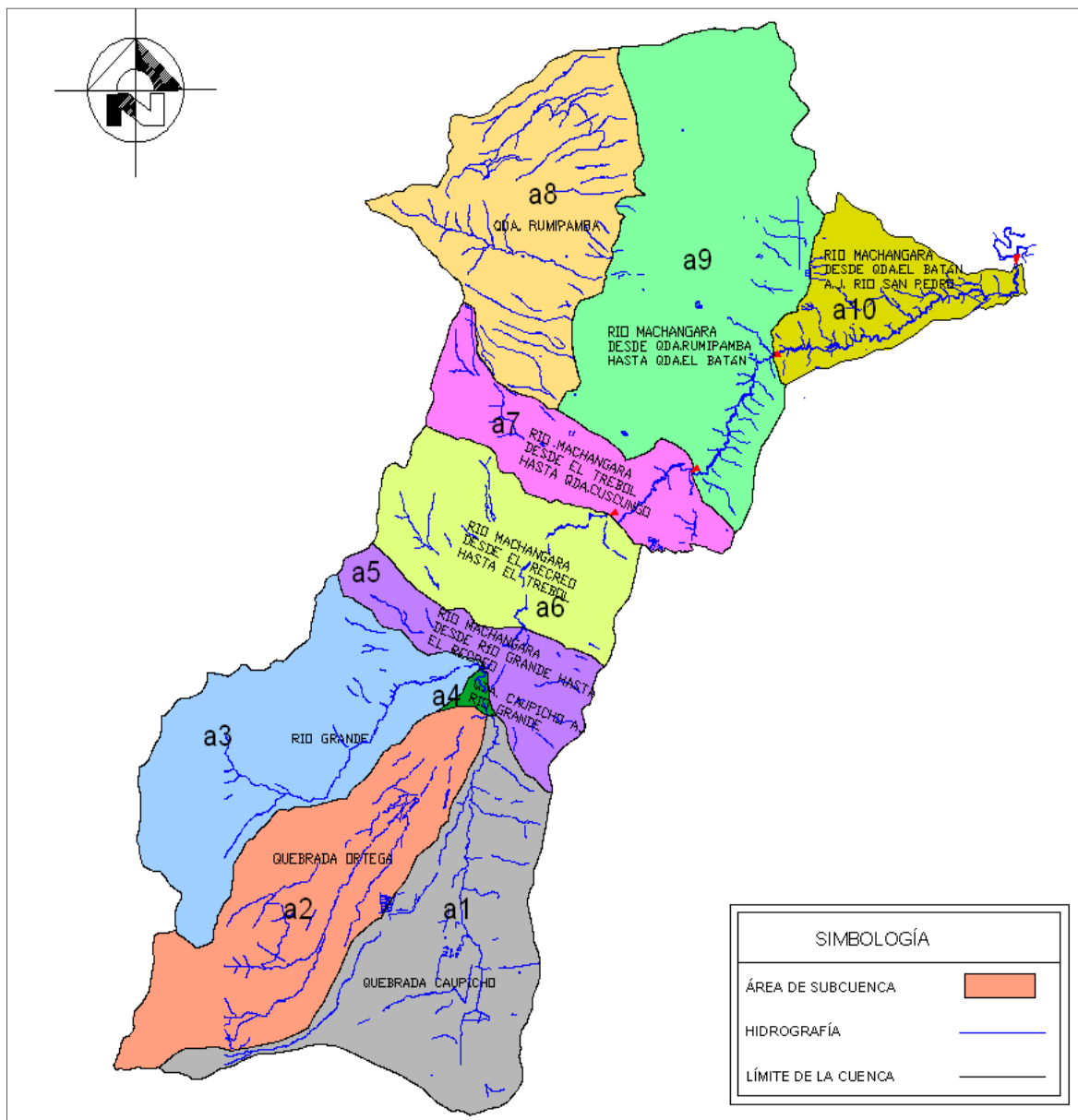
Por facilidad en la aplicación de la metodología hidrológica para obtener los hidrogramas de crecida, se dividió a la cuenca del río Machángara en 10 subcuencas o áreas parciales de drenaje, las cuales tienen sus características físico-geográficas propias, y se integran entre sí, tanto para el proceso hidrológico como el proceso hidráulico (Ver Figura 2.2).

Las subcuencas, son:

- a1) Quebrada Caupicho.
- a2) Quebrada Ortega.
- a3) Río Grande.
- a4) Quebrada Caupicho AJ Río Grande.
- a5) Río Machángara desde río Grande hasta El Recreo.
- a6) Río Machángara desde El Recreo hasta El Trébol.
- a7) Río Machángara desde El Trébol hasta la Quebrada Cuscungo.
- a8) Quebrada Rumipamba.

- a9) Río Machángara desde quebrada Rumipamba hasta quebrada el Batán.
 a10) Río Machángara desde quebrada El Batán A.J. Río San Pedro.

Figura 2.2 Subcuencas de drenaje en la cuenca del río Machángara.



Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: Carta digital 1:5 000

2.2.2 RED HIDROGRÁFICA Y CONDICIONES DE DRENAJE

El río Machángara nace en las laderas orientales del cerro Atacazo, aproximadamente en la cota 4 175 m s.n.m., drena las laderas orientales del volcán Pichincha y se alimenta con los caudales del río Grande, Quebrada Ortega y Quebrada Rumipamba. El río Machángara constituye además el medio de descarga del drenaje urbano y pluvial de la zona sur y centro de Quito.

El canal a través del cual transita el caudal formado en la cuenca se conoce como tramo de tránsito.

Dentro de cada subcuenca se encuentra un cauce principal, a través del cual se transporta el caudal del área de drenaje hacia aguas abajo. Estos cauces integran la red hidrográfica de la cuenca del río Machángara. (Ver Figura 2.3).

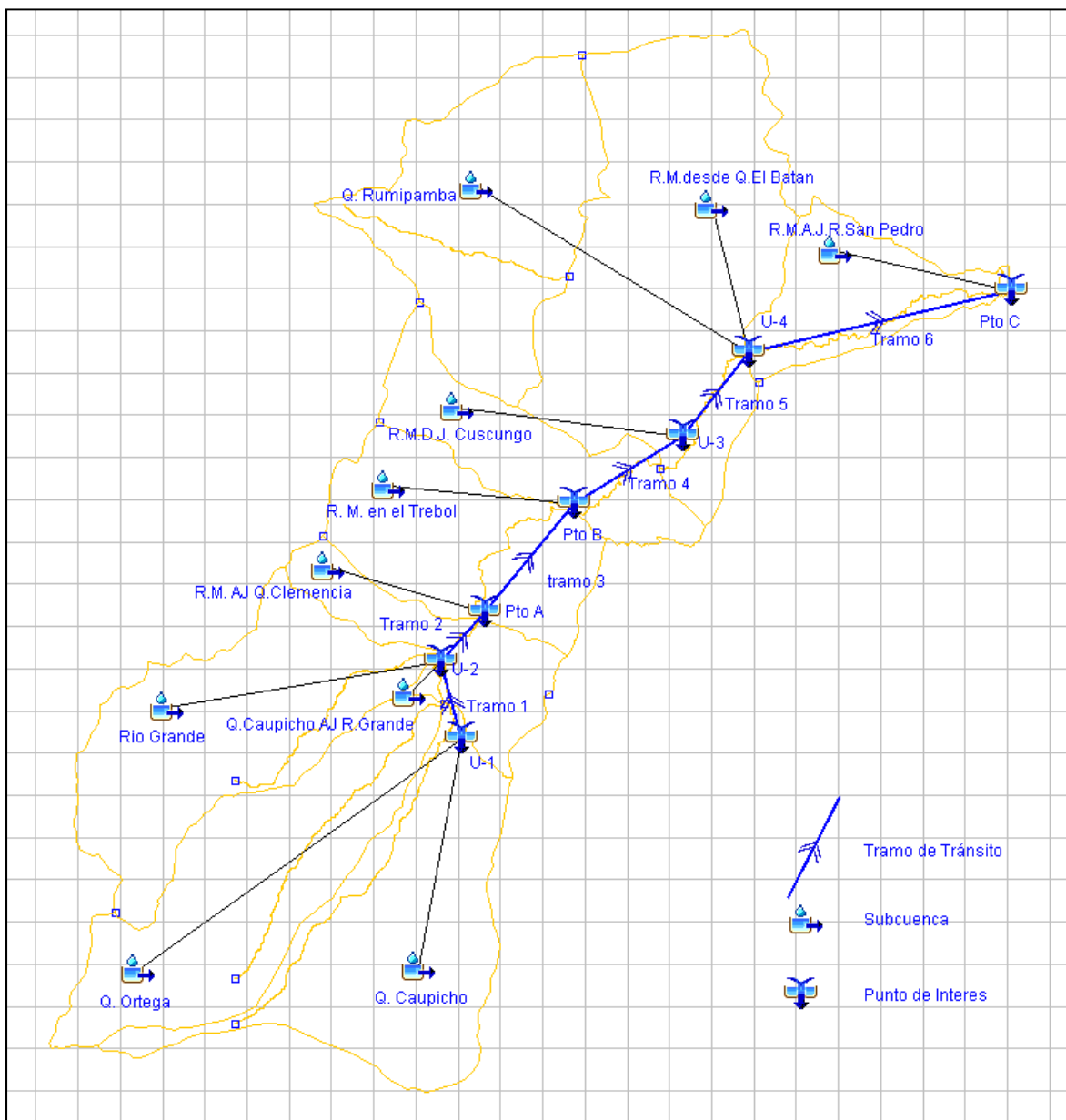
Se tienen seis tramos de tránsito, cuyas características se muestran en el Cuadro 2.4.

Cuadro 2.4 Tramos de tránsito de la cuenca del río Machángara

Tramo	Subcuenca	Longitud (km)	Pendiente media (%)
1	a4	1.50	2.5
2	a5	1.60	7.0
3	a6	4.86	2.0
4	a7	3.40	2.9
5	a9	4.35	3.5
6	a10	8.90	3.5

Fuente: Cartografía digital escala 1:5 000

Figura 2.3 Tramos de tránsito en la cuenca del río Machángara



Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: U.S. Army Corps of Engineers (HEC-HMS) – 2006

2.2.3 MORFOLOGÍA Y TIPO DE SUELOS

En el área de estudio predominan las pendientes fuertes y muy fuertes, que varían entre 12% y 50%; también se encuentran pendientes abruptas, mayores al 50%, en las márgenes de los cauces. En el área urbana, se tienen pendientes débiles y bajas, es decir menores al 12%.

Los suelos predominantes corresponden al conjunto clasificado por su taxonomía como C, que en general son poco profundos, erosionados, asentados sobre una capa dura cementada (cangahua) que subyace a menos de 1m de profundidad; presenta relieves moderados. Estos factores muestran la baja capacidad de infiltración de los suelos y la susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica. (EMAAP-Q Hidrología-El Trébol-2008)

Los suelos tipo A son de arena profunda, suelos depositados por el viento, limos agregados. (CHOW, 1994)

Los suelos tipo B son suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.

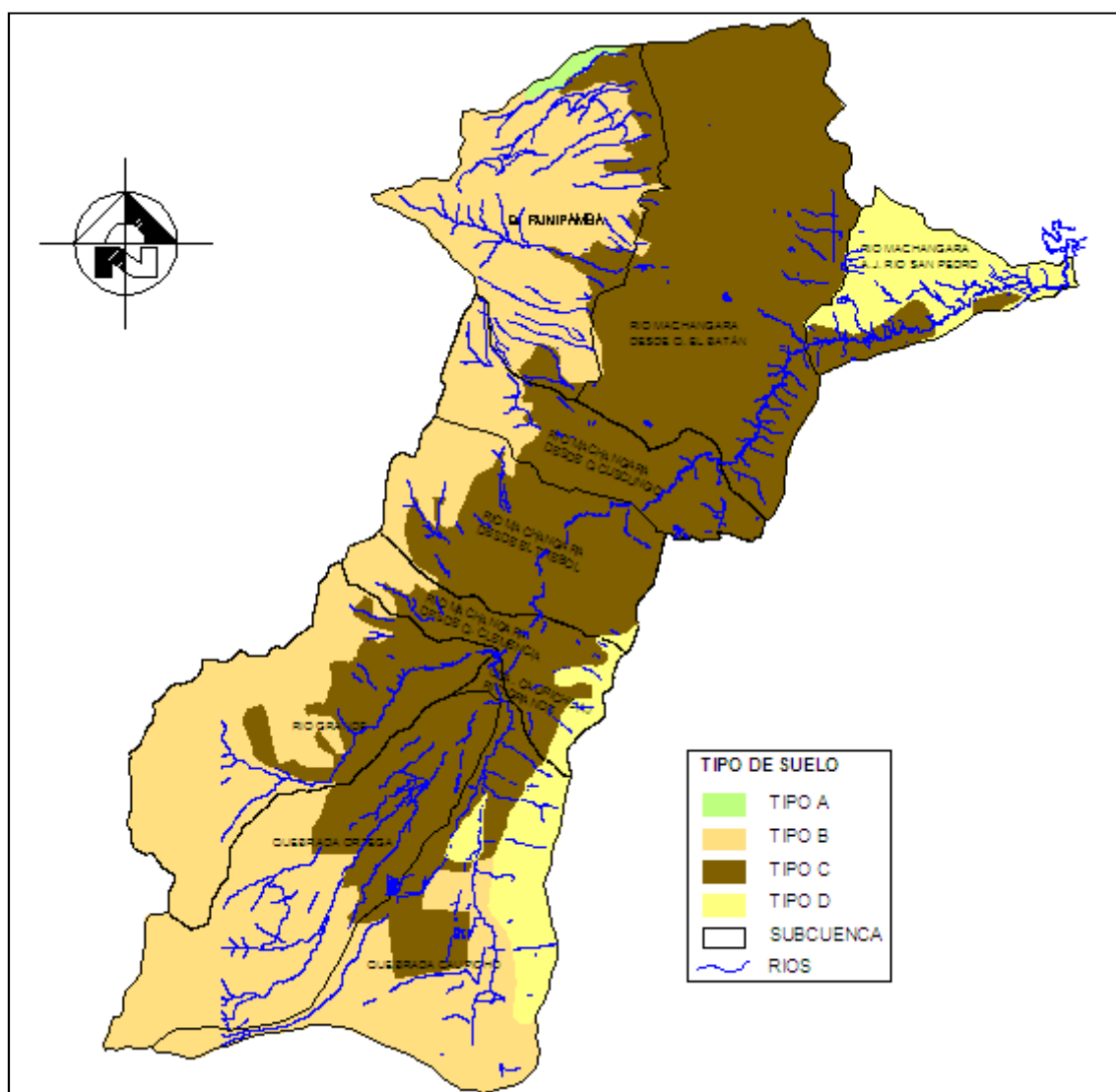
Los suelos tipo D son derivados de materiales piroclásticos, alofánicos, franco arenosos, de gran capacidad de retención de agua; presentan saturación de bases inferior al 50% y su densidad aparente es menor a 0.85 g/cm³. (Ver Cuadro 2.5 y Figura 2.4).

Cuadro 2.5 Tipos de suelo en la cuenca del río Machángara.

TIPO DE SUELO	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)	ÁREA (%)
A	0.72	0.3%	0.3%
B	88.92	39.1%	39.4%
C	118.85	52.3%	91.7%
D	18.91	8.3%	100.0%
TOTAL	227.40	100%	

Fuente: SIGAGRO, 1:200 000

Figura 2.4 Suelo Tipo en la cuenca del río Machángara



Fuente: SIGAGRO, ESCALA 1: 200 000

2.3 CARACTERÍSTICA FÍSICAS DE LAS SUBCUENCAS DE DRENAJE

Los límites de las áreas de aportación en las diferentes secciones de interés se definieron a partir de la información topográfica digital disponible (escala 1:5 000), la cual considera las curvas de nivel y los ríos existentes dentro de la cuenca.

Para la determinación de los hidrogramas de crecida se dividió el área de drenaje de la cuenca del río Machángara en 10 subcuencas, cuyas características se determina con la topografía digital escala 1:5 000, tomando en cuenta red de drenaje natural y urbana

Se precisa que se incluyó además de las 9 subcuencas antes referidas, al área pequeña de drenaje de la Qda. Caupicho, comprendida entre la Qda. Ortega y el río Grande.

El área de drenaje es la extensión delimitada por las líneas divisorias.

La longitud del cauce principal es la corriente que pasa por la salida de la misma.

El coeficiente de compacidad o de gravelius (K_c) es la relación del perímetro para el área de la cuenca.

El factor de forma (K_f) es la relación entre el ancho medio y la longitud del cauce principal.

La pendiente media (S_c) se obtiene mediante la aplicación de métodos grafo-analíticos y con la ayuda de la topografía digital. (MONSALVE, 1995)

Las características físicas se muestran en el Cuadro 2.6 para las subcuencas del río Machángara.

Cuadro 2.6 Características Físicas de las Subcuencas de Drenaje

Nº	Subcuenca	Código	Ap	A	P	Lp	Kc	Kf	S	Sc
			(km ²)	(km ²)	(km)	(km)	-	-	(%)	(%)
1	Qda. Caupicho	a1	30,8	30,8	32,3	10,5	1,6	0,3	8,5	13,8
2	Qda. Ortega	a2	30,0	60,8	28,8	9,4	1,0	0,3	9,0	24,1
3	Río Grande	a3	29,8	90,6	28,2	7,2	0,8	0,6	7,5	35,2
4	Qda. Caupicho AJ Río Grande	a4	0,6	91,3	4,6	1,5	0,1	0,3	2,5	10,5
5	Río Machángara desde río Grande hasta El Recreo	a5	11,2	102,4	19,9	1,6	0,5	4,6	7,0	13,9
6	Río Machángara desde El Recreo hasta El Trébol	a6	21,0	123,4	19,9	5,1	0,5	0,8	2,0	28,8
7	Río Machángara desde El Trébol hasta la Qda. Cuscungo	a7	14,8	138,2	22,8	3,4	0,5	1,3	2,9	47,7
8	Qda. Rumipamba	a8	29,3	167,5	26,3	6,1	0,6	0,8	15,3	57,0
9	Río Machángara desde Rumipamba hasta Qda. El Batán	a9	47,3	214,8	34,7	4,4	0,7	2,5	3,5	11,0
10	Río Machángara desde Qda. Rumipamba A.J. Río San Pedro	a10	12,6	227,4	18,1	8,8	0,3	0,2	3,5	19,0

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: Cartografía digital escala 1:5 000

En donde:

Ap: área parcial de la subcuenca de drenaje, (km²).

A: área acumulada de la cuenca de drenaje, (km²).

P: perímetro de la subcuenca, (km).

Lp: longitud del cauce principal, (km).

Kc: coeficiente de Gravelius, (adimensional).

Kf: coeficiente de forma, (adimensional).

S: pendiente media del cauce principal, (m/m).

Sc: pendiente media de la subcuenca, (m/m).

Cuenca de la Quebrada Caupicho

La cuenca de la Quebrada Caupicho, tiene un área de 30,75 km², su perímetro es 32,25 km y su cauce principal tiene 10,5 km de longitud. Se encuentra al sureste, recibe las aguas de afluentes como la Quebrada Monjas y la Quebrada Capulí. Los barrios representativos son: Barrio Roca, Guamaní Bajo, Guamaní Alto y Caupicho. Tiene una altitud entre los 4 000 m s.n.m. y 2 850 m s.n.m. Su pendiente media es de 13,8 %. Es una zona de gran desarrollo urbano. (Ver Foto 2.1).

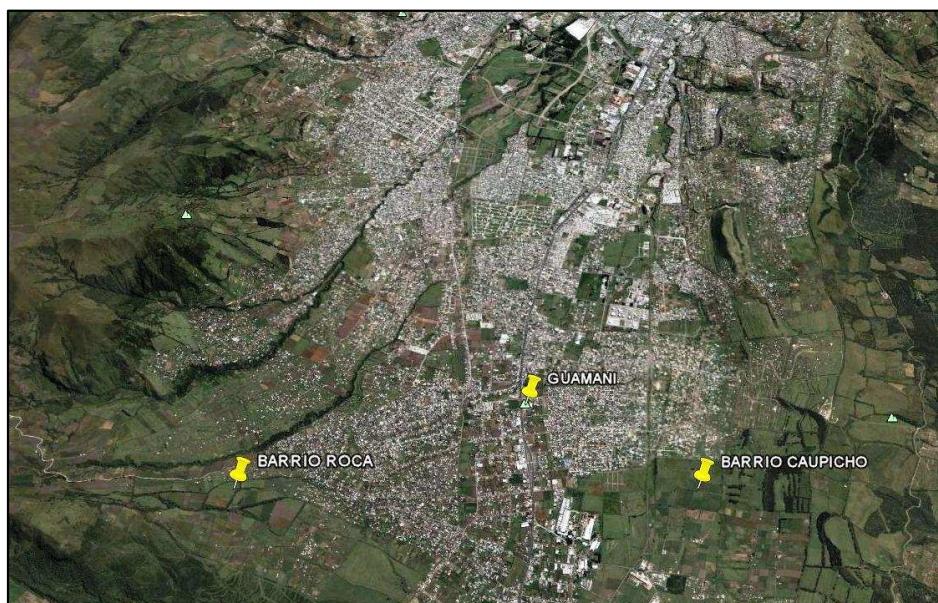


Foto 2.1 Subcuenca Quebrada Caupicho

Cuenca de la Quebrada Ortega

La cuenca de la Quebrada Ortega tiene un área de 30,04 km², su perímetro es 28,75 km y la longitud del cauce principal tiene 9,4 km. La cuenca nace de los Cerros Cascapungo, Corral Viejo y las Lomas Mirador, Alizo, San Antonio. Los afluentes que alimentan a la cuenca son la Quebrada Ugrupungo y la Quebrada Pasocucho. Los barrios más representativos son Manuelita Sáenz, El Espejo, San Francisco de Huarca, La Ecuatoriana, San Antonio, La Concordia, Armada del Ecuador y Turubamba. Tiene una altitud entre los 4 200 m s.n.m. y 2 850 m s.n.m. La pendiente media de la cuenca es 24,1 %. (Ver Foto 2.2).

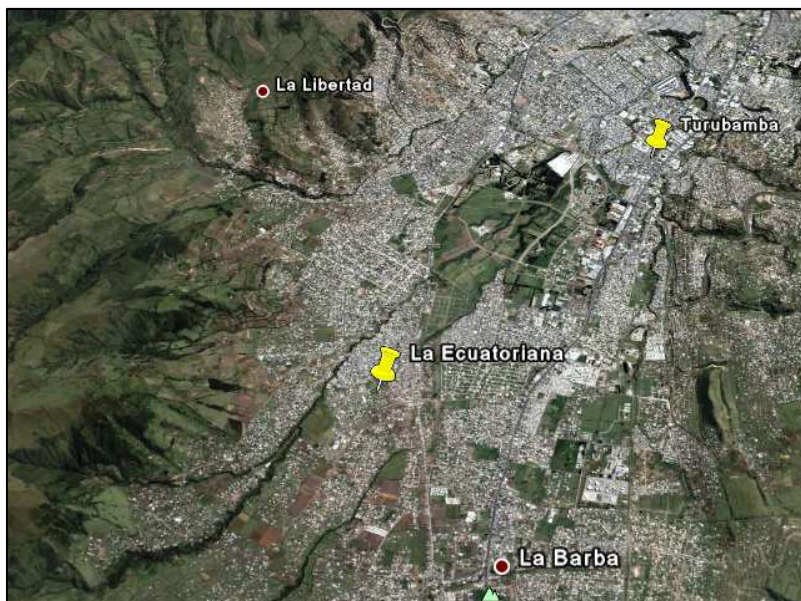


Foto 2.2 Subcuenca Quebrada Ortega

Cuenca del Río Grande

La cuenca de Río Grande tiene un área de 29,82 km², su perímetro es 28,28 km y la longitud de su cauce principal es 7,23 km. Se encuentra en las faldas del volcán Pichincha. En su recorrido se alimenta de las Quebradas Jatunloma, Cevallos, Rundobalin y Guarandapungo; estas quebradas desembocan en el río Grande antes de juntarse con el río Machángara. Entre los barrios importantes están La Libertad, La Dolorosita, El Tránsito, Cooperativa Buenaventura, Chillogallo, Tarqui y Gatazo. Tiene una altitud entre los 3 875 m s.n.m. y 2 852 m s.n.m. Su cauce principal es el río Grande con una longitud de 7,2 km. La cuenca tiene una pendiente de 35,2 %. Por encontrarse cerca del volcán Atacazo, la parte alta de la cuenca constituye el paramo. (Ver Foto 2.3).

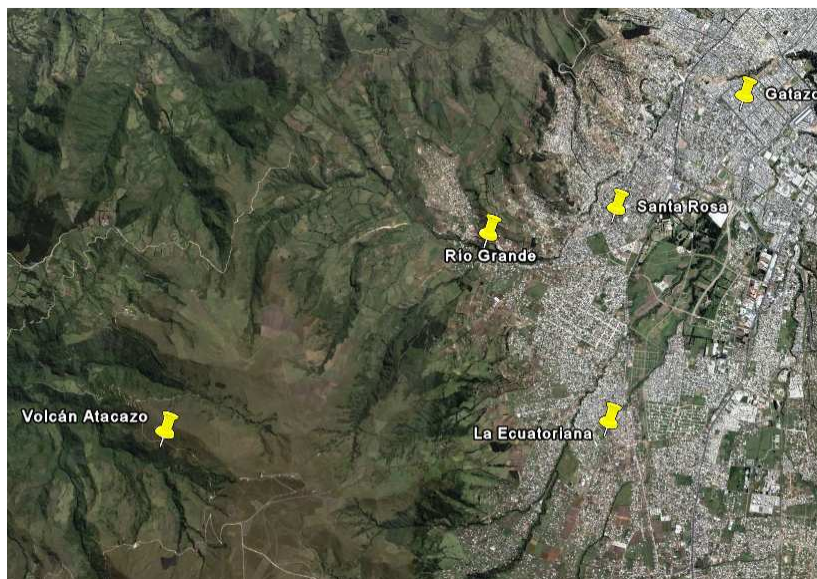


Foto 2.3 Subcuenca del río Grande

Cuenca de la Quebrada Caupicho A.J. Río Grande

La cuenca tiene un área de 0,64 km², su perímetro mide 4,55 km y la longitud del cauce principal es 1,50 km. Se encuentra dentro de la zona urbana de Quito, lo cual le otorga una pendiente media igual a 10.5 %. Su característica principal es de ser el nexo para las cuencas Caupicho, Ortega y Río Grande y conducir el flujo al río Machángara. El barrio más importante es Solanda. Se encuentra entre los 2 850 m s.n.m. y 2 825 m s.n.m. (Ver Foto 2.4)



Foto 2.4 Subcuenca Quebrada Caupicho A.J. río Grande.

Cuenca del río Machángara desde río Grande hasta El Recreo.

La cuenca tiene un área de drenaje de 11,2 km², su perímetro es 19,9 km y la longitud del cauce principal es 1,6 km. La pendiente media de la cuenca es igual a 13,9%. Se encuentra dentro de la zona urbana de Quito, delimitada al oeste por las laderas del Pichincha. Entre las poblaciones importantes se encuentran La Biloxi, La Mena y La Ferroviaria. Se ubicada a una altitud entre los 2 825 m s.n.m. y 2 800 m s.n.m. En la zona más baja se encuentra el Recreo, que fue considerado para delimitar el área de drenaje. (Ver Foto 2.5).

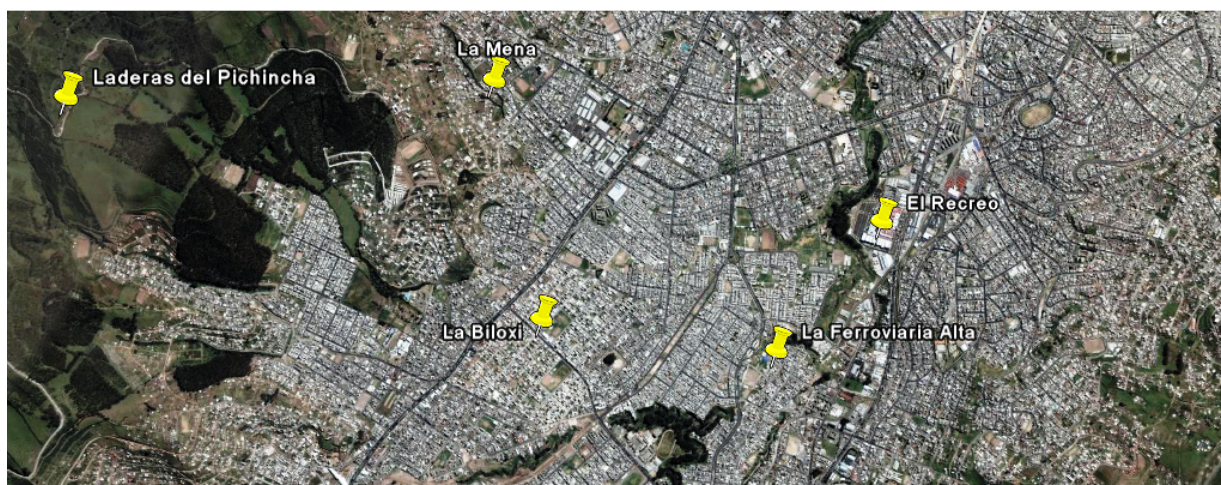


Foto 2.5 Zona del sur de Quito.

Cuenca del río Machángara desde El Recreo hasta El Trébol

Su área es de 21,0 km², tiene un perímetro de 19,9 km y la longitud del cauce principal es de 5,1 km. La pendiente media de la cuenca es igual a 28,8 %. Dentro de la cuenca se encuentra el intercambiador El Trébol, el cual, es el punto de referencia para la delimitación del área de drenaje. Los barrios más importantes dentro de la cuenca son: La Villaflora, Chimbacalle, Luluncoto y Pio XII Esta zona es en su totalidad de uso urbano, ya que se encuentra dentro del anillo urbano de la ciudad de Quito. (Ver Foto 2.6).

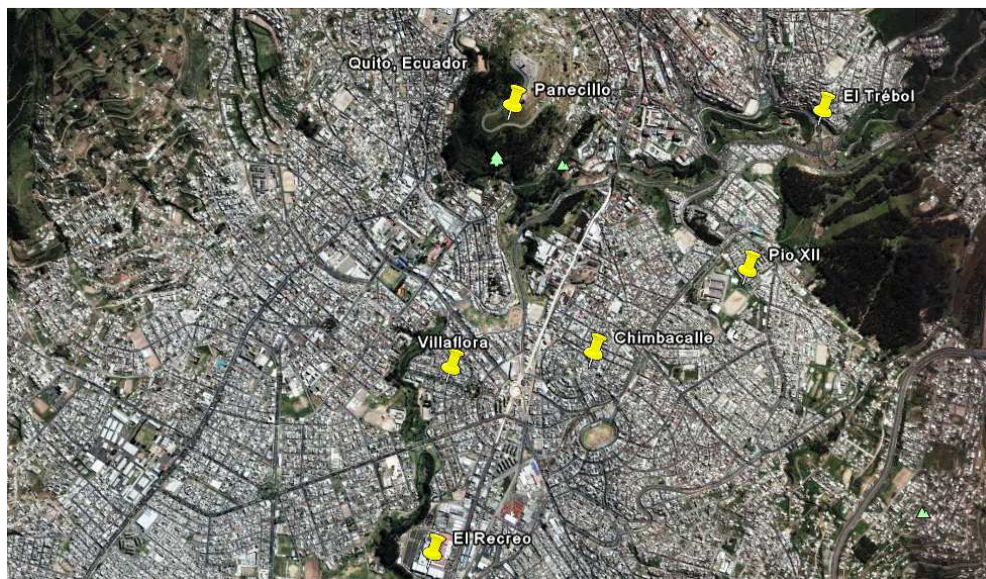


Foto 2.6 Cuenca del río Machángara desde El Recreo hasta El Trébol

Cuenca del río Machángara desde El Trébol hasta la Quebrada Cuscungo

La cuenca tiene un área de 14,80 km², su perímetro es 22,80 km y la longitud del cauce principal es 3,5 km. La pendiente media de la cuenca es 47,7 %. Dentro de la cuenca se encuentra la loma el Panecillo y el Itchimbia. Los afluentes localizados dentro de la cuenca son San Cristóbal, Bellavista, La chorrera, que son llevados por medios de alcantarillas y la quebrada Cuscungo. Los barrios representativos dentro de la cuenca son: Toctiuco, La Tola, El Tejar, El Dorado, San Marcos, San Roque y San Blas. (Ver Foto 2.7).

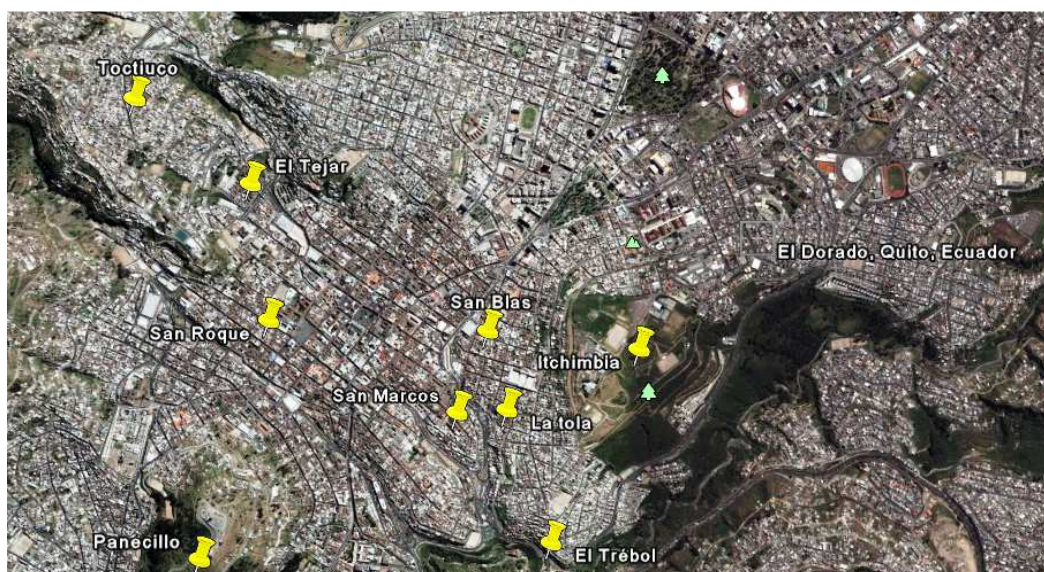


Foto 2.7 Zona del centro de Quito.

Cuenca de la Quebrada Rumipamba

La cuenca tiene un área de 29,33 km², su perímetro es 26,26 km y la longitud de su cauce principal es 6,12 km, la pendiente media de la cuenca es 57,0%. Por encontrarse limitada al este con el volcán Guagua Pichincha, y por tanto la parte alta constituye páramo. Dentro de la cuenca se ubica la Loma Jarata, Mirador e Ingapirca y los cerros Campanamachi, Cerro Condorhuachana. Su principal afluente es la Qda. Rumipamba, que se alimenta en su recorrido de la quebrada El Pilche y Chuzalongo. Existen otras quebradas que drenan al Machángara por medio de alcantarillas como son: Quebrada Miraflores, Ascázubi, Vásconez, El Tejar, La Comunidad, Caicedo, La Concepción, San Vicente y San Isidro. En esta cuenca se puede encontrar obras importantes para la comunidad, tales como, la Planta de Tratamiento de Agua Potable Rumipamba, norte y sur occidente, las Antenas de Canales de Televisión y el Teleférico. Sus Barrios Principales son El Bosque, Ñaquito, La Pulida, y Los Pinos. (Ver Foto 2.8).

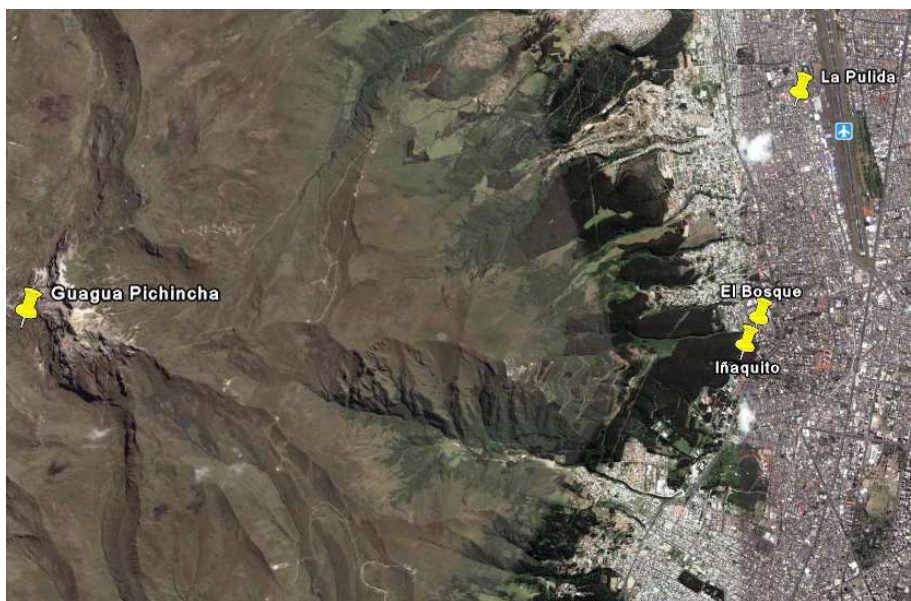


Foto 2.8 Cuenca de la quebrada Rumipamba

Cuenca del río Machángara desde la quebrada Rumipamba hasta la quebrada El Batán

Esta cuenca tiene un área de 47,25 km², debido a ello es la más grande de todas las cuencas que conforman el Río Machángara, su perímetro es 18,12 km y la longitud del cauce principal mide 4,35 km, la pendiente media de la cuenca es 11,0 %. El cauce principal recibe las aguas en su recorrido de la quebrada. El volcán, El Barranco, Capulísa y El Batán. Los barrios importantes son La Comuna, La Gasca, Guápulo, La Kennedy, Miraflores, Chaupicruz, Bellavista, San Isidro, San Agustín de Inca y La Floresta. Entre los sitios más reconocidos se tiene Parque La Alameda, Parque El Ejido, El Aeropuerto Antonio José de Sucre y el Parque Metropolitano. (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Foto 2.9 Norte de Quito

Cuenca del río Machángara desde la quebrada Rumipamba A.J. río San Pedro

La cuenca tiene un área de drenaje igual a 12,63 km², su perímetro es 18,12 km y la longitud del cauce principal es 8,81km. La cuenca tiene una pendiente de 19,0 %. La descarga de la cuenca es la descarga final de la cuenca del río Machángara antes de juntarse con el río San Pedro. La cuenca se encuentra ubicada en un sector de muchas urbanizaciones y canteras de lastre. Las

poblaciones importantes ubicadas en su recorrido están el barrio Trigoloma, barrio Perla Quiteña y barrio Virgen de Guadalupe de Bolaños. Los afluentes son las quebradas Uraurco, Mishquehuaycu, Jatunhuaycu y La Estancia. (Ver Foto 2.10).



Foto 2.10 Vista aérea de la junta del río Machángara con el río San Pedro

2.4 USO DEL SUELO

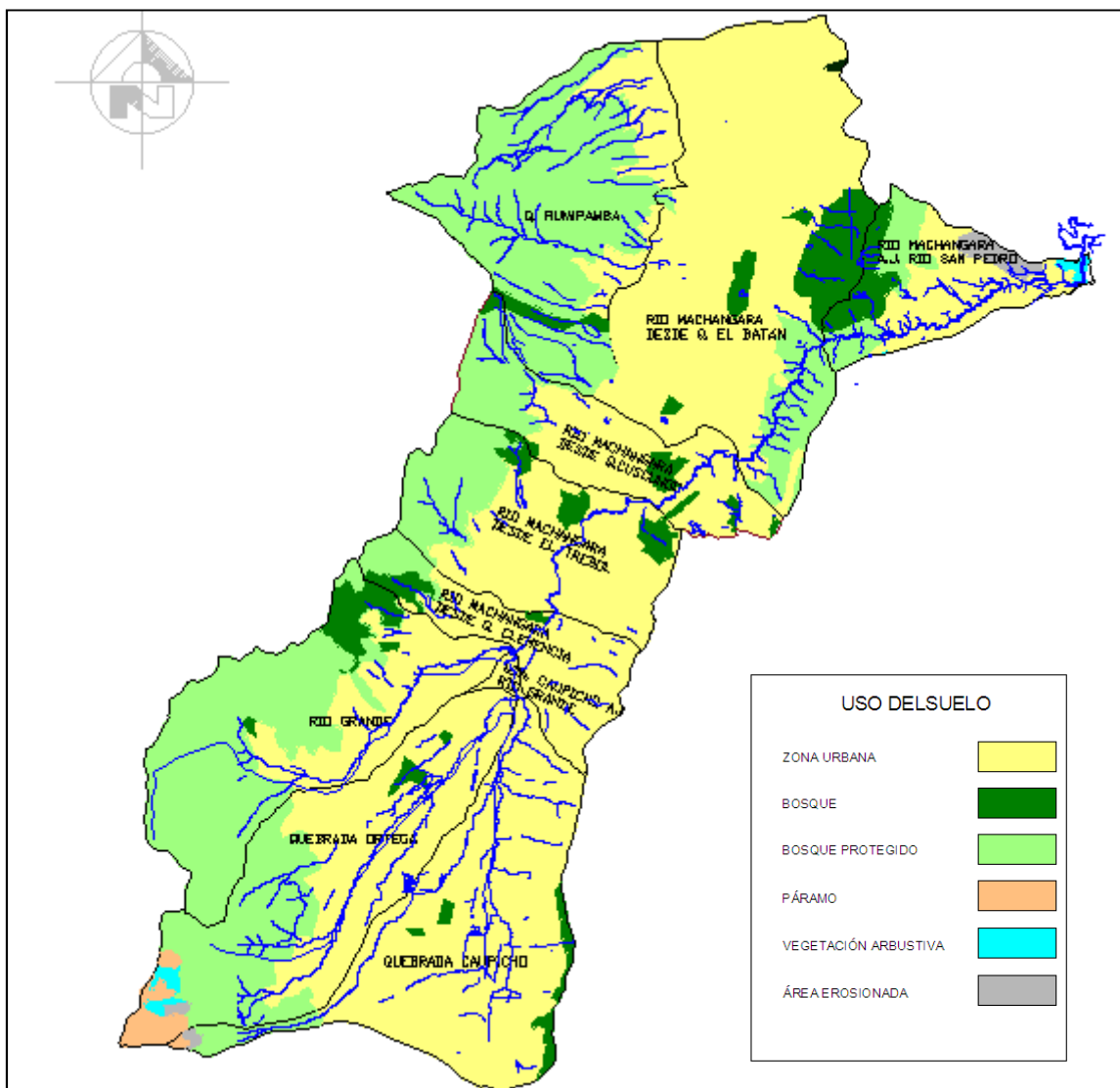
El área total de la cuenca es 227,4 km² y tiene una altitud entre los 2 300 m s.n.m. y 4 175 m s.n.m., en ella coexisten varias realidades físico-espaciales con específicas coberturas de usos de suelo en el que predomina el uso urbano, ya que la cuenca del río Machángara es atravesada por el área urbana de Quito. Las áreas de bosques de uso recreativo las tenemos dentro de la zona urbana, la zona de bosques protegidos se ubican al este de la cuenca, la zona de paramo la encontramos al sur de la cuenca en pequeñas áreas y una pequeña zona de suelo erosionado localizado al norte de la cuenca, cerca del río San Pedro. Cada una de las zonas con sus respectivos usos dados al suelo lo podemos observar en la Figura 2.5.

Para el análisis de la cuenca, se considera al suelo bajo el uso:

- Situación Actual.
- Situación Natural.

- Situación Futura (50 años).

Figura 2.5 Uso del Suelo en la cuenca del río Machángara



Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: Plan General Desarrollo Territorial (DMQ,2006); Google Eart

2.4.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA.

El Cuadro 2.7 constan los porcentajes de uso del suelo actual para cada una de las subcuencas, en él se puede observar un gran crecimiento de la zona urbana, tanto a lo largo como a lo ancho de la cuenca, y en algunas zonas el abuso del mismo, ocasionando la pérdida de las laderas, muchos bosques y zonas de

cultivo, lo cual produce una variación en el número de curva al calcularlo en cada una de las subcuencas.

Cuadro 2.7 Uso actual del suelo de la cuenca del río Machángara.

SUBCUENCA	ÁREA	USO ACTUAL (%)					
	Km ²	U	BR	BP	AE	P	VA
Qda. Caupicho	30,75	92,3	3,1	3,6	0,5	0,4	
Qda. Ortega	30,04	56,9	1,2	34,9	0,5	4,8	1,8
Río Grande	29,82	35,9	5,3	58,8			
Qda. Caupicho A.J. Río Grande	0,64	100,0	-	-	-	-	-
Río Machángara desde río Grande hasta El Recreo	11,17	80,4	7,6	12,0	-	-	-
Río Machángara desde El Recreo hasta El Trébol	20,98	66,3	7,0	26,7	-	-	-
Río Machángara desde El Trébol hasta Qda. Cuscungo	14,79	67,1	6,7	25,6	-	-	-
Qda. Rumipamba	29,33	20,2	2,8	77,0	-	-	-
Río Machángara desde Qda. Rumipamba hasta Qda. El Batán	47,25	81,4	9,2	9,6	-	-	-
Río Machángara desde Qda. El Batán A.J. Río San Pedro	12,63	51,2	15,0	23,5	7,4	-	2,3

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: Plan General del Desarrollo Territorial D.M.Q., 2006 –Google Eart

En donde:

U= Zona Urbana; BR= Bosque Recreativo; BP= Bosque Protegido; AE= Área Erosionada; P= Páramo; y VA= Vegetación Arbustiva.

En el año 2005, aproximadamente el 75% de la ciudad drenaba en dirección del río Machángara, en la actualidad esta relación se ha reducido a un 60% tomando en cuenta el crecimiento de los sectores periféricos, como Cumbayá, Calderón, Carcelén, Pomásqui, Parcayacu, etc. Por ello se ha generado la ordenanza N°011 del Plan de Uso y Ocupación del Suelo (P.U.O.S.), el cual, determina la

protección de las laderas y la recuperación de los bosques de recreación. (CHOW, 1994), (MONSALVE, 1995).

2.4.2 SITUACIÓN NATURAL DE LA CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA.

Para la generación de los escenarios se ha estimado la condición natural de la cuenca del río Machángara, es decir, sin el desarrollo urbano. Para este análisis se tomo en cuenta mapas anteriores del uso del suelo en Quito y se concluyo que dichas zonas urbanas fueron bosques con vegetación arbustiva (PGDT, 2006), (PELTRE, 1989). El uso del suelo para esta situación corresponde al Cuadro 2.8:

Cuadro 2.8 Uso natural del suelo de la cuenca del Río Machángara

SUBCUENCA	ÁREA	USO NATURAL (%)					
	Km ²	U	BR	BP	AE	P	VA
Q. Caupicho	30,75		95,4	3,6	0,5	0,4	
Q. Ortega	30,04		58,1	34,9	0,5	4,8	1,7
Río Grande	29,82		41,2	58,8			
Q. Caupicho A.J. Río Grande	0,64		100,0	0,0			
Río Machángara desde río Grande hasta El Recreo	11,17		88,0	12,0			
Río Machángara desde El Recreo hasta El Trébol	20,98		73,3	26,7			
Río Machángara desde El Trébol hasta Qda. Cuscungo	14,79		73,8	25,6			
Qda. Rumipamba	29,33		23,0	77,0			
Río Machángara desde Qda. Rumipamba hasta Qda. El Batán	47,25		90,6	9,6			
Río Machángara desde Qda El Batán A.J. Río San Pedro	12,63		66,2	23,5	7,4		1,0

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: Plan General del Desarrollo Territorial DMQ –Atlas Infográfico de Quito

En donde:

U= Zona Urbana; BR= Bosque Recreativo; BP= Bosque Protegido; AE= Área Erosionada; P= Páramo; y VA= Vegetación Arbustiva.

2.4.3 USO FUTURO DEL SUELO (T=50 AÑOS)

El principal factor a considerar en una predicción de uso del suelo en la cuenca del río Machángara en un período de 50 años, son los planes de desarrollo territorial por parte del Distrito Metropolitano de Quito, en donde las condiciones a considerar son: el cambio del comportamiento demográfico en la zona, la protección de las zonas de riesgo como laderas, bosques, áreas productivas y la regulación del uso del suelo urbano.

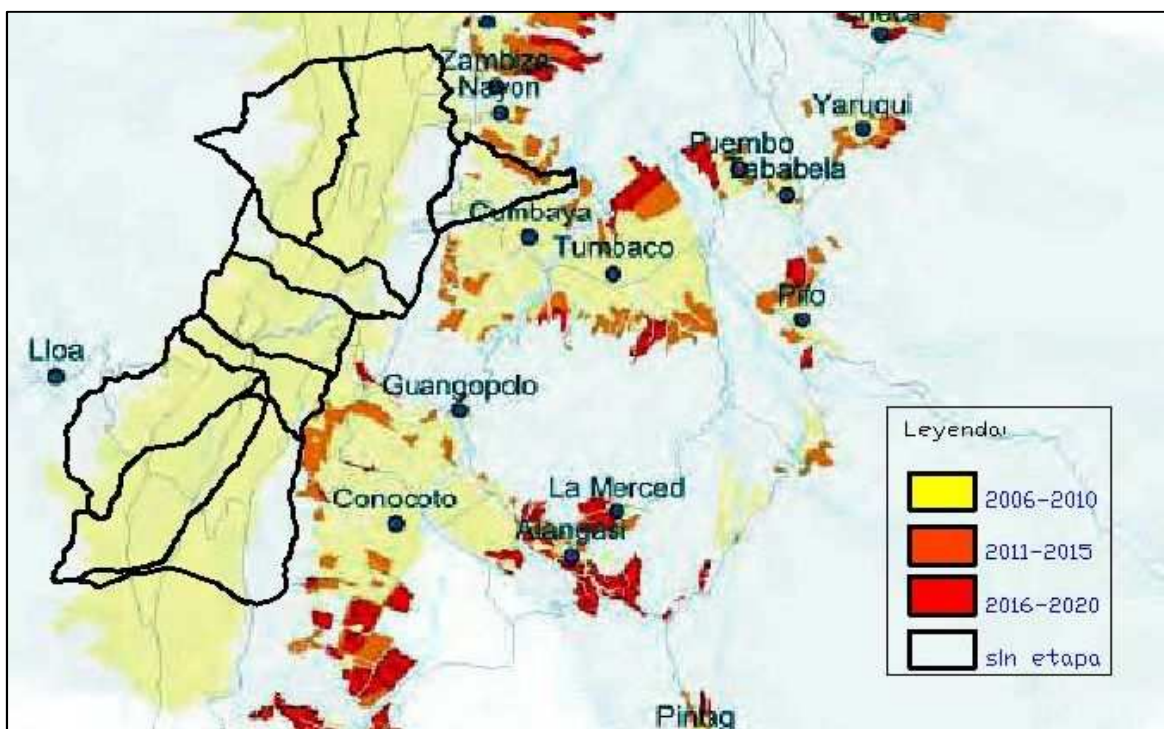
En el área urbana de Quito se ha mostrado una reducción de la tasa de crecimiento y tiene como contrapartida el crecimiento suburbano, debido a los desplazamientos internos desde la ciudad hacia los valles por menor precio del suelo (Calderón-San Antonio) y ambientales-rurales (Los Chillos y Tumbaco). (PGDT, 2006)

En el Plan de Uso y Ocupación del Suelo (P.U.O.S.), publicada el 2 003 y revisado en el 2 006, se propone para ordenamiento urbanístico definido para el futuro del D.M.Q. y que incluye parte del río Machángara. Estas zonas de probable expansión urbana mantendrán su condición con usos y normas reglamentaria correspondiente con la conservación de áreas de recursos naturales (agrícolas, bosques y laderas). Con lo cual se puede pronosticar que las zonas urbanas existentes serán más compactas, con un crecimiento de forma vertical, aumentando el uso de los servicios básicos, más no el desarrollo del uso del suelo no urbanizado. El crecimiento más prominente se dará en los sectores periféricos del D.M.Q., como son los valles de Los Chillos y Tumbaco. (Ver Cuadro 2.9).

Las zonas verdes se mantendrán y, serán protegidas con la ordenanza de zonificación N° 011 que contienen el Plan de Uso y Ocupación de los Suelos (P.U.O.S.). Evitando invasiones en las laderas y fomentar la forestación para la recuperación de las características eco-sistémicas del medio natural del cordón forestal que rodea al D.M.Q. Por lo tanto, la variación del uso del suelo en la cuenca del río Machángara dentro de un período de 50 años no será importante, lo cual indica que no se logró cambios con respecto a los valores cálculos para la situación Actual del suelo, debido a que los cambios de desarrollo urbano se

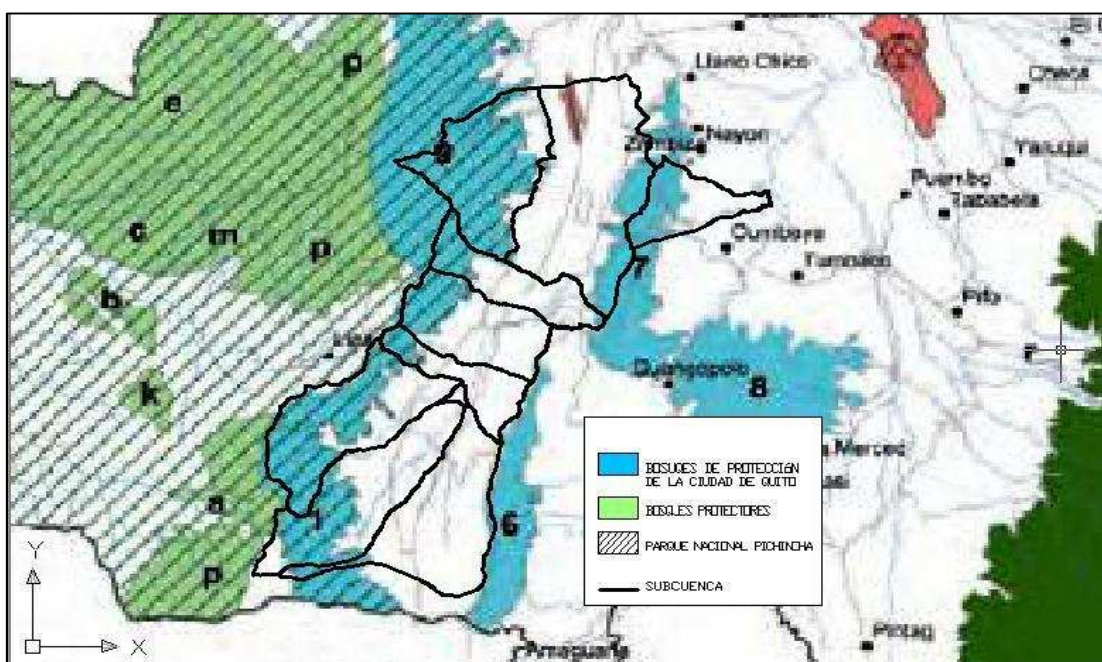
producirían fuera de la cuenca y las zonas posibles de ser urbanizables están prohibidas por la ordenanza N° 011 del P.U.O.S. (Ver Figura 2.6 y Figura 2.7)

Figura 2.6 Crecimiento del uso urbano según el P.G.D.T.



Fuente: Plan General Desarrollo Territorial del D.M.Q.-2005

Figura 2.7 Áreas de protección ecológica



Fuente: Plan General Desarrollo Territorial del D.M.Q.-2005

Cuadro 2.9 Situación Futura del suelo en la cuenca del Río Machángara

SUBCUENCA	ÁREA	USO FUTURO (%)					
	Km ²	U	BR	BP	AE	P	VA
Qda. Caupicho	30,75	92,3	3,1	3,6	0,5	0,4	
Qda. Ortega	30,04	56,9	1,2	34,9	0,5	4,8	1,8
Río Grande	29,82	35,9	5,3	58,8			
Qda. Caupicho A.J. Río Grande	0,64	100,0	-	-	-	-	-
Río Machángara desde río Grande hasta El Recreo	11,17	80,4	7,6	12,0	-	-	-
Río Machángara desde El Recreo hasta El Trébol	20,98	66,3	7,0	26,7	-	-	-
Río Machángara desde El Trébol hasta Qda. Cuscungo	14,79	67,1	6,7	25,6	-	-	-
Qda. Rumipamba	29,33	20,2	2,8	77,0	-	-	-
Río Machángara desde Qda. Rumipamba hasta Qda. El Batán	47,25	81,4	9,2	9,6	-	-	-
Río Machángara desde Qda El Batán A.J. Río San Pedro	12,63	51,2	15,0	23,5	7,4	-	2,3

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: Plan General del Desarrollo Territorial DMQ –Atlas Infográfico de Quito

2.5 INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA

La evaluación de las características del clima predominante en la zona de estudio permite apreciar las condiciones de humedad imperantes, que definen en gran medida el régimen de caudales y la susceptibilidad a la formación de crecida.

Dados los objetivos del estudio, se presenta de manera general las características del clima, como son: temperaturas medias, humedad relativa, heliofanía, nubosidad, dirección y velocidad del viento, evaporación y precipitación.

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

La información climática recopilada para el presente estudio fue obtenida de los Anuarios Meteorológicos (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología).

El análisis se sustentó en datos de las estaciones incluidas en el Cuadro 2.10, en donde consta la siguiente información: coordenadas, altitud, período de disponibilidad de datos, código, tipo de estación e institución responsable de la operación. (Ver Anexo 1- Mapa 2)

Cuadro 2.10 Estaciones Meteorológicas

ESTACIÓN	Coordenadas		Altitud m s.n.m.	Código	Tipo	Institución
	Latitud	Longitud				
La Chorrera	00°18' 06" S	78°32' 06" W	3 165	M - 3 35	PG	INAMHI
Quito - Observatorio	00°12' 40" S	78°30'00" W	2 820	M - 054	CP	EPN
Izobamba	00°21' 45" S	78°33'11" W	3 058	M - 003	AP	INAMHI
Quito - INAMHI	00°10' 28" S	78°29'08" W	2 812	M - 024	CE	INAMHI
Quito - Aeropuerto	00°08' 24" S	78°29'06" W	2 794	M - 055	AR	DAC
Quito - U. Central	00°13' 00" S	78°30'00" W	2 870	M - 606	CO	UC

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: INAMHI

El Tipo y Código corresponde a la denominación de las estaciones establecidas por el INAMHI:

PG= Pluviográfica; CP= Climatológica Principal; AP= Agrometeorológica; CE= Climatológica Especial; AR= Aeronáutica; y CO= Climatológica Ordinaria.

TEMPERATURA

La variación estacional de la temperatura del área de estudio se analiza en base a los registros resumidos en el Cuadro 2.11 se presenta las temperaturas medias mensuales mínima, máxima y media, valor último que corresponde a la media multianual.

Cuadro 2.11 Valores Medios Mensuales de Temperatura

ESTACIÓN	TEMPERATURA MENSUAL (°C)		
	Media	Mínima	Máxima
Izobamba	11,6	8,9	13,2
Quito - Observatorio	13,6	12	15,5
Quito - INAMHI	14,4	12	15,9
Quito - Aeropuerto	13,6	11,9	15,5
Quito - U. Central	13,6	12,2	14,9

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: INAMHI

HUMEDAD RELATIVA, HELIOFANÍA Y NUBOSIDAD

La humedad relativa media anual de las estaciones meteorológicas es:

Quito-Aeropuerto= 73%

Quito-Observatorio= 76%

Izobamba= 80%

Sus tendencias guardan relación con el régimen de lluvias del área, que generalmente aumenta con la altitud.

La radiación solar media en horas y décimas de hora, en relación con las horas teóricas de permanencia del sol sobre el horizonte, presenta los siguientes valores medios mensuales:

Izobamba= 161,9 horas

Quito-Observatorio= 128,8 horas

La cobertura de nubes media anual, estimada en octava, muestra los siguientes valores: Izobamba= 6,0 % y Quito-Observatorio= 5,6 %.

VIENTO

La dirección predominante del viento en la estación Quito-Observatorio es oeste con 23 % de persistencia, también es frecuente la dirección este (18,8%) y sur (17,7%). El evento calma se presenta con el 16,1% de frecuencia; la velocidad promedio del viento en esta estación es de 0,7 m/s y la máxima es de 1,7 m/s.

En la estación Izobamba la velocidad media del viento es de 3,0 m/s, mientras que la máxima alcanza 9,3 m/s.

EVAPORACIÓN

Es la emisión de vapor de agua hacia la atmósfera desde una superficie libre de agua líquida pura, a una temperatura inferior al punto de ebullición.

En zonas de montaña son escasos los registros de evaporación de estaciones localizadas por sobre los 3 000 m de altitud, por tanto se suele estimar esta variable a través del cálculo de la evapotranspiración potencial, utilizando los registros medios mensuales de temperatura.

Sin embargo, el presente análisis se sustenta en registros mensuales de evaporación de Tanque Clase "A" del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), para la estación: Izobamba (3 058 m), Quito INAMHI (2 789m).

El Cuadro 2.12 muestra la variación de la evaporación potencial de las 2 estaciones referidas, cuyos valores mensuales tiene similar comportamiento.

Cuadro 2.12 Evaporación de Tanque Clase A

ESTACIÓN	COTA	ENE	FEB.	MAR	ABR.	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
IZOBAMBA	3 058	105	94	95	91	95	108	130	142	121	110	103	101	1 295
QUITO-INAMHI	2 789	109	97	96	91	104	107	132	151	122	120	104	102	1 335

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: INAMHI

2.6 PRECIPITACIÓN

2.6.1 PRECIPITACIONES MEDIAS

La distribución al interior del año de las precipitaciones en la cuenca del río Machángara y en especial a la ciudad de Quito y sus alrededores se observa un período húmedo entre los meses de diciembre a mayo, con máximos en marzo o abril. De junio a septiembre se presenta el período seco, con mínima en el mes de julio o agosto; en este período incluso se tienen meses con ausencia de precipitaciones (Ver Cuadro 2.13).

El comportamiento de la precipitación media anual en la zona varía con la altitud, así; la estación Quito-Observatorio (2 820 m s.n.m.) presenta una precipitación media anual de 1 184,9 mm; en tanto, que la estación La Chorrera (3 165 m s.n.m.) tiene una precipitación media anual ligeramente mayor igual a 1 330 mm.

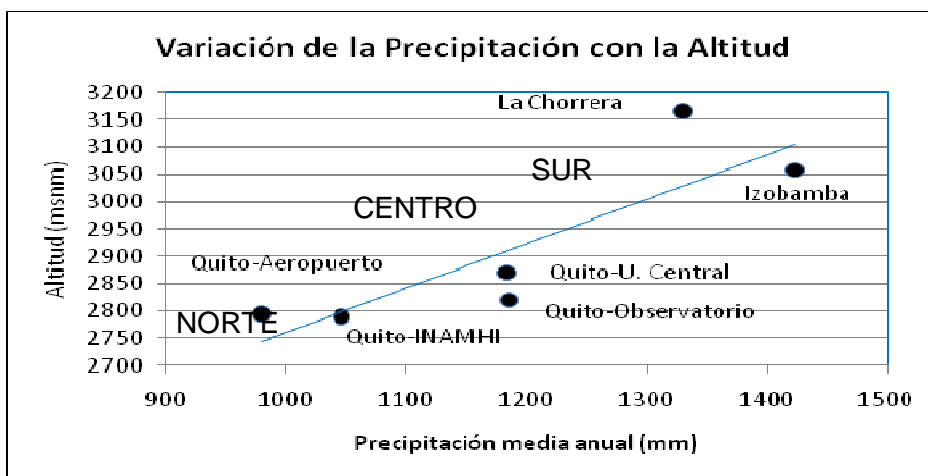
En el Gráfico 2.2 se muestra la relación de incremento de la precipitación con la altitud, representativa del área de estudio; además se aprecia disminución de la precipitación anual en dirección norte. La precipitación media anual de Izobamba es de 1 424 mm, lo cual refleja el clima con mayor humedad imperante en el sur de la ciudad de Quito.

Cuadro 2.13 Variación de la Precipitación con la Altitud

Estación	Precipitación	Altitud
	Anual (mm)	(m s.n.m.)
Izobamba	1 424	3 058
Quito - Observatorio	1 185	2 820
Quito - INAMHI	1 046	2 789
Quito - Aeropuerto	979	2 794
Quito - U. Central	1 183	2 870
La Chorrera	1 330	3 165

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: INAMHI

Gráfico 2.2 Variación de la Precipitación con la Altitud

Elaboración: Alexis Aguilar

En el Cuadro 2.14 se exponen los valores característicos de lluvia a nivel mensual y en el Cuadro 2.15 los valores anuales.

Cuadro 2.14 Valores Característicos de Pluviosidad Mensual

Estación	LLUVIA MENSUAL		
	Media	Mínima	Máxima
Izobamba	118,7	0,7	367,9
Quito - Observatorio	98,7	0,0	313,1
Quito - INAMHI	87,2	0,0	286,3
Quito - Aeropuerto	81,6	0,0	296,0
Quito - U. Central	98,6	1,0	312,5
La Chorrera	110,9	0,0	440,2

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: INAMHI

Cuadro 2.15 Valores Característicos de Pluviosidad Anual

Estación	LLUVIA ANUAL		
	Media	Mínima	Máxima
Izobamba	1 424	984	1 865
Quito - Observatorio	1 185	825	1 644
Quito - INAMHI	1 047	742	1 530
Quito - Aeropuerto	978	631	1 379
Quito - U. Central	1 183	821	1 592
La Chorrera	1 330	814	2 840

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: INAMHI

2.6.2 LLUVIAS INTENSAS

El estudio “Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia de las principales estaciones pluviográficas de la cuenca” realizado en el contexto del Proyecto del Sistema de Pronóstico Hidrológico de las Laderas del Pichincha y el Área Metropolitana de Quito (SISHILAD - 1996), presenta las relaciones intensidad – duración – período de retorno, que se consideran válidas para el presente estudio.

La Zona Sur de la cuenca está representada por las relaciones intensidad – duración – período de retorno correspondientes a la estación Izobamba, La Zona Centro Norte por las mismas relaciones de la estación Quito – Observatorio.

Los rangos de aplicación de las relaciones de (SISHILAD – 1996) son los siguientes:

Para la duración: $5\text{min} < t < 360\text{min}$

Para el Período de retorno: 2 a 50 años.

Estación Izobamba:

$$I = \frac{74.7140 * Tr^{0.0888}}{t^{1.6079}} [\ln(t + 3)]^{3.8202} (\ln Tr)^{0.1892} \quad (2.1)$$

Estación Quito-Observatorio:

$$I = \frac{48.657 * Tr^{0.0896}}{t^{1.9654}} [\ln(t + 3)]^{5.234} (\ln Tr)^{0.2138} \quad (2.2)$$

En donde:

I: Intensidad de precipitación, mm/h

Tr: Período de Retorno, años

t: duración de la lluvia, min

La necesidad de disponer de datos de intensidades máximas con períodos de retorno de 100 y 200 años demandó la aplicación de técnicas estadístico-probabilísticas de extrapolación por medio del método grafo-analítico del INAMHI

(1996), puesto que las ecuaciones de SISHILAD corresponden a períodos de retorno entre 2 y 50 años (Ver Capítulo 3.2.2).

En la generación de caudales máximos se asumió:

Que la estación Izobamba representa de buena manera la distribución de las precipitaciones de las subcuencas: Qda. Caupicho, Qda. Ortega, Río Grande y Caupicho AJ Río Grande.

Además, que la estación Quito-Observatorio representa adecuadamente la distribución de las precipitaciones de las subcuencas: Río Machángara hasta Qda. La Clemencia, Río Machángara en El Trébol, Río Machángara D.J. de la Qda. Cuscungo, Qda. Rumipamba, Río Machángara hasta Qda. El Batán y Río Machángara A.J. Río San Pedro.

Para determinar la precipitación o intensidad media de la cuenca se introduce un factor de reducción de la intensidad y por consiguiente de la precipitación con respecto al área, pues hay que considerar que los registros de las estaciones son puntuales y que las lluvias intensas se caracterizan por presentarlas máximas intensidades en el centro de tormenta, las cuales disminuyen gradualmente hacia la periferia, esta área límite fluctúa entre 1 y 25 km². (BELTRAN, 1995)

En el presente caso, en función principalmente de la información generada por (Beltrán, 1995) se proponen los siguientes coeficientes de afectación a la precipitación puntual de las estaciones, cuyos valores permiten distribuir la lluvia sobre la cuenca de forma equitativa.

- Para lluvias de 60 minutos – factor de reducción = 0,70;
- Para lluvias de 120 minutos – factor de reducción = 0,71; y,
- Para lluvias de 180 minutos – factor de reducción = 0,72.

En el Cuadro 2.16 y Cuadro 2.17 se proporcionan las relaciones intensidad, duración y periodo de retorno para las estaciones de Izobamba y Quito-Observatorio respectivamente.

Cuadro 2.16 Intensidades de lluvia Izobamba

Izobamba (mm./h)			
Tr (años)	t (min)		
	60	120	180
50	43,2	25,1	17,7
100	47,4	27,5	19,4
200	51,8	30,1	21,2

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: SISHILAD-1996, INAMHI-1999

Cuadro 2.17 Intensidades de lluvia Quito-Observatorio

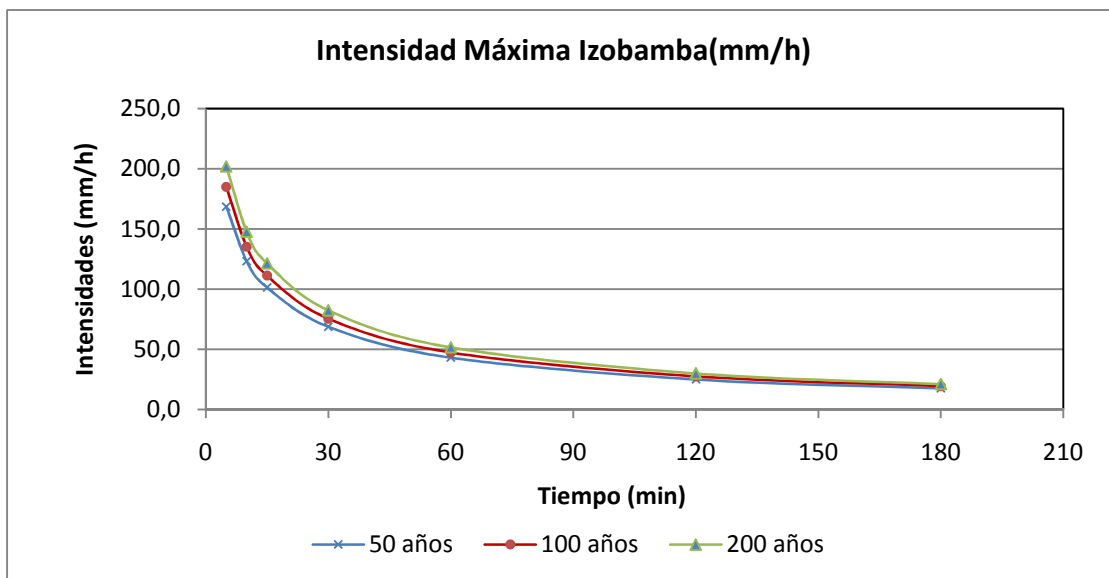
Quito - Observatorio (mm/h)			
Tr (años)	t (min)		
	60	120	180
50	50,4	28,2	19,3
100	55,5	31,1	21,2
200	60,9	34,1	23,3

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: SISHILAD-1996, INAMHI-1999

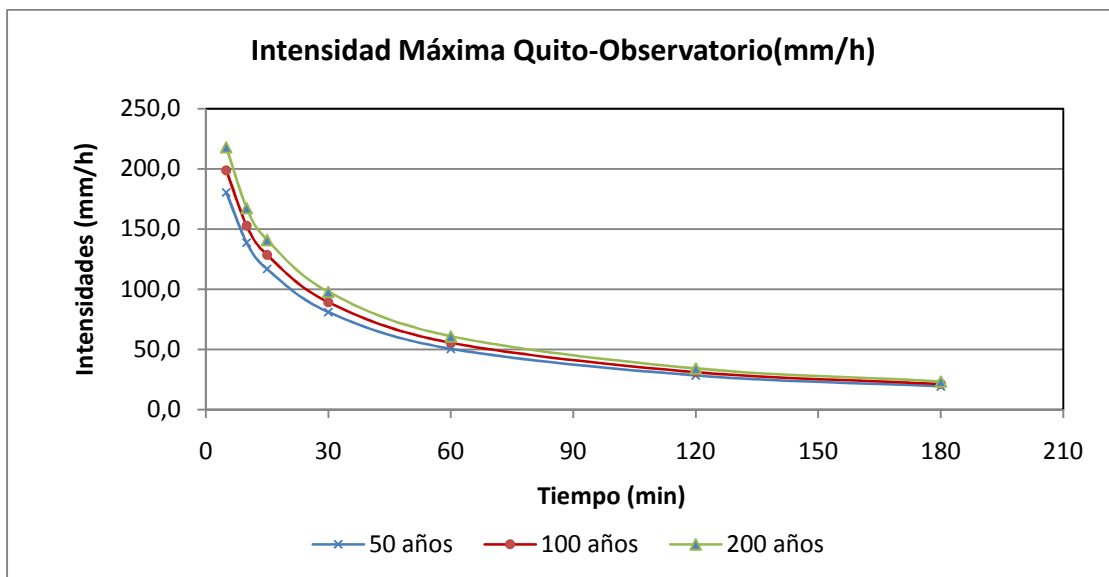
En el Gráfico 2.3 y el Gráfico 2.4 se muestra la variación de las intensidades máximas para una duración dada y el período de retorno, para la estaciones Izobamba y Quito – Observatorio.

Gráfico 2.3 Variación de Intensidad Máximas Izobamba



Elaboración: Alexis Aguilar

Gráfico 2.4 Variación de Intensidad Máximas Quito-Observatorio

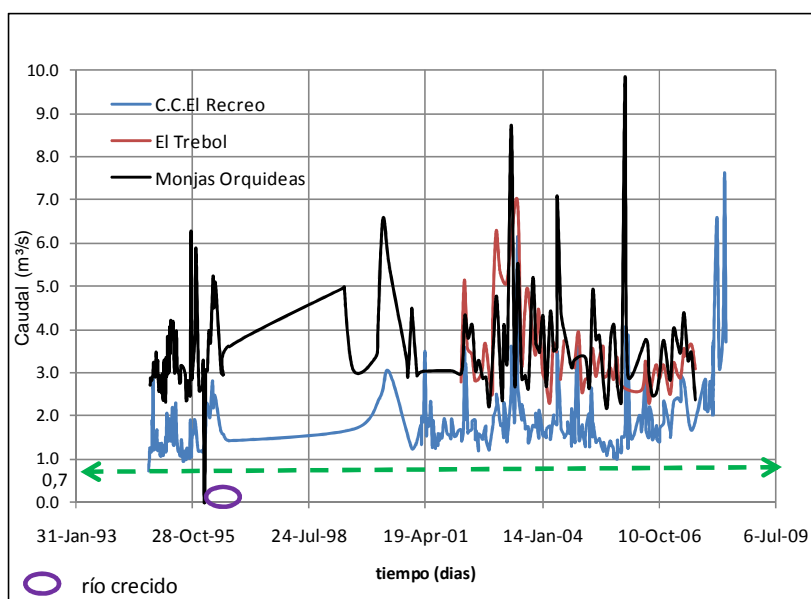


Elaboración: Alexis Aguilar

2.7 INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

En base a la información obtenida de los aforos del río Machángara en la zona de la Estación del C.C. El Recreo (octubre 1994 – mayo 2008), El Trébol (mayo 2004 – agosto 2007) y Monjas Orquídeas (octubre 1994 – agosto 2007), se estableció que el caudal base a asumir será el mínimo caudal de los caudales mínimo aforados. (Ver Gráfico 2.5). El caudal base se considera constante para todas las subcuencas (Ver Cuadro 2.18).

Gráfico 2.5 Caudales medio diarios de las estaciones del río Machángara.



Fuente: EMAAP-Q

Cuadro 2.18 Caudal Base para las Subcuencas del río Machángara.

SUBCUENCA	Q base
	m³/s
Qda. Caupicho	0,074
Qda. Ortega	0,074
Río Grande	0,074
Qda. Caupicho AJ Río Grande	0,074
Río Machángara desde la Qda. Clemencia	0,074
Río Machángara desde el Trébol	0,074
Río Machángara hasta Qda. Cuscungo	0,074
Qda. Rumipamba	0,074
Río Machángara hasta Qda. El Batán	0,074
Río Machángara A.J. Río San Pedro	0,074

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: EMAAP-Q

2.8 INFORMACIÓN HIDRÁULICA

Para la modelación del proceso hidráulico se utilizó la cartografía digital escala 1:1 000 del tramo El Recreo – El Trébol, que corresponde a la zona Centro-Sur de la ciudad de Quito. Dentro del tramo de estudio se encuentran 7 estructuras de paso, una con mayor repercusión que otra, pero todas de gran importancia para el recorrido normal del flujo a lo largo del río Machángara.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El tramo El Recreo – El Trébol se encuentra al sur de la ciudad de Quito. Tiene una longitud de 5,10 km. El cauce forma parte de la subcuenca Río Machángara en El Trébol. La dirección del flujo se encuentra de sur a norte, es decir, desde el sector de El Recreo hasta el sector de El Trébol. Debido a esto se consideró zona de aguas arriba al Recreo y zona de aguas abajo al Trébol, para el análisis hidráulico. Las coordenadas del punto inicial y final del tramo se encuentran en el Cuadro 2.19.

Cuadro 2.19 Ubicación del tramo El Recreo - El Trébol

SECTOR	COORDENADAS		COTA m s.n.m.	OBSERVACIÓN
El Recreo	499 747,05	9'974 296,04	2 788	Zona de Aguas Arriba
El Trébol	497.112.50	9'972 099,86	2 698	Zona Aguas Abajo

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: Carta digital escala 1: 1 000.

2.8.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TRAMO EL RECREO-EL TRÉBOL

El esquema geográfico del tramo analizado aguas abajo del Recreo, presenta un recorrido sinuoso con meandros de radios relativamente cortos. Su conformación geométrica presenta cambios graduales o lentos a lo largo del tiempo como resultado de los caudales frecuentes. Se observan cambios violentos en su geometría. El desplazamiento de los meandros es entonces poco notorio; si bien se observa la presencia de bancos de azolve en las partes convexas de las

curvas, y de erosión intensa al pie de las márgenes en la parte cóncava. Este proceso es común dentro del desarrollo morfológico del tramo medio de un cauce natural; en particular, hacia la parte final, cuando ofrece las características de un río maduro, próximo a entrar en una zona plana o tramo intermedio de llanura.

Como un aspecto relevante de la geometría en planta, el tramo 3 del río Machángara muestra la existencia de secciones relativamente estrechas, que impone control sobre las condiciones del flujo para los caudales extraordinarios. El estrechamiento natural ocurre adicionalmente en el cambio de dirección de un meandro.

Hacia aguas arriba, se observa una pendiente ligeramente superior a la representativa, que corresponde al 2.1%. La pendiente media longitudinal del tramo del río es igual a 1.5%; existiendo valores de la pendiente hasta del orden de 2.5%.

En la longitud mayor del tramo 3, se observa una cobertura vegetal uniforme sobre una capa más o menos profunda de material fino, depositado probablemente durante los eventos de crecida.

Existen márgenes que por el crecimiento urbano han sido pobladas de forma no técnicas y alterando el cauce natural. Los podemos encontrar en el sector de la Molinera, Rodrigo de Chávez, Chimbacalle y, El Recreo.

En muchos sectores del río, la trayectoria es deformada por el paso de una avenida o el cruce de un puente, los cuales alteran su morfología. Generando la contracción y expansión del cauce, siendo uno de los factores de aumento del nivel del agua en la zona aguas arriba.

En el cauce principal se observa gran cantidad de material grueso. En todo el tramo de análisis, se presenta gran cantidad de material pétreo, con tamaño medio superior a 20 cm o 30 cm, formando bancos en el cauce, debido al arrastre producido al momento de una crecida.

Las siguientes fotografías indican las características del tramo 3 (El Recreo-El Trébol).



Foto 2.11 Vista general, desde aguas arriba, del tramo del río Machángara en el sector El Trébol.

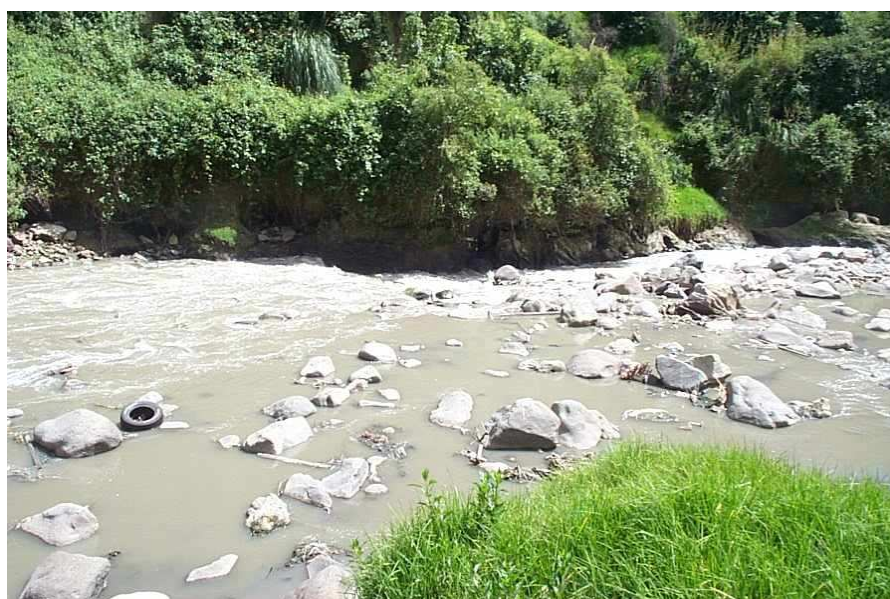


Foto 2.12 Cauce del río Machángara aguas abajo de la descarga del túnel existente en el sector El Trébol



Foto 2.13 Tipo de vegetación en las márgenes.

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD “n”

El caudal transportado en un cauce natural bajo condiciones de flujo uniforme, puede ser cuantificado a partir de la ecuación de Manning. Para su aplicación es necesario determinar el valor del coeficiente “n” que depende a su vez, de algunos factores que influyen en el comportamiento del flujo sobre un contorno de material suelto, deformable y que puede ser transportado.

Tomando en cuenta las características físicas, así como la cobertura vegetal existente en las márgenes de inundación y cauce principal en el tramo analizado, se plantea a continuación los valores de los coeficientes de rugosidad “n” aplicables en la ecuación de Manning.

El coeficiente “n” de Manning en la sección transversal compuesta e irregular no es constante debido a que en las márgenes laterales de inundación, la cobertura vegetal presenta características muy diferentes a las observadas en el cauce principal. Adicionalmente, este coeficiente de rugosidad depende también de la profundidad de flujo, por lo que no es justificable mantener un valor fijo de “n” para todas las secciones transversales así como tampoco para toda la gama de caudales. Pero por manejo del programa se utilizará un coeficiente de rugosidad promedio para las márgenes y otro coeficiente de rugosidad promedio para el

cauce principal. La metodología aplicada para la obtención de los coeficientes de Manning se explica en el capítulo.3.3.5.

“n” márgenes = 0,070

“n” cauce principal = 0,075

COEFICIENTES DE PÉRDIDA DE ENERGÍA

Para el cálculo de pérdidas de energía por contracción y expansión (requeridas por el modelo) se ha optado asumir los rangos para una transición moderada y una transición abrupta dadas por el programa, el cual es detallado en el Cuadro 2.20.

Las secciones de corte sin presencia de estructuras adoptarán los coeficientes de contracción y expansión para transición moderada, mientras con estructuras se adoptarán los coeficientes de contracción y expansión para transición abrupta. (Ver Capítulo 3.3.6)

Cuadro 2.20 Coeficientes de Pérdidas de Energía para el modelo HEC-RAS

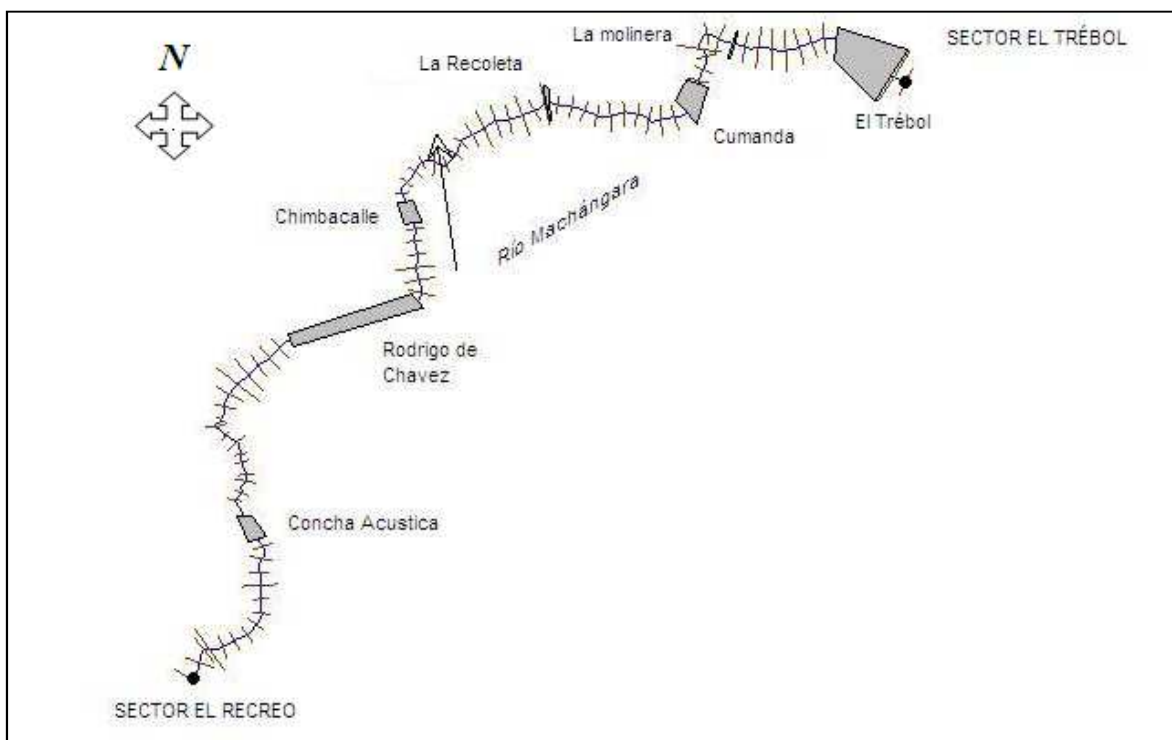
TRANSICIÓN	CONTRACCIÓN	EXPANSIÓN
Moderada	0,1	0,3
Abrupta	0.6	0.8

Fuente: US Army Corps.of Engineers (HEC-RAS), 2006

2.8.2 OBRAS HIDRÁULICAS

A lo largo del tramo 3 (El Recreo-El Trébol) se encuentran varias obras civiles, en especial hidráulicas que se interponen al recorrido natural del flujo a lo largo del río. Las estructuras producen la contracción aguas arriba y expansión aguas abajo sobre el flujo. El número total de estructuras existentes a lo largo del tramo son siete, de las cuales seis son túneles y un puente. A continuación se muestra la ubicación de las obras existentes a lo largo del tramo El Recreo – El Trébol en la Figura 2.8. Las coordenadas del punto medio de cada una de las estructuras de paso se resumen en el Cuadro 2.21.

Figura 2.8 Ubicación de las Estructuras de paso en el tramo El Recreo-El Trébol.



Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: Topografía digital escala 1:1 000

Cuadro 2.21 Coordenadas de las estructuras de paso a lo largo del tramo El Recreo- El Trébol

Nº	NOMBRE	TIPO DE OBRA	COORDENADAS	
			X	Y
1	El Trébol	Embaulamiento	499 593,00	9'974 339,76
2	La Molinera	Embaulamiento	499 142,61	9'974 386,59
3	Cumandá	Embaulamiento	498 957,61	9'974 259,69
4	La Recoleta	Puente	498 455,44	9'974 186,28
5	Chimbacalle	Embaulamiento	497 914,60	9'973 819,22
6	Rodrigo de Chávez	Embaulamiento	497 729,25	9'973 404,46
7	Concha Acústica	Embaulamiento	497 339,01	9'972 670,47

Elaboración: ALEXIS AGUILAR

1. **Embaulamiento El Trébol.-** Esta estructura se encuentra debajo de las vías que conforman intercambiador de El Trébol, su construcción empezó después del colapso del embaulamiento anterior ocurrido en el año 2 008. La forma de la estructura es sección tipo baúl de 8,0 x 8,0 m; de hormigón armado, la longitud es de 113,70 m en planta. Está ubicado en dirección del talud del barrio La Tola y transportará las aguas del Machángara hacia el lado occidental, a una distancia de 400 m de la desembocadura del antiguo embaulamiento.



Foto 2.14 Salida del embaulamiento nuevo en El Trébol

2. **Embaulamiento La Molinera.-** Se encuentra ubicado a 600 m. del intercambiador El Trébol, cercano a la molinera “El Censo”. Es un embaulamiento de tierra de 3,0 x 3,0 m. Al lado de él se encuentra dos túneles más, pero se hallan fuera operación. En la zona aguas arriba de la estructura se ha producido la reducción del túnel, ya que se han estancado rocas que han sido acarreadas por el río desde la parte alta, por tanto esta obra se la puede catalogar ineficiente.



Foto 2.15 La Molinera visto desde aguas abajo



Foto 2.16 La Molinera vista desde aguas arriba

- 3. Embaulamiento Cumandá.-** Se encuentra sobre la vía al Ministerio de Defensa. Tiene una longitud de 24 m, su sección es de tipo baúl de 3,0 x 5,0 m. Esta construida en piedra, la salida tiene una grada de 0,50 m. La sección aguas arriba es menor a la sección aguas abajo en el fondo del río. Se encuentra por debajo de la vía a una profundidad de 36 m. Es decir, la cota superior del embaulamiento es la 2 731 m s.n.m. y la vía es la 2 770 m s.n.m.



Foto 2.17 Embaulamiento Cumandá visto desde aguas abajo

- 4. Puente La Recoleta.-** Esta construido en piedra, forma parte de la vía Pedro Vicente Maldonado. Tiene una longitud de 13 m (es la distancia de 2 carriles con su vereda), Su forma geométrica es de tipo baúl cuya sección mide 6,0 x 7,0m. Muy cerca se encuentra una vivienda que está por debajo del nivel de la vía, la cual, estaría propensa a inundaciones en una crecida.



Foto 2.18 Puente La Recoleta visto desde aguas arriba



Foto 2.19 Puente La Recoleta visto desde aguas abajo

- 5. Embaulamiento Chimbacalle.-** Se encuentra en la vía Pedro Vicente Maldonado, en el sector de Chimbacalle. Es un embaulamiento cuya longitud es de 342 m; su sección es tipo baúl de 4,0 x 5,0 m. y está construido en hormigón armado. En la entrada se observa acumulación de sedimentos en la margen izquierda. Su importancia como obra de encauzamiento es grande, pero se observa que no tiene el mantenimiento necesario para su óptimo desempeño.



Foto 2.20 Embaulamiento Chimbacalle visto desde aguas arriba

- 6. Embaulamiento Rodrigo de Chávez.-** Se encuentra ubicado en la zona de la avenida Rodrigo de Chávez. Su longitud es 549 m. Tiene la particularidad que la sección de entrada es diferente a la sección de salida, es decir, la sección aguas arriba tiene dos túneles de forma baúl construido de hormigón armado, cuya dimensión es de 4,0 x 3,5 m para el izquierdo. y de 4,50 x 4,10 m para el derecho. La separación entre ambos túneles es 6.0 m. Mientras en la salida del embaulamiento se tiene un canal de 4,5 x 5,3 m, de hormigón armado cuya longitud es de 10,20 m. A su lado se encuentra el colector Boca de Lobo. Para la simulación se asumió un embaulamiento cuya sección baúl es 4,5 x 5,3 m para ambos lados, ya que es la sección de mayor dimensión de las tres existentes. (Ver Foto 2.21 y Foto 2.22).



Foto 2.21 Visto a la entrada del túnel de encauzamiento de la Rodrigo de Chávez



Foto 2.22 Vista a la salida del túnel de encauzamiento de la Rodrigo de Chávez

7. **Embaulamiento Concha Acústica.**- Se inicia cerca del sector El Recreo y finaliza en el parque de la concha acústica. La sección aguas arriba en bastante estrecha en comparación de la sección aguas abajo. Tiene la forma de baúl, cuya sección fue imposible de obtener debido a la nula accesibilidad. Por ello, se asume la sección tomando en consideración una sección común. La sección asumida es de 5,0 x 5,0 m, construida de hormigón armado. (Ver Foto 2.23).



Foto 2.23 Embaulamiento en el parque Concha Acústica

CAPITULO 3

PROCESOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS ASOCIADOS CON LA FORMACIÓN DE CRECIDA Y PROPAGACIÓN DE CAUDALES

3.1 METODOLOGÍA

Para el análisis de los hidrogramas de crecida y la propagación de caudales, se considera necesario integrar las subcuencas existentes en 3 cuencas, capaces de cumplir los objetivos planteados para realizar las modelaciones hidrológicas e hidráulicas de manera secuencial y generar los hidrogramas de crecidas en los puntos de interés en cada uno de los escenarios.

Las cuencas de análisis son:

- Cuenca Alta.
- Cuenca Media.
- Cuenca Baja.

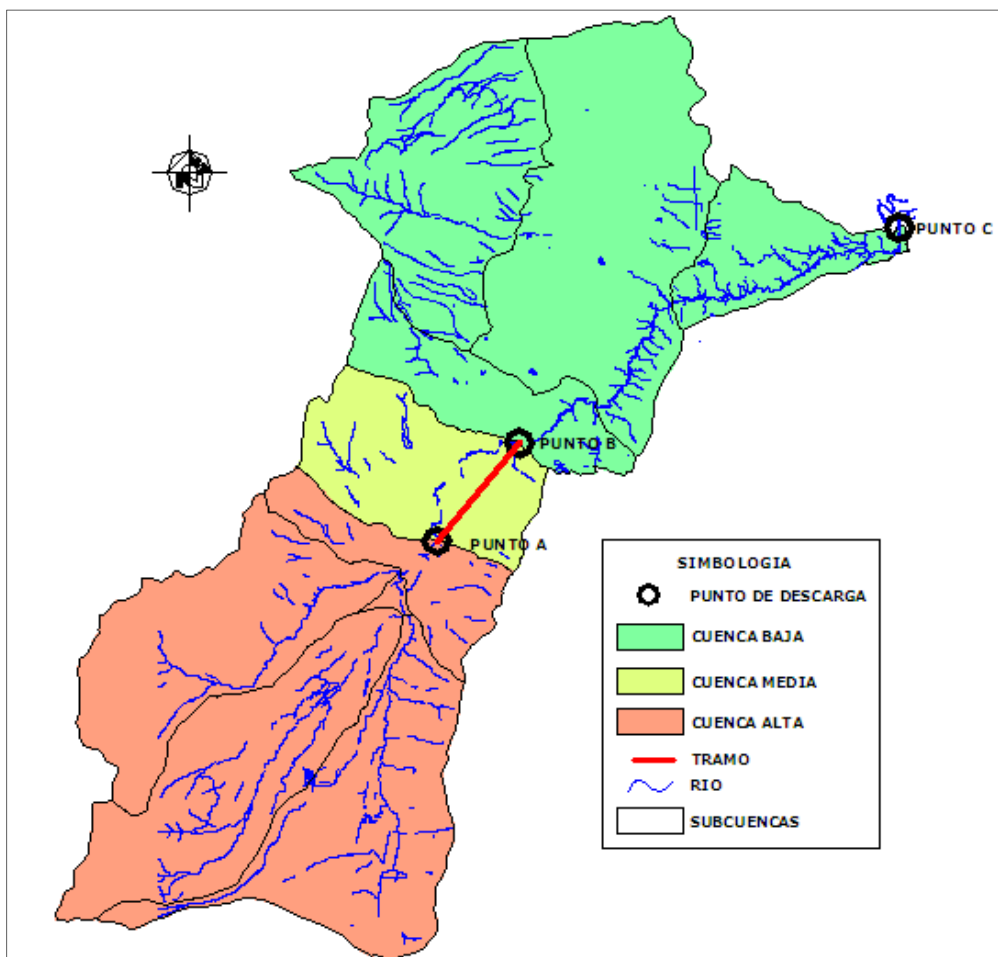
Cada cuenca de análisis tiene un punto de descarga o interés, el cual, mostrará un hidrograma de crecidas que será el resultado de la suma de las descargas de cada una de las subcuencas integrantes. Los puntos de descarga serán puntos de integración con la cuenca de análisis siguiente, hasta llegar a la descarga final en la junta con el río San Pedro.

Los Puntos de descarga de las cuencas de análisis son:

- Punto A.
- Punto B.
- Punto C.

En la Figura 3.1 se muestran las cuencas de análisis con sus puntos de descarga respectivos. Además se indica el tramo del río que será considerado para la modelación hidráulica.

Figura 3.1 Mapa de las cuencas de análisis.



Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: Carta digital escala 1:5 000

3.1.1 CUENCAS DE ANÁLISIS

A continuación se describe las características que poseen las cuencas de análisis creadas para la realización de los procesos hidrológicos e hidráulicos y cumplir con los objetivos propuestos.

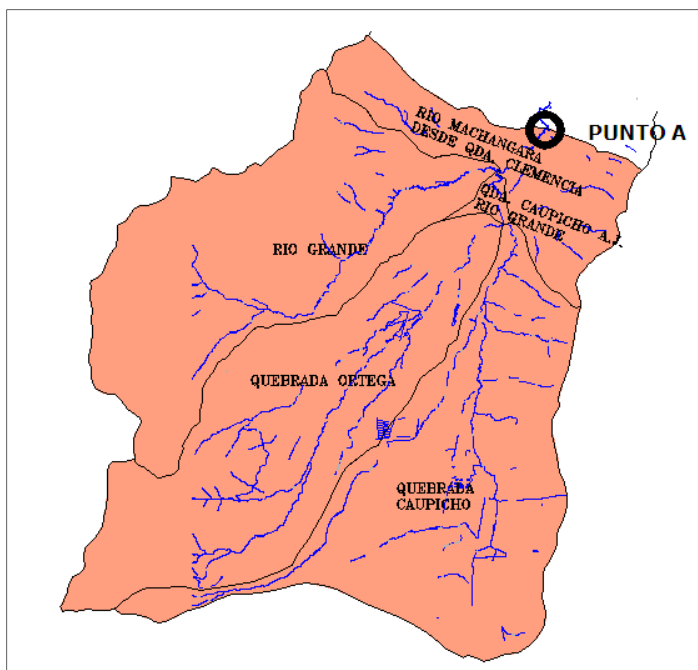
Cuenca Alta

La cuenca alta está integrada por las subcuencas: río Grande, Qda. Ortega, Qda. Caupicho, Qda. Caupicho A.J. río Grande y, río Machángara desde río Grande hasta El Recreo. Además, se encuentra dos tramos de tránsito; el primer tramo se ubica dentro de la subcuenca Qda. Caupicho A.J. río Grande, el cual, transporta el caudal de su área de drenaje y de la subcuenca Qda. Caupicho y Qda. Ortega. El segundo tramo se ubica dentro de la subcuenca Río Machángara desde la Qda. Clemencia, el cual, la descarga se realiza en el punto A. Para estos tramos no se realiza la modelación hidráulica, puesto que no se considera en los objetivos propuestos. Es decir, el análisis a realizar en la cuenca alta será hidrológico para cada una de las subcuencas integrantes.

El hidrograma de crecida resultante de la modelación hidrológica se dará en el punto A, que será usado como hidrograma de entrada para el análisis hidráulico del tramo 3 que se encuentra dentro de la cuenca media.

En la Figura 3.2 se muestra las subcuencas que integra la cuenca alta, los tramos de transito y el punto A de descarga.

Figura 3.2 Mapa de la cuenca Alta.



Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: Us Army Corps, Hec – Hms, 2006

Cuenca Media

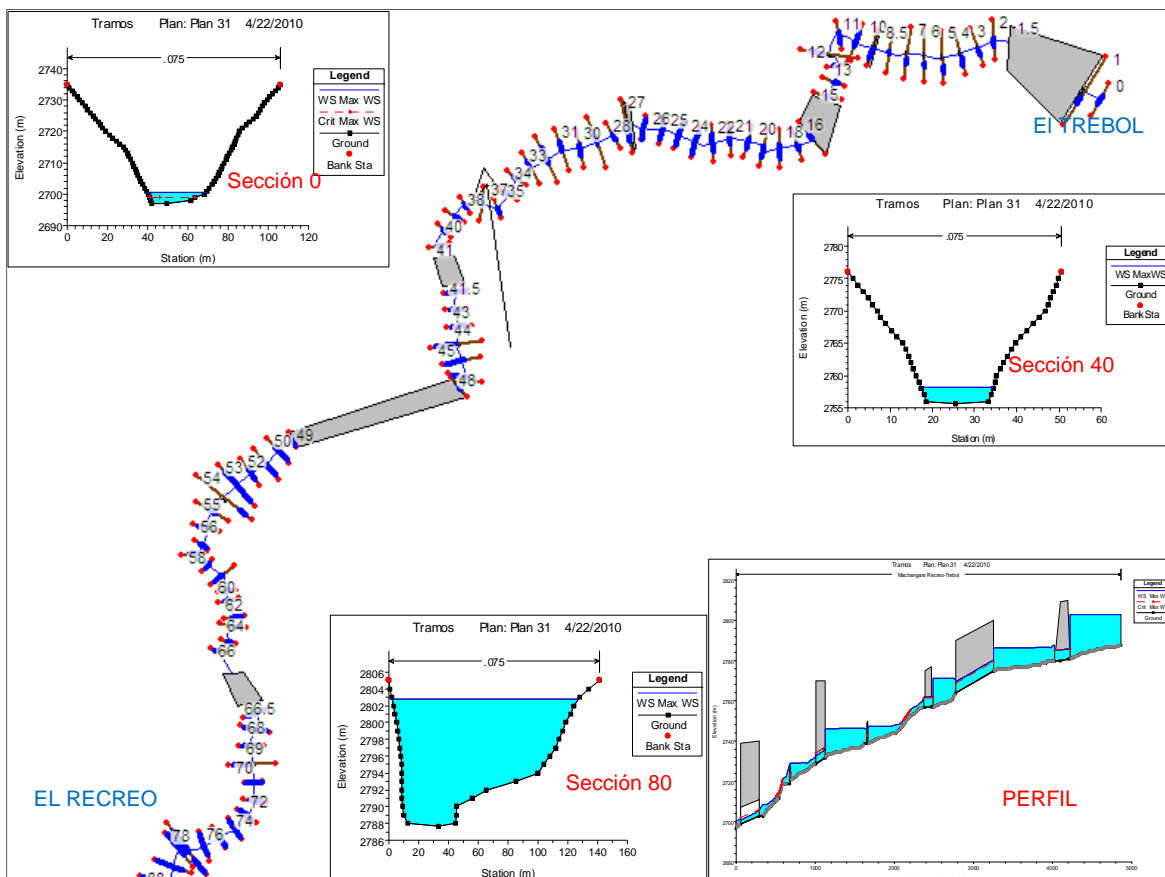
La cuenca media es integrada por la subcuenca río Machángara desde El Recreo hasta El Trébol. Esta subcuenca tiene como puntos de interés los sectores el Recreo y el Trébol, en los cuales, se ubica el tramo 3 que se utilizará para el análisis hidráulico. El tramo 3 tiene una longitud de 5,10 km, en su recorrido se encuentran 7 estructuras, las cuales, son consideradas como la variable hidráulica para cada uno de los escenarios a modelar.

El modelo hidráulico se realizará en el programa HEC-RAS 4.0 de la U.S. Army Corps of Engineers, cuyo análisis se lo fundamentará en el flujo uniformemente variado, en el cual, el hidrograma de crecida en el punto A será usado como hidrograma de entrada dentro de las condiciones de borde solicitadas por el programa. Como resultado del análisis hidráulico se genera los mapas de amenaza de inundación y los hidrogramas de laminación.

A diferencia de la cuenca alta, para la cuenca media maneja la modelación hidrológica e hidráulica para cada uno de los escenarios. El hidrograma resultante de ambos procesos tendrá lugar en el punto B.

En la Figura 3.3 se puede observar el tramo del río Machángara utilizado para el proceso hidráulico, las secciones transversales consideradas. Como ejemplo se observan secciones transversales en los extremos y en la mitad del tramo. Además se observa el perfil del tramo con la ubicación de las estructuras.

Figura 3.3 Tramo de la Cuenca Media (El Recreo – El Trébol)



Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: Us Army Corps.(Hec-Ras), 2006

Cuenca Baja

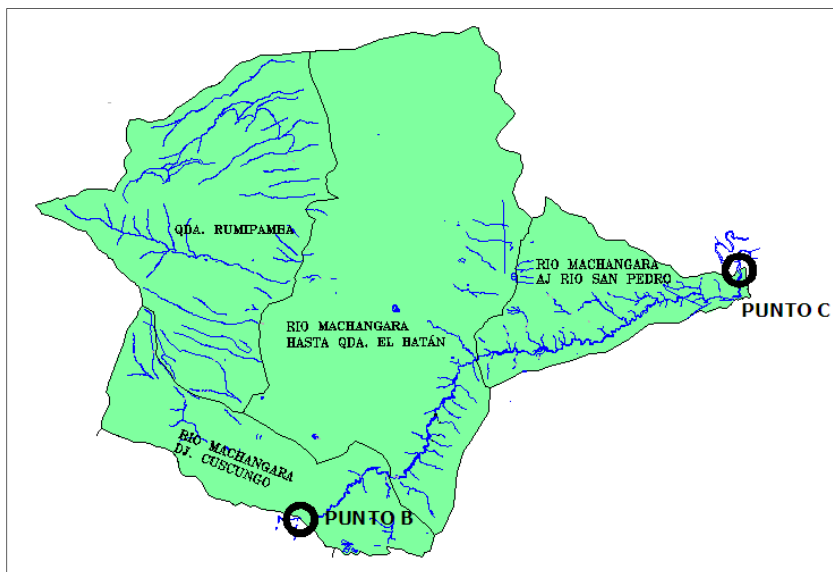
La cuenca baja está integrada por las subcuencas río Machángara desde El Trébol hasta la Qda. Cuscungo, Qda. Rumipamba, río Machángara desde Qda. Rumipamba hasta la Qda. El Batán y río Machángara desde Qda. El Batán A.J. río San Pedro. La cuenca baja solo será modelada de manera hidrológica, es decir, generar los hidrogramas de crecida de cada una de las subcuencas que sumadas al hidrograma del punto B, se obtendrá el hidrograma de crecida resultante en el punto C (punto de descarga A.J. con el río San Pedro).

La cuenca baja tiene en su interior 3 tramos antes de descargar en el río San Pedro. El primer tramo transporta el flujo del punto B y de la subcuenca río Machángara desde El Trébol hasta la Qda. Cuscungo. El segundo tramo se encuentra dentro de la subcuenca río Machángara desde Qda. Rumipamba hasta

la Qda El Batán. El tercer tramo transporta el flujo de las 9 subcuencas anteriores y de la subcuenca río Machángara desde Qda. Rumipamba A.J. al río San Pedro, la cual hasta el punto C o punto de descarga de la cuenca del río Machángara.

En la Figura 3.4 se puede observar cada una de las subcuencas que integran la cuenca baja y los tramos de tránsito de flujo hasta llegar al punto C.

Figura 3.4 Mapa de cuenca baja.



Elaboración: Alexis Aguilar

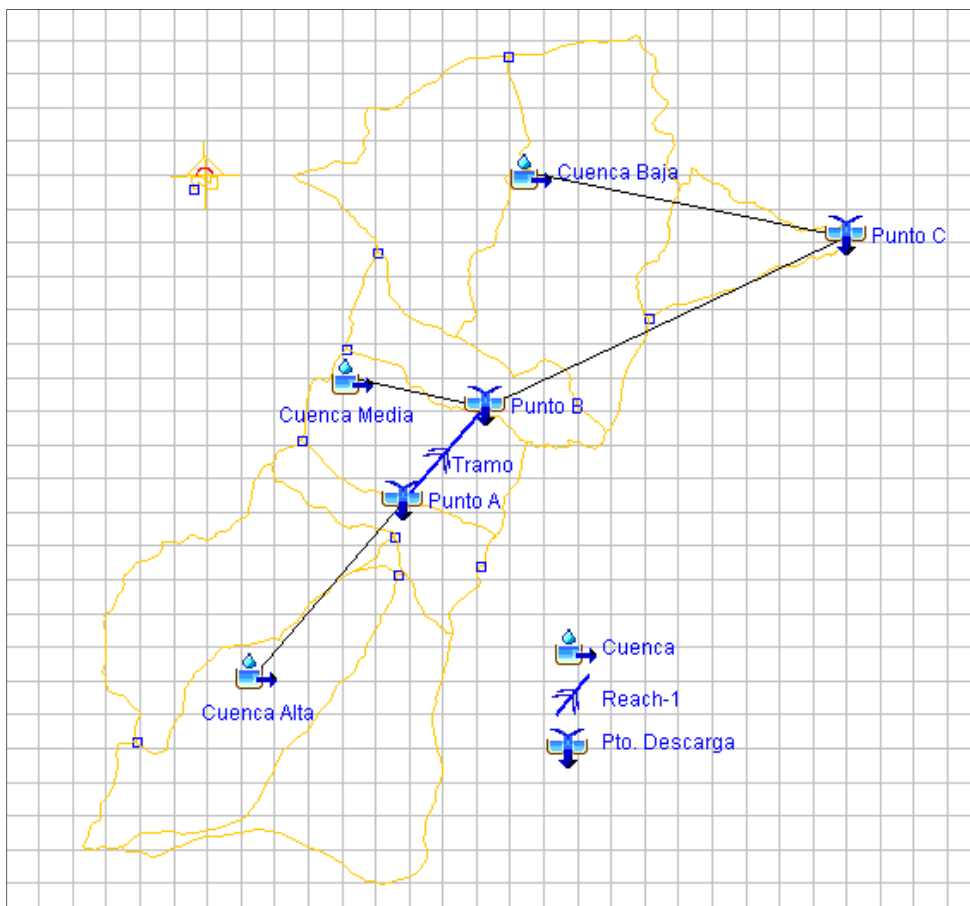
Fuente: Us Army Corps.(Hec-Hms), 2006

3.1.2 INTEGRACIÓN DE LAS CUENCAS DE ANÁLISIS

Las cuencas de análisis concentran los caudales de la subcuencas que son transportados por los tramos existentes para generar los hidrogramas resultantes en cada uno de los puntos de interés.

En la Figura 3.5 se observa las cuencas de análisis integrada cada una de ellas por los puntos de interés A, B y C. Además, se muestra el tramo que se usará para la modelación hidráulica.

Figura 3.5 Integración de las cuencas de análisis.



Elaboración: Alexis Aguilar

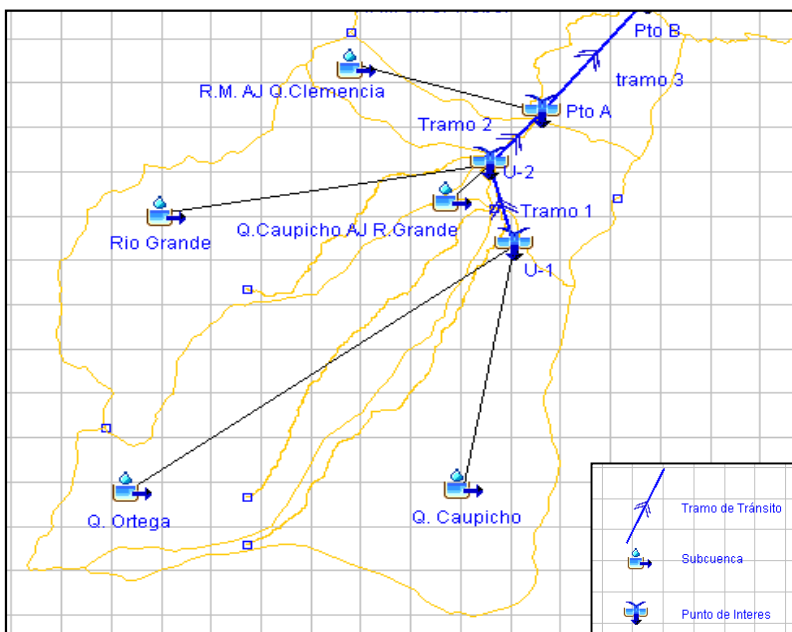
Fuente: Us Army Corps.-Hec Hms

3.1.2.1 Integración de la Cuenca Alta

- Obtener las características físicas de las subcuencas que integran la cuenca alta.
- Generar un hidrograma de crecida para cada una de las subcuencas con el programa HEC-HMS.
- Los caudales de la subcuenca Caupicho y Qda. Ortega se juntan en la unión "U-1" y son transportados por "Tramo 1" sumado el caudal de la subcuenca Qda. Caupicho A.J. río Grande, las cuales, descargan en la unión "U-2".

- El caudal de la subcuenca río Grande se suma al caudal de la unión “U-2”, los cuales, son transportados por el “Tramo 2” hasta el punto A. En este punto de interés se obtiene el hidrograma de crecida resultante de la cuenca Alta.

Figura 3.6 Integración de la cuenca Alta



Elaboración: Alexis Aguilar

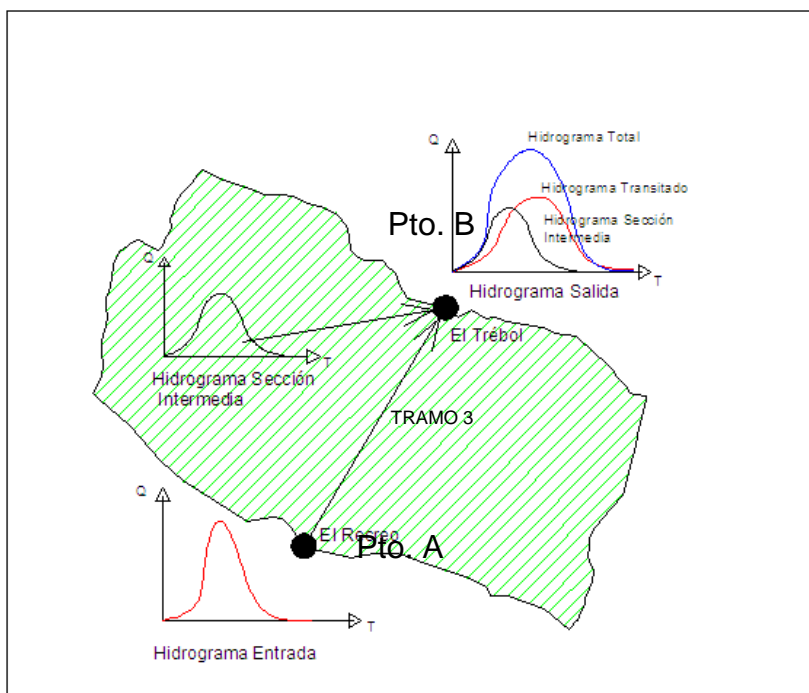
Fuente: Us Army Corps.- Hec Hms

3.1.2.2 Integración de la cuenca Media

- El hidrograma del Punto A será usado como hidrograma de entrada para la modelación hidráulica del “tramo 3”, que se encuentra entre el Recreo y el Trébol. Para la modelación se usará el programa HEC-RAS.
- Para la modelación del tramo 3, el cauce se dividió en 80 secciones transversales, que fueron ingresadas con las características físicas requeridas por el programa.
- Para el tramo 3 se debe considerar las estructuras existentes en el cauce. Las cueles, serán ingresadas en el programa considerando las características obtenidas en la visita de campo.

- La cuenca media está integrada por la subcuenca río Machángara desde el Trébol, la cual, será simulada con el programa HEC-HMS para obtener el hidrograma de crecida que se sumará al hidrograma laminado por la simulación hidráulica, generando el hidrograma resultante del punto B.

Figura 3.7 Integración de la cuenca Media



Elaboración: Alexis Aguilar

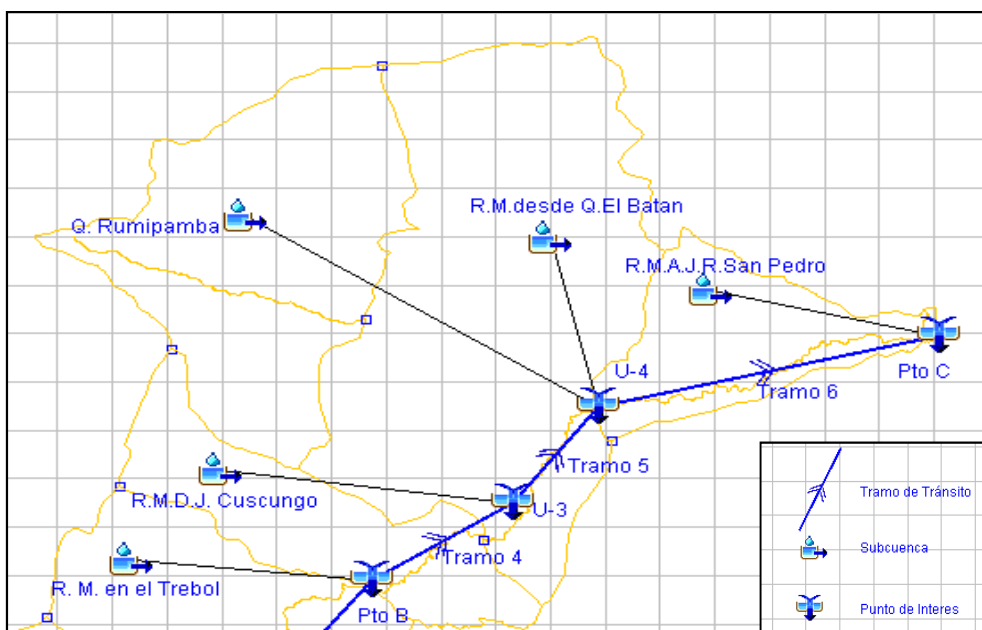
3.1.2.3 Integración de la cuenca Baja

- Modelar cada una de las subcuencas que forman parte de la cuenca baja y obtener sus hidrogramas de crecida.
- Transportar el hidrograma total del punto B por el "tramo 4", más el caudal de la subcuenca río Machángara desde El Trébol hasta Qda. Cuscungo hasta la unión "U-3".
- El caudal de la unión U-3 es transportado por el tramo 5 más el caudal de la subcuenca río Machángara desde Qda Rumipamba hasta la Qda. El Batán, que sumado al caudal la subcuenca Qda. Rumipamba llegan hasta la unión U-4.

- El caudal en la unión U-4 se transporta por tramo 6, el cual, se suma al caudal de la subcuenca río Machángara desde Qda. El Batán A.J. río San Pedro. El tramo 6 llega al punto C, este punto es la descarga final de la cuenca del río Machángara.

Los tramos de la cuenca baja no fueron modelados hidráulicamente. El proceso de integración de la cuenca baja se muestra en la Figura 3.8:

Figura 3.8 Integración de la cuenca Baja



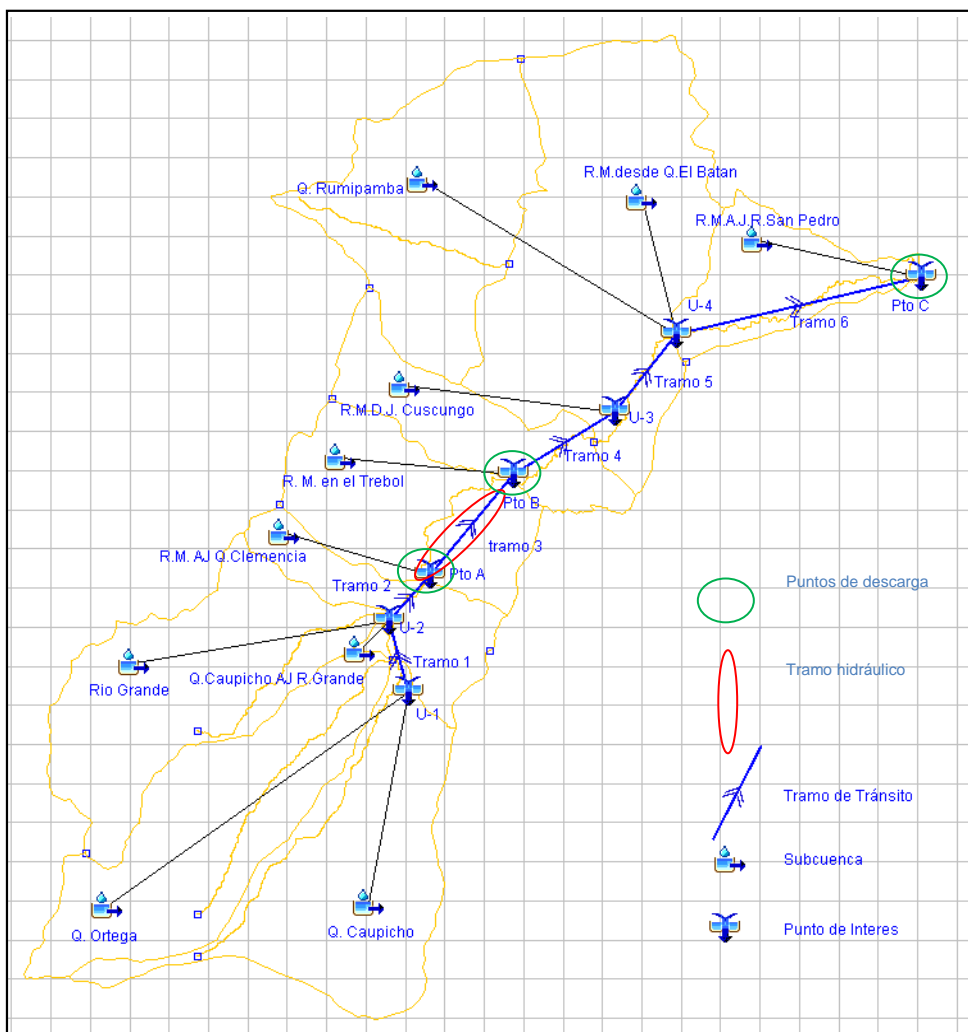
Elaboración: Alexis Aguilar

En cada una de las cuencas de análisis se encontraron dos hidrogramas de crecida:

- Hidrograma de Entrada.
- Hidrograma de Salida.

El hidrograma de Entrada constituye la integración de todos los hidrogramas que se encuentran antes del punto de interés. El hidrograma de Salida está constituido por el hidrograma de la sección intermedia y el hidrograma de entrada.

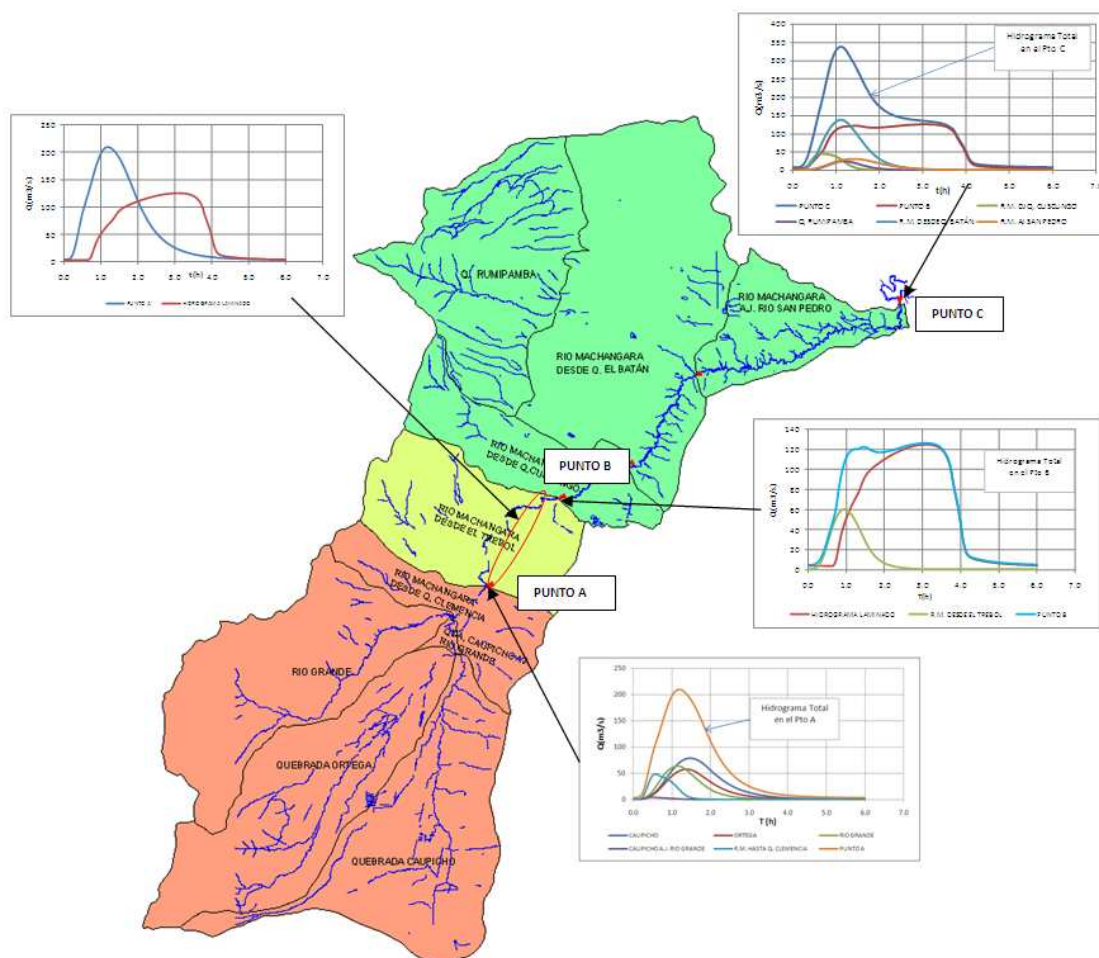
Figura 3.9 Integración de la cuenca del río Machángara.



Elaboración: Alexis Aguilar

Cada Tramo existente generara un Hidrograma de Salida, el cual se convertirá en el Hidrograma de Entrada para el siguiente tramo. Los Hidrogramas de Salida en los de descarga deben sumar el hidrograma generado de las subcuencas integrantes de cada tramo. (Ver Figura 3.10).

Figura 3.10 Integración de los hidrogramas de crecida en el Punto A, B, C



Elaboración: Alexis Aguilar

3.2 MODELACIÓN DE LA RELACIÓN LLUVIA-ESCURRIMIENTO

La generación de la base de datos hidrológicos que se introducirá al programa HEC-HMS para la modelación de cada una de las subcuencas que conforman la cuenca del río Machángara, se desarrolló con el método relación lluvia-escorrimento para generar los hidrogramas de crecida en base a las características de la cuenca y la precipitación sobre la zona. La información depurada tomó en cuenta todos los requerimientos necesarios y con ello cumplir rigurosamente esta secuencia para definir los hidrogramas de crecida de la cuenca del río Machángara.

3.2.1 MÉTODO DE LA RELACIÓN LLUVIA-ESCURRIMIENTO.

Debido a la falta de registros de escurrimiento en sitios de interés, es necesario contar con métodos que permitan determinar el escurrimiento en una cuenca mediante las características de la misma y la precipitación. (APARICIO, 1999)

Los principales parámetros que permiten determinar el escurrimiento en una cuenca son:

- Área de la cuenca.
- Altura de precipitación.
- Características generales o promedio de la cuenca (forma, pendiente, vegetación).

Debido que la cantidad y calidad de información disponible varía notablemente de un problema a otro, se han desarrollado una gran cantidad de métodos para analizar la relación lluvia-escurrimiento. El método seleccionado será el Hidrograma Unitario.

HIDROGRAMA UNITARIO

El hidrograma unitario de una cuenca, se define como el hidrograma de escorrentía directa resultante de 1 cm de exceso de lluvia generado uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva. (CHOW, 1994)

El método del hidrograma unitario se basa en las siguientes hipótesis:

- Tiempo base constante.
- Linealidad o proporcionalidad.
- Superposición de causas y efectos.

Pero para usar el método del hidrograma unitario en cualquier de sus modalidades es necesario contar con al menos con un hidrograma medido a la salida de la cuenca, pero en nuestro país no se cuentan con estaciones hidrométricas actuales suficientes. Y aunque existen estaciones en la zona de

cuenca del río Machángara no es suficiente para realizar un análisis estadístico-probabilístico confiable.

Por ello es conveniente usar un método que permitan obtener hidrogramas unitarios únicamente con las características generales de la cuenca. A estos métodos se los conoce como sintéticos.

Para la obtención de los hidrogramas unitarios de la cuenca se maneja el proceso con el método del hidrograma unitario triangular SCS, el cual se puede definir como el hidrograma del escurrimiento directo que se produce por una lluvia efectiva o en exceso de lámina unitaria, duración efectiva y repartida uniformemente en la cuenca.

Para obtener las características físicas de la cuenca se basa en la topografía de la zona, para el análisis de la cuenca del río Machángara se trabajó con la topografía digital escala 1:5.000. De esta manera se genera características físicas para cada una de las subcuencas:

- Área
- Perímetro
- Longitud del cauce principal
- Distribución de la lluvia en el tiempo.

MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR S.C.S - US.

Para la obtención del hidrograma unitario triangular se formula con los valores de caudal pico (q_p) y el tiempo de ocurrencia pico (T_p). Los valores de q_p y T_p son estimados para la generación del hidrograma unitario triangular de la cuenca, en donde el tiempo está dada en horas y el caudal en $m^3/s \cdot cm$.

El tiempo de recesión puede expresarse de forma aproximada como $1.67T_p$. Como el área bajo el hidrograma unitario debería ser igual a una escorrentía directa de 1cm, puede demostrarse que

$$q_p = \frac{CA}{T_p} \quad (3.1)$$

Donde:

Q = Descarga pico, (m³/s/cm)

C = Coeficiente de compatibilización de unidades= 2,08

A = área de drenaje, (km²)

T_p= Tiempo Pico, (h)

T_r≈ 0,6 T_c = Tiempo de retardo, (h)

T_c= Tiempo de concentración de la cuenca, (h).

$$T_c = 3.42 \frac{L^{0.8}}{(S/100)^{0.5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \quad (3.2)$$

Donde:

L= Longitud del cauce principal de la cuenca, (km)

S= Pendiente de la cuenca, (%)

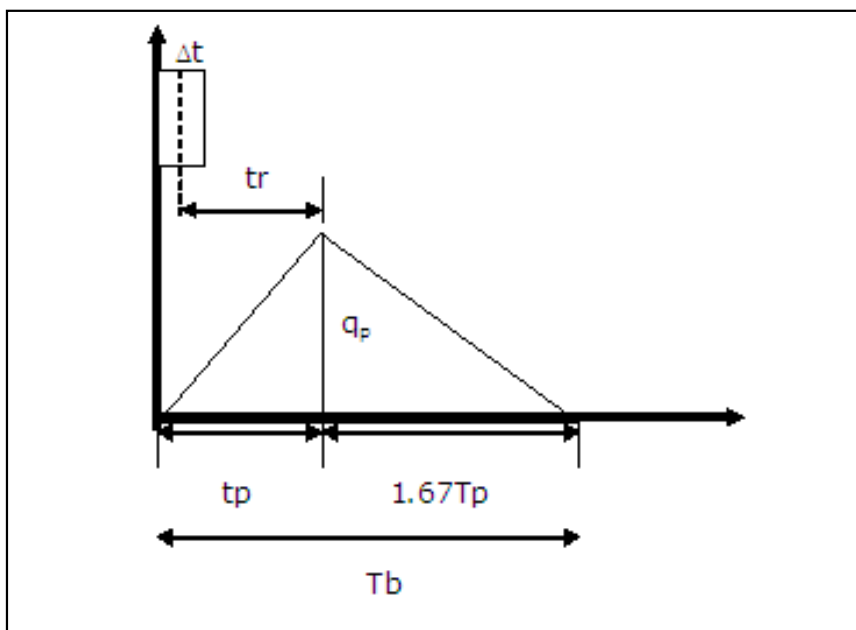
CN= Numero de Curva

El tiempo pico (T_p) puede expresarse en términos del tiempo de retardo T_r y la duración de la lluvia efectiva “Δt”.

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + T_r \quad (3.3)$$

Con todos estos parámetros se puede generar el hidrograma unitario triangular de la cuenca. El cual se observa en la Figura 3.11, en que se introducirá los valores obtenidos de cada una de las subcuencas. Este hidrograma unitario triangular será característico de cada una de las subcuencas, con lo que en total se generará por cada escenario propuesto 10 hidrogramas unitarios triangulares.

Figura 3.11 Hidrograma unitario triangular SCS-US



Fuente: Aparicio Mijares F.- "Fundamentos de Hidrología".

3.2.2 HIETOGRAMA DE INTENSIDADES.

El estudio "Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia de las principales estaciones pluviográficas de Quito" realizado en el contexto del Proyecto del Sistema de Pronóstico Hidrológico de las Laderas del Pichincha y el Área Metropolitana de Quito (SISHILAD – 1996), presenta las relaciones intensidad - duración – período de retorno, que se consideran válidas para el presente estudio.

La Zona sur de la ciudad está representada por las relación intensidad – duración – período de retorno correspondientes a la estación Izobamba y la Zona Centro Norte por la relación de la estación Quito – Observatorio. Con esto se considera para las subcuencas de la zona Sur la estación de Izobamba y para las subcuencas de la zona Centro y Norte será representada por la estación Quito-Observatorio.

Las ecuaciones propuestas son las siguientes:

Estación Izobamba:

$$I = \frac{74.7140 * Tr^{0.0888}}{t^{1.6079}} [\ln(t + 3)]^{3.8202} (\ln Tr)^{0.1892} \quad (3.4)$$

Estación Quito-Observatorio:

$$I = \frac{48.657 * Tr^{0.0896}}{t^{1.9654}} [\ln(t + 3)]^{5.234} (\ln Tr)^{0.2138} \quad (3.5)$$

En donde:

I: Intensidad de precipitación, mm/h

Tr: Período de Retorno, años

t: duración de la lluvia, min

Los rangos de aplicación de las relaciones son los siguientes:

- Para la duración t: entre 5 min y 360 min; y,
- Para el Período de retorno (Tr): entre 2 y 50 años.

La necesidad de disponer de datos confiables de intensidades máximas para períodos de retorno 100 y 200 años demandó la aplicación de técnicas estadístico-probabilísticas de extrapolación.

Se analizaron dos posibilidades para determinar las intensidades de lluvia para 100 años y 200 años.

1.-SISHILAD, del Proyecto Laderas del Pichincha (1996).

2.- Método grafo-analítico del INAMHI (1999).

Zona	Ecuaciones	Ecuaciones
11	5min < t < 60min	60min < t < 1440min
	I=132.27 t ^{-0.5153} IdTR	I=578.56t ^{-0.8736} IdTR
12	5min < t < 50min	50min < t < 1440min
	I=138.01 t ^{-0.4882} IdTR	I=674.13 t ^{-0.8935} IdTR

Para Zona 11:

IdTR	Tr (años)
3	50
3.5	100

Para Zona 12:

IdTR	Tr (años)
4.5	50
5.5	100

La zona 11 pertenece a la estación de Izobamba, mientras que la zona 12 pertenece a la estación Quito-Observatorio.

Como se puede notar los valores de intensidad obtenidos para diversos tiempos de duración de lluvia tienen ciertas pequeñas diferencias y dado que el método del INAMHI solo refiere valores hasta $Tr = 100$ años y dependen de valores estimados gráficamente. Se recurrió a establecer una extrapolación de las curvas I-D-F del SISHILAD por tener mayor aplicabilidad y por centralizar sus datos y resultados más precisos al interior de la cuenca del río Machángara.

Ya encontrada las intensidades de lluvia para una duración de 60 minutos y con los períodos de retorno de 50 años, 100 años y 200 años. Se puede obtener las láminas máximas de precipitación para las estaciones de Izobamba y Quito-Observatorio.

Para la distribución temporal de la lluvia, se debe seleccionar el mejor patrón de tormenta que se identifique con nuestra zona, (Beltrán, 1995) recomienda asumir los patrones de tormenta correspondientes a distribuciones tipo Huff, de los cuartiles primero y segundo.

La práctica ingenieril muestra que la distribución 60 % del primer cuartil, representa de mejor manera la variación de la intensidad de lluvia con la duración para la ciudad de Quito y por ende para la cuenca del río Machángara, cuando se utiliza las intensidades máximas de las estaciones Izobamba y Quito – Observatorio.

Adicionalmente, se considera un factor de reducción de la intensidad y por consiguiente de la precipitación, con el área. Pues hay que considerar que los registros de las estaciones son puntuales y que las lluvias intensas se caracterizan por presentar las máximas intensidades en el centro de tormenta, las cuales disminuyen gradualmente hacia la periferia.

Para el efecto se asumen los siguientes valores:

- Para lluvias de 60 minutos – factor de reducción = 0.70;
- Para lluvias de 120 minutos – factor de reducción = 0.71; y,
- Para lluvias de 180 minutos – factor de reducción = 0.72.

El intervalo de tiempo asumido es de 6min para la generación del hietograma de intensidades, utilizando la curva de Huff del primer cuartil al 60%. (Ver Anexos).

3.2.3 PRECIPITACIÓN EFECTIVA.

El exceso de precipitación o precipitación efectiva, es la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. El hietograma de precipitación efectiva es un componente clave para el estudio de las relaciones lluvia–escorrentía. La diferencia entre el hietograma de lluvia total y el hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracciones o pérdidas. (CHOW, 1994)

Para el cálculo de la precipitación efectiva existen algunos métodos, los cuales dependen de la existencia de la información de caudales.

En los cálculos se optó por utilizar el método del U.S. SCS (1957) para el cálculo de la precipitación efectiva, que toma en cuenta el tipo y uso del suelo, y la precipitación antecedente, a través del concepto número de curva (CN).

Para el efecto se utiliza las siguientes relaciones:

$$Pe = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (3.6)$$

En donde:

Pe – Precipitación efectiva acumulada al tiempo t, (mm)

P – es la altura de precipitación acumulada al tiempo t , (mm)

S – Retención potencial máxima, que es una medida de la capacidad de una cuenca para mantener la precipitación, (mm).

I_a : Abstracción Inicial (mm).

De los resultados de experiencias en cuencas pequeñas, el SCS desarrolló una relación empírica entre I_a y S .

$$I_a = 0.2 S \quad (3.7)$$

Entonces la precipitación efectiva acumulada al tiempo t es:

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (3.8)$$

Esta última ecuación es válida para $P > 0.2 S$. Cuando $P < 0.2 S$, entonces se asume $Pe = 0$.

La capacidad máxima de retención del suelo S , y las características físicas de las cuencas se relacionan por medio del factor número de curva (CN) a través de la siguiente expresión:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.9)$$

El factor CN se pondera dentro del área de la cuenca en dependencia del tipo y uso de suelo existente en ella.

NÚMERO DE CURVA (CN) – (SCS)

El Número de Curva es un indicador que caracteriza las condiciones del tipo y uso del suelo.

El CN representa la fracción de respuesta de la cuenca al impulso de la precipitación y considera la clasificación de más de 2000 suelos en cuatro grupos hidrológicos, que representan en un grado progresivo su potencial de escurrimiento en forma descendente. Permitiendo de este modo, la estimación del escurrimiento directo considerando que la infiltración depende del uso del suelo, el tratamiento superficial que tiene, la condición hidrológica (erosionado o con

cobertura vegetal), y que ese grupo hidrológico puede verse afectado por condiciones de saturación por humedad antecedente. (CHOW, 1994)

El CN varía entre 0 y 100, cuya fórmula es la ecuación (3.10):

$$CN = \frac{1000}{10 + \frac{S}{25.4}} \quad (3.10)$$

donde:

S = retención potencial de suelo en mm.

El método S.C.S. distingue cuatro grupos hidrológicos de suelos:

Grupo A.- Muy permeable: suelos que producen bajo escurrimiento superficial y alta infiltración. Son suelos arenosos con bajo contenido de arcilla y de limo, muy permeables, con una profundidad aproximada de 1.50 m.

Grupo B.- Permeable: suelos menos permeables y arenosos menos profundos que A y cuya permeabilidad es superior a la media, con presencia de finos y limos, su profundidad aproximada es de 1.50 m.

Grupo C.- Impermeable: suelos poco profundos, se lo puede notar aproximadamente a los 60 cm., generan escurrimiento superficial por sobre la media y con capacidad de infiltración por debajo de la media, son arenas muy finas con poca presencia de limos y con alto contenido de arcilla que varía entre 20% y 30%. Las condiciones de impermeabilidad son mayores que los grupos anteriores.

Grupo D.- Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

CONDICIONES DE HUMEDAD DEL SUELO

Los antecedentes de humedad están relacionados con la cantidad de lluvia en los 5 días precedentes, así:

Condición I.- Son suelos secos, cuyas lluvias en los últimos 5 días no sobrepasa los 15 mm.

Condición II.- Se presenta una situación media, registrándose lluvias en los últimos 5 días de 15 a 40 mm.

Condición III.- Es un suelo húmedo próximo a la saturación, las lluvias en los últimos 5 días fueron superiores a los 40 mm., dependiendo de las condiciones meteorológicas en las que se pueden registrar variaciones en las tasas de evaporación.

La condición de humedad seleccionada es la condición II, por ser normal la condición de humedad más parecida a la cuenca del río Machángara.

Los valores de CN (Número de Curva) para condición de humedad de tipo II de varios tipos de uso de la tierra.

El tipo de suelo de la cuenca del Machángara para la obtención del número de curva de cada uso de suelo será asumido el de tipo C.

El factor CN se pondera dentro del área de la cuenca en dependencia del tipo y uso de suelo.

Los números de curva determinados para cada una de las subcuencas, se obtendrá de la ponderación del área con el uso de suelo respectivamente.

En el Cuadro 3.1 se incluyen los números de curva para la condición actual, condición natural y condición futura a 50 años del suelo.

Cuadro 3.1 Números de Curva (CN) para la cuenca del río Machángara.

NÚMEROS DE CURVA(CN)				
SECCIÓN DE INTERÉS		Suelo Actual	Suelo Natural	Suelo 50 años
		CN Condición II	CN Condición II	CN Condición II
Q. Caupicho	M-1	89	79	89
Q. Ortega	M-2	82	76	82
Río Grande	M-3	78	74	78
Q. Caupicho A.J. Río Grande	M-4	90	79	90
Río Machángara hasta Q. Clemencia	M-5	87	78	87
Río Machángara en el Trébol	M-6	84	77	84
Río Machángara D.J. Cuscungo	M-7	84	76	84
Qda. Rumipamba	M-8	74	72	74
Río Machángara hasta Q. El Batán	M-9	87	78	87
Río Machángara AJ Río San Pedro	M-10	83	76	83

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: CHOW, V, 1994

3.2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA HEC-MHS 3.1

El programa fue desarrollado por la U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA. El programa trabaja con tres módulos básicos que definen en su conjunto el proyecto de simulación de la cuenca:

Módulo de precipitación.- Permite seleccionar uno de seis patrones de precipitación (tipos de hietogramas) del evento de tormenta que más se ajuste a las posibles condiciones de la cuenca, incluyendo la introducción manual de los datos de la lluvia de diseño.

Módulo de la cuenca.- Permite la representación del sistema físico con los elementos antes citados, y la inclusión de las características morfométricas y de condición del suelo para cada uno de ellos. Así, cada componente incluye la información necesaria para construir el hidrograma total de salida.

Módulo de control.- Incluye las fechas de inicio y culminación de los datos de lluvia y caudal para la simulación (u optimización) y los intervalos de tiempo para realizar los cálculos.

Estos tres módulos deben definirse completamente antes de iniciar la corrida de la simulación.

3.2.5 INFORMACIÓN REQUERIDA POR EL PROGRAMA HEC-HMS 3.1 PARA REALIZAR LAS SIMULACIONES.

El modelo de simulación HEC-HMS requiere de información, la cual está dividida en los siguientes grupos:

- Información sobre precipitación histórica o de diseño.
- Información sobre las características del suelo.
- Información física de las subcuencas.
- Información histórica de caudales.

INFORMACIÓN SOBRE LA PRECIPITACIÓN HISTÓRICA O DE DISEÑO

El método a usar existente en el programa será “*Hietograma especificado por el usuario*”, para el cual la información requerida es:

- Registros de tormenta (día de inicio y finalización e intervalo de mediación) en las estaciones pluviométricas existentes o sintéticas localizadas dentro de la cuenca.
- Identificación de las estaciones y sus correspondientes subcuencas.

Para ello, la precipitación que se utiliza será de la estación Izobamba para las subcuencas de la zona sur y la estación Quito-Observatorio para las subcuencas centro-norte de la cuenca del Río Machángara.

La fuente de datos que se ingresará será de forma acumulada, las unidades serán en milímetros, con un intervalo de 6 minutos.

INFORMACIÓN ACERCA DE LAS CONDICIONES DE HUMEDAD DEL SUELO

La información que solicita HEC-HMS de las condiciones de humedad del suelo es necesaria para determinar la infiltración durante eventos de tormenta. El método utilizado será el Número de Curva, el cual requiere:

- Pérdidas iniciales (mm).

- Número de curva, calculado como promedio sobre la subcuenca respectiva.
- Porcentaje de área impermeabilizada.

INFORMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS SUBCUENCAS

Las características físicas que requiere HEC-HMS para realizar los cálculos no están explícitas en las ventanas. Por ejemplo, las pendientes y longitud del cauce principal y de las laderas son necesarias para calcular los tiempos de concentración y los diagramas área-forma que son datos de entrada para los métodos de hidrogramas unitarios sintéticos. La característica física explícita en una ventana del programa para cada subcuenca es:

- Área de la subcuenca.

INFORMACIÓN HIDROLÓGICA DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LLUVIA EN ESCORRENTÍA

La parte más importante del modelo de simulación de HEC-HMS la constituyen los métodos para estimar la forma en que la lluvia se convierte en escorrentía. El método seleccionado es el "Hidrograma unitario sintético del SCS", el cual la información requerida será:

- Tiempo de retardo T_{lag} (minutos).

3.3 SIMULACIÓN DEL TRÁNSITO DE CRECIDA EN CAUCES

El tránsito de crecientes es un procedimiento matemático para predecir el cambio en magnitud, velocidad y forma de una onda de flujo en función del tiempo (Hidrograma de Crecida), en uno o más puntos a lo largo de un curso de agua. (CHOW, 1994)

Los métodos hidráulicos se basan en la solución de las ecuaciones de la conservación de masa y cantidad de masa para el escurrimiento no permanente.

CONSERVACIÓN DE MASA O ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

En flujo no permanente el caudal cambia con la distancia a una tasa $\frac{\partial Q}{\partial x}$, y la profundidad cambia con el tiempo a una tasa de $\frac{\partial y}{\partial t}$. El cambio en el caudal a través del espacio en el tiempo dt es $(\frac{\partial Q}{\partial x}) dx dt$.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (3.11)$$

Usando:

$$Q = V A \quad (3.11a)$$

$$A = B y \quad (3.11b)$$

Llegamos a la forma no conservativa de la ecuación de continuidad:

$$y \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{q}{B} \quad (3.11c)$$

Donde:

Q= Caudal (m³/s)

V= Velocidad (m/s)

A= Área (km²)

B= Ancho de la superficie libre (m)

y= Calado de la sección (m)

q= caudal de entrada lateral (m³/s)

CONSERVACIÓN DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO O ECUACIÓN DE MOMENTUM

Se basa en la segunda ley de Newton. Las fuerzas actuantes son: fuerza gravitacional, fuerza de fricción, fuerza contracción/expansión, fuerza cortante del viento en la superficie del agua y, fuerza de desbalance de presiones. Para el flujo no permanente la sumatoria de fuerzas es igual flujo neto de salida de momentum más el almacenamiento de momentum. (CHOW, 1994)

La forma no conservativa de la ecuación de momentum es:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial t} = g(S_o - S_f) \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \textit{aceleración local}$$

$$v \frac{\partial v}{\partial x} = \textit{aceleración convectiva}$$

$$g \frac{\partial y}{\partial t} = \textit{fuerza de presión}$$

$$g(S_o - S_f) = \textit{Fuerza de gravedad debido a la variación de la línea de energía}$$

Donde:

y = tirante (m)

v = velocidad (m/s)

q = gasto lateral (m³/s)

B = ancho de la superficie libre (m)

S_o = pendiente del fondo (m/m)

S_f = pendiente de fricción, donde sí se emplea Manning (m/m)

$$S_f = \frac{v^2 n^2}{R_H^{4/3}} \quad (3.13)$$

Las ecuaciones de continuidad y dinámica para flujo no permanente las publicó por primera vez Saint-Venant. Aunque, debido a la complejidad matemática, la integración exacta de estas ecuaciones es imposible. Para aplicaciones prácticas, puede obtenerse una solución de las ecuaciones mediante métodos de paso aproximados o basados en suposiciones simplificadoras.

3.3.1 MÉTODOS NUMÉRICOS PARA LA SOLUCIÓN DEL FLUJO PLANO NO PERMANENTE CON SUPERFICIE LIBRE

Los modelos de tránsito distribuido de crecientes permiten estimar los caudales o niveles de agua. Estos modelos se basan en las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales de Saint-Venant para flujo unidimensional, las cuales permiten el cálculo del caudal y del nivel de agua como funciones de espacio y del tiempo.

Los modelos existentes se dividen en dos tipos en función de si resuelven las ecuaciones de Saint Venant completas o si realizan alguna simplificación. (CHOW, 1994)

3.3.2 ESQUEMAS DE RESOLUCIÓN PARA LAS ECUACIONES COMPLETAS DE SAINT VENANT

MÉTODO DE LAS CARACTERÍSTICAS

Puede servir para canales prismáticos, pero su aplicación para canales no prismáticos y de geometría irregular es de una enorme complejidad y resultados poco fiables, por lo que no son adecuados, ni han sido utilizados, para cauces fluviales.

MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Este método da óptimos resultados para ecuaciones elípticas o parabólicas, mientras que las ecuaciones de Saint Venant forman un sistema hiperbólico, esto hace que el método de los elementos finitos requiera mucha complejidad y mucho tiempo de cálculo para llegar a unos resultados que no mejoran considerablemente con los obtenidos mediante las diferencias finitas.

Todos los esquemas de solución de las ecuaciones completas de Saint-Venant presentados tienen problemas de estabilidad cuando el flujo es rápidamente variado.

DIFERENCIAS FINITAS IMPLÍCITAS

Maneja esquemas Explícitos y esquemas Implícitos. En general los esquemas implícitos son más eficientes computacionalmente que los explícitos, aunque pierde esta virtud cuando se modela el flujo en régimen rápidamente variable (por ejemplo: rotura de presa, cascadas) ya que entonces el paso de tiempo de cálculo debe reducirse hasta valores similares a los de los esquemas explícitos para ser capaces de representar discontinuidades.

Los esquemas implícitos utilizan aproximaciones de diferencias finitas tanto para derivada temporal como derivada espacial.

Esquema implícito destacado:

- Esquema implícito ponderado de cuatro puntos.

La mayoría de modelos comerciales que se usan en la actualidad resuelven el esquema implícito con este método. Algunos de estos modelos son el HEC-RAS.

MÉTODO NUMÉRICO DEL MODELO HEC-RAS

El modelo numérico incluido en el programa permite realizar análisis del flujo permanente y no permanente unidimensional gradualmente variado en superficie libre.

Entre sus principales características técnicas se destaca:

- Realiza el cálculo hidráulico de estructuras (puentes, aliviaderos, alcantarillas, etc.).
- Permite la visualización gráfica de datos y resultados.
- Permite la edición gráfica de secciones transversales.

La aplicación del modelo HEC-RAS es la modelación hidráulica en régimen permanente y no permanente de cauces abiertos, ríos y canales artificiales.

HEC-RAS permite la simulación del flujo en régimen crítico y subcrítico en la misma situación. Para ello utiliza el método LPI (Local Partial Inertia), que añade un término a las ecuaciones para reducir los términos de inercia cuando el número de Froude se acerca a 1 y por tanto habrá un cambio de régimen y una posible discontinuidad. Este método hace posible que el modelo no se vuelva inestable ante una discontinuidad del flujo a costa de una pérdida de precisión de resultados donde ésta se produzca.

3.3.3 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA HEC-RAS 4.0

Para la modelación de los diferentes escenarios planteados se maneja el programa HEC-RAS 4.0 (U.S. Army Corps. of Engineers Rivers analysis system, 2008), desarrollado por la Hidrologic Engineering Center.

El programa HEC-RAS trabaja con dos tres módulos básicos que definen en su conjunto al proyecto de simulación hidráulica del cauce.

MÓDULO DE LA GEOMETRÍA DE DATOS

Ingreso de los datos necesarios de la geometría, la cual, consiste en el ingreso de las características del tramo por medio de las secciones transversales y estructuras de paso.

MÓDULO DE CONDICIONES DE TRAMO

Ingreso del tipo de flujo (flujo permanente, flujo no permanente) y las condiciones de borde requeridas aguas arriba y aguas abajo del tramo. Si el análisis de flujo a desarrollarse es subcrítico, solo se requiere condición de borde aguas abajo; si el análisis de flujo a desarrollarse es supercrítico, solo requiere la condición aguas arriba; si el análisis de flujo a desarrollarse es mixto, entonces, se requiere las condiciones de borde aguas arriba y aguas abajo del tramo.

MÓDULO DE CONTROL

Para el inicio del cálculo del desarrollo hidráulico, se requiere el ingreso de las fechas de inicio y culminación para la simulación, los intervalos de tiempo en función del hidrograma de entrada, el cual, es necesario que sea igual o menor al intervalo del hidrograma de entrada. Además, seleccionar el análisis de flujo a desarrollar para la simulación.

Después de definir los módulos de manera completa, se puede revisar los resultados arrojados por el programa HEC-RAS. Es decir, los resultados se muestran de varias formas, tales como: gráfico de las secciones transversales, gráfica del perfil del tramo, curvas de descarga, gráfica de la perspectiva del

cauce en X-Y-Z, hidrograma de salida y, tablas de características del cauce en cada sección transversal (velocidad, caudal, niveles de agua, N^o de Froude, nivel de energía, etc.).

3.3.4 INFORMACIÓN REQUERIDA POR EL PROGRAMA HEC-RAS PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN

El modelo de simulación HEC-RAS requiere de información, la cual, está dividida en los siguientes grupos:

- Información de la geometría del tramo.
- Información de las estructuras de paso.
- Información de las condiciones de borde.

INFORMACIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL TRAMO

La información que solicita HEC-RAS para la simulación es:

- Secciones transversales (forma, longitud hasta la sección siguiente, coeficiente de Manning, ubicación de los bordes de la sección, coeficiente de contracción y expansión).
- Estructuras de paso (longitud, cota de cierre del cauce, tipo de estructura, coeficiente de contracción y expansión).
- Condiciones de borde (hidrograma de crecida, curva de nivel, curva de descarga, pendiente normal, hidrograma de ingreso lateral, control de nivel de abertura).

PROCESO DEL HEC-RAS PARA EL TRAMO HIDRÁULICO

El proceso hidráulico se realiza para el tramo 3, cuyas coordenadas de inicio es en el sector de El Recreo localizado al sur de Quito, el cual será considerado como sección aguas arriba del cauce. La sección final se encuentra en la coordenada (499746.39, 9974296.58) del sector de El Trébol, dicha sección será considerada como aguas abajo del cauce.

Para el análisis consta con la cartografía escala 1:1.000 del tramo.

El primer paso es obtener las secciones de corte del cauce, para ello se asumirá una distancia confiable, la cual, nos garantice una representación admisible de la forma del río en el tramo escogido, que a su vez nos garantice una fiabilidad en la obtención de los resultados de cada uno de los escenarios propuestos. La distancia seleccionada entre secciones transversales es de 50 m, esta distancia se maneja en la mayoría de secciones, aunque si se existe una obra hidráulica se tomara dicha distancia entre las secciones. El cauce no se encuentra en línea recta, por lo cual, existe dos tipos de distancia entre secciones transversales: distancia de los Banks (distancia entre los extremos de las secciones), distancia del talweg (distancia del centro del cauce o distancia principal del cauce). Dichas secciones tienen sus extremos hasta la altura ingresada, es decir, cada sección del cauce será analizada teniendo como limite el borde la vía.

Ya ingresada las secciones transversales de todo el tramo, las cuales, deben ser ingresadas de aguas arriba hacia aguas abajo y con ello evitar inconvenientes al momento de realizar la modelación.

3.3.5 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE REPRESENTATIVO DE RUGOSIDAD “n”

Uno de los parámetros de gran trascendencia en el proceso hidráulico es el coeficiente de Manning o rugosidad, que es la representación de las características físicas de los bordes y del fondo del cauce. Cada sección solicita el número de Manning. Para su aplicación es necesario determinar el valor del coeficiente “n” que depende a su vez, de algunos factores que influyen en el comportamiento del flujo sobre un contorno de material suelto, deformable y que puede ser transportado.

El coeficiente “n” de rugosidad en la sección transversal compuesta e irregular no es constante debido a que en las márgenes laterales de inundación, la cobertura vegetal presenta características muy diferentes a las observadas en el cauce principal. Adicionalmente este coeficiente de rugosidad depende también de la profundidad de flujo, por lo que no es justificable mantener un valor fijo de “n” para

todas las secciones transversales así como tampoco para toda la gama de caudales. Pero por manejo del programa se utilizara un coeficiente de rugosidad promedio para las márgenes y otro coeficiente de rugosidad promedio para el cauce principal.

Tomando en cuenta las características físicas así como la cobertura vegetal existente en las márgenes de inundación y cauce principal en el tramo analizado, se plantean a continuación los valores de los coeficientes de rugosidad “n” aplicables en la ecuación de Manning.

Según el procedimiento de Cowan y tomando en cuenta los factores primarios que influyen en la determinación del valor del coeficiente de rugosidad “n”, se plantea que su valor será igual a:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5 \quad (3.14)$$

donde los valores de n_i son adoptados de la literatura técnica en base a las características propias observadas en el Cuadro 3.2:

Cuadro 3.2 Aspectos considerados para determinar el coeficiente “n”

Factor n_i	Efecto considerado
n_0	Uniformidad del material que conforma el cauce
n_1	Grado de irregularidad de la superficie de la sección
n_2	Variaciones en forma y tamaño de la sección transversal
n_3	Presencia de obstrucciones
n_4	Presencia de cobertura vegetal en el cauce
m_5	Grado de meandro del tramo

Fuente: Chow, Ven Te. 1994. *Hidrología Aplicada*. s.l. : McGRAW-HILL, 1994.

En el Cuadro 3.3, se presenta la definición de la rugosidad “n” aplicable en el tramo considerado bajo condiciones normales del flujo dentro del cauce principal y bajo condiciones de crecida, cuando la sección se amplía a las llanuras de inundación.

Cuadro 3.3 Valor del coeficiente “n” en el cauce del río Machángara

Factor n_i	Efecto considerado	Calificación	Valor adoptado
n_0	Material natural en canal uniforme	Bloques con tamaño variable comprendido entre 0.50 m a 0.20 m asentados sobre material granular más fino como grava o arena	0.025
n_1	Irregularidades de la superficie	Moderado	0.010
n_2	Variaciones en forma y tamaño de la sección transversal	Variación gradual de los cambios de sección transversal	0.004
n_3	Presencia de obstrucciones	Efecto relativo apreciable de las obstrucciones presentes en el tramo.	0.020
n_4	Vegetación presente	Existe vegetación baja en el cauce principal.	0.015
m_5	Grado de meandros	Apreciable, la longitud del meandro es 1.2 a 1,5 veces la longitud recta del tramo del cauce	1.0

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: U.S. Army Corps of engineers

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5 = 0,075 \quad (3.15)$$

“n” márgenes = 0.07

“n” cauce principal = 0.075

3.3.6 GENERACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE PERDIDA DE ENERGÍA

Los coeficientes de contracción y expansión son usados para determinar las pérdidas de energía asociadas con los cambios de geometría del canal. Al atravesar el flujo por una estructura de paso se cambia la geometría de la sección. Estos cambios originan pérdidas de energía. A la entrada de la estructura se produce una pérdida por efecto de la contracción que sufre la vena líquida. A la salida de la estructura se produce pérdidas por expansión de la vena líquida.

Estas pérdidas son computarizadas para multiplicar los coeficientes de contracción o expansión por la diferencia absoluta en carga de velocidad entre dos secciones de corte. Si la carga de velocidad incrementa en la dirección aguas abajo, un coeficiente de contracción es aplicado. Cuando la carga de velocidad decrece en la dirección aguas abajo, un coeficiente de expansión es usado.

$$h_{ce} = K \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right| \quad (3.16)$$

Donde: K= Coeficiente de Contracción o Expansión.

La expansión del flujo genera más pérdidas de energía que la contracción. También, la pérdida de energía incrementa con la transición abrupta. Para una estructura de paso con un flujo de transición abrupta, los coeficientes de contracción y expansión deberían ser incrementados por una cantidad de pérdida adicional de energía.

Asumiendo transiciones graduales a lo largo del río Machángara en el tramo El Recreo hasta El Trébol, los coeficientes de contracción y expansión son comúnmente del orden de 0.1 y 0.3 respectivamente. Los coeficientes de contracción y expansión alrededor de una estructura de paso pueden ser más altos como de 0.6 y 0.8 respectivamente, en la cual se puede apreciar una transición abrupta.

Los coeficientes de contracción y expansión empíricos deben ser más bajos cuando el flujo es supercrítico. Ya que en flujo supercrítico la carga de velocidad es más grande

3.3.7 CONDICIONES DE BORDE DEL PROGRAMA HEC-RAS

Para realizar la simulación en el tramo con el flujo uniformemente variado, se debe ingresar las condiciones de borde, tanto en la sección más alta aguas arriba como la sección última aguas abajo. No todas las condiciones de borde son aceptables tanto para aguas arriba como aguas abajo. Por ello el programa HEC-RAS permite las siguientes condiciones de borde dadas en el Cuadro 3.4.

Cuadro 3.4 Condiciones de Borde en el proceso hidráulico

AGUAS ARRIBA	AGUAS ABAJO
Hidrograma de Crecida	Hidrograma de Crecida
Hidrograma de desnivel	Hidrograma de desnivel
-	Curva de descarga
-	Calado Normal

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: U.S. Army Corps of engineers

En el análisis, la condición de borde en la sección aguas arriba asumida es el Hidrograma de Crecida, calculado con los diferentes escenarios propuestos, los cuales fueron obtenidos en el programa HEC-HMS. Esta condición de borde fue seleccionada ya que forma parte del proceso hidrológico previamente desarrollado. El hidrograma de crecida introducido en la condición de borde aguas arriba representa al hidrograma de las subcuencas que conforman la cuenca alta. Con ello, se enlaza el proceso hidrológico (hidrograma de crecida) con el proceso hidráulico (laminación del hidrograma de crecida- mapa de inundaciones del tramo). Y se cumple el proceso del tramo 3, para la cuenca media.

La condición de borde seleccionada para la sección aguas abajo es el calado normal, esta condición de borde utiliza la ecuación de Manning estimada a una elevación que será el calado normal, si existe la condición de flujo uniforme. Porque la condición de flujo uniforme no existe normalmente en un tramo natural, esta condición de borde ser usada en un lugar suficientemente alejado de aguas abajo desde su área de estudio, para que no afecte el resultado en el área de estudio. Usar este método requiere que se ingrese la pendiente de fricción, la pendiente de la superficie del agua es a menudo muy buena estimación para usar como pendiente de fricción. La pendiente de fricción ingresada como condición de borde de cada uno de los escenarios fue asumida la pendiente más baja de la zona del trébol. Este valor es igual a **0.015**.

Para realizar la modelación de cada escenario ya conformado, se tiene una opción extra para mantener estable es desarrollo de la modelación, esta opción de conoce como Flujo de Régimen Mixto, el cual permite manejar los saltos hidráulicos, los cambios de régimen de supercrítico a subcrítico y el paso del flujo a través del calado crítico.

CAPITULO 4

DEFINICIÓN DE ESCENARIOS PARA LA MODELACIÓN

Las variables que permiten generar situaciones de análisis y comparación se conocen como escenarios, los cuales constituyen una luz indispensable para orientar las conclusiones y recomendaciones en función de la coherencia de los resultados. Con estos escenarios se busca crear una realidad virtual de la cuenca del Río Machángara en función de parámetros propuestos para llevar de una situación de actual a una situación futura o de una situación real a una situación ficticia, utilizando la ayuda para cada una las simulaciones los programas HEC-HMS 3.1 y HEC-RAS 4.0. Cada escenario planteado lleva consigo las situaciones más importantes que cualquier investigador plantearía al momento de analizar la cuenca del Río Machángara al momento de realizar cualquier proyecto.

Se consideraron tres factores importantes para la generación de los diferentes escenarios a modelar de la cuenca del Río Machángara:

Condición 1:

La intensidad de lluvia con períodos de retorno de 50, 100 y 200 años.

Condición 2:

El cambio en el uso del suelo:

- situación natural (sin área urbana),
- situación actual
- situación futura (año 2050).

Condición 3:

- Estructuras de paso en el río Machángara, en el tramo de El Recreo-El Trébol como embaulados o túneles
- Cauce sin obras de paso.

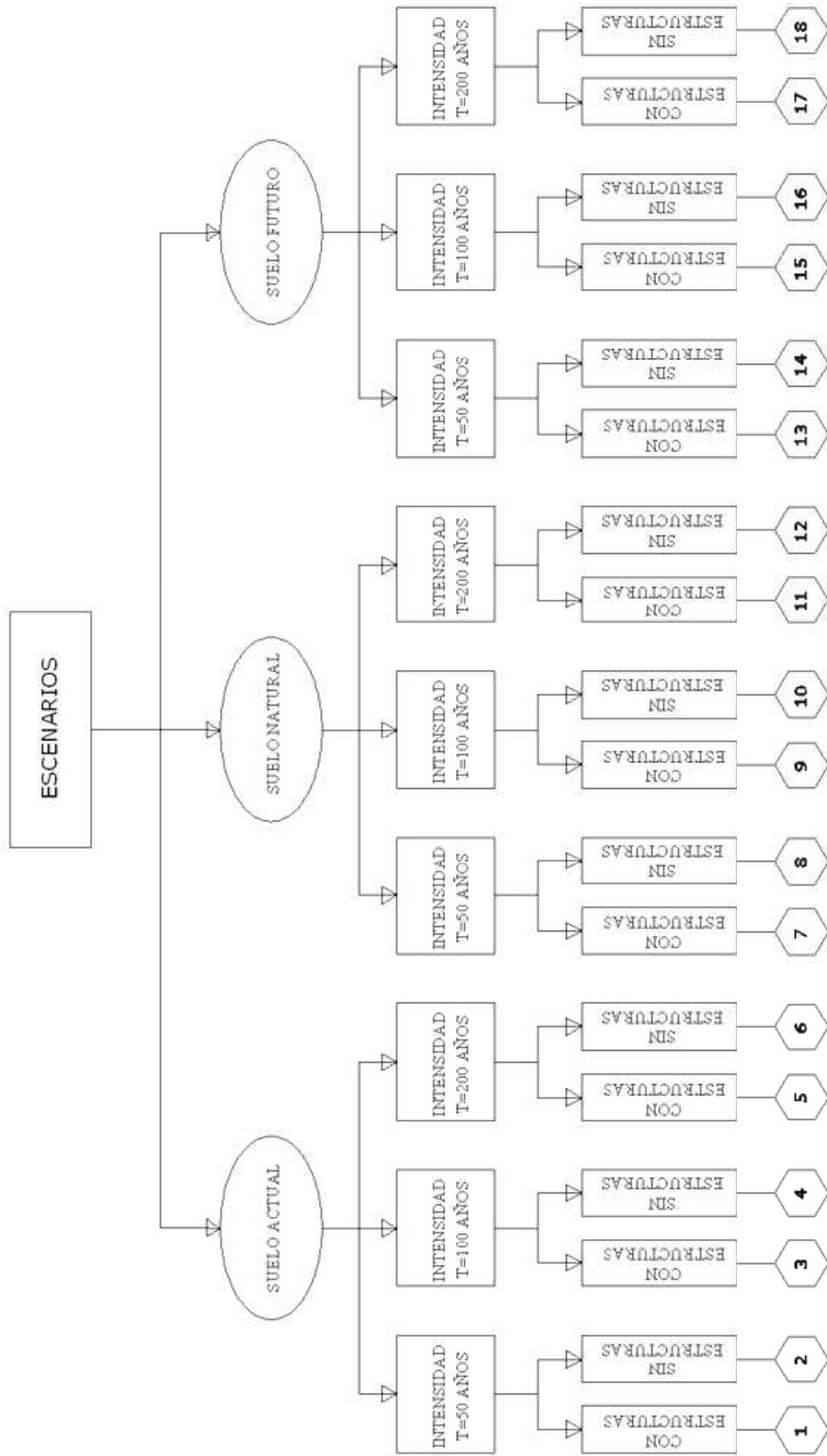
Las tres condiciones inciden en el incremento de la amenaza por inundación de las áreas pobladas, localizadas en las riberas del río Machángara, a lo largo del tramo El Recreo- El Trébol.

Para desarrollar de una manera organizada cada uno de los escenarios planteados en base a las tres condiciones que gira el proyecto, se planteó un esquema grafico, en la cual se organizó en el mismo orden de la numeración de las condiciones, es decir, primero el uso del suelo en sus tres situaciones: Uso del Suelo Actual, Uso del Suelo Natural, Uso del Suelo Futuro a 50 años. La intensidad de lluvia en función a los períodos de retorno de 50 años, 100 años y, 200 años. Para el proceso hidráulico la presencia de obras de paso a lo largo del tramo B y el cauce natural.

En la Figura N° 4.1, se sintetiza la agrupación de cada una de las condiciones, para la formación de los escenarios planteados. Además dichos escenarios son la base para la generación de los hidrogramas de crecida y mapas de amenaza de inundación en el tramo El Recreo-El Trébol.

Cada escenario lleva consigo sus particulares propias de la situación en la que se encontraría la cuenca del Río Machángara debido a la acción de la naturaleza y por la intervención del hombre.

Figura 4.1 Diagrama de escenarios



4.1 ESCENARIO 1

Tomando en consideración el área urbana existente en la cuenca del río Machángara, el uso del suelo es representado con las condiciones actuales, el cual influye en el drenaje de cada una de las subcuencas que conforman la cuenca alta, media y baja. Para el proceso hidrológico, la intensidad de lluvia será manejada con un período de retorno de 50 años. Mientras, el proceso hidráulico para el tramo 3 dentro de la cuenca media se simulará el cauce con las presencia de las estructuras de paso a lo largo del tramo El Recreo - El Trébol.

En el territorio actual se manifiestan tres principales procesos de crecimiento que son correspondientes con las tres principales estructuras geográficas: compacto en la ciudad central, disperso en los valles suburbanos y aislado en las áreas rurales. Estos procesos son correspondientes a su vez con las características físicas, la clasificación del suelo, los procesos de movilidad demográfica, las presiones del mercado del suelo y el deterioro de condiciones de habitabilidad de la ciudad central. Se puede observar un crecimiento urbano no planificado, especialmente en las laderas del Pichincha, lo que se espera que se refleje en el análisis del modelo.

4.2 ESCENARIO 2

Para el escenario 2 se toma las condiciones del escenario 1, tales como, la situación actual del suelo, el periodo de retorno de 50 años para la intensidad de lluvia y el cauce sin la presencia de estructuras de paso para la modelación hidráulica.

4.3 ESCENARIO 3

Se maneja un suelo con las condiciones actuales, es decir, considerando el desarrollo del área urbana dentro de las subcuencas. La intensidad de lluvia aplicada es considerada con un período de retorno de 100 años. Con lo cual, modelamos hidrológicamente la cuenca alta, media y baja.

Para la simulación hidráulica del tramo 3 dentro de la cuenca media, se realizará la modelación considerando las estructuras de paso entre el Recreo y el Trébol.

4.4 ESCENARIO 4

Para el escenario 4 se maneja la situación actual del suelo en cada una de las subcuencas. La intensidad de lluvia aplicada es considerada con un período de retorno de 100 años. Con ello, se realiza las modelaciones hidrológicas para la cuenca alta, media y baja. Mientras para la modelación hidráulica del tramo 3 no se considera las estructuras de paso.

4.5 ESCENARIO 5

Se maneja un suelo con las condiciones actuales, es decir, considerando el desarrollo del área urbana dentro de las subcuencas. La intensidad de lluvia aplicada es considerada con un período de retorno de 200 años. Con lo cual, modelamos hidrológicamente la cuenca alta, media y baja.

Para la simulación hidráulica del tramo 3 dentro de la cuenca media, se realizará la modelación considerando las estructuras de paso entre el Recreo y el Trébol.

4.6 ESCENARIO 6

Para el escenario 6 se maneja la situación actual del suelo en cada una de las subcuencas. La intensidad de lluvia aplicada es considerada con un período de retorno de 200 años. Con ello, se realiza las modelaciones hidrológicas para la cuenca alta, media y baja. Mientras para la modelación hidráulica del tramo 3 no se considera las estructuras de paso.

4.7 ESCENARIO 7

Para el escenario 7 se maneja la situación natural del suelo en cada una de las subcuencas. La intensidad de lluvia aplicada es considerada con un período de retorno de 50 años. Con ello, se realiza las modelaciones hidrológicas para la cuenca alta, media y baja. Mientras para la modelación hidráulica del tramo 3 se considera las estructuras de paso.

4.8 ESCENARIO 8

Para el escenario 8 se maneja la situación natural del suelo en cada una de las subcuencas. La intensidad de lluvia aplicada es considerada con un período de retorno de 50 años. Con ello, se realiza las modelaciones hidrológicas para la cuenca alta, media y baja. Mientras para la modelación hidráulica del tramo 3 no se considera las estructuras de paso.

4.9 ESCENARIO 9

Para el escenario 9 se maneja la situación natural del suelo en cada una de las subcuencas. La intensidad de lluvia aplicada es considerada con un período de retorno de 100 años. Con ello, se realiza las modelaciones hidrológicas para la cuenca alta, media y baja. Mientras para la modelación hidráulica del tramo 3 se considera las estructuras de paso.

4.10 ESCENARIO 10

Para el escenario 10 se maneja la situación natural del suelo en cada una de las subcuencas. La intensidad de lluvia aplicada es considerada con un período de retorno de 100 años. Con ello, se realiza las modelaciones hidrológicas para la cuenca alta, media y baja. Mientras para la modelación hidráulica del tramo 3 no se considera las estructuras de paso.

4.11 ESCENARIO 11

El escenario 11 se maneja la situación natural del suelo en cada una de las subcuencas. La intensidad de lluvia aplicada es considerada con un período de retorno de 200 años. Con ello, se realiza las modelaciones hidrológicas para la cuenca alta, media y baja. Mientras para la modelación hidráulica del tramo 3 se considera las estructuras de paso a lo largo del cauce.

4.12 ESCENARIO 12

Para el escenario 12 se maneja la situación natural del suelo en cada una de las subcuencas. La intensidad de lluvia aplicada es considerada con un período de retorno de 200 años. Con ello, se realiza las modelaciones hidrológicas para la cuenca alta, media y baja. Mientras para la modelación hidráulica del tramo 3 no se considera las estructuras de paso a lo largo del cauce.

4.13 ESCENARIOS 13-14-15-16-17-18:

En vista de los cambios que se manifiestan por el crecimiento urbano y los planes de desarrollo territorial generados por el Distrito Metropolitano de Quito (D.M.Q.) en el Plan General de Desarrollo Territorial (P.G.D.T.- 2006) se estima que dentro de 50 años el uso del suelo tendrá un crecimiento del área urbana de forma vertical en el centro y un desarrollo horizontal en la periferia (Valles de Los Chillos y Tumbáco), con lo cual, este crecimiento urbano no afecta dentro de la cuenca del río Machángara, ya que el desarrollo se encontrara fuera del área de drenaje, y por tanto, del área de modelación. Es decir, los escenarios del uso del suelo futuro (50 años) serán iguales a los escenarios que manejan la situación del suelo actual.

CAPITULO 5

CALIBRACIÓN-VERIFICACIÓN DEL MODELO Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

La calibración o estimación de parámetros y la validación se basan en registros históricos de precipitaciones y caudales. Estos registros son escasos en la mayoría de las cuencas, así que no se puede hacer mucho juego con las posibilidades. Si se cuenta sólo con registros de caudales máximos para distintos períodos de retorno por ejemplo, entonces uno debe ser usado en la calibración. En la medida en que el valor calibrado sea más preciso mayor es la confianza de los resultados para los demás escenarios.

5.1 CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN CUALITATIVA DE MODELOS HIDROLÓGICOS

Para la calibración del modelo, se usaron los datos de caudales máximos incluidos en el **Informe Preliminar de Prefactibilidad – Área de Hidrología – Proyecto Traslase del río Machángara. EPN 1986**. Del cual se toma el caudal máximo a un período de retorno de 50 años. Dentro de la calibración se debe asegurar que cada uno de los parámetros a usar no muestre un cambio de las condiciones propias de la cuenca.

Para iniciar el proceso de calibración se debe escoger el parámetro que permita ser usado para reducir el factor de error de entre el caudal máximo de referencia y el caudal máximo simulado con el programa HEC-HMS. La variable que se manejarán para el proceso de calibración es:

- Abstracción Inicial (I_a)

La abstracción inicial se fundamenta en función del Número de Curva (CN), en base a la ec. 5.1 y ec 5.2

$$S = \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right) \quad (\text{ec 5.1})$$

$$Ia = 0,2 S \quad (\text{ec 5.2})$$

Donde:

CN: Número de Curva

S: Retención potencial máxima (mm)

Ia: Abstracción inicial (mm)

Este parámetro y manteniendo las demás características intactas en cada una de las subcuencas se inicia la calibración es busca de generar el hidrograma de crecida con más similitud al valor incluido como referencial en un período de recurrencia de 50 años.

5.1.1 CALIBRACIÓN N°1

Para realizar la primera prueba de calibración se ingresa en la sección de pérdidas dentro del programa HEC-HMS los valores para la abstracción inicial o pérdida inicial de las subcuencas hasta el punto B, dejando en blanco, ya que permite al programa hacer el cálculo automático de la abstracción inicial considerando igual "0,2 S".

Al realizar la simulación para las subcuencas que integran área de drenaje necesario para generar el hidrograma de crecida, se logro generar un hidrograma cuyo caudal máximo es de 290,3 m³/s, el cual, al compararlo con el caudal de referencia de 260.2 m³/s se puede deducir un error del 10,4 %, que no es asumido como aceptable para continuar con el proceso de generación de resultados, por ende, la calibración N°1 es fallida.

5.1.2 CALIBRACIÓN N° 2

Para realizar la prueba de calibración N° 2 se cambió en la sección de pérdidas del programa HEC-HMS el parámetro de la Abstracción Inicial en función del Número de Curva (CN). En cuadro Cuadro 5.1 nos muestra los valores de la

abstracción en función del CN para las subcuencas que integradas descargan en el punto B.

Cuadro 5.1 Datos Usados para Calibración N° 2.

SUBCUENCAS	CN	S (mm)	la (mm)
Qda. Caupicho	89	31.8	6.4
Qda. Ortega	82	54.6	10.9
Río Grande	78	73.1	14.6
Qda. Caupicho A.J. Río Grande	90	28.2	5.6
Río Machángara desde Qda. Clemencia	87	38.8	7.8
Río Machángara desde el Trébol	84	48.8	9.8

Elaboración: Alexis Aguilar

Al realizar la corrida del programa con estos valores tanto en la abstracción inicial de la sección de pérdidas del programa HEC-HMS en cada una de las subcuencas, se logro obtener un caudal máximo simulado de 264,0 m³/s en el punto B. Caudal que al ser comparado con el caudal de comparación genera un error del 1,5%, bastante satisfactorio a lo esperado y con la seguridad de que los escenarios a modelar tendrán unos resultados confiables.

A continuación, en el Cuadro 5.2 se hace un resumen de los resultados encontrados en los procesos de calibración con los estados de abstracción inicial usados.

Cuadro 5.2 Resultados de la Calibración:

Calibración No.	Qteórico	Qsimulado	Error
	m ³ /s	m ³ /s	%
1	260.2	287.6	9.5
2	260.2	264.0	1.5

Elaboración: Alexis Aguilar

La verificación de los resultados del modelo después del proceso de calibración se hace directamente con la simulación del programa HEC-HMS, al cual se le introduce un registro de precipitación calculado de las intensidades de lluvia a un

período de retorno de 100 y 200 años, el cual nos generará los hidrogramas de crecida respectivos y por consiguiente los caudales máximo simulados. Estos caudales máximos se comparan con los caudales máximos propuestos del estudio de referencia para el mismo evento.

Los caudales simulados para los períodos de recurrencia de 100 y 200 años en el punto de interés, ubicado en el sector del El Trébol, fueron valores superiores a los caudales máximos de la referencia propuesta. Cuyo aumento en la variación de los caudales van desde 4.6% en el período de 100 años y 9,0% en el período de 200 años. Los cuales al realizar una proyección gráfica para un período de recurrencia de 1000 años se obtuvo que la tendencia creciente es aceptable, ya que la variación de ambas tendencias fue de aproximadamente un 20%, el cual se consideraría manejable y aceptable. Permitiendo aceptar que los valores de los caudales máximos para la verificación se encuentran estimados de manera correcta y, que pueden ser usados sus los hidrogramas de crecida de todos los escenarios propuestos en el proceso hidráulico para generar los mapas de inundación en el tramo de El Recreo – El Trébol.

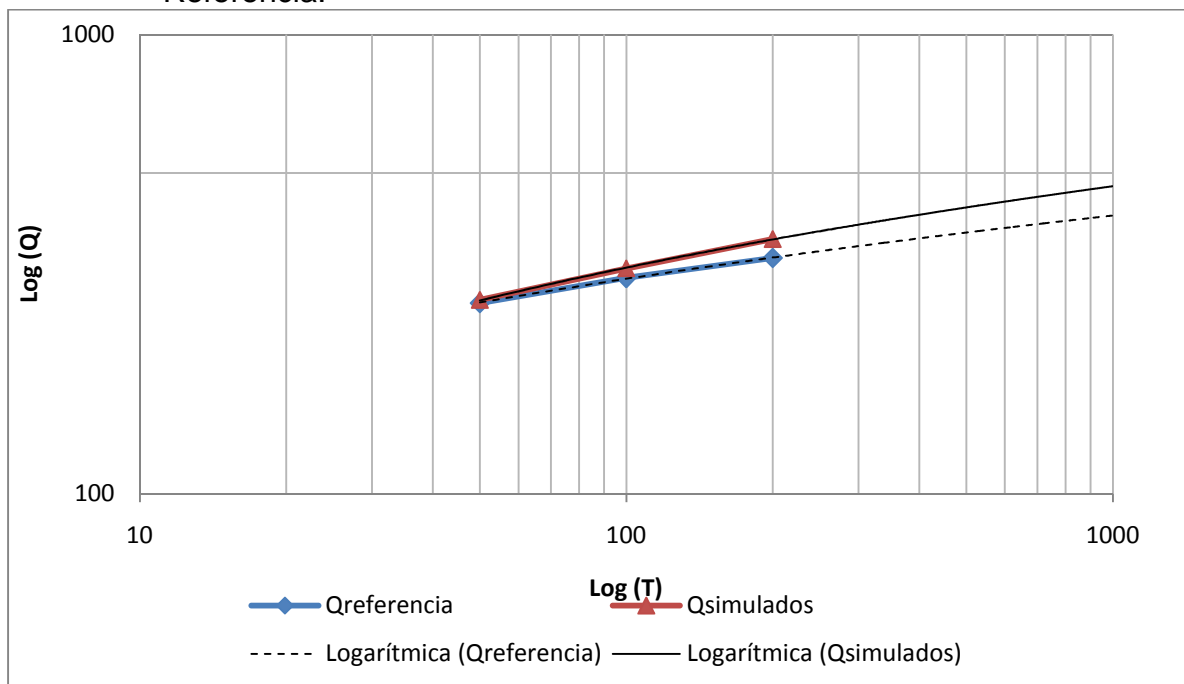
Cuadro 5.3 Verificación de los Resultados

T (años)	Q- referencia (m ³ /s)	Q simulados (m ³ /s)	error %
50	260.2	264.0	1.5
100	295	309.3	4.6
200	326	358.3	9.0

Elaboración: Alexis Aguilar

En el gráfico siguiente se puede visualizar la tendencia de los caudales máximos simulados y caudales máximos referenciales para los períodos de recurrencia de 100 y 200 años, que se encuentra extendida hasta un período de recurrencia de 1000 años. El cual indica que la tendencia va aumentando para los valores simulados, pero no existe una diferencia fuera de lo permisible entre los caudales máximos para un período de 1000 años.

Gráfico 5.1 Tendencia de los Caudales Simulados con los Caudales de Referencia.



Elaboración: Alexis Aguilar

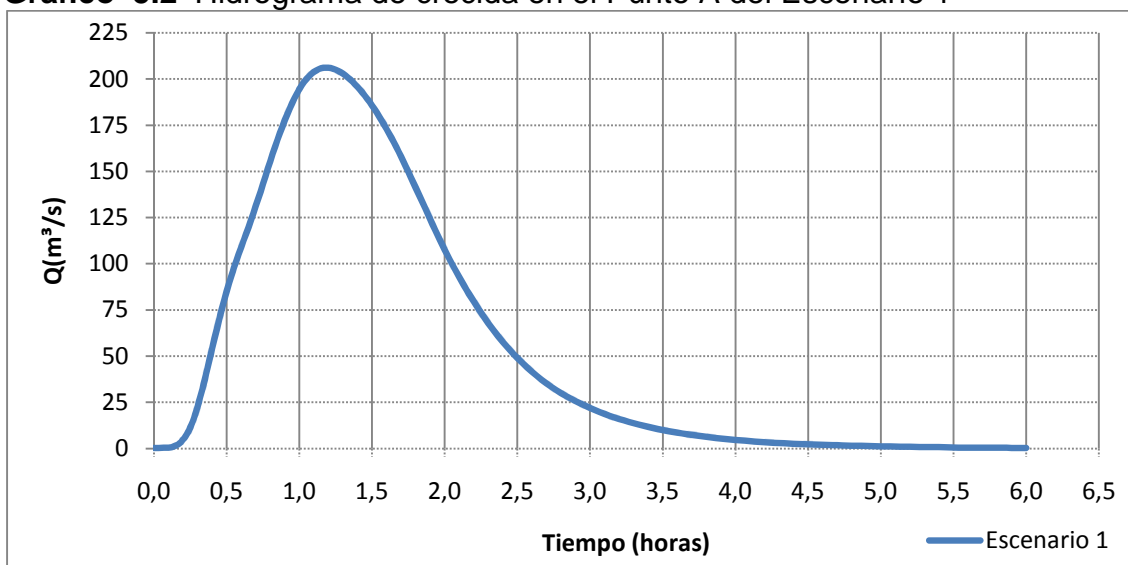
5.2 GENERACIÓN DE CRECIDA SEGÚN ESCENARIOS

Los hidrogramas de Crecida generados para cada escenario son:

- Hidrograma resultante en el Punto A
- Hidrograma laminado en el tramo 3 y el hidrograma total en el punto B.
- Hidrograma resultante en el punto C.

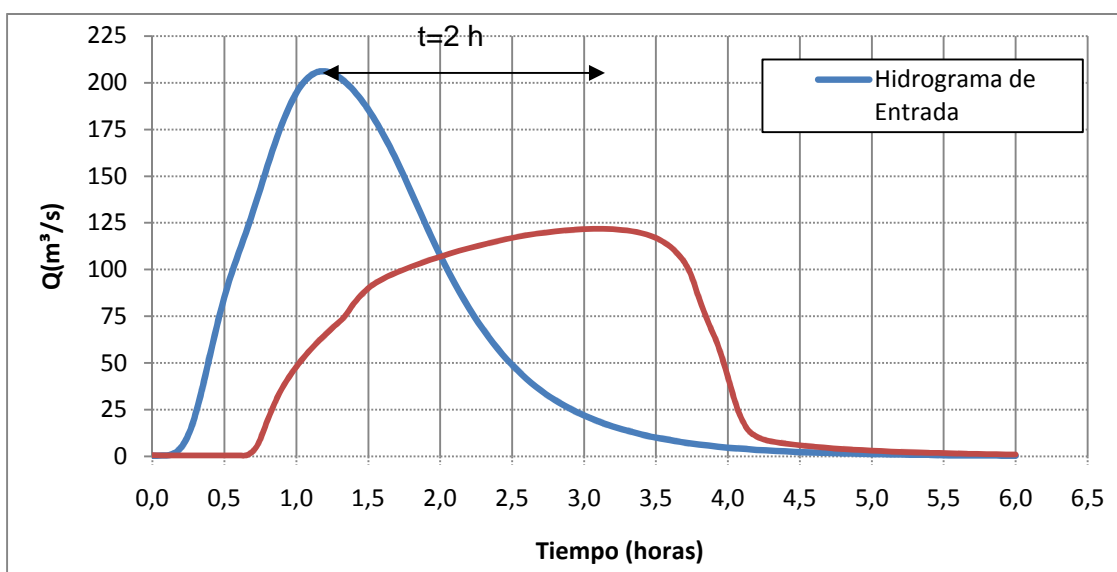
5.2.1 ESCENARIO 1

Para el escenario 1 se generó un hidrograma de crecida correspondientes a la cuenca alta que descarga en el punto A, cuyo caudal máximo es igual a 206,2 m³/s y un volumen de escurrimiento de 1 248,6 x 10³ m³. El tiempo del hidrograma es de 6 horas. El cual será utilizado como hidrograma de entrada en la simulación hidráulica del Tramo 3 en el interior de la cuenca media. (Ver Gráfico 5.2)

Gráfico 5.2 Hidrograma de crecida en el Punto A del Escenario 1

Elaboración: Alexis Aguilar

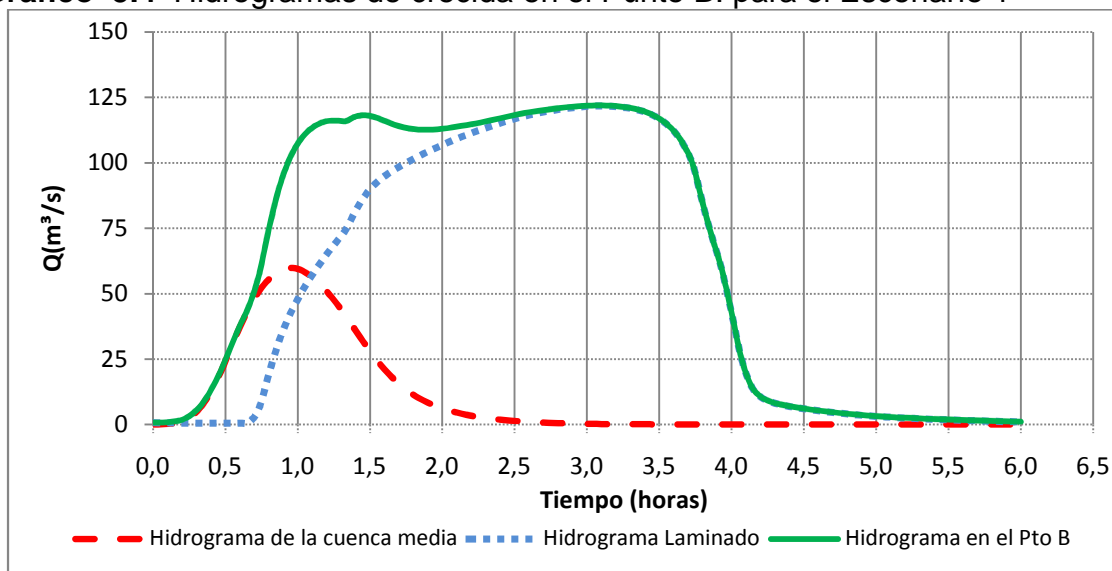
El hidrograma de crecida obtenido por la simulación hidráulica del Tramo 3 a la salida generó un volumen de escurrimiento igual a $1.240,20 \times 10^3 \text{ m}^3$. Que a su vez, representa un volumen laminado de $8,40 \times 10^3 \text{ m}^3$ a lo largo del cauce. La reducción del caudal pico fue de $206,2 \text{ m}^3/\text{s}$ a $121,7 \text{ m}^3/\text{s}$ al pasar el hidrograma por las estructuras existentes en un tiempo de 2 horas. (Ver Gráfico 5.3).

Gráfico 5.3 Hidrogramas de crecida del Tramo 3 para el Escenario 1

Elaboración: Alexis Aguilar

Además del hidrograma de Salida de la simulación Hidráulica debemos sumar el hidrograma de crecida de la cuenca media, el cual, descarga en el punto B y genera un hidrograma total cuyo caudal pico es igual a $122,0 \text{ m}^3/\text{s}$. (Ver Gráfico 5.4).

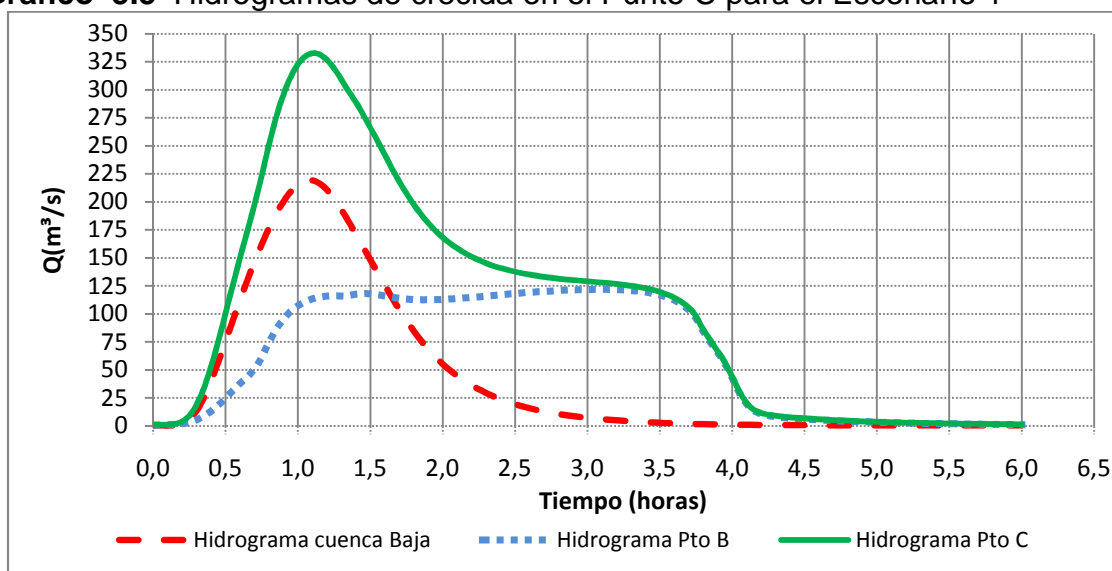
Gráfico 5.4 Hidrogramas de crecida en el Punto B. para el Escenario 1



Elaboración: Alexis Aguilar

El hidrograma de crecida en el punto C tiene un caudal máximo de $332,3 \text{ m}^3/\text{s}$ y un volumen de escurrimiento es igual a $2.467,7 \times 10^3 \text{ m}^3$. Como resultado de sumar el hidrograma de Crecida del Punto B más el hidrograma de la cuenca baja hasta el punto C. (Ver Gráfico 5.5).

Gráfico 5.5 Hidrogramas de crecida en el Punto C para el Escenario 1

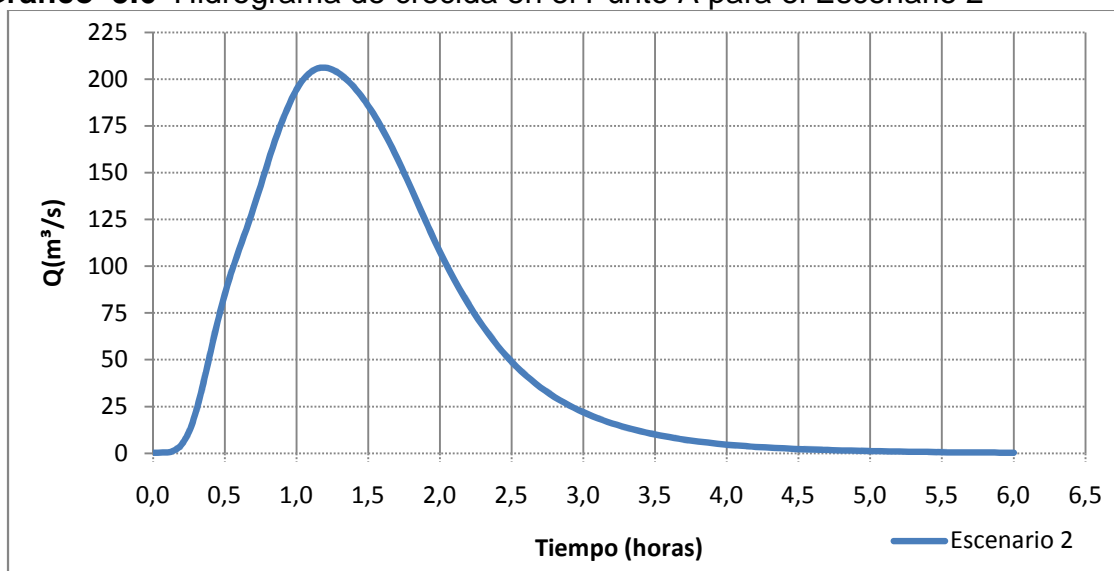


Elaboración: Alexis Aguilar

5.2.2 ESCENARIO 2

En el escenario 2 se obtuvo un hidrograma de crecida en la cuenca Alta cuyo caudal máximo es igual a $206,2 \text{ m}^3/\text{s}$ y un volumen de escurrimiento de $1\,248,60 \times 10^3 \text{ m}^3$. El tiempo del hidrograma es de 6 horas. El cual será utilizado como hidrograma de entrada en la simulación hidráulica del Tramo 3 ubicado dentro de la cuenca Media. (Ver Gráfico 5.6).

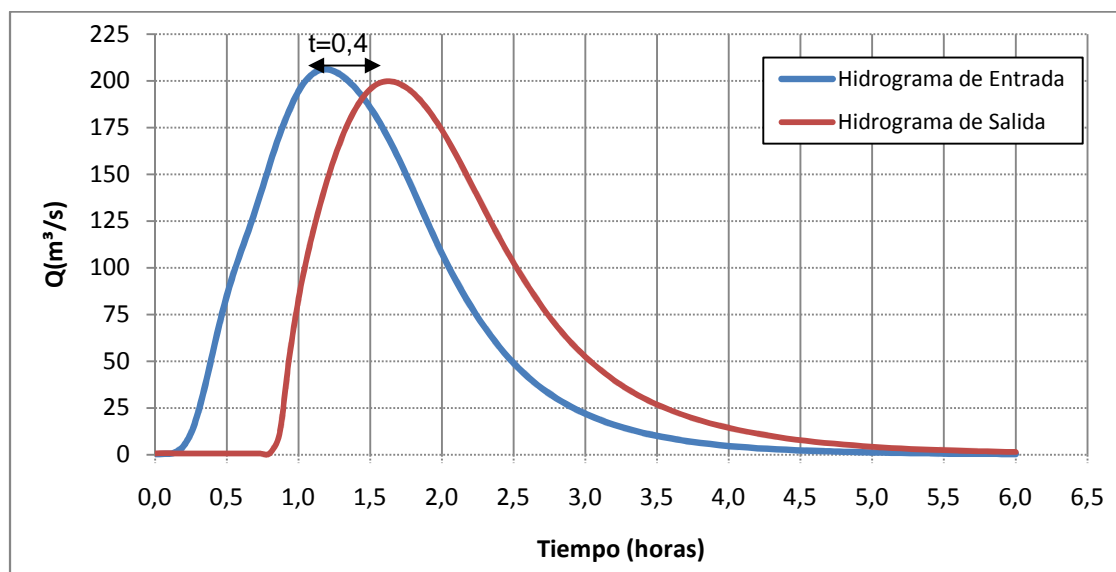
Gráfico 5.6 Hidrograma de crecida en el Punto A para el Escenario 2



Elaboración: Alexis Aguilar

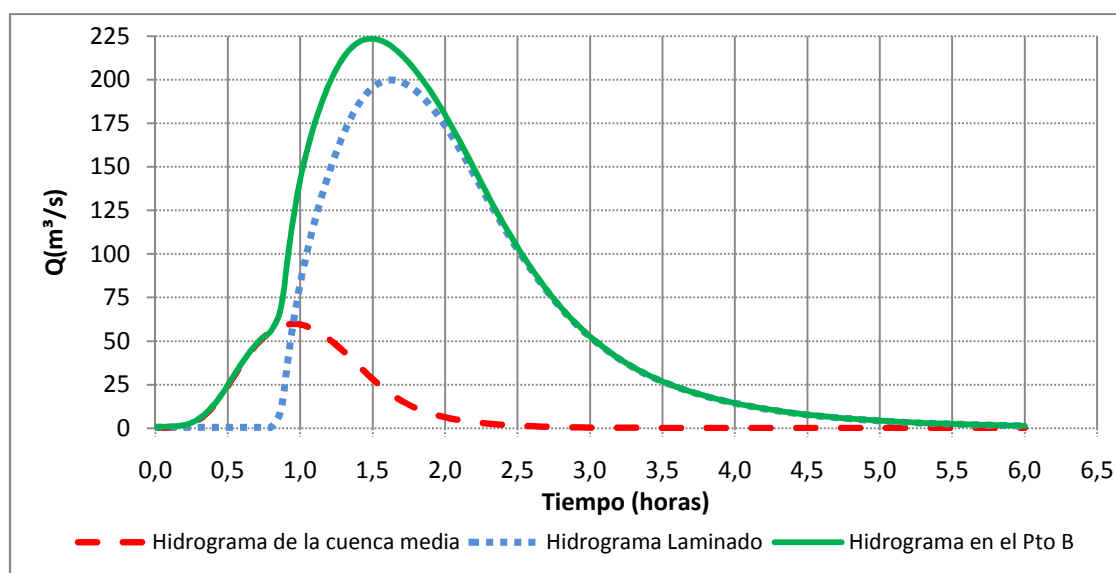
El hidrograma de crecida obtenido por la simulación hidráulica del Tramo 3 a la salida generó un volumen de escurrimiento igual a $1.244,31 \times 10^3 \text{ m}^3$. Que a su vez nos representa un volumen laminado de $4,29 \times 10^3 \text{ m}^3$ a lo largo del cauce entre el Recreo y el Trébol.

El hidrograma de Salida del análisis hidráulico nos mostro una reducción del caudal pico de $206,2 \text{ m}^3/\text{s}$ a $199,6 \text{ m}^3/\text{s}$ al pasar el hidrograma por todas las estructuras existentes en el tramo 3 en un tiempo de 0,4 horas. (Ver Gráfico 5.7).

Gráfico 5.7 Hidrograma de crecida del Tramo 3 para el Escenario 2

Elaboración: Alexis Aguilar

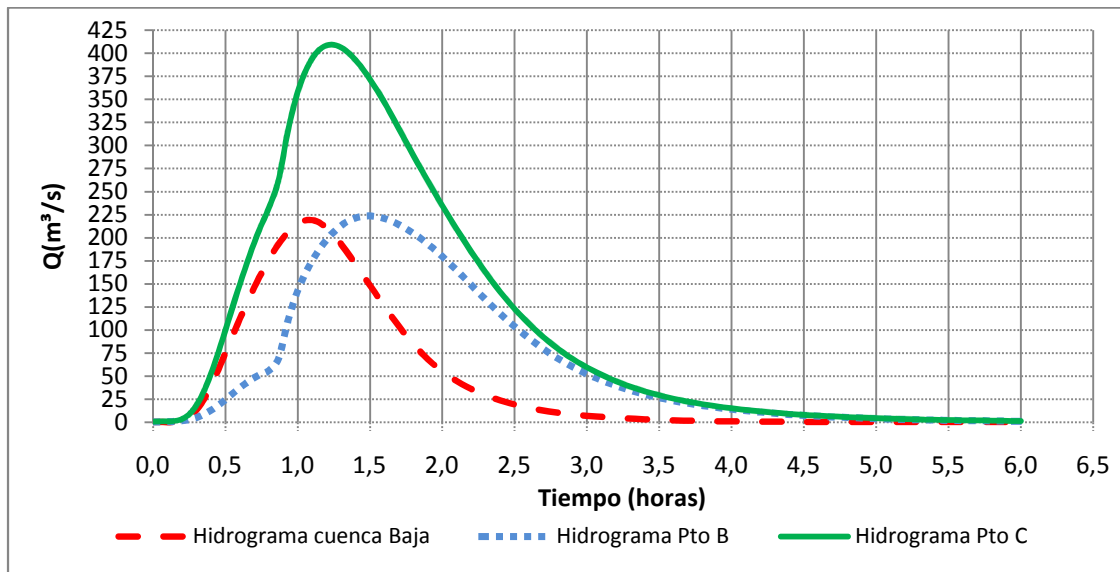
Además del hidrograma laminado obtenido de la simulación hidráulica, se suma el hidrograma de cuenca Media y ambos son sumados generan el hidrograma total en el punto B, cuyo caudal máximo es igual a 223,4 m³/s. (Ver Gráfico 5.8).

Gráfico 5.8 Hidrogramas de crecida en el punto B para el Escenario 2

Elaboración: Alexis Aguilar

El hidrograma de crecida en el punto C tiene un caudal máximo de 408,6 m³/s y un volumen de escurrimiento igual a 2.471,80 x10³ m³, resultado de la suma del caudal en el punto B más el caudal de la cuenca Baja. (Ver Gráfico 5.9).

Gráfico 5.9 Hidrogramas de crecida en el punto C para el Escenario 2

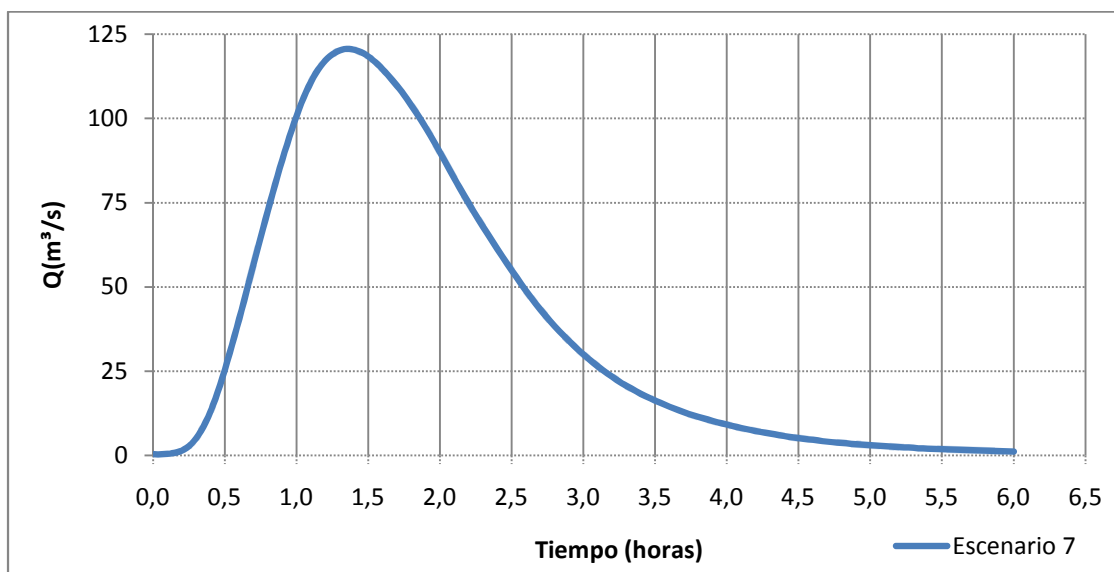


Elaboración: Alexis Aguilar

5.2.3 ESCENARIO 7

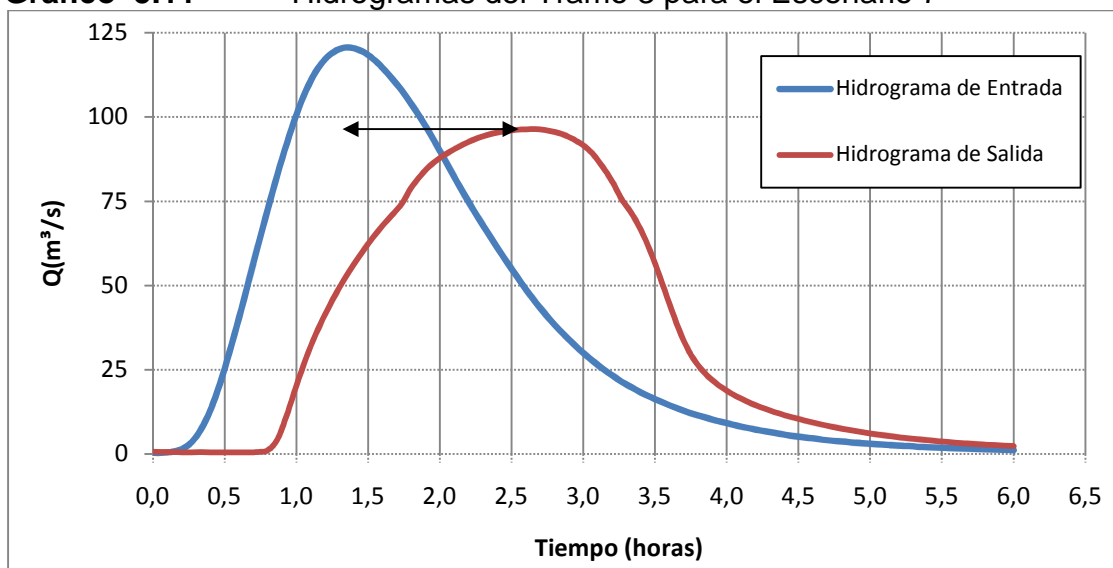
Para el escenario 7 se obtuvo un hidrograma de crecida en la cuenca Alta del río Machángara, cuyo caudal máximo es igual a $120,6 \text{ m}^3/\text{s}$ y su volumen de escurrimiento es $890,9 \times 10^3 \text{ m}^3$. El tiempo del hidrograma es de 6 horas. El cual será utilizado como hidrograma de entrada en la simulación hidráulica del tramo 3 que se encuentra en el interior de la cuenca media del río Machángara.

En el Gráfico 5.10 se muestra el hidrograma obtenido de la cuenca Alta del río Machángara para el escenario 7:

Gráfico 5.10 Hidrograma de crecida en el Punto A para el Escenario 7

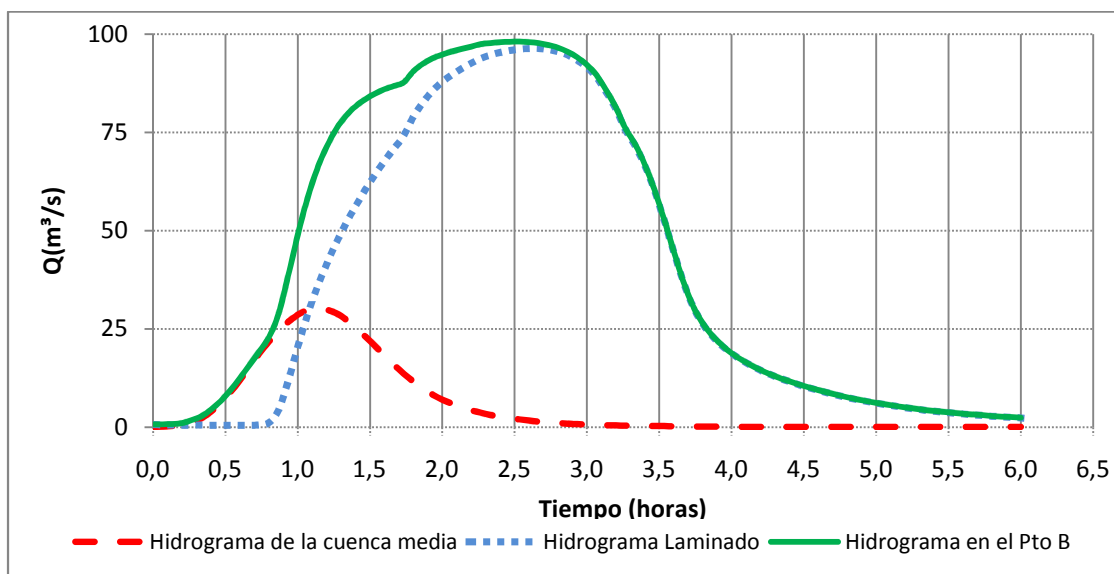
Elaboración: Alexis Aguilar

El hidrograma de crecida obtenido en la simulación hidráulica del tramo 3 obtuvo un volumen de escurrimiento igual a $885,28 \times 10^3 \text{m}^3$, que representa un volumen laminado de $5,79 \times 10^3 \text{m}^3$ a lo largo del cauce del río Machángara. La reducción del caudal pico fue de $120,6 \text{m}^3/\text{s}$ a $96,4 \text{m}^3/\text{s}$ con una duración de 1,33 h. (Ver Gráfico 5.11).

Gráfico 5.11 Hidrogramas del Tramo 3 para el Escenario 7

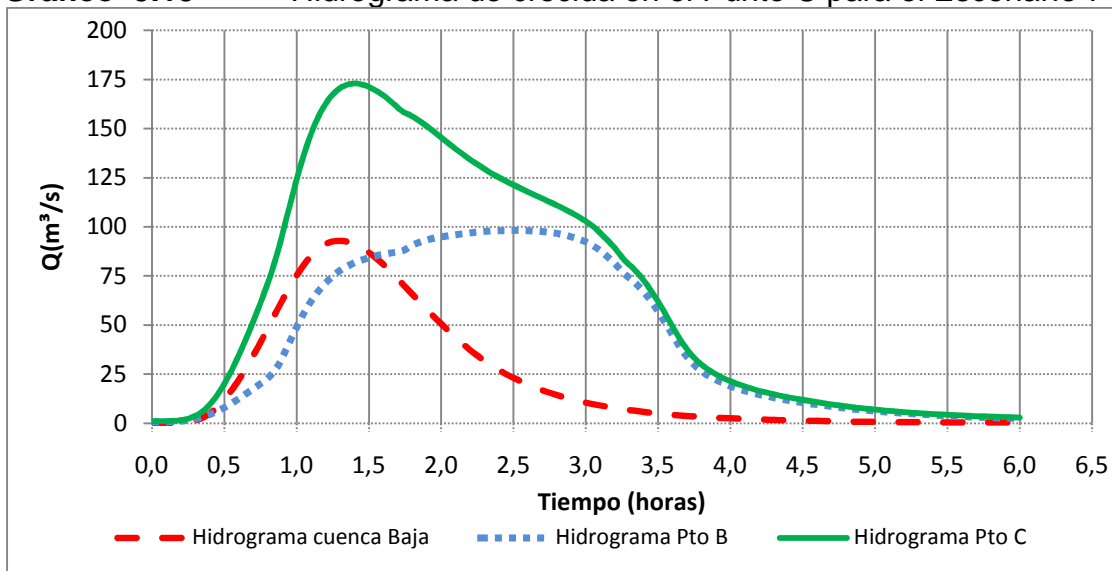
Elaboración: Alexis Aguilar

El hidrograma laminado de la simulación hidráulica se suma al hidrograma de la cuenca Media en el punto B y se obtiene el hidrograma total. El hidrograma total en el punto B tiene caudal pico de $98,2 \text{m}^3/\text{s}$. (Ver Gráfico 5.12).

Gráfico 5.12 Hidrogramas de crecida en el Punto B para el Escenario 7

Elaboración: Alexis Aguilar.

Para el punto C se obtuvo un caudal máximo de 172,9 m³/s y un volumen de escurrimiento de 1.564,0 x 10³ m³, resultado de la suma del hidrograma en el punto B más el hidrograma de la cuenca Baja. (Ver Gráfico 5.13 Gráfico 5.9).

Gráfico 5.13 Hidrograma de crecida en el Punto C para el Escenario 7

Elaboración: Alexis Aguilar

Los escenarios modelados con sus resultados se encuentran resumidos en el Cuadro 5.4 . Mostrando los caudales máximos en los puntos A, B, C y el volumen de escurrimiento del hidrograma en los puntos de descarga.

Cuadro 5.4 Cuadro Resumen de los Escenarios Simulados para la cuenca del Río Machángara

ESCENARIOS	CONDICIONES HIDROLÓGICAS	CONDICIONES HIDRAULICAS	CUENCA ALTA			CUENCA MEDIA			CUENCA BAJA		
			PUNTO A			PROPAGACION			PUNTO B		
			Qmax (m³/s) *	Vol. Escorrimento (1000 m³)	Qmax (m³/s)	Vol. Escorrimento (1000 m³)	Vol. Laminado (1000m³)	Qmax (m³/s)**	Qmax (m³/s) ***	Vol. Escorrimento (1000 m³)	
1	•Uso de Suelo Actual •ITR = 50 años	•Estructuras de Paso	206.17	1248.6	121.72	1240.2	8.4	121.99	332.3	2467.7	
2	•Uso de Suelo Actual •ITR = 50 años	•Cauce Natural			199.61	1244.31	4.29	223.44	408.64	2471.8	
3	•Uso de Suelo Actual •ITR = 100 años	•Estructuras de Paso			128.83	1435.13	11.17	131.29	396.53	2919.1	
4	•Uso de Suelo Actual •ITR = 100 años	•Cauce Natural	240.27	1446.31	232.49	1441.23	5.08	261.95	492.86	2925.2	
5	•Uso de Suelo Actual •ITR = 200 años	•Estructuras de Paso			135.10	1645.17	13.83	145.72	467.91	3408.9	
6	•Uso de Suelo Actual •ITR = 200 años	•Cauce Natural	276.77	1659	268.55	1652.6	6.4	304.58	583.22	3416.3	
7	•Uso de Suelo Natural •ITR = 50 años	•Estructuras de Paso			96.37	885.48	5.42	98.15	172.89	1564	
8	•Uso de Suelo Natural •ITR = 50 años	•Cauce Natural	120.57	890.9	117.87	884.81	6.09	130.47	211.05	1563.3	
9	•Uso de Suelo Natural •ITR = 100 años	•Estructuras de Paso			105.93	1034.74	7.8	107.07	212.54	1891.1	
10	•Uso de Suelo Natural •ITR = 100 años	•Cauce Natural	142.47	1042.34	139.34	1034.54	7.8	156.49	263.15	1890.9	
11	•Uso de Suelo Natural •ITR = 200 años	•Estructuras de Paso			114.55	1198.02	9.18	115.36	256.91	2255.8	
12	•Uso de Suelo Natural •ITR = 200 años	•Cauce Natural	166.37	1207.9	162.66	1198.7	9.2	184.48	321.74	2256.5	

Nota:
 *: Caudales Pico en el Punto 1
 **: Caudales Pico en el Punto 2
 ***: Caudales Pico en el Punto 3

Elaboración: Alexis Aguilar

En los cuadros Cuadro 5.5, Cuadro 5.6, Cuadro 5.7, Cuadro 5.9, Cuadro 5.10 se muestran los valores de las velocidades en cada una de las estructuras para el escenario respectivo.

Cuadro 5.5 Velocidades en las estructuras para el Escenario 1

Estructuras Nº	Vel. Aguas Arriba (m/s)	Vel. Aguas Abajo (m/s)	Vel. Promedio (m/s)
1	5,35	9,03	7,19
2	6,93	10,3	8,62
3	8,55	11,41	9,98
4	3,39	3,34	3,37
5	8,52	8,92	8,72
6	7,31	11,29	9,30
7	9,86	9,86	9,86

Elaboración: Alexis Aguilar

Cuadro 5.6 Velocidades en las estructuras para el Escenario 3

Estructuras Nº	Vel. Aguas Arriba (m/s)	Vel. Aguas Abajo (m/s)	Vel. Promedio (m/s)
1	5,45	9,16	7,30
2	6,99	10,34	8,66
3	9,03	11,85	10,44
4	3,35	3,35	3,35
5	9,11	9,43	9,27
6	7,83	7,83	7,83
7	10,65	10,65	10,65

Elaboración: Alexis Aguilar

Cuadro 5.7 Velocidades en las estructuras para el Escenario 5

Estructuras Nº	Vel. Aguas Arriba (m/s)	Vel. Aguas Abajo (m/s)	Vel. Promedio (m/s)
1	5,54	9,27	7,40
2	7,04	10,38	8,71
3	9,46	12,25	10,85
4	3,51	3,51	3,51
5	9,63	9,88	9,75
6	8,3	8,3	8,3
7	11,34	11,34	11,34

Elaboración: Alexis Aguilar

Cuadro 5.8 Velocidades en las estructuras para el Escenario 7

Estructuras Nº	Vel. Aguas Arriba (m/s)	Vel. Aguas Abajo (m/s)	Vel. Promedio (m/s)
1	5,04	8,62	6,83
2	6,73	10,15	8,44
3	7,14	10,25	8,70
4	4,94	4,71	4,83
5	6,86	7,63	7,25
6	7,05	10,78	8,92
7	7,8	7,8	7,80

Elaboración: Alexis Aguilar

Cuadro 5.9 Velocidades en las estructuras para el Escenario 9

Estructuras Nº	Vel. Aguas Arriba (m/s)	Vel. Aguas Abajo (m/s)	Vel. Promedio (m/s)
1	5,12	8,72	6,92
2	6,78	10,19	8,49
3	7,47	10,5	8,99
4	4,45	4,31	4,38
5	7,18	7,87	7,53
6	7,21	10,75	8,98
7	8,05	8,05	8,05

Elaboración: Alexis Aguilar

Cuadro 5.10 Velocidades en las estructuras para el Escenario 11

Estructuras Nº	Vel. Aguas Arriba (m/s)	Vel. Aguas Abajo (m/s)	Vel. Promedio (m/s)
1	5,25	8,9	7,08
2	6,87	10,26	8,57
3	8,05	10,98	9,52
4	3,85	3,77	3,81
5	7,87	8,4	8,14
6	6,73	11,1	8,92
7	8,89	8,89	8,89

Elaboración: Alexis Aguilar

Cuadro 5.11 Resumen del comportamiento de las estructuras con la condición Actual del suelo

Estructura Nº	Tipo de Flujo E-1	Tipo de Flujo E-3	Tipo de Flujo E-5	Observación
1	Libre	Libre	Libre	Trabaja de forma óptima.
2	Presión	Presión	Presión	Sumergido de forma total.
3	Sumergido	Sumergido	Presión	Embalsamiento aguas arriba.
4	Libre	Presión	Presión	Posee la velocidad más baja.
5	Presión	Presión	Presión	Trabaja a su máxima capacidad.
6	Sumergido	Presión	Presión	Embalsamiento aguas arriba.
7	Presión	Presión	Presión	Embalsamiento aguas arriba.

Elaboración: Alexis Aguilar

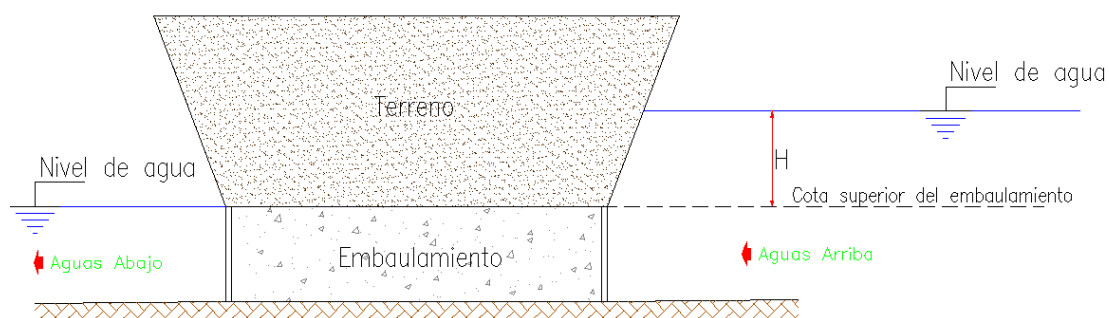
Cuadro 5.12 Resumen del comportamiento de las estructuras con la condición Natural del suelo.

Estructura Nº	Tipo de Flujo E-7	Tipo de Flujo E-9	Tipo de Flujo E-11	Observación
1	Libre	Libre	Libre	Trabaja de forma óptima.
2	Presión	Presión	Presión	Sumergido de forma total.
3	Sumergido	Sumergido	Sumergido	Embalsamiento aguas arriba.
4	Libre	Sumergido	Sumergido	Posee la velocidad más baja.
5	Presión	Presión	Presión	Trabaja a su máxima capacidad.
6	Sumergido	Sumergido	Sumergido	Embalsamiento aguas arriba.
7	Presión	Presión	Presión	Embalsamiento aguas arriba.

Elaboración: Alexis Aguilar

Un efecto muy importante a considerar en relación con las estructuras en cada uno de los escenarios modelados es la carga de agua (H) presente desde la cota superior de las estructuras aguas arriba por el efecto de embalsamiento. Esta carga de agua con valores altos ocasiona que sobre las estructuras de paso el agua se infiltre en el terreno, produciendo la erosión del mismo y con ello generando el hundimiento de la superficie. (Ver Figura 5.1)

Figura 5.1. Esquema de la altura H aguas arriba de la estructura



Elaboración: Alexis Aguilar

Las estructuras de paso con mayor afectación por la carga de agua (H) es el túnel en el sector del Recreo, ya que sus alturas llegan a encontrarse desde 14,61 m en el Escenario 1 y 19,45 m en el Escenario 5 con respecto a la condición actual del suelo de la cuenca. Demostrando que esta estructura tendrá problemas de infiltración que conllevaran al hundimiento de la superficie. Mientras, la estructura N° 4 (sector la Recoleta) se pudo observar que la carga de agua (H) en la estructura obtuvo valores bajos que iban desde 0,38 m para el Escenario 1 y 2,62 m para el Escenario 5.

En el Cuadro 5.13 se observa la carga de agua que se presentó en cada uno de los escenarios modelados tanto para el uso del suelo actual como el uso del suelo natural.

Cuadro 5.13 Carga de Agua en las estructuras del tramo 3

Escenario	E-1	E-3	E-5	E-7	E-9	E-11
Estructura N°	H (m)					
1	-	-	-	-	-	-
2	4.26	4.36	4.45	3.84	4.01	4.15
3	7.9	9.11	10.24	4.08	5.43	6.74
4	0.38	1.43	2.62	-	-	-
5	7.78	9.03	10.15	4.00	5.24	6.52
6	4.88	5.88	6.81	2.32	3.07	3.88
7	14.61	17.09	19.45	7.73	9.76	11.92

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: U.S. Army Corps of Engineers (HEC-RAS)

5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

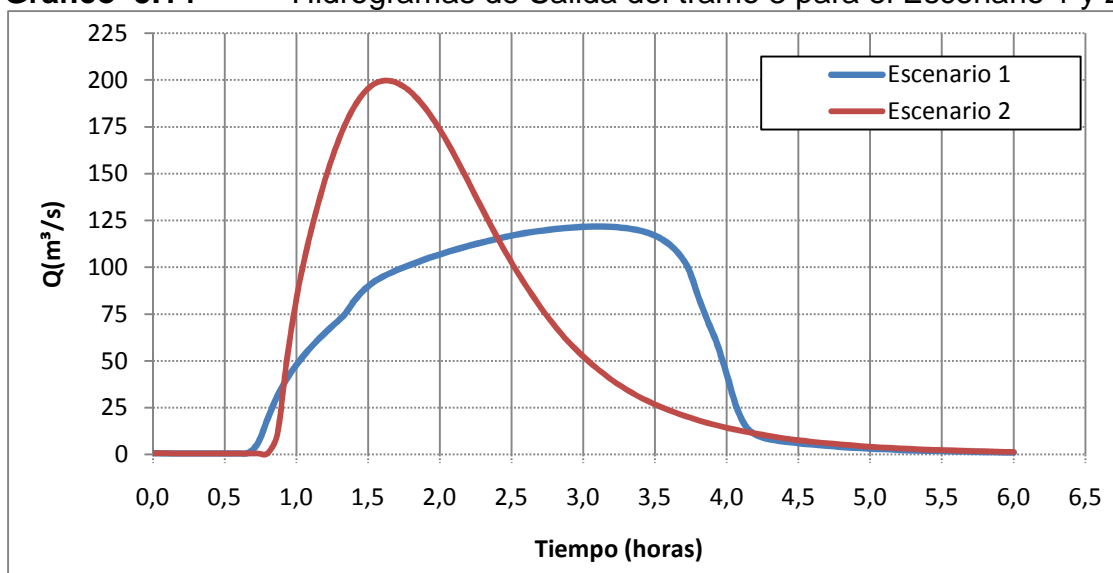
5.3.1 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE ESCENARIO 1 Y ESCENARIO 2

Los Escenarios 1 y 2 son modelos que se diferencian por la condición de las de estructuras en el tramo 3. Debido a este aspecto, los resultados del hidrograma de salida muestran una variación en los caudales picos, es decir, el caudal pico del Escenario 1 es 121,7 m³/s y del Escenario 2 es 199,6 m³/s. Los caudales indican que el efecto de las estructuras al momento del tránsito del hidrograma es muy influyente.

El volumen de laminación del Escenario 1 es igual a 8.40x10³ m³, mientras para el Escenario 2 su volumen de laminación es 4.29x10³ m³. Con ello se muestra que mayor laminación ocurre con la presencia de las estructuras a lo largo del cauce.

En el Gráfico 5.14 se muestra los hidrogramas de salida del tramo 3 para el escenario 1 y 2.

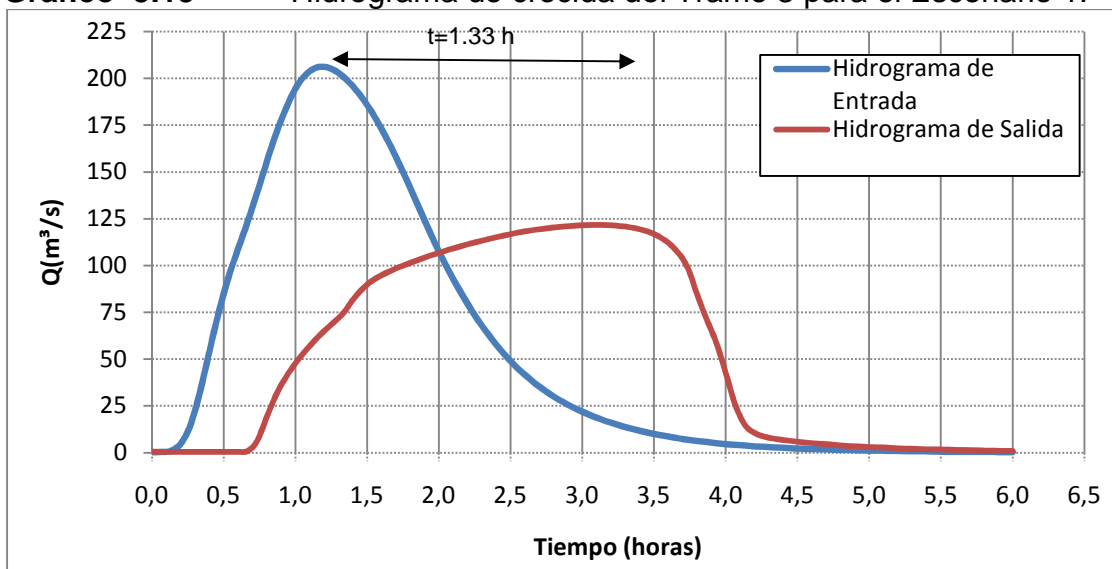
Gráfico 5.14 Hidrogramas de Salida del tramo 3 para el Escenario 1 y 2



Elaboración: Alexis Aguilar

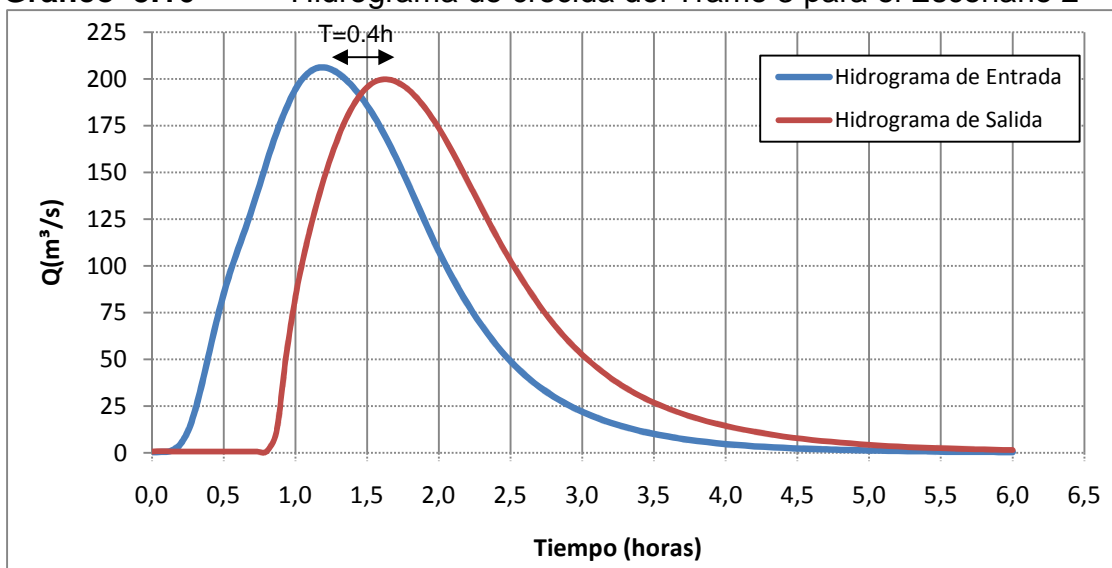
En el Gráfico 5.15 y Gráfico 5.16 se observa la reducción del caudal pico y el tiempo de desplazamiento para el escenario 1 y 2.

Gráfico 5.15 Hidrograma de crecida del Tramo 3 para el Escenario 1.



Elaboración: Alexis Aguilar

Gráfico 5.16 Hidrograma de crecida del Tramo 3 para el Escenario 2



Elaboración: Alexis Aguilar

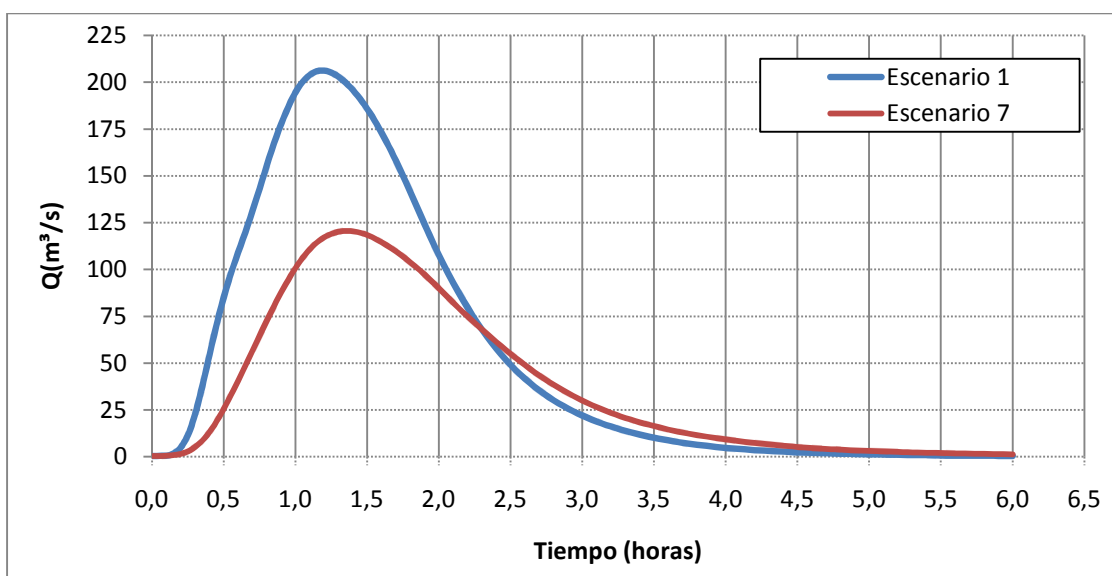
En el Punto 3, los hidrogramas de crecida integrados nos entregan caudales pico para el Escenario 1 de 332,3 m³/s y para el Escenario 2 de 408,6 m³/s. Esto nos demuestra que el tránsito hidráulico que se produce en el Tramo 3 tiene una gran incidencia el proceso de formación de hidrogramas de crecida y en especial cuando se considera las estructuras a lo largo del cauce.

5.3.2 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE ESCENARIO 1 Y ESCENARIO 7

Los Escenarios 1 y 7 son modelos que se diferencian por la condición del uso del suelo en la cuenca. Mientras el Escenario 1 se maneja con la condición actual del suelo, para el Escenario 7 se maneja con la condición natural del suelo.

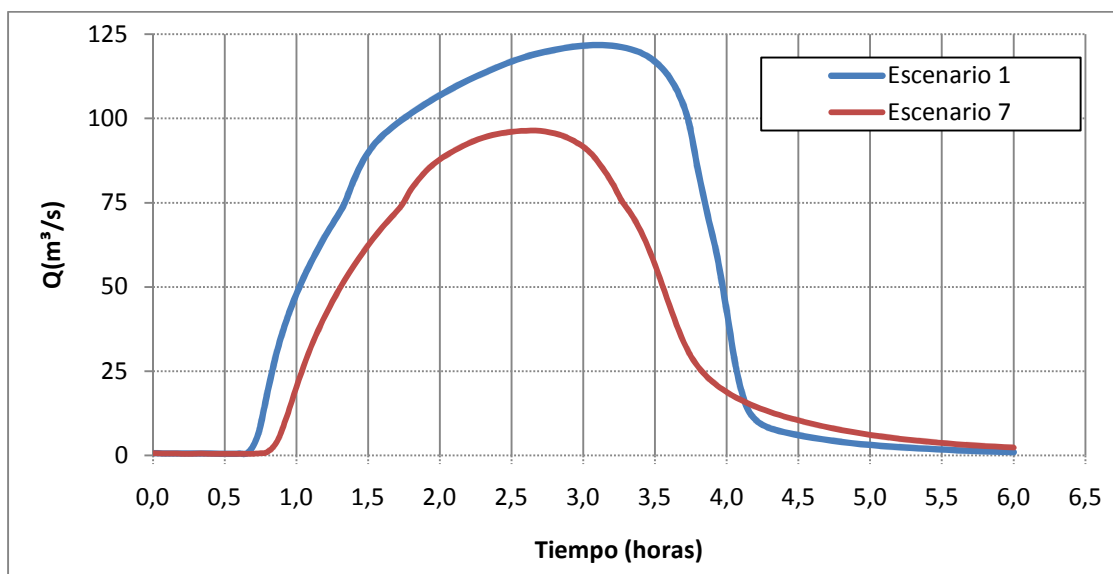
El hidrograma en el punto 1 para el Escenario 1 nos da un caudal pico de 206,2 m³/s, mientras para el Escenario 7 el caudal pico es igual a 120,6 m³/s; el volumen de escurrimiento del Escenario 1 es 1248.6x10³ m³, mientras para el Escenario 7 es 890.9x10³ m³. Esto nos indica que el escurrimiento en el Escenario 7 es inferior al Escenario 1, debido a que el suelo infiltra más caudal por la falta de la zona urbana. (Ver Gráfico 5.17).

Gráfico 5.17 Hidrogramas de Crecida en el Punto A para el escenario 1 y 7



Elaboración: Alexis Aguilar

Al analizar el Escenario 1 y Escenario 7 en el Tramo 3, podemos ver que el caudal pico para los hidrograma de salida es 121,70 m³/s y 96,37 m³/s respectivamente.

Gráfico 5.18 Hidrogramas de Salida del tramo 3 para el Escenario 1 y 7

Elaboración: Alexis Aguilar

El comportamiento de las estructuras existentes en el Tramo 3 para el Escenario 1 y el Escenario 7 tiene el siguiente comportamiento que se resume en el Cuadro 5.14:

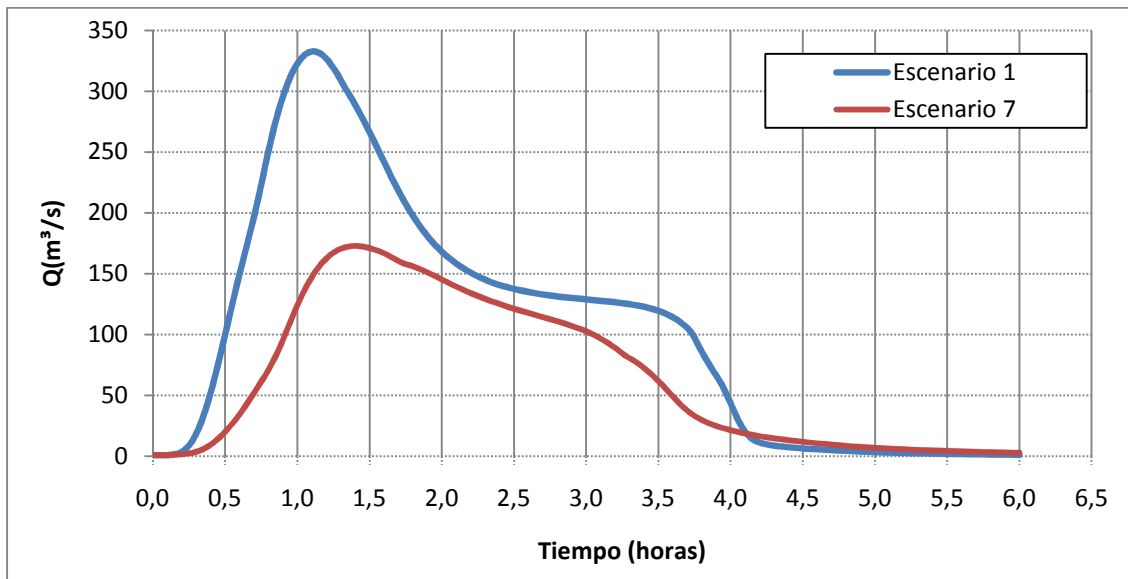
Cuadro 5.14 Cuadro Comparativo de las Estructuras de Paso entre E-1 y E-7

Estructuras Nº	Velocidad Promedio E-1 (m/s)	Velocidad Promedio E-7 (m/s)	Comportamiento De la Estructura
1	7.19	6.83	Libre
2	8.62	8.44	Presión
3	9.98	8.70	Sumergido
4	3.37	4.83	Libre
5	8.72	7.25	Presión
6	9.30	8.92	Sumergido
7	9.86	7.80	Presión

Elaboración: Alexis Aguilar

Fuente: U.S. Army Corps of Engineers (HEC-RAS)

Para el punto C, los escenarios 1 y 7 tienen un caudal pico de 332,30 m³/s y 172,925 m³/s respectivamente, indicando una gran diferencia en caudales por la condición del suelo. (Ver Gráfico 5.19).

Gráfico 5.19 Hidrogramas de recida en el Pto. C para los escenarios 1 y 7

Elaboración: Alexis Aguilar

CAPITULO 6

MAPAS DE AMENAZA DE INUNDACIONES

Las inundaciones son fenómenos naturales como consecuencia de la concentración de caudales, resultado de lluvias de alta intensidad que son superior a la capacidad que puede drenar el cauce. La desproporción entre caudales ordinarios y extraordinarios en el cauce se origina por el aporte de lluvias con períodos de retorno corto y representativo, como los manejados en nuestra modelación para períodos de 50 años, 100 años y 200 años. (INAMHI, FAO, 2008)

6.1 INCIDENCIAS HISTÓRICAS DE INUNDACIONES

La ciudad de Quito siempre ha sufrido accidentes de origen tanto climático como geomorfológicos relacionados con los escurrimientos de superficie perturbados por la urbanización. En lo que corresponde a las inundaciones, es importante considerar algunos fenómenos ocurridos en la ciudad de Quito años atrás, debido a su gravedad y repercusiones ocasionadas. Estos eventos fueron recogidos por la prensa local de la época. (PELTRE, P, 1989)

- El 4 de mayo de 1911, las aguas del Río Machángara aumentaron de caudal por la tempestad, arrastrando con ella a 6 lavanderas, localizadas probablemente en el puente del Machángara, San Sebastián, La Recoleta. Gravedad: 1. (El Comercio)
- El 21 de septiembre de 1920, por torrencial aguacero el río en El Censo arrastró a una lavandera por estar crecido. El sitio El Censo está localizado en la calle Maldonado y la antigua vía al valle de Los Chillos, por lo tanto el río Machángara tomaría ese nombre en este sitio específico. Gravedad: 3. (El Comercio)
- El 23 de febrero de 1943. Lluvia torrencial ha causado daños en la ciudad y en poblaciones vecinas. Varias casas inundadas. Derrumbes de peñas. Crecimiento de los ríos y quebradas. Gravedad: 2. (El Comercio.BN).

- El 4 de enero de 1983. Crecida del río Machángara en los sectores de San Bartolo, Turubamba y Guamaní. Destruyó muros, cerramientos y galpones de industrias de la zona. Gravedad: 2. (El Comercio, CEPEIGE).
- El 31 de marzo del 2008. Quito, la capital de Ecuador, fue declarada en emergencia como consecuencia de los estragos de las lluvias producidas todo el fin de semana y que ocasionaron el colapso de sus vías hacia los valles aledaños altamente poblados. El derrumbe de la vía que lleva desde Quito hasta el valle de Los Chillos, la inundación de los túneles que unen al norte y sur y el hundimiento en las vías de circulación que circundan la ciudad ocasionaron caos vehicular, pero sorprendentemente no provocaron víctimas humanas a pesar de ser sectores de alta circulación. El aguacero desbordó al río Machángara. El embaulamiento no resistió y el agua se llevó una parte del relleno hecho en 1970, en el costado nor-oeste del intercambiador de El Trébol. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) informó al diario que el sector de El Trébol soportó un intenso aguacero desde las 13:05 hasta las 17:00 del 31 de marzo. “La pluviosidad fue de 21 litros por metro cuadrado. Eso no es normal. Fue una lluvia violenta”, manifestó Carlos Naranjo (Técnico de Sinóptica del INAMHI). Indicó además “No es culpa del relleno, sino de las lluvias”. Esta es una de las precipitaciones más fuertes de los últimos 15 ó 20 años en la hoya de Quito”. Gravedad: 2. (El Comercio)

Nivel de gravedad:

- 3= molestias en el tráfico, daños ligeros.
- 2= daños materiales comentados por el periodista, molestia grave del tráfico.
- 1 = existencia de muertos y heridos, daños materiales importantes.

Como resultado de los eventos mencionados, se puede indicar que los accidentes muy graves se produjeron entre 1973 y 1984, manifestando de qué se trató de un período climático agresivo. Una de las condiciones que probablemente agravó los efectos fue el desarrollo urbano en la ciudad de Quito.

El efecto de las inundaciones tiene una repercusión importante desde el punto de vista geomorfológico y económico, pero, no resulta tan mortífero en comparación a los aluviones, derrumbes y hundimientos.

Aunque las crecidas son, en su origen, un fenómeno natural eminentemente físico e hidrológico, en zonas urbanas donde hay actividades humanas, se convierte en un problema territorial, con amplias repercusiones socioeconómicas. (D'ERCOLE, R, 2004)

6.2 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES

La zonificación y nivel de caudal por efecto de las inundaciones se presentan en los mapas de inundaciones (Ver ANEXO 2-MAPAS DE INUNDACIÓN), en donde se evidencia los sectores divididos por niveles o grado de amenaza según la intensidad de los daños que los fenómenos indicados pueden causar y su nivel de recurrencia debido a las lluvias dentro de la cuenca del río Machángara.

Las zonas de amenaza de inundación se las puede dividir en dos tipos de amenazas, las cuales, se basan en función de los períodos de retorno de la intensidad de lluvia. (INAMHI, FAO, 2008)

Estas amenazas son:

- Amenaza Media
- Amenaza Baja.

6.2.1 AMENAZA MEDIA

Zona delimitada por la línea de inundación producida por el aumento del cauce calculado para el hidrograma de crecida de los períodos de retorno de 50 y 100 años, debido por causa naturales, y con la lámina de agua, duración, caudal y velocidad con efectos potencialmente dañinos moderados. Los sectores afectados serían aquellos que se encuentran poblados a las orillas del río. Estas casas se las encuentra por el sector de La Rodrigo de Chávez, La Recoleta y Chimbacalle, que pertenecen al Centro-Sur de Quito. (INAMHI, FAO, 2008)



Foto 6.1 Sitio de amenaza media, sector de Chimbacalle

6.2.2 AMENAZA BAJA

Zona delimitada por la línea de inundación producida por el aumento del cauce calculado para el hidrograma de crecida de un período de retorno mayor de 100 años, así como el período de retorno de 200 años. Por causas naturales, y con una profundidad de lámina de agua con efectos potencialmente dañinos leves. (INAMHI, FAO, 2008)

Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada por lo menos una vez cada doscientos años. La zona de amenaza baja es aquella en donde la probabilidad de ocurrencia de llegada de una crecida es muy remota.

El Trébol cuya población se encuentra en la parte más alta y por encima de las cotas que indican la Amenaza Media, como se observa en el mapa de inundaciones (ANEXO 2).

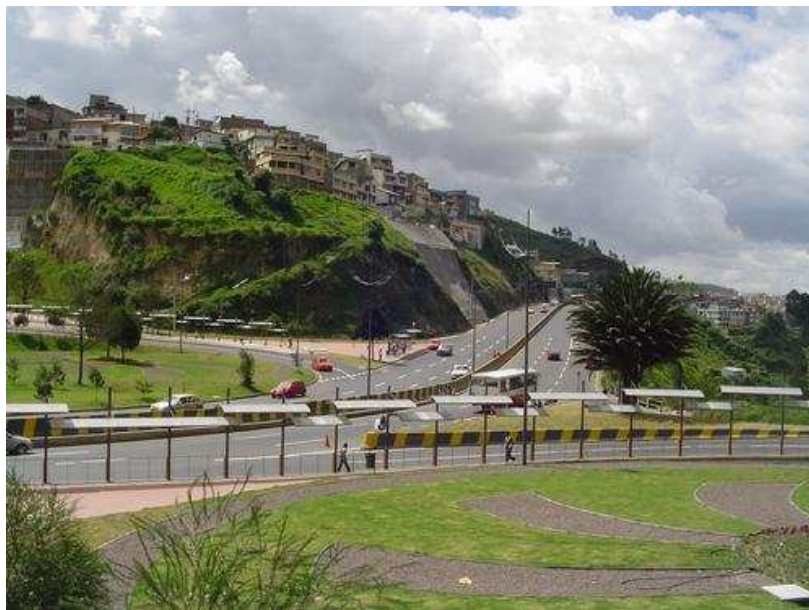


Foto 6.2 Sectores de Amenaza Baja. El Trébol

GENERACIÓN DE MAPAS DE AMENAZA DE INUNDACIÓN

La generación de mapas de inundación es el proceso en el cual mediante trabajo topográfico y el levantamiento de la información de la zona de estudio se determina las zonas vulnerables o inundables.

Para obtener los niveles máximos de crecidas con los escenarios modelados en el HEC-RAS, se baso en las secciones transversales ingresadas del tramo 3.

La información del programa HEC-RAS se puede obtener en forma gráfica y en tablas de los niveles máximos de crecida del cauce, para cada uno de los escenarios modelados. (Ver ANEXO 5 – ANEXO DIGITAL)

Para la elaboración de los mapas se han tenido en consideración los escenarios 1, 3 y 5, los cuales se manejan con el suelo actual y son eventos reales que sucederían con un periodo de retorno de 50 años, 100 años y 200 por efecto de la lluvias de alta intensidad y la existencia de estructuras en el cauce. (Ver ANEXO 2 – MAPAS DE INUNDACIÓN)

Los Mapas de Amenaza de Inundaciones para los Escenarios 1-3-5 serán generados con los niveles de agua dados por el programa HEC-RAS en cada una

de las secciones ingresadas, las cuales serán dibujadas en la topografía digital a escala 1:1 000 del Tramo El Recreo hasta El Trébol.

Dibujada la mancha de agua sobre la topografía del Tramo El Recreo hasta El Trébol, y con la zona urbana implantada, se podrá conocer los sectores de amenaza de inundación. Y con ello tener el sustento técnico para evacuar o retirar las casas asentadas en dichos sectores.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

1. El estudio dado a la cuenca del río Machángara será de mucha utilidad ya que su análisis tanto en la generación de Hidrogramas de Crecida y la Propagación de Caudales con datos reales del cauce, nos llevara a tener resultados más reales a los calculados con métodos de propagación hidrológicos.
2. Los sectores de mayor amenaza a una crecida dentro del tramo el Recreo – el Trébol son: aguas arriba del puente La Recoleta, en la ribera del colegio militar Alberto Calderón y aguas abajo del embaulamiento Rodrigo de Chávez. Estos lugares poseen alta probabilidad de ser afectados por la crecida del río en un periodo de 50, 100 y 200 años por efecto de la intensidad de lluvias.
3. Gran parte de la ciudad de Quito se localiza al interior de la cuenca de drenaje del río Machángara y además este río constituye el receptor principal de la red de drenaje de aguas lluvias y servidas de la ciudad. Por consiguiente, las características de la superficie de drenaje están cambiando en función del avance de la frontera urbana de la ciudad, aspecto que repercute en la magnitud de los caudales de diseño y las zonas de amenaza de inundación son mayores.
4. Es muy limitada la disponibilidad de información del río Machángara. Por ello, la determinación de caudales máximos se sustenta en la aplicación de hidrogramas unitarios sintéticos o modelos precipitación – escurrimiento, basados en datos físico-geográficos de las cuencas de drenaje y relaciones intensidad – duración – frecuencia, propios de las cuencas de drenaje.
5. Debido al manejo de dos estaciones para el cálculo de la intensidad de lluvia en cada una de las subcuencas con respecto a los períodos de retorno planteados, no es real creer que la intensidad de la lluvia sería la misma tanto en la zona de la estación y su periferia. Por ello el factor aplicado nos permite emparejar la intensidad en toda el área de afectación.

6. Las aguas que escurren en el río Machángara presentan un régimen variable que depende de la pluviosidad de la cuenca de aporte así como de las características de uso del suelo en la misma. La cuenca de aporte tiene un alto porcentaje de zona impermeable, por el creciente proceso de urbanización, inclusive de sus partes altas. La característica variable de estos escurrimientos se debe no sólo a cambios estacionales o a la disminución creciente de áreas de infiltración sino también el resultado de episodios meteorológicos puntuales (tormentas típicas sobre la zona centro y sur de la ciudad de Quito), que dan lugar a crecidas extraordinarias, de gran volumen de escurrimiento con corta duración.
7. La rugosidad que presenta el tramo 3 es relativamente alta, debido a la existencia de material granular grueso en el cauce principal y a la presencia de vegetación en las márgenes laterales. Adicionalmente la sinuosidad en el trazado incrementa también el efecto de resistencia al flujo, favoreciendo la presencia de profundidades mayores de flujo.
8. En la propagación de la crecida a lo largo del cauce en el tramo de El Recreo-El Trébol, la reducción del caudal pico del hidrograma de entrada comparado al hidrograma laminado es muy representativo debido a la presencia de las estructuras, las cuales producen el embalsamiento aguas arriba.
9. La generación de mapas de inundación contribuirá a tomar medidas preventivas y correctivas en las zonas afectadas, con el objeto de precautelar el bienestar de los pobladores de la zona del El Recreo hasta El Trébol.
10. El régimen del flujo del río en el tramo simulado nos muestra que debido a ciertas caídas de agua considerables denominados saltos hidráulicos, su flujo variaría de subcrítico a supercrítico, por ende se vio la necesidad de usar el tipo de modelación mixta, la cual se encuentra presente el programa HEC-RAS como una alternativa útil para reducir y mejorar el desarrollo dentro del proceso de simulación.
11. Los embaulamientos que se encuentran a lo largo del tramo 3 generaron velocidades en su interior del orden de 9,0 m/s, lo cual nos indican problemas en su funcionamiento con los escenarios modelados.

12. La presencia de estructuras de paso en el proceso hidráulico a lo largo del tramo 3, nos dio a conocer que son capaces de variar la forma del hidrograma de entrada reduciendo el caudal pico, pero sin generar pérdidas de volumen considerables a tal punto que la reducción del volumen no sobrepasó el 0,8% en cada uno de los escenarios simulados.

7.2 RECOMENDACIONES

1. Se debe tomar mucha precaución al manejar estos nuevos software, ya que su utilidad es muy grande, pero con el conocimiento de sus alcances, ya que con ellas se logra manejar de mejor manera las limitaciones que se encuentra en el proceso de simulación de cualquier escenario propuesto.
2. Es conveniente que las casas que se encuentran a las orillas de las zonas más amenazadas con la crecida sean reubicadas y recuperar totalmente los márgenes del río.
3. Al generar la simulación de un tramo de río en el programa HEC-RAS, es conveniente tener la mayor cantidad de secciones de corte transversal, las cuales, serán quienes representen la forma real del cauce. Sin embargo, muchas veces no son suficientes las secciones introducidas, y por ende, el programa posee la alternativa de generar secciones interpoladas entre secciones transversales, ya que al momento de modelar, el diferencial de la ecuación principal que maneja el programa es más pequeño y el proceso de la simulación se vuelve más preciso y con resultados más confiables.
4. Los embaulamientos existentes a lo largo del cauce se manejaron con velocidades altas, lo cual, puede ser causa de colapso de dichas estructuras, en especial en los períodos de retorno de 100 años y 200 años. Por tanto, se debería tomar en cuenta al momento de realizar un censo de cada una de los embaulamientos para prevenir catástrofes y gastos innecesarios.
5. El proceso de Propagación de Crecida para las cuencas hidrológicas de nuestro país necesitan ser calculadas en base a la información geográfica y morfológica de los cauces principales con programas que simulan la situación real

como el HEC-RAS y evitar generar resultados con métodos sintéticos hidrológicos.

6. Se debe generar ordenanzas más rigurosas para proteger las laderas que rodean al Distrito Metropolitano de Quito para que el estado geomorfológico de la cuenca del río Machángara se conserve y el avance de la zona urbana no sea un problema en los periodos lluviosos.

8. Para el análisis de la infiltración dentro de la cuenca con área predominantemente urbana, es necesario realizar un estudio más detallado del caudal que escurre hacia los cauces y el caudal que se pierde en el drenaje pluvial y sanitario, ya que este porcentaje del caudal puede tomar importancia al momento de realizar un estudio para proyectos hidráulicos.

. Se debe considerar la altura de agua presente sobre la parte superior de las estructuras en la sección aguas arriba, ya que al momento de construir los embaulamientos, sino se atiende este aspecto, el agua se infiltrará sobre el relleno que cubre a cada una de las estructuras generando la erosión y con ello el hundimiento de la superficie.

CAPITULO 8

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chow, V., Maidment, D, y Larry, M, (1994), Hidrología Aplicada, New York: Mc Graw Hill.
2. Monsalve, G., (1995), Hidrología en la Ingeniería, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
3. Linsley, Kohler, Paulhus, (1980), Hidrología para Ingenieros, 2ª Edición, New York: Editorial McGraw Hill.
4. Villón, M., (2002), Hidrología, 1ª Edición, Lima: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
5. Organización Meteorológica Mundial, (1995), Guía de Prácticas Hidrológicas, 5ª Edición: OMM.
6. Aparicio, F., (1989), Fundamentos de Hidrología de Superficie, 1ª Edición, México: Editorial Limusa.
7. Saldarreaga, J., Chow, V., (1994), Hidráulica de Canales Abiertos, Colombia: Mc Graw Hill.
8. D'Ércorle, R., Metzger, P., (2004), La Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito, Quito
9. Peltre, P., (1989), Riesgos Naturales en Quito, Quito, II Volumen: Corporación Editorial Nacional, Colegio de Geógrafos del Ecuador.
10. Dirección Metropolitana de Planificación Territorial, (2006), Plan General de Desarrollo Territorial, Memoria Técnica 2006-2010, Quito: Imprenta Municipal.
11. Naranjo, M., (2002), Análisis Multitemporal de la Formación de Crecida e Inundaciones en la Cuenca Baja del río Santa Rosa: Quito.
12. Beltrán, F., (1995), Investigación de Hietogramas Críticos y Evaluación del Efecto de Simultaneidad de Tormenta en Quito, Quito.

13. Estacio, A., Ortega, L., Aplicación de los modelos de simulación hidrológica SWRRBWQ-HEC-HMS en la cuenca del río Quijos de Oyacachi, Quito.
14. Andrade, L., Moreira M., 2007, Riesgos Relacionados con los Recursos Hídricos-Susceptibilidad a Inundaciones y Sequías, Casos de Estudio: Manabí y Sierra Central., IX Congreso Nacional de Hidráulica y I de Manejo Ambiental de Recursos Hídricos.
15. Andrade, L., 2006, Importancia de la Información Hidrometeorológica para la Gestión de los Recursos Hídricos, Foro de los Recursos Hídricos, IV Encuentro Nacional, Quito.
16. Andrade, L., 1997, Utilización de los Modelos de Precipitación – Esguerrimiento. Ventajas y Limitaciones, Memorias del Congreso Nacional de Hidráulica, Guayaquil.
17. Andrade, L., 1996, Régimen Espacial y Temporal de las Precipitaciones en el Ecuador. Memorias del encuentro científico: Montañas, Glaciares y Cambios Climáticos, Quito.
18. U.S. Army Corps of Engineers, (2006), User's Manual HEC-HMS 3.1.0, Washington.
19. U.S. Army Corps of Engineers, (2008), User's Manual HEC-RAS 4.0, Washington.
20. INAMHI, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-(FAO), (2008), Proyecto Sistema de Alerta Temprana de Control de Inundaciones en la Cuenca del río Chone del Ecuador, INAMHI, www.inamhi.gov.ec/hidrologia/chone.pdf
21. PREDECAN, (2009), Control de Inundaciones Desarrollo Urbano de la Ciudad de Babahoyo, Comunidad Andina. www.comunidadandina.org/predecan/doc/libros/.../EC_BABAHOYO.pdf
22. Chávez M., (2006), Metodología de Estudio Hidrológico para. Elaborar. Mapas de Amenazas por Inundación, UNI-Nicaragua.
<http://hercules.cedex.es/hidraulica/PROHIMET/GU06/.../Blanco.pdf>

CAPITULO 9

ANEXOS

1. MAPAS:

- DIVISIÓN DE CUENCA HIDROGRÁFICA
- ESTACIONES METEOROLÓGICAS
- USO DEL SUELO

2. MAPAS DE INUNDACIÓN

- ESCENARIO 1
- ESCENARIO 3
- ESCENARIO 5

3. PERFILES DEL TRAMO EL RECREO - EL TRÉBOL CON ESTRUCTURAS

- ESCENARIO 1
- ESCENARIO 3
- ESCENARIO 5
- ESCENARIO 7
- ESCENARIO 9
- ESCENARIO 11

4. HIETOGRAMAS

5. ANEXO DIGITAL