

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN A INUNDACIONES
EN EL SECTOR EL RECREO – DURÁN”**

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIEROS CIVILES

Presentado por:

**TERESA HERMINIA ESCOBAR ALARCÓN
MANUEL MICHEL MONCADA MOREIRA**

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

A Dios por brindarme sabiduría y salud, además de la fortaleza necesaria para no rendirme jamás y alcanzar el tan anhelado sueño de convertirme en ingeniera civil.

A mi madre Angela y a mi tía Teresa Alarcón, a quienes les debo la persona que soy. Gracias a su incondicional apoyo y cariño, pude culminar una de las tantas metas que me he propuesto a lo largo de la vida.

A mi abuelita, Teresa Santillán, a quien le prometí que iba a convertirme en Ingeniera Civil y fue aquella promesa la que me dio ánimos de seguir adelante y no permitió que desmayara hasta alcanzar mi objetivo.

A mi compañero de tesis e incondicional amigo, Manuel Moncada, aquel que no permitió que desmayara ante los innumerables obstáculos que se presentaron a lo largo de mi formación profesional.

Teresa Herminia Escobar Alarcón

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos esos momentos familiares, reuniones con amigos y festejos que dejé de lado por alcanzar mi sueño.

Manuel Michel Moncada Moreira

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme sabiduría y salud, además de la fortaleza necesaria para no rendirme jamás y alcanzar el tan anhelado sueño de convertirme en ingeniera civil.

A nuestros padres por habernos brindado la ayuda económica necesaria, apoyo y cariño a lo largo de nuestra carrera universitaria.

Al Ing. Miguel Ángel Chávez, Ph.D., quien con su experiencia y anécdotas ayudó a que nuestra pasión por la profesión creciera.

Al Ing. Erwin Larreta, maestro y amigo, quien nos brindó su apoyo incondicional para poder culminar exitosamente este estudio.

A nuestro querido amigo, hermano y colega, Ricardo Ortiz Vivar, que siempre nos brindó su apoyo incondicional desde el momento en el que tuvimos el placer de conocerlo.

Teresa Herminia Escobar Alarcón.

Manuel Michel Moncada Moreira.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Teresa Herminia Escobar Alarcón* y *Manuel Michel Moncada Moreira* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Teresa Herminia
Escobar Alarcón

Manuel Michel Moncada
Moreira

EVALUADORES

Ing. Miguel Chávez Moncayo, Ph.D.

PROFESOR DE LA MATERIA

Ing. Mijail Arias Hidalgo, Ph.D.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente estudio está dirigido a determinar las posibles soluciones ante el problema de inundaciones que se da en el sector El Recreo- Durán. Cabe acotar que anualmente esta ciudadela perteneciente al cantón Durán se ve afectada por inundaciones y afectaciones de cultivos. Esto presenta riesgos significativos más allá de los riesgos causados por las variaciones naturales del clima y los patrones climáticos estacionales. Ambos tipos de riesgo requieren la atención sostenida del gobierno local, motivo por el cual el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Durán en conjunto con la Escuela Superior Politécnica del Litoral, ha desarrollado el proyecto Resiliencia climática de Durán: Diseñando estrategias de adaptación para riesgos hidroclimáticos (RESCLIMA DURÁN). Este estudio se realizó tomando como base dicho proyecto a fin de realizar un diagnóstico de la situación de la ciudadela El Recreo y proponer soluciones a las inundaciones que se dan en dicho sector.

Considerando lo consultado y lo procesado en laboratorio y en gabinete, se estableció la principal problemática del sector de estudio, falta de limpieza del canal San Enrique. Este problema fue analizado para llegar a propuestas de solución que permitan disminuir las inundaciones en la ciudadela El Recreo del cantón Durán.

Con esta finalidad, se plantearon dos posibles soluciones y en base a los resultados obtenidos y restricciones de cada una, se concluyó que se deben implementar ambas.

Palabras clave: canal, limpieza, inundación.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	VI
RESUMEN.....	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
ABREVIATURAS.....	XI
SIMBOLOGÍA.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
CAPÍTULO 1.....	16
1. Introducción	16
1.1 Antecedentes	16
1.2 Justificación y razones de investigación.....	17
1.3 Restricción.....	18
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivo General.....	18
1.4.2 Objetivos Específicos.....	18
CAPÍTULO 2.....	19
2. TRABAJO de campo	19
2.1 Reconocimiento de la zona	19
2.2 Selección de la zona de estudio.....	20
2.3 Levantamiento topográfico	23
2.3.1 Equipos utilizados	24
2.3.2 Metodología	26
2.4 Muestra de suelo del canal.....	27
2.4.1 Zona de extracción	28
2.4.2 Metodología	28
2.5 Análisis a la problemática social.....	28

CAPÍTULO 3.....	30
3. PROCESAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS EN CAMPO.....	30
3.1 Procesamiento del levantamiento topográfico.....	30
3.2 Caracterización de las muestras de suelo de los canales.....	31
3.2.1 Análisis granulométrico por tamizado según ASTM D422.....	31
3.2.2 Análisis granulométrico por tamizado según ASTM D422.....	36
3.2.3 Límites de atterberg según ASTM D4318.....	37
3.2.4 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	43
CAPÍTULO 4.....	45
4. Literatura a la problemática.....	45
4.1 Inundación.....	45
4.1.1 Impacto ambiental.....	45
4.1.2 Tipos de inundación.....	45
4.1.3 Recuperación del espacio fluvial.....	56
4.1.4 Área de estudio – cuenca.....	58
CAPÍTULO 5.....	66
5. REVISIÓN DE LITERATURA DE LAS POSIBLES SOLUCIONES A MITIGAR ..	66
5.1 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).....	66
5.1.1 Terminología y casos de estudio de sistemas de drenaje sostenible	66
5.1.2 Técnicas	68
CAPÍTULO 6.....	72
6. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS.....	72
6.1 Alternativa 1: Ampliación y limpieza del canal San Enrique	72
6.1.1 Cálculo del coeficiente de manning adoptado para la sección transversal	74
6.1.2 Modelamiento de la inundación	77
6.1.3 Resultados.....	82
6.2 Alternativa 2: Construcción de un parque inundable	85

6.2.1	Definición de colectores críticos dentro de la zona de estudio	86
6.2.2	Definición del área de implantación del parque	88
6.2.3	Cálculos para dimensionamiento de la laguna del parque.....	89
6.3	Análisis de costos y presupuesto de las alternativas planteadas	95
6.3.1	Alternativa 1: Ampliación y mantenimiento del canal San Enrique	95
6.3.2	Alternativa 2: Construcción de un parque inundable.....	95
	• Rendimiento del proceso de trazado y replanteo.....	95
	• Rendimiento del proceso de excavación	96
6.3.3	Presupuesto.....	96
6.4	Requerimientos ambientales	97
CAPÍTULO 7.....		100
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	100
7.1	Alternativa 1: Ampliación y mantenimiento del canal San Enrique	100
7.2	Alternativa 2: Construcción de un parque inundable	104
CAPÍTULO 8.....		105
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
8.1	Conclusiones.....	105
8.2	Recomendaciones.....	106
BIBLIOGRAFÍA		108
ANEXOS.....		113

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ENOS	El Niño Oscilación del Sur
ASTM	American Society for Testing and Materials
HD	Horizontal Distance
VD	Vertical Distance
GPS	Global Positioning System
BM	Bench Mark
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
DEM	Digital Elevation Model
TIN	Triangulated Irregular Network
SUDS	Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles
EMAPAD	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Durán
PVC	PoliCloruro de Vinilo

SIMBOLOGÍA

mm	Milímetros
cm	Centímetros
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
3D	Tridimensional
s	Segundos
h	Hora
Ha	Hectáreas
min	Minutos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Inspección visual en puntos estratégicos	20
Figura 2.2 Puntos de levantamiento de canales en el Cantón Durán	20
Figura 2.3 Punto 1 escogido para el levantamiento topográfico	22
Figura 2.4 Punto 2 escogido para el levantamiento topográfico	22
Figura 2.5 Punto 3 escogido para el levantamiento topográfico	23
Figura 2.6 Metodología de referencia espacial del equipo	24
Figura 2.7 Nivel SOKKIA B40.....	25
Figura 2.8 GPSmap 62s GARMIN	26
Figura 2.9 Esquema del levantamiento topográfico empleando nivel.....	27
Figura 2.10 Mapa satelital de las ciudadelas existentes en el cantón Durán	29
Figura 3.1 Secciones transversales de los canales obtenidos de la topografía	30
Figura 3.2 Digitalización de los puntos en AutoCAD	31
Figura 3.3 Muestras extraídas en la solera de los canales.....	32
Figura 3.4 Porciones representativas sometidas a alta temperatura.....	33
Figura 3.5 Remoción de residuos e impurezas mediante lavado	33
Figura 3.6 Tamices utilizados para el procedimiento.....	34
Figura 3.7 Recolección de partículas por tamiz.....	35
Figura 3.8 Remoción de las partículas superiores al tamiz No. 40.....	39
Figura 3.9 Muestra obtenida del pasante No.40 y sometida a temperatura	39
Figura 3.10 Colocación de la muestra en la copa casagrande	40
Figura 3.11 Utilización de la copa casagrande	41
Figura 3.12 Moldeo de los rollitos de suelos sobre la placa de vidrio	42
Figura 4.1 Perfil longitudinal del estero San Enrique – canal “El Recreo”	46
Figura 4.2 Clasificación de áreas de Inundación del Ecuador	47
Figura 4.3 Clasificación de zonas inundadas en el sector de Durán	47
Figura 4.4 Estaciones usadas para la interpolación	48
Figura 4.5 Precipitación en Durán con período de retorno de T=2 años	50
Figura 4.6 Precipitación en Durán con período de retorno de T=5 años	50
Figura 4.7 Precipitación en Durán con período de retorno de T=10 años	51
Figura 4.8 Precipitación en Durán con período de retorno de T=25 años	51
Figura 4.9 Precipitación en Durán con período de retorno de T=50 años	52

Figura 4.10 Comportamiento hidráulico de acuerdo a la geometría del canal.....	57
Figura 4.11 Contraste entre el límite urbano antes vs el aprobado en el 2018	58
Figura 4.12 Área de aportación de la cuenca de Durán	59
Figura 4.13 Valores de áreas entre curvas de nivel	61
Figura 4.14 Rangos de elevaciones de la cuenca	61
Figura 4.15 Caracterización de la cuenca de acuerdo a su pendiente	62
Figura 4.16 Orden de la cuenca del Cantón Durán	64
Figura 4.17 Estadística del cauce principal de la cuenca	65
Figura 4.18 Estadística de la red hídrica de la cuenca	65
Figura 5.1 Parque “Corktown Common” en Canadá	70
Figura 5.2 Parque Las Vegas	71
Figura 6.1 Colectores de descarga directa en el estero San Enrique.....	72
Figura 6.2 Esquema de ampliación del canal frente a la restricción de espacio.....	74
Figura 6.3 Red Irregular de Triángulos del canal San Enrique	78
Figura 6.4 Colectores de descarga en sus respectivos tramos del canal.....	79
Figura 6.5 Vista en planta de la geometría del canal.....	79
Figura 6.6 Tipo de flujo constante para el análisis.....	80
Figura 6.7 Perfil longitudinal – 1er tramo estero San Enrique	81
Figura 6.8 Perfil longitudinal – 2do tramo estero San Enrique	81
Figura 6.9 Pendiente adoptada en el modelamiento numérico.....	81
Figura 6.10 Volumen de inundación del canal San Enrique para un T= 2 años	82
Figura 6.11 Simulación en ArcGIS del escenario 1	83
Figura 6.12 Simulación en ArcGIS del escenario 2	83
Figura 6.13 Simulación en ArcGIS del escenario 3	84
Figura 6.14 Modelo en Hec-RAS para la alternativa 1	84
Figura 6.15 Perfil longitudinal del canal San Enrique	85
Figura 6.16 Esquema paisajístico del parque inundable a construir.....	85
Figura 6.17 Vista en planta del área destinada a inundarse en “El Recreo”	86
Figura 6.18 Ubicación del sistema de colectores C”	87
Figura 6.19 Ubicación del sistema de colectores C’	88
Figura 6.20 Ubicación del parque inundable	88
Figura 6.21 Ubicación de colectores problemáticos	89
Figura 6.22 Área de implantación de la laguna del parque	90

Figura 6.23 Trazado de la ruta para la colocación de los colectores.....	91
Figura 6.24 Perfil longitudinal del parque al canal San Enrique	91
Figura 6.25 Precios de tuberías PVC de la Serie Novafort Plus	94
Figura 6.26 Ancho de zanja recomendada según el diámetro nominal del colector.....	94
Figura 6.27 Esponjamiento característico de los suelos.....	96
Figura 6.28 Tipo de documentación necesaria de acuerdo a la alternativa 1	98
Figura 6.29 Tipo de documentación necesaria de acuerdo a la alternativa 1.....	99
Figura 7.1 Sección transversal de la abscisa 1000	100
Figura 7.2 Sección transversal de la abscisa 1100	101
Figura 7.3 Perfil transversal del estero San Enrique – tramo 2	101
Figura 7.4 Elevación del nivel de agua para el canal San Enrique – tramo 2.....	102
Figura 7.5 Elevación del nivel de agua para el canal San Enrique – tramo 1.....	103
Figura 8.1 Trazado de un canal adicional de acuerdo a la topografía del sector	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Coordenadas de las secciones de interés de los canales en Durán.....	21
Tabla 3.1	Resumen de parámetros geométricos del levantamiento de cada perfil	31
Tabla 4.1	Valores de precipitación del 2015 para distintas estaciones	49
Tabla 4.2	Precipitación para la estación “Divino Niño”	52
Tabla 4.3	Efecto de marea y precipitación al caudal de descarga.....	53
Tabla 4.4	Cota mínima y máxima de la cuenca.....	60
Tabla 4.5	Característica de una cuenca respecto a su pendiente	63
Tabla 6.1	Caudal de aportación de cada colector de descarga al canal para T= 2años	72
Tabla 6.2	Acciones a realizar en el canal por cada tramo	73
Tabla 6.3	Coeficiente de manning del canal para el escenario 1	77
Tabla 6.4	Coeficiente de manning del canal para el escenario 2	82
Tabla 6.5	Área de aportación del sistema de colectores C”	86
Tabla 6.6	Área de aportación del sistema de colectores C’	87
Tabla 6.7	Pendiente del terreno natural en el trazado de la tubería	92
Tabla 6.8	Diámetros de las tuberías a utilizar.....	93
Tabla 6.9	Presupuesto para la alternativa 2	97
Tabla 7.1	Volumen de inundación para diferentes análisis realizados	103
Tabla 7.2	Alturas representativas	104

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las ciudades son más vulnerables a los impactos del cambio climático, debido a sus altas densidades, concentración de poblaciones vulnerables, efecto de islas de calor urbana y limitada infraestructura en asentamientos informales (IPCC, 2007), (IPCC, 2014b).

Los estudios de riesgos a desastres señalan que las áreas urbanas pueden causar o contribuir a riesgos intensos (desastres) y extensivos (desastres de menor impacto y cotidianos). Además que los riesgos urbanos se suelen acumular a través del tiempo, cuando los centros urbanos se expanden sin la infraestructura, servicios y manejo del uso del suelo (Center for Environmental Assessments, 2016), (Lu & Stead, 2013).

Desafortunadamente, es un problema que muchas ciudades costeras presentan en Ecuador, debido al crecimiento de los asentamientos humanos informales. Esto compromete la posibilidad de procesos de planificación urbana y aumenta los riesgos de desastre de dichas poblaciones que son vulnerables.

Esta problemática se ve exacerbada y magnificada en los centros urbanos por los eventos de variabilidad (El Niño) y el cambio climático. Este es el escenario de Durán, que con una población de 235,769 habitantes ha sufrido inundaciones, deslizamientos y efectos indirectos sobre la salud de su población, generando una pesada carga económica en la administración pública local (INEC, 2010).

El cantón Durán en la provincia del Guayas, descansa sobre las riberas orientales de los ríos Babahoyo y Guayas, y forma parte de la conurbación de Guayaquil y Samborondón. La ciudad de Durán está atravesada por grandes canales naturales (esteros) y artificiales, los mismos que conforman la red de drenaje pluvial en el área urbana.

Aproximadamente el 95% del cantón Durán se encuentra asentado sobre suelos poco cohesivos de origen aluvial, mientras el 5 % restante yace sobre las rocas en los cerros testigos que son característicos de su orografía estas características condicionan el surgimiento de amenazas naturales.

Por otro lado, factores sociales e institucionales aumentan el riesgo a desastres, como el incremento de la población, la ocupación inadecuada del territorio, la localización de la infraestructura en zonas peligrosas, las condiciones de pobreza de la población, las debilidades institucionales y las políticas del desarrollo (Moser & Ekstrom, 2010).

La falta de planificación de la ciudad ha provocado que los daños asociados a fenómenos naturales tales como inundaciones, deslaves, intensifiquen sus efectos adversos en sectores vulnerables de Durán. Tal es el caso de la ciudadela El Recreo, la cual en época invernal siempre se ha visto afectada por las intensas precipitaciones que se tienen lugar. (El Universo, 2008), (El Diario, 2016).

1.2 Justificación y razones de investigación

Anualmente la ciudad de Durán se ve afectada por inundaciones y afectaciones de cultivos . Esto presenta riesgos significativos más allá de los riesgos causados por las variaciones naturales del clima y los patrones climáticos estacionales. Ambos tipos de riesgo requieren la atención sostenida del gobierno local.

El Gobierno Autónomo Descentralizado de Durán, a través de la Dirección de Gestión de Riesgos conjuntamente con la Escuela Superior Politécnica del Litoral ha desarrollado el proyecto Resiliencia climática de Durán: Diseñando estrategias de adaptación para riesgos hidroclimáticos (RESCLIMA DURÁN). El cual requiere el análisis de riesgos por inundaciones en el cantón Durán, para lo cual se usó del software Storm Water Management Model (SWMM) (EPA, 2018).

Las principales amenazas climáticas que se han reportado en el cantón Durán, son las siguientes: Recurrencia de inundaciones en las zonas bajas y aquellas que

están rodeadas por canales naturales que reciben el aporte de caudales de los ríos, así como entradas de marea desde el estuario del Guayas.

El Gobierno Autónomo Descentralizado de Durán facilitó los sectores que presentan mayor riesgo de inundación ante las intensas precipitaciones que se dan en época invernal. La ciudadela El Recreo, la cual es la que se va a analizar en el presente estudio es uno de aquellos sectores. Cabe destacar que para el mismo se hará uso del programa de modelamiento hidráulico HECRAS.

1.3 Restricción

La restricción que se tiene son los asentamientos humanos existentes, debido a ello se debe tener total cuidado con las soluciones que se vayan a proponer con la finalidad de controlar las inundaciones que se dan en la ciudadela El Recreo.

El GAD del Cantón Durán no posee los recursos suficientes para la implementación de un plan de control de inundaciones.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Plantear propuestas de solución a las inundaciones que se dan en el sector El Recreo – Durán, a través del uso de modelación numérica.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Obtener información de estudios realizados con anterioridad.
- Investigar sobre las posibles soluciones que se pueden proponer para controlar las inundaciones.
- Elaborar un levantamiento topográfico de los perfiles del canal San Enrique y el Estero La Matanza en los diferentes tramos de estudio.
- Efectuar ensayos de laboratorio a las muestras de suelo tomadas en el canal y en el estero, para obtener las características del suelo.
- Realizar un análisis hidráulico modelando el canal San Enrique mediante el programa HEC-RAS.
- Justificar la solución más adecuada y económica que permita disminuir las inundaciones que se dan en la ciudadela El Recreo del cantón Durán.

CAPÍTULO 2

2. TRABAJO DE CAMPO

2.1 Reconocimiento de la zona

Durán se ve afectada por inundaciones en algunas ciudadelas de El Recreo debido al deficiente sistema de drenaje que se da en épocas invernales. Por ello, se realizó salidas de campo a aquellos canales que se encargan de recolectar las aguas lluvias que provienen del sistema de alcantarillado pluvial.

La estación lluviosa se da entre los meses de diciembre-enero y culmina entre los meses de abril-mayo. Los niveles de precipitación son muy variables de año a año, debido a la influencia de los eventos ENSO y a la influencia estacional de los sistemas atmosféricos. (Caviedes, C. N. y Waylen, P. R., 1998), (Nieto, J. J., 2007)

El viernes 18 de mayo de 2018 se realizó junto al personal del Gobierno Autónomo de Durán una inspección visual, con la finalidad de establecer las secciones críticas presentes en los distintos canales situados en la ciudadela El Recreo. Las secciones críticas a considerar para el presente estudio son aquellas que cruzan debajo de un puente, debido que para la mayoría de los casos, el canal en estos puntos sufre una reducción en su sección transversal por la influencia de las pilas y estribos de los puentes o por consecuencia de la colocación de ductos cajón. Por medio de esta inspección visual se definió el trabajo que se realizaría.



Figura 2.1 Inspección visual en puntos estratégicos

Fuente: Autores

2.2 Selección de la zona de estudio



Figura 2.2 Puntos de levantamiento de canales en el Cantón Durán

Fuente: Autores

El área del levantamiento topográfico a considerar engloba dos canales específicos: el Estero La Matanza y el canal San Enrique. Para el presente estudio sólo se consideró el Estero San Enrique.

Tabla 2.1 Coordenadas de las secciones de interés de los canales en Durán

	Coordenadas	Y	X
Esteros San Enrique Punto 1 en el mapa Puente Mavisa	Perfil A-A'	9758704	629825
		9758697	629840
	Perfil B-B'	9758709	629829
		9758703	629841
	Perfil C-C'	9758695	629823
		9758689	629835
Esteros La Matanza Punto 2 en el mapa Peñon del Río	Perfil D-D'	9762022	629640
		9762002	629620
	Perfil E-E'	9762008	629647
		9761993	629632
Esteros La Matanza Punto 3 en el mapa	Perfil F-F'	9762050.9	631655.9
		9762051	631671.9
	Perfil G-G'	9762041	631657
		9762042	631671

Fuente: Autores

Luego de haberse llevado a cabo la inspección visual, el viernes 31 de mayo de 2018 se empezó a realizar el levantamiento topográfico del canal. Para ello se tomaron las siguientes consideraciones:

- Se levantaron 2 secciones (una sección antes de llegar al puente y otra después de cruzar el puente), para tener conocimiento de cuanto varía la sección y la pendiente que tiene.
- Las secciones levantadas fueron tomadas como una representación ideal a lo largo del canal de donde proceden, es decir, se consideró que el canal es homogéneo en su longitud, debido a que existían zonas inaccesibles.

Mediante estas consideraciones, se obtuvo un modelo ideal pero representativo, debido a que su desempeño fue considerado crítico tras usar las secciones cercanas a los puentes.

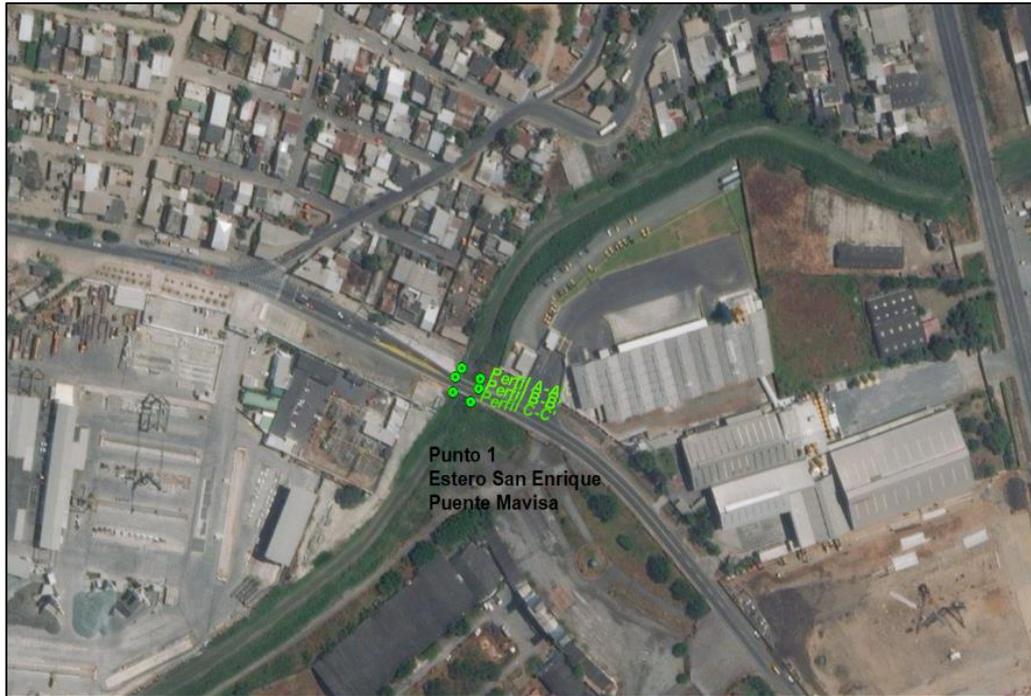


Figura 2.3 Punto 1 escogido para el levantamiento topográfico

Fuente: Autores



Figura 2.4 Punto 2 escogido para el levantamiento topográfico

Fuente: Autores

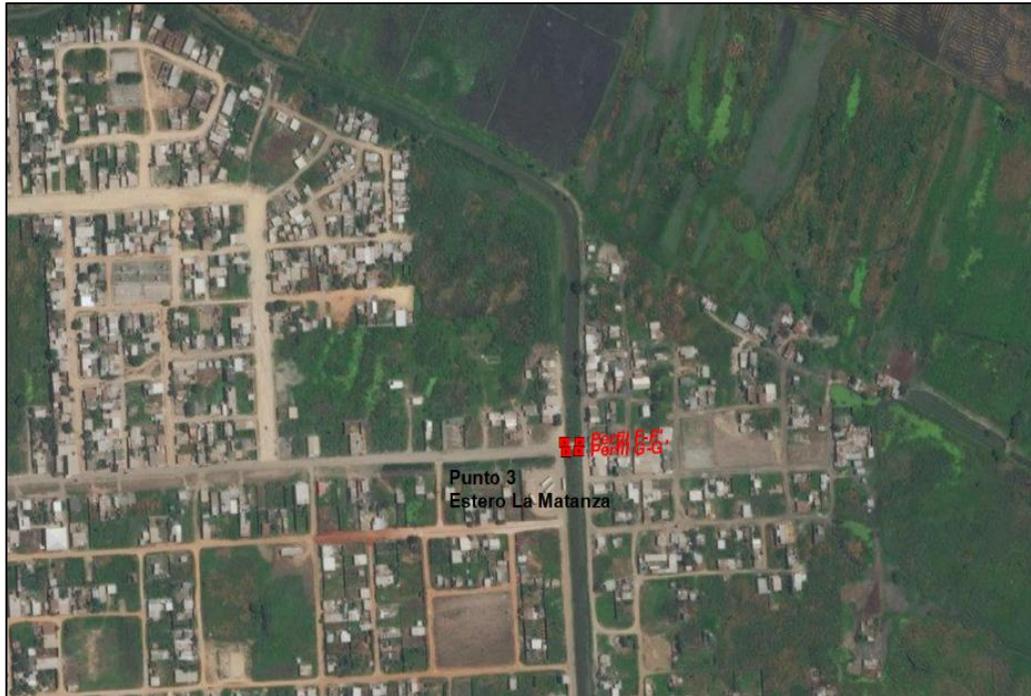


Figura 2.5 Punto 3 escogido para el levantamiento topográfico

Fuente: Autores

2.3 Levantamiento topográfico

En primera instancia, se usó la estación total para realizar la radiación de los puntos de manera más rápida. A medida que avanzamos con el levantamiento de un canal salieron a la luz ciertos inconvenientes mencionados a continuación:

- El portaprisma (jalón) tenía una longitud de 2 metros y en la mayoría de los casos no se podía ubicar la estación total en el talud del canal, motivo por el cual se la ubicó en el borde del canal. Pero en este punto no se alcanzó a enfocar al prisma debido a que los canales de estudio se encontraban a más de 3 - 5 metros desde el fondo del canal hasta la posición de donde se tomaron las lecturas.
- El procesamiento de los datos con la estación total iba mostró un cierto grado de complejidad (a pesar de que se obtuvieron coordenadas y posiciones más exactas en las 3 direcciones). Esto debido a que al importar los puntos en AutoCAD, si no se conectaban los puntos de acuerdo a las capas guardadas en la estación, se podría cometer errores en cuanto a la forma geométrica del canal.

- La obtención de las coordenadas del resultado de la radiación se dificultó. Esto debido a que no se conocía la vista atrás (backsight) para realizar la respectiva orientación del equipo con respecto a las coordenadas donde se posicionó la estación (Stn Coordinate), como se muestra en la figura 1. Para ese cálculo, con una brújula se posicionó el norte magnético y se visualizó el backsight para obtener el ángulo entre esos dos ejes. Posteriormente, se disparó al backsight para obtener HD, VD. Con el valor de HD y el ángulo al eje vertical se obtuvieron las coordenadas cartesianas X, Y; con VD, la altura hi de la estación y la cota (Z) donde se posicionó la estación, se obtuvo la cota del backsight. De aquí en adelante se realizó el mismo proceso para orientación, conociendo las coordenadas de dos puntos para proceder a realizar el levantamiento.

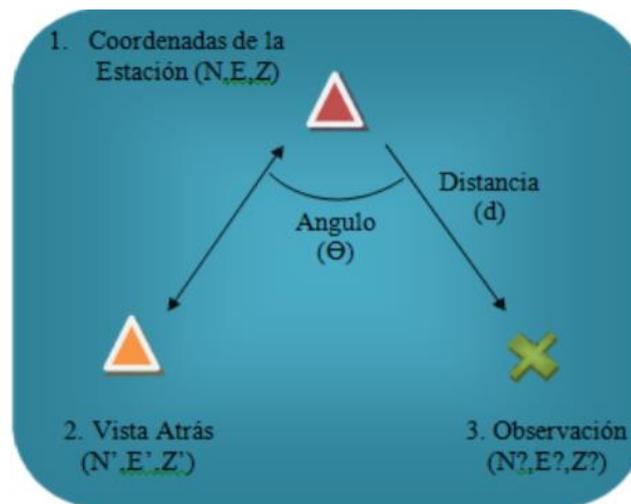


Figura 2.6 Metodología de referencia espacial del equipo

Fuente: Manual de operación de la estación total, 2011

Tomando en cuenta estos inconvenientes y restricciones se realizó el trabajo sólo con GPS y nivel, el cual se detalla en la Metodología.

2.3.1 Equipos utilizados

2.3.1.1 Nivel

El nivel empleado es un SOKKIA B40, el cual posee 3 tornillos para ajustar la nivelación y que el instrumento quede ubicado

completamente de manera horizontal sobre la superficie del trípode. Además posee tres hilos (superior, central e inferior) en su lente, la cual nos asegura que la lectura no tenga variación en más de 3 mm. Los niveles de la serie B incluyen un compensador más preciso y fiable. Cuatro cables de suspensión superdúctiles y un sistema amortiguador magnético garantizan la estabilidad y precisión aunque el instrumento sufra cambios de temperatura, vibraciones o golpes.



Figura 2.7 Nivel SOKKIA B40

Fuente: (Tomalaweb, 2018)

2.3.1.2 GPS

Es un equipo que tiene integrado un sistema que se encuentra enlazado y conectado a través de satélites. Durante todo el año, el cual nos da un cuadrante de posición en tiempo real. Se recomienda colocarlo sobre el punto de interés con la antena en posición vertical para que reciba la señal de varios satélites. Se debe evitar que el GPS se encuentre en una zona despejada donde las edificaciones, cables de alta tensión, nubosidad, vegetación interfieran y obstruyan la alineación de la antena con los satélites.

El equipo GPS utilizado para llevar a cabo el levantamiento topográfico es un GARMIN GPSmap 62. Este posee un mapa base integrado de todo el mundo con relieve sombreado, además de una antena GPS Quadrifilar Helix de alta sensibilidad para una recepción incomparable con brújula de tres ejes con altímetro barométrico.



Figura 2.8 GPSmap 62s GARMIN

Fuente: (GARMIN INTERNATIONAL, Inc, 2011)

2.3.2 Metodología

La metodología para el levantamiento topográfico consistió principalmente en la realización de la libreta de nivelación partiendo de las cotas de BM más cercanas al punto de interés del canal, las cuales fueron proporcionadas por el Municipio.

Para ello se utilizó un nivel con su respectivo trípode, una estadia de 5 metros de longitud, una cinta métrica, un GPS y marcadores. Primero se arrastró el BM hacia una posición cercana al canal, a partir de allí se tomaron las lecturas a las diferentes posiciones del ancho del canal.

El procedimiento que se realizó fue el siguiente:

Se posicionó el nivel sobre un punto con cota conocida cercano al canal para poder tener una mayor visión de puntos desde una misma posición del nivel. Sucesivamente, se rayó con el marcador líneas distribuidas cada 100 cm sobre el puente (a lo ancho del canal), para posteriormente poder graficar en Y (Z= cota) y en X (el abscisaje que va de 0 a T=ancho del canal).

En la libreta de campo, la cota conocida sobre la cual se posiciona el nivel sirvió para calcular la altura del instrumento (H_i), tomando previamente la lectura vista atrás.

$$H_i = V. \text{Atras} + \text{cota}_{\text{BM}} \quad (2.1)$$

Una vez conocida H_i , se calculó la cota de los puntos de interés (de la sección transversal), previamente tomando las lecturas de la vista delante donde se posiciona la estadia cada 100 cm.

$$\text{cota}_{i+1} = H_i - V.\text{Adelante}_{i+1} \quad (2.2)$$

De la misma manera, las cotas del espejo de agua se usaron para evaluar la capacidad hidráulica del canal.

El procedimiento general del levantamiento topográfico que se realizó se muestra en la Figura 2.9.

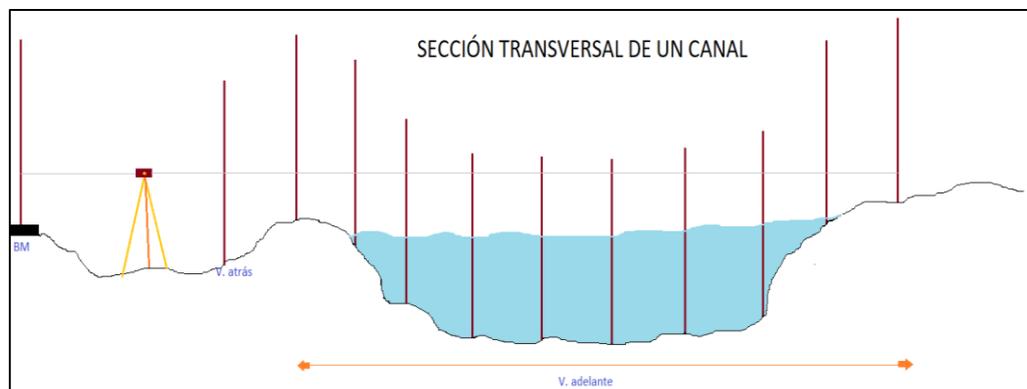


Figura 2.9 Esquema del levantamiento topográfico empleando nivel

Fuente: Autores

Inicialmente, se iba a considerar una plomada para no sumergirse en el canal, pero en uno de los canales, la altura desde el puente iba a ser tan grande que la plomada no serviría. Debido a ello en el punto 2 del Estero La Matanza y en el punto 1 del Estero San Enrique, se recurrió a ingresar dentro del canal para colocar la estadia en cada punto. Para el punto 3 del Estero La Matanza no hubo necesidad de ingresar al canal, puesto que la zona del canal es prácticamente regular y de poca profundidad.

2.4 Muestra de suelo del canal

Se obtendrá una muestra de suelo, a fin de determinar las propiedades y comportamiento del suelo dentro del área de estudio, por medio de ensayos de laboratorio. Los resultados obtenidos de los ensayos en el laboratorio fueron necesarios para conocer el tipo de suelo del canal y la rugosidad (coeficiente de manning) para poder realizar el modelamiento hidráulico en HEC-RAS.

2.4.1 Zona de extracción

Se realizó la toma de muestras en la zona más profunda del canal. En el Estero la Matanza por Peñón del Río y en el Estero San Enrique se tomó la muestra de suelo en la solera central del canal. Con una pala se profundizó 50 cm para conocer el verdadero material del cual está constituido el canal. En el Estero La Matanza en el punto 3 no se ingresó al canal porque en sus laderas existía contaminación debido a los desechos arrojados por los moradores del sector. Debido a ello dicha muestra de suelo fue obtenida en el borde izquierdo de la solera acercándose al talud.

2.4.2 Metodología

Una vez obtenida la muestra se procedió a colocarla en doble funda para evitar que se desparrame y que pierda su humedad natural. De igual manera que se asumirá las mismas secciones a lo largo del canal, también serán representadas por el mismo tipo de suelo en toda su longitud.

2.5 Análisis a la problemática social

Pese al esfuerzo del GAD Municipal del Cantón Durán por realizar la limpieza del Estero La Matanza, el cual circunda con la ciudadela El Recreo, la ciudadela se inunda frente a grandes precipitaciones.

Varias de éstas ciudadelas se encuentran ubicadas en las zonas bajas y en adición estas ciudadelas y cooperativas se encuentran en la cercanía de canales naturales que provienen del Río Guayas, se ven aún más afectadas que las demás. En el año 2012, Durán fue declarado en estado de emergencia en alerta naranja, dicho estado de emergencia dura hasta que culmine la época invernal. La ciudadela Recreo es una de las zonas más afectadas, y la primera etapa del Recreo conecta el Canal del Recreo al Estero San Enrique.

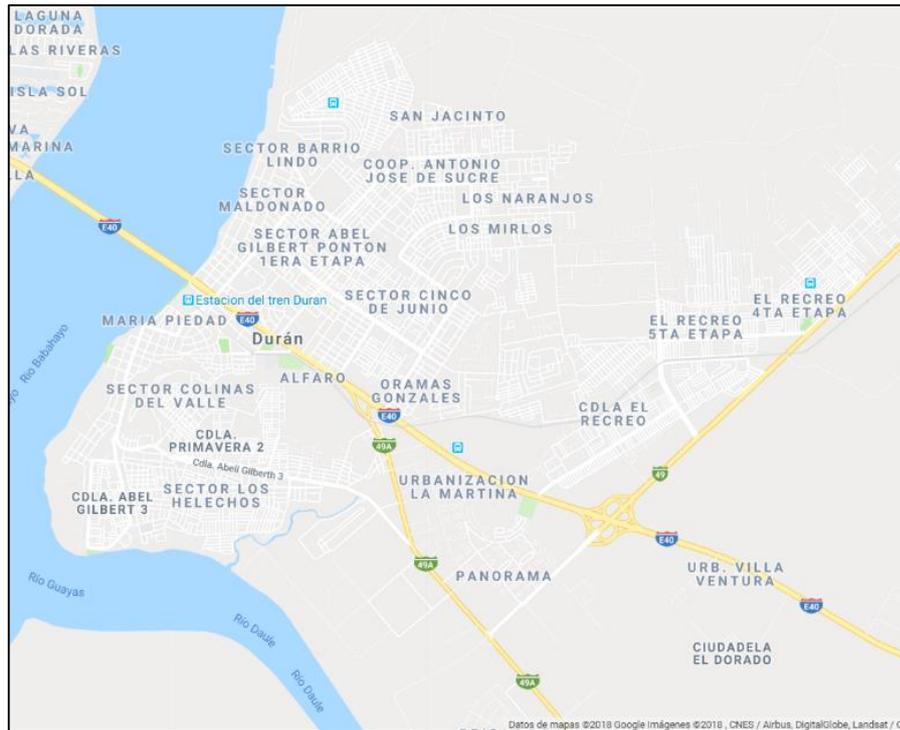


Figura 2.10 Mapa satelital de las ciudades existentes en el cantón Durán

Fuente: Street view Google, 2018

CAPÍTULO 3

3. PROCESAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS EN CAMPO

3.1 Procesamiento del levantamiento topográfico

Con los puntos obtenidos mediante la nivelación en los puntos: 1, 2 y 3, se realizó el gráfico de los perfiles en Excel para analizar su comportamiento. Ambos ejes de las gráficas se encuentran en metros como se muestran en la Figura.

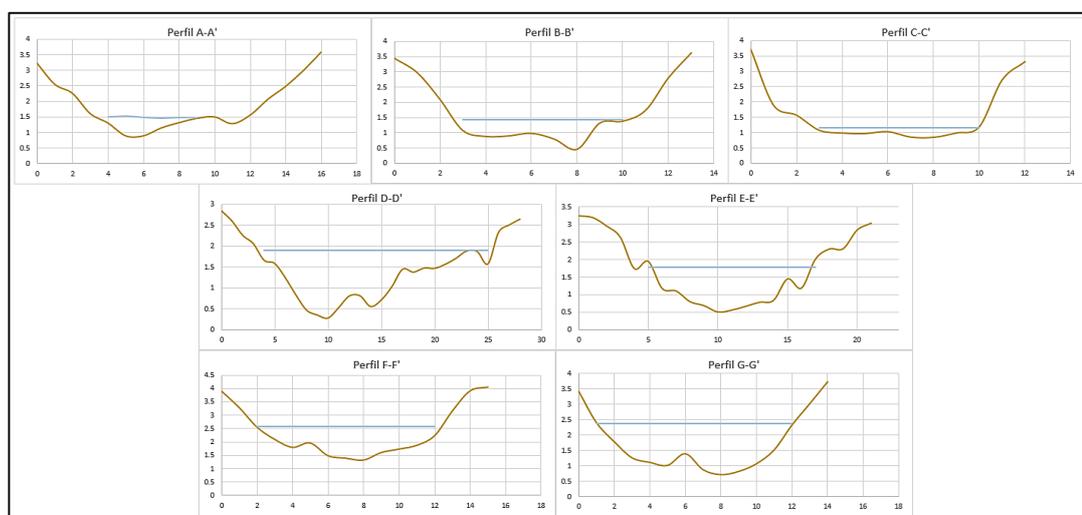


Figura 3.1 Secciones transversales de los canales obtenidos de la topografía

Fuente: Autores

Debido a que los canales no son de sección regular, no se pudo hacer uso de tablas para calcular su geometría. Por lo tanto, para conocer las características geométricas, tales como T (ancho espejo de agua), área, perímetro, entre otras; se hizo uso del software AutoCAD, en el cual se dibujó punto por punto de la libreta de campo, ubicando las coordenadas de la posición inicial y final, y mediante una polilínea se graficó el perímetro del canal y del espejo de agua. Se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 3.1.

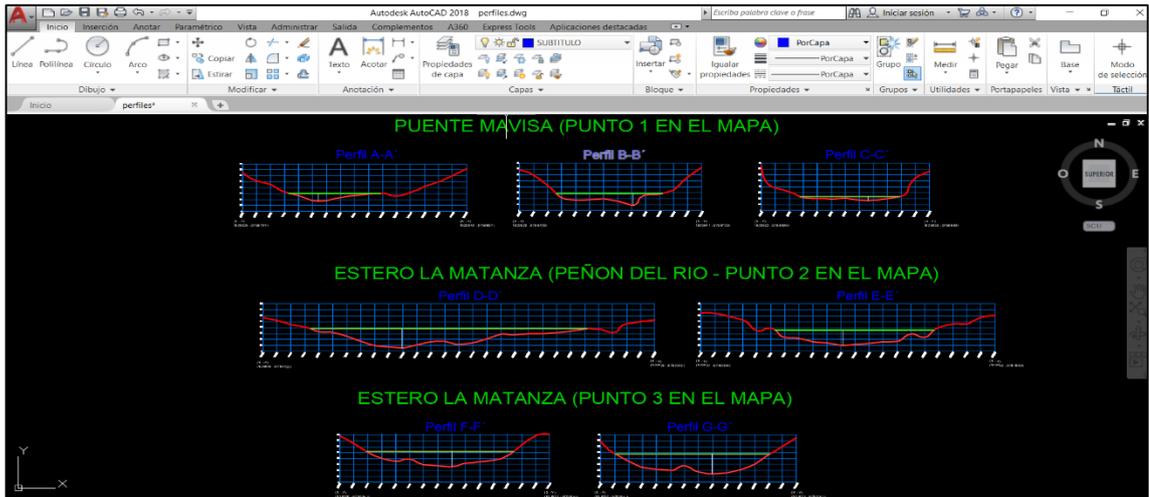


Figura 3.2 Digitalización de los puntos en AutoCAD

Fuente: Autores

Tabla 3.1 Resumen de parámetros geométricos del levantamiento de cada perfil

Lista	Perfil	Espejo de agua					Canal		
		T (m)	Area (m ²)	Pmojado (m)	y (m)	Rh	Ancho (m)	Area (m ²)	P (m)
PUENTE MAVISA (PUNTO 1 EN EL MAPA)	A-A'	6.511	1.983	6.689	0.666	0.297	16	25.910	17.224
	B-B'	7.570	3.573	8.272	0.974	0.432	13	25.025	15.252
	C-C'	7.091	1.322	7.158	0.324	0.185	12	24.927	14.494
ESTERO LA MATANZA (PEÑON DEL RIO - PUNTO 2 EN EL MAPA)	D-D'	19.704	15.985	20.280	1.617	0.788	28	36.884	29.104
	E-E'	11.338	9.776	12.228	1.280	0.799	21	31.041	22.731
ESTERO LA MATANZA (PUNTO 3 EN EL MAPA)	F-F'	10.445	8.540	11.060	1.276	0.772	15	25.603	16.541
	G-G'	11.002	12.303	12.033	1.667	1.022	14	27.528	15.917

Fuente: Autores

3.2 Caracterización de las muestras de suelo de los canales

3.2.1 Análisis granulométrico por tamizado según ASTM D422

3.2.1.1 Alcance

Proceso empleado para la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo, separando los finos

del material grueso mediante distintos tamices de la serie empleada en el ensayo se obtiene los porcentajes de suelo por cada malla para posterior clasificación del suelo según el método adaptado.

3.2.1.2 Equipo

- Balanza.- De aproximación de 0.1 g para muestras de tamaño fino y 0.5 g para las de tamaño grueso. Si se tienen muestras heterogéneas se usa una precisión de 0.1 g.
- Horno de secado.- De capacidad y características suficientes para producir una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.
- Serie de tamices.- Recipiente con mallas cuadradas de diferentes tamaños que permiten disgregar tamaños de material y cumplen con los requerimientos del ASTM E11.
- Tamizador mecánico.- Garantiza que las partículas cambien de posición entre la superficie de cada tamiz.

3.2.1.3 Procedimiento

1. Debido a que las muestras de las fundas se encontraban muy húmedas y de gran volumen, se procedió a cuartearlas y seleccionar una porción representativa.



Figura 3.3 Muestras extraídas en la solera de los canales

Fuente: Autores

2. Se colocó la porción de la muestra en una tara y se ingresó al horno a una temperatura de 110°C como se muestra en la Figura 3.4. Este procedimiento no debe exceder las 24 horas debido a que puede existir una reducción considerable en su humedad.



Figura 3.4 Porciones representativas sometidas a alta temperatura

Fuente: Autores

3. Con la muestra seca y con la ayuda del tamiz No.200 se procedió a lavar la muestra para eliminar los residuos del fondo y toda impureza o residuo orgánico/inorgánico que esté presente en la muestra. Antes de lavar la muestra en el tamiz No.200 se deben desmoronar los grumos con un rodillo o con los dedos.



Figura 3.5 Remoción de residuos e impurezas mediante lavado

Fuente: Autores

4. La muestra lavada se la colocó de vuelta en el horno Durante 24 horas a 110°C para eliminar el exceso de agua. Se registró el peso después de retirarla del horno.
5. En el tamizador mecánico se usaron los siguientes tamices: $\frac{3}{4}$ ", No.4, No.10, No.40, No.200, fondo y tapa; debido a que predomina la grava. Se ajustó el tiempo de 2 minutos en el equipo para que empiece a moverse y asegurarse que todo el material quede bien mezclado pasando a través de todos los tamices.



Figura 3.6 Tamices utilizados para el procedimiento

Fuente: Autores

6. Una vez culminado el movimiento del equipo, se retiraron los tamices y se determinó el peso de cada tamiz con la balanza, cuidando de que no se queden partículas retenidas en sus aberturas como lo indica la Figura 3.7. La suma de los pesos de todos los tamices no debe diferir en más del 1%, caso contrario se repiten las pesadas, si no se añade la diferencia a los tamices que contienen mayor peso.



Figura 3.7 Recolección de partículas por tamiz

Fuente: Autores

7. Una vez finalizado el procedimiento, se realizan los cálculos y se los tabula en una tabla para graficar el porcentaje de pasante acumulado versus la apertura de los tamices.

3.2.1.4 Cálculos

Los cálculos se deben realizar para cada tamiz usado.

El retenido parcial es el peso retenido en cada tamiz.

Una vez pesado el material retenido en cada tamiz, se procede a calcular el porcentaje de retenido parcial empleando la ecuación 3.1.

$$\% \text{Retenido parcial} = \frac{W_{RP}}{W_T} * 100 \quad (3.1)$$

El porcentaje de retenido acumulado es la suma de todos los porcentajes que están sobre esa malla, de modo que se van sumando hasta que se llega al 100%. Representa el porcentaje de masa de las partículas con tamaño mayor al de la abertura del tamiz correspondiente.

El porcentaje de pasante acumulado es igual a 100 menos el porcentaje de retenido acumulado. Representa al porcentaje de masa de las partículas con tamaño menor al de la abertura del tamiz correspondiente.

3.2.1.5 Resultados

Los pesos obtenidos y la tabla realizada para el cálculo de porcentajes de pesos, permitieron representar la curva granulométrica, la cual nos indica la composición del suelo; es decir una línea vertical indica un solo tamaño de suelo y una curva muy tendida indica variedad de tamaños.

Allen Hazen definió 2 coeficientes que nos permiten determinar la uniformidad del suelo:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} ; \text{ coeficiente de uniformidad} \quad (3.2)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} ; \text{ coeficiente de curvatura} \quad (3.3)$$

Cuanto mayor sea C_u , mayor será el rango de tamaños que posea el suelo. D_{60} , D_{30} y D_{10} indica los diámetros de partículas para el cual el porcentaje 60, 30 o 10 del material son más fino que ese tamaño.

De la curva granulométrica, se obtiene los porcentajes de finos, arena y grava. Para el porcentaje de grava se considera lo retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ " y No.4, para el porcentaje de arena se considera lo retenido en el tamiz No.10, No.40 y No.200, y para el porcentaje de finos es el pasante acumulado del tamiz No.200. Ver Anexo A.

3.2.2 Análisis granulométrico por tamizado según ASTM D422

3.2.2.1 Alcance

Determinar la relación, en porcentaje, del peso de agua en una muestra de suelo con respecto al peso de las partículas sólidas,

mediante la obtención del peso húmedo y el peso una vez salido del horno y enfriado.

3.2.2.2 Equipo

- Balanza.- De aproximación de 0.1 g para muestras de tamaño fino y 0.5 g para las de tamaño grueso. Si se tienen muestras heterogéneas se usa una precisión de 0.1 g.
- Horno de secado.- De capacidad y características suficientes para producir una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.
- Recipientes.- Moldes o taras metálicas capaces de resistir a la corrosión y al cambio de volumen cuando se varía la temperatura.

3.2.2.3 Procedimiento

1. Seleccionar un recipiente adecuado y pesarlo. Registrar el valor como $W_{\text{recipiente}}$.
2. Colocar en el recipiente aproximadamente 200 gramos de la muestra. Registrar el valor como W_h .
3. Colocar la muestra en el horno a 110°C Durante 24 horas.
4. Una vez pasada las 24 horas, retirar el recipiente del horno y esperar a que enfríe hasta llegar a una temperatura ambiente. Proceder a registrar el peso como $W_{s+\text{recipiente}}$.

3.2.2.4 Cálculos

Calcular el porcentaje de humedad usando la siguiente expresión:

$$\%W = \frac{W_h - (W_{s+\text{recipiente}} - W_{\text{recipiente}})}{W_{s+\text{recipiente}} - W_{\text{recipiente}}} * 100 \quad (3.4)$$

3.2.3 Límites de atterberg según ASTM D4318

3.2.3.1 Alcance

Este ensayo permite obtener los límites de humedad: líquido y plástico; dentro del cual el suelo permanece en su estado plástico

para posteriormente clasificar el suelo mediante el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

3.2.3.2 Equipo

- Copa casagrande.- instrumento manual de medición que comprende de un plato esférico metálico, fijado en su borde a un dispositivo mediante el cual tiene una manivela que produce la elevación del plato y su subsecuente caída.
- Balanza.- De aproximación de 0.1 g para muestras de tamaño fino y 0.5 g para muestra de tamaño grueso. Si se tienen muestras heterogéneas se usa una precisión de 0.1 g.
- Horno de secado.- De capacidad y características suficientes para producir una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.
- Ranurador.- Instrumento metálico con su punta de caucho que permite abrir paso en la muestra ensayada.
- Accesorios varios: espátula, placas de vidrio, agua, recipientes de porcelanas.

3.2.3.3 Procedimiento

Límite líquido

1. Se ensayó el suelo pasante de la malla No.40, es decir con todas las partículas de arena y finos. Para ello se usó del tamiz No.40, el fondo y un recipiente profundo para vaciar de a poco la muestra lavada como se muestra en la Figura 3.8.



Figura 3.8 Remoción de las partículas superiores al tamiz No. 40

Fuente: Autores

2. Se agregó agua a la muestra hasta conseguir una consistencia semilíquida. Al finalizar este paso, se recolectó todo el pasante en el recipiente metálico. Se procedió a meter el recipiente al horno a una temperatura de 110°C Durante 24 horas para eliminar todo el exceso de agua.
3. Luego de sacar la muestra del horno, ésta misma tomó una consistencia rígida debido a que en ella simplemente queda presente las partículas de arena y finos como se muestra en la Figura 3.9. Por lo tanto, se molió con un rodillo metálico sobre una bandeja hasta que regrese a la finura requerida para el ensayo.



Figura 3.9 Muestra obtenida del pasante No.40 y sometida a temperatura

Fuente: Autores

4. Se tomó 50 g de muestra aproximadamente y se la colocó en el recipiente de porcelana para empezar el ensayo. Se le va agregando agua (generalmente 15 a 20 cm³) hasta que al mezclarla quede una consistencia homogénea.
5. Antes de iniciar, se aseguró que tanto la Copa Casagrande y el ranurador estuvieran limpios y un poco humedecidos para asegurarse de que el equipo no le quite humedad a la muestra.
6. La masa homogénea se la colocó en la Copa sin llenarla, tal como se muestra en la Figura 3.10, alisando la superficie a una altura de 1 cm, usando la espátula.



Figura 3.10 Colocación de la muestra en la copa casagrande

Fuente: Autores

7. Empleando el ranurador se abrió la masa central en dos mitades.
8. Con la ayuda de la manivela de la copa, se giró a una velocidad constante a ritmo de 2 revoluciones por segundo para que la copa caiga consecutivamente a una altura de 1 cm, véase la Figura 3.11. Se dejó de girar la manivela hasta que el surco hecho con el ranurador se cerró.



Figura 3.11 Utilización de la copa casagrande

Fuente: Autores

9. Se registró el número de golpes empleados para que el surco se cierre. El número de golpes no puede ser menor a 10 ni mayor a 40. Se tomó alrededor de 6 g del suelo de la parte central, es decir, donde se cerró el surco. Luego se procedió a pesar y calcular el contenido de humedad.
10. Se repitió este procedimiento al menos 3 veces por muestra para obtener varios números de golpes con sus respectivas humedades.

Límite plástico

Es el menor contenido de humedad con el cual el suelo permanece en estado plástico.

1. Para su determinación se tomó 10 g aproximadamente de la muestra anterior y se añadió un poco de suelo seco, de modo que al formar la bola no quede muy pegajosa.
2. Luego se tomó $\frac{1}{3}$ de la bola y se amasó sobre la placa de vidrio haciendo unos rollitos de 3 mm de diámetro como lo indica la Figura 3.12.



Figura 3.12 Moldeo de los rollitos de suelos sobre la placa de vidrio

Fuente: Autores

3. Se repitió el paso 2 hasta que los rollitos de 3 mm se desmoronen o se agrieten Durante el enrollado.
4. Se colocaron los rollitos en una tara para luego pesarla y se determinó el contenido de humedad. Se repitió este procedimiento hasta obtener 3 taras. El límite plástico será el promedio entre los tres excepto si alguno difiere más del 1%.

3.2.3.4 Cálculos

Límite líquido

Obtenido los pesos, se calculó el porcentaje de humedad. Posteriormente se grafica el contenido de humedad vs el número de golpes. El límite líquido es igual al contenido de humedad a los 25 golpes.

Para el cálculo del contenido de humedad se registró los siguientes pesos:

W_{h+Tara} : Peso de la muestra húmeda + recipiente

W_{s+Tara} : Peso de la muestra seca + recipiente

W_{Tara} : Peso del recipiente

$$\%w = \frac{W_{h+Tara} - W_{s+Tara}}{W_{s+Tara} - W_{Tara}} \times 100 \quad (3.5)$$

Límite plástico

Se determinó el contenido de humedad usando las mismas ecuaciones que se empleó en el Límite Líquido. Se escogió el valor promedio del contenido de humedad de los tres ensayos realizados por muestra, como se muestra en la Ecuación 3.6.

$$wP = \frac{\%w_1 + \%w_2 + \%w_3}{3} \quad (3.6)$$

Índice plástico

El Índice Plástico se calculó usando la Ecuación 3.7.

$$IP = wL - wP \quad (3.7)$$

3.2.3.5 Resultados

Se graficó el porcentaje de humedad vs número de golpes, y se obtuvo el valor de wL reemplazando $x=25$ en la ecuación de la recta de las figuras del Anexo A.

3.2.4 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

Permite separar los suelos gruesos de los finos utilizando la malla No.200. Clasifica gruesos como los que tienen más del 50% retenido en la malla No.200, y finos como los que tienen más del 50% pasante de la malla No.200.

La clasificación del suelo está dada por dos letras que son iniciales de los nombres de suelos más típicos. La primera letra se determina a partir de la granulometría. En este caso las tres muestras de los canales son de suelo grueso, como se puede ver en el Anexo A, por lo tanto, el suelo puede ser grava o arena. Posteriormente, se debe usar la malla No.4 para determinar

si el retenido en esa malla es mayor al 50%, entonces el suelo sería grava, caso contrario sería arena.

Debido a que, en la composición del suelo, el porcentaje de finos para este caso particular es menor al 5%, no es necesario usar la carta de plasticidad, basta únicamente usar la granulometría y los coeficientes obtenidos de la curva granulométrica como se puede ver en el Anexo A.

De manera general, el tipo de suelo encontrado en los canales es grava bien graduada y mal graduada con un coeficiente de compresibilidad que va de alto a medio, calculado con la Ecuación 3.8. De igual manera se verifica la denominación del suelo, con la consistencia relativa, dando un resultado de un suelo de consistencia muy dura, usando la Ecuación 3.9.

$$C_c = 0.009 (wL - 10) \quad (3.8)$$

$$C_r = \frac{wL - w_n}{IP} \quad (3.9)$$

CAPÍTULO 4

4. LITERATURA A LA PROBLEMÁTICA

4.1 Inundación

4.1.1 Impacto ambiental

Las inundaciones provocan un desequilibrio y vulnerabilidad de los ecosistemas debido a la sobrecarga en el terreno. El impacto que tiene puede ser difícil de recuperar, ya que al igual que las personas, los animales también se ven afectados a abandonar su hábitat natural. El desastre no es la inundación sino las consecuencias que conlleva, es por ello que la seguridad depende de un eficiente Plan de gestión ambiental.

Durante la inundación, las zonas que no tienen árboles o rocas para evitar el desbordamiento o la erosión son a menudo barridas. En las zonas bajas, como es el caso de estudio, se ubican los campos agrícolas que sufren pérdidas de los cultivos tras el evento.

4.1.2 Tipos de inundación

4.1.2.1 Inundación costera y marejada

En el Litoral, las inundaciones pueden ser a causa de fuertes tormentas, conduciendo a una elevación de marea inhabitual. Por lo general, los efectos en las zonas de desembocadura pueden ser mayores si coinciden con eventos de precipitación, a esto se le suma el efecto de la pendiente, llegando a que la descarga al mar sea problema, llegando a que el flujo se extienda a terrenos más bajos. (CORIMAT, 2012)

En el Cantón Durán existen tramos de pendientes negativas, dando resultado a que el flujo aguas arriba nunca llegue a la desembocadura; en otras palabras, provocando estanqueidad (velocidad de flujo es cero o cercana a cero). La máxima cota de marea en el extremo más lejano del canal es de 1.48 m.s.n.m una

vez haya transcurrido 4.53 horas desde que se produjo la máxima marea en la desembocadura al río Guayas. La marea en la desembocadura no afecta aguas arriba en el canal San Enrique, debido a que en ese momento, el río Guayas se encontraría con una cota de -0.08 m.s.n.m, además los puntos en donde el Estero San Enrique se conecta con el Canal Panorama tiene pendientes negativas.

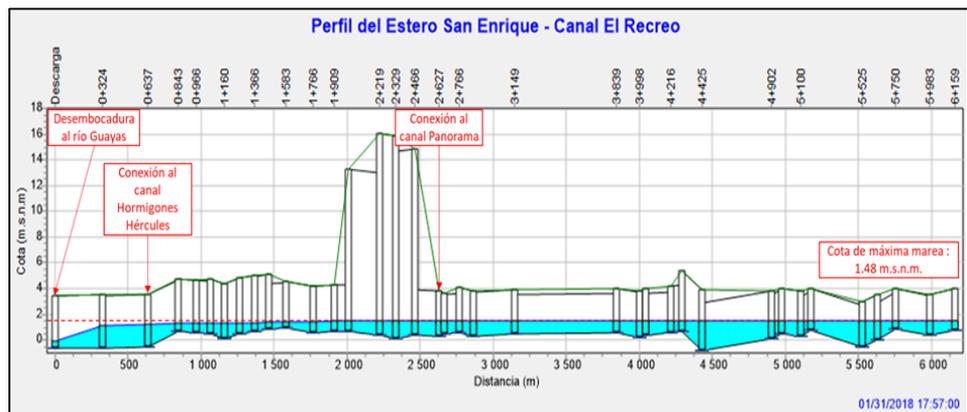


Figura 4.1 Perfil longitudinal del estero San Enrique – canal “El Recreo”

Fuente: Autores

4.1.2.2 Inundación fluvial

Se producen cuando el agua que se desborda de ríos, canales, esteros, etc, queda por encima de la superficie de los terrenos cercanos a ellos produciéndose las áreas de inundación. (UNAM, 2015)

Uno de los impactos ligados a grandes errores en la ordenación territorial y de planificación urbanística.

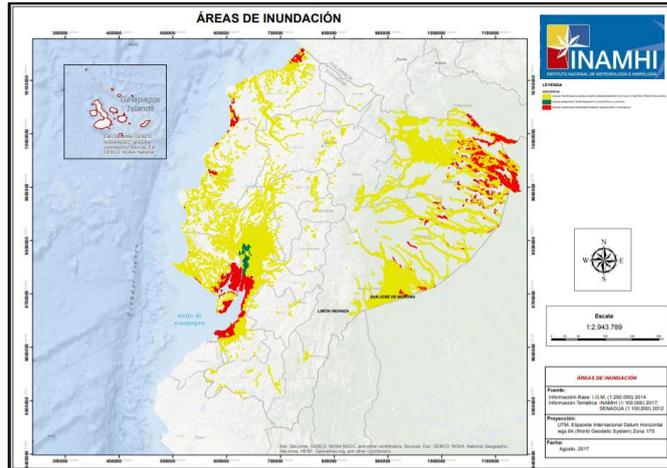


Figura 4.2 Clasificación de áreas de Inundación del Ecuador

Fuente: (INAMHI, 2017)

En la Figura 4.3, con base a los datos de área de inundación proporcionada por el INAMHI en la Figura 4.2, mediante una clasificación por color se observa que gran parte del cantón tiene zonas propensas a inundación y zonas más afectadas debido a la precipitación. Sin embargo, dicho análisis no hace hincapié en los colectores que producen inundación durante la precipitación.

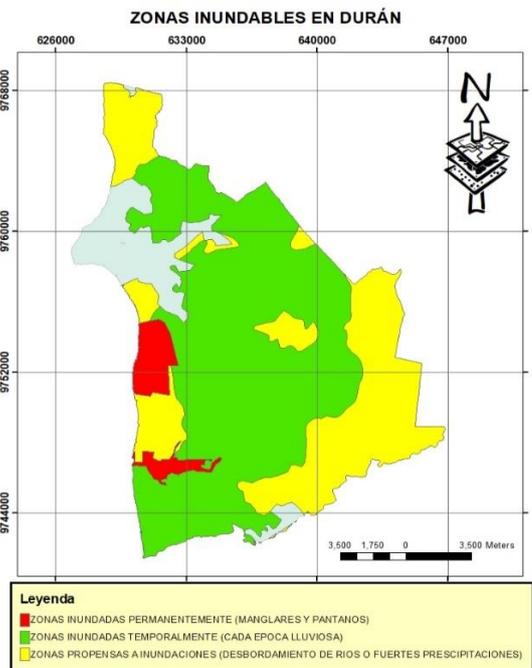


Figura 4.3 Clasificación de zonas inundadas en el sector de Durán

Fuente: Autores

El Cantón Durán posee la estación pluviométrica activa llamada “Divino Niño”, la cual se encuentra ubicada en el centro de la ciudad. Debido a que los datos históricos de registro de lluvia en la estación, no fueron suficientes para el análisis estadístico de probabilidad (Agosto 2014 – Abril 2015), se utilizaron estaciones aledañas a la zona, como se muestra en la Figura 4.4, para realizar la interpolación de los datos de precipitación a la estación de Durán, para diferentes años.

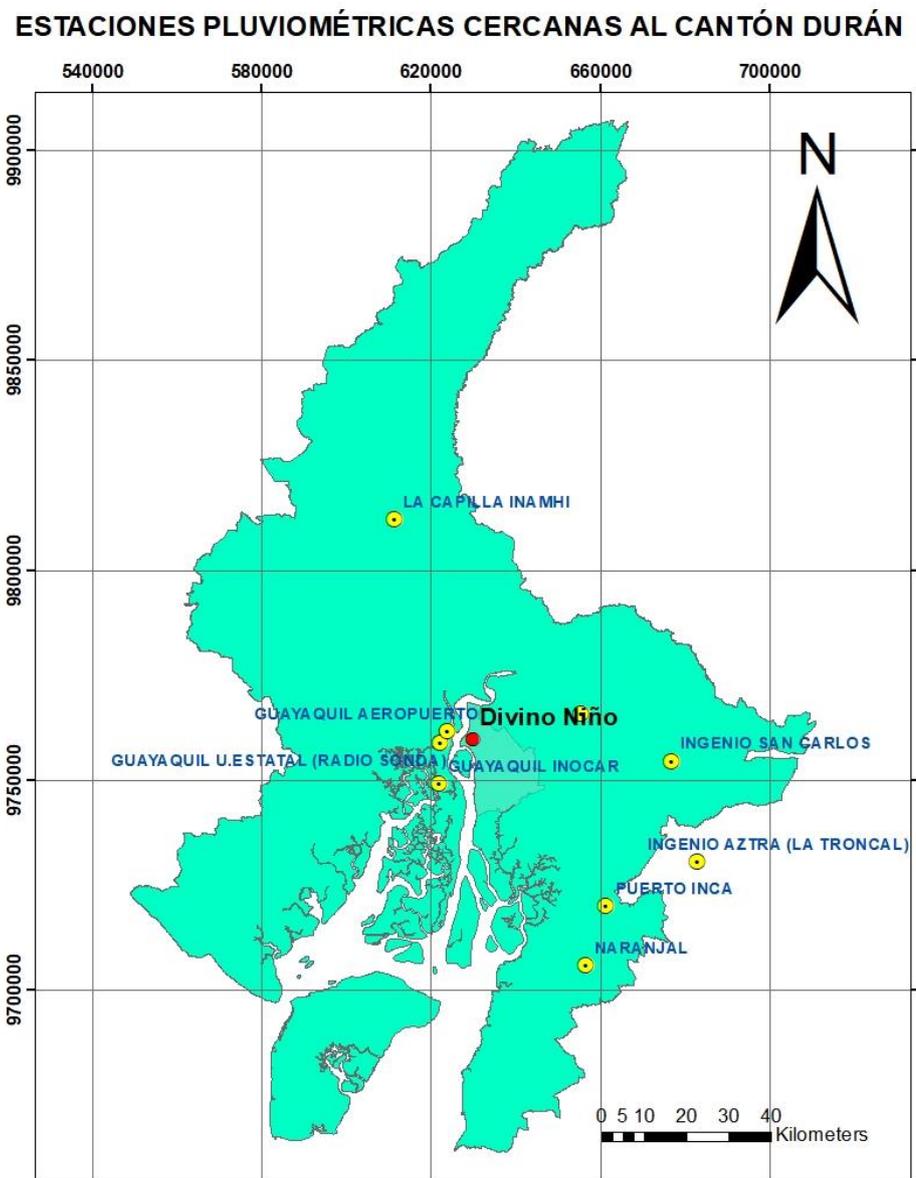


Figura 4.4 Estaciones usadas para la interpolación

Fuente: Autores

La interpolación se la realizó con un programa GIS, donde se deben ingresar los datos de precipitación de cada año, para las diferentes estaciones usadas en el análisis, como se muestra en la Figura 4.4. Las estaciones usadas con sus registros de precipitación se detallan a continuación:

Tabla 4.1 Valores de precipitación del 2015 para distintas estaciones

rem1	Estaciones Usadas	Precipitación 2015 (mm) para diferentes períodos de retorno				
		Prec. T=2	Prec. T=5	Prec. T=10	Prec. T=25	Prec. T=50
M1096	GUAYAQUIL U.ESTATAL (RADIO SONDA)	106.42	143.36	167.82	198.72	221.65
M0476	LA CAPILLA INAMHI	86.17	109.11	124.31	143.5	157.74
M0075	GUAYAQUIL INOCAR	91.71	110.4	122.76	138.39	149.99
M0056	GUAYAQUIL AEROPUERTO	94.06	126.57	148.1	175.3	195.48
M0477	PUERTO INCA	96.06	128.2	149.48	176.37	196.32
M0037	MILAGRO (INGENIO VALDEZ)	103.11	128.99	146.13	167.78	183.84
M0218	INGENIO SAN CARLOS	113.92	197.33	252.56	322.34	374.1
M0176	NARANJAL	29.62	56.31	73.99	96.32	112.89
M1095	INGENIO AZTRA (LA TRONCAL)	101.26	133.47	154.79	181.74	201.73

Fuente: Autores

Para realizar la interpolación se usó el método geoestadístico Kriging, el cual permitió generar una superficie estimada a partir de un valor Z en puntos dispersos sobre la misma superficie. (ESRI, Inc., 2016)

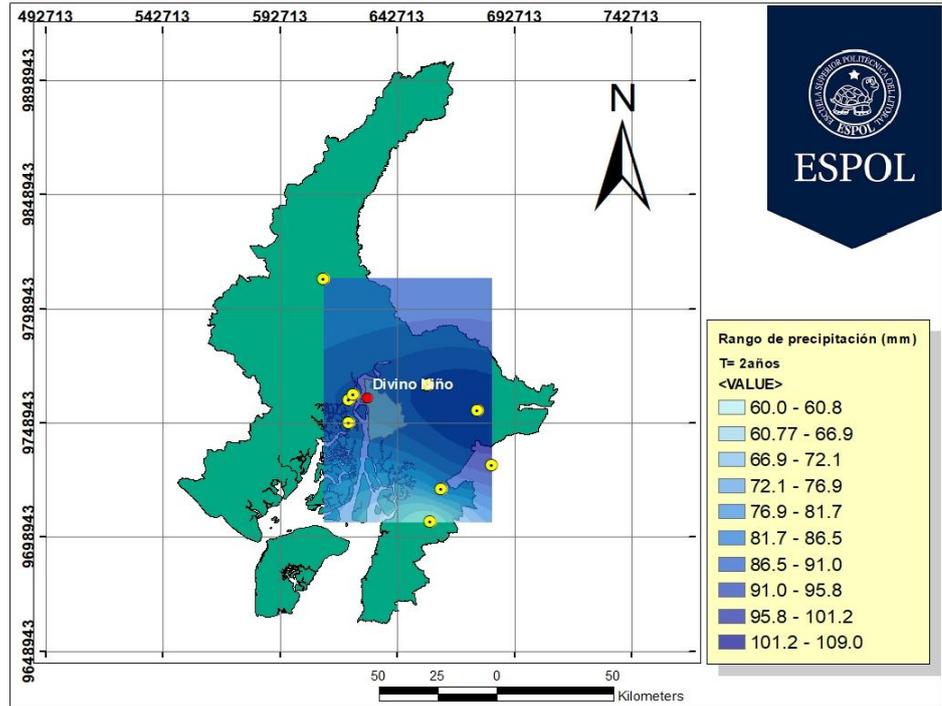


Figura 4.5 Precipitación en Durán con período de retorno de T=2 años

Fuente: Autores

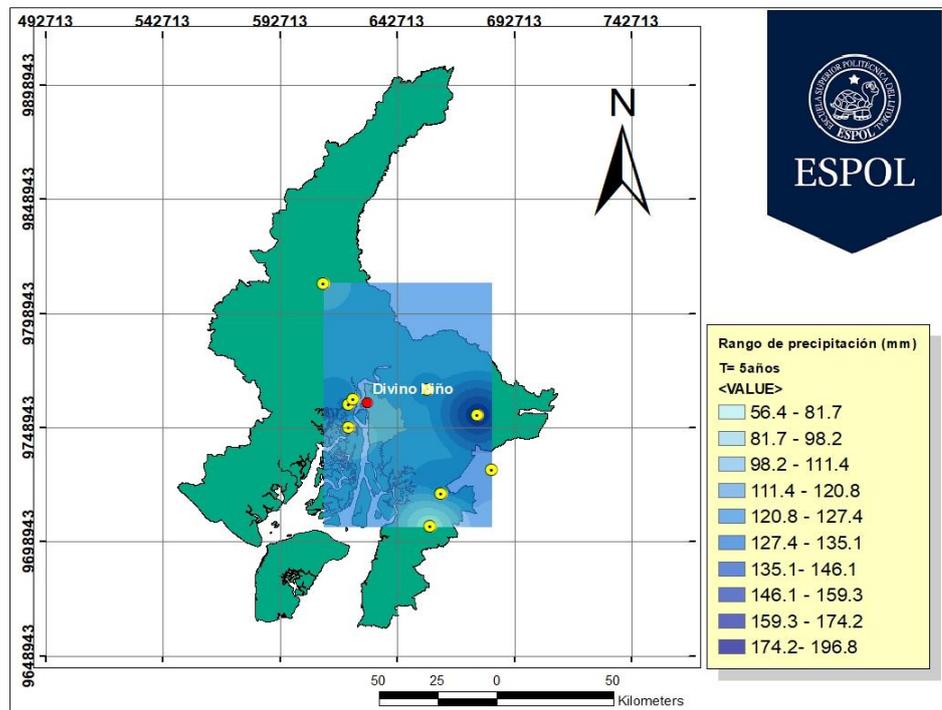


Figura 4.6 Precipitación en Durán con período de retorno de T=5 años

Fuente: Autores

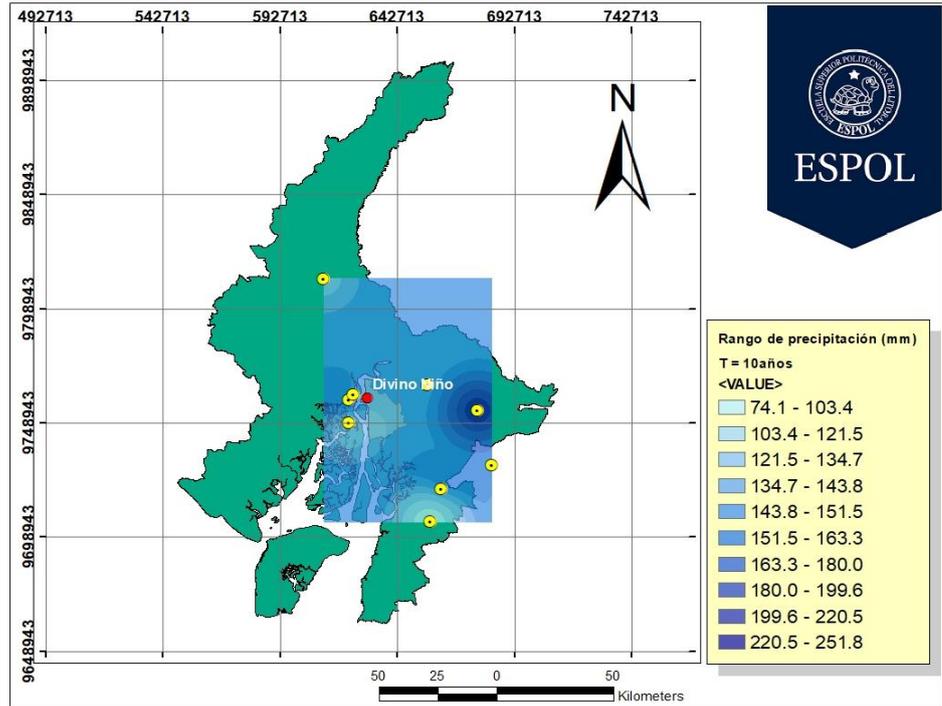


Figura 4.7 Precipitación en Durán con período de retorno de T=10 años

Fuente: Autores

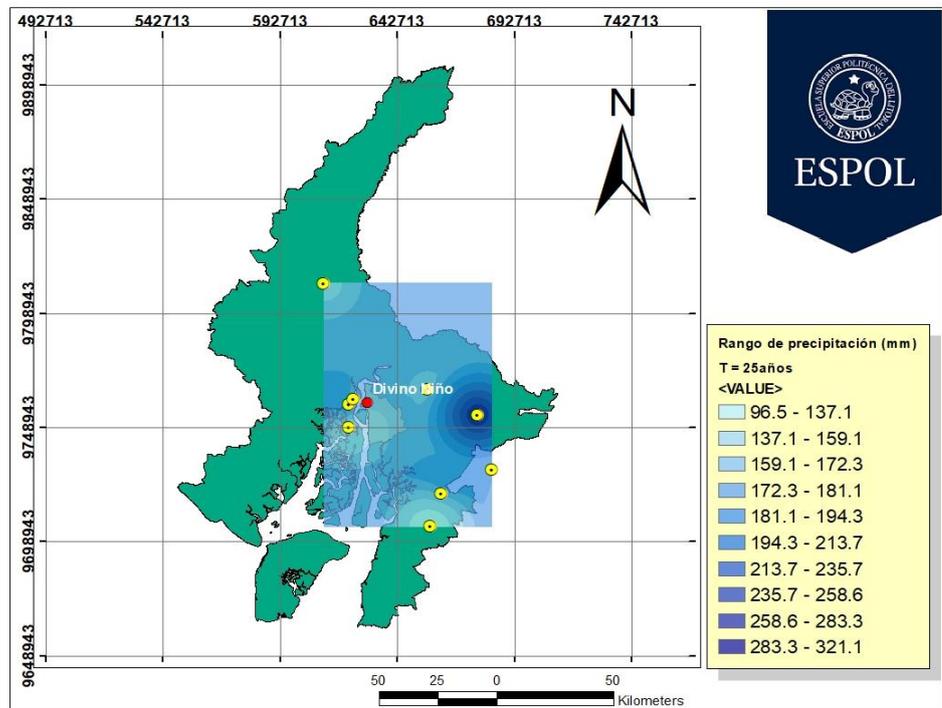


Figura 4.8 Precipitación en Durán con período de retorno de T=25 años

Fuente: Autores

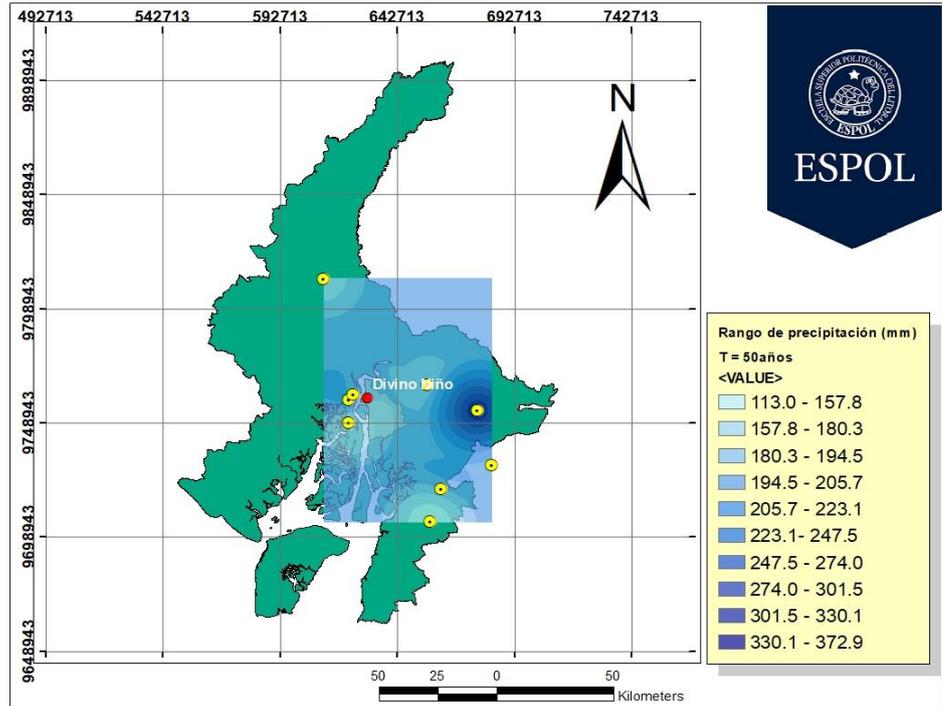


Figura 4.9 Precipitación en Durán con período de retorno de T=50 años
Fuente: Autores

Se utilizó la estación “Divino Niño” en el Cantón Durán para extraer los valores de interpolación en ese punto, aunque la información generada muestre distintos rangos de precipitaciones alrededor de Durán. Los valores obtenidos del proceso de interpolación se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Precipitación para la estación “Divino Niño”

Tr (Años)	Altura de Precipitación (mm)
2	97.99
5	126.65
10	148.10
25	175.37
50	195.37

Fuente: Autores

Tabla 4.3 Efecto de marea y precipitación al caudal de descarga

Caudal de descarga en la desembocadura del Estero San Enrique, considerando:	
Efecto de marea	Efecto de marea + precipitación (Tr = 2 años)
1 m ³ /seg	7 m ³ /seg

Fuente: Autores

Se tiene que considerar el efecto de la precipitación junto a la marea no solo para el canal, sino también para las redes de distribución de sistema de aguas lluvia (colectores). Existen 16 colectores que descargan al estero San Enrique, donde de los 16 que se encuentran instalados sólo existe información de su cota y diámetro para 12 colectores. De los cuales 3 colectores descargan en la zona más baja del Cantón Durán, que es el Recreo.

4.1.2.3 Inundación súbita o repentina

Por lo general, las inundaciones repentinas se producen en cuencas de gran pendiente y se caracterizan por gran cantidad de agua presente en un lapso muy corto de tiempo. Este tipo de inundaciones son causadas por tormentas o fuertes lluvias. Como su nombre lo menciona, pueden desarrollarse en cuestión de minutos y horas, dependiendo de varios factores como: la topografía de la zona, tipo de suelo, intensidad y duración de la lluvia. La característica principal es que cuando ocurren, dan advertencia de su existencia. Este es el caso del Fenómeno del Niño. (Organization, World Health Organization & The Pan American Health, 2006)

4.1.2.3.1 Fenómeno del Niño

Hoy en día, el evento se conoce como “El Niño, Oscilación del Sur” (ENOS). Algunos investigadores consideran que este evento inicia debido a los fuertes vientos del oeste,

desde la vecindad del meridiano 180°E a lo largo del Ecuador. Este fenómeno está relacionado a la variabilidad climática a corto plazo, donde interactúa el clima oceánico con el atmosférico, cada 2 a 7 años. El ENOS presenta dos fases: Una fase cálida conocida como “El Niño” y una fase fría como “La Niña”. (INOCAR, 2011)

4.1.2.3.2 Eventos de daños producidos

Las precipitaciones debido al ENOS no solo provocan daños en las propiedades, sino que también la variabilidad climática puede afectar la zona agrícola y pesquera, telecomunicaciones, limitación en la generación de energía, transporte y disponibilidad de agua.

4.1.2.3.3 Afectaciones ambientales

El ENOS produce variaciones en el comportamiento normal de temperatura y en la cantidad en la que se distribuye la precipitación.

Se tiene una acumulación de aguas cálidas y un incremento del nivel del mar en la costa oriental del Pacífico. La gran concentración de calor en aguas en la parte del Pacífico Tropical que van hacia el este, modifica inmediatamente la atmósfera en el punto y los eventos transitan a diferentes partes del mundo. (Organización Meteorológica Mundial, 2014)

4.1.2.3.4 Repercusiones sociales

En América Latina y en el Caribe, más de un millón y medio de personas siguen recibiendo asistencia alimentaria, debido principalmente a las pérdidas en las

cosechas. La recuperación económica y social debido a la variabilidad climática, ha sido muy lenta en los últimos 5 años, incluyendo el fenómeno “El Niño” del año 97-98. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2015)

Los eventos presentados en el Ecuador durante el año 97-98, donde en el año 98 la población infectada con el paludismo aumentó 5.5 veces con relación al año anterior que fue de 16.530 casos de enfermedad. (Corporación Andina de Fomento, 2000)

4.1.2.4 Inundación lenta o progresiva

Es producida en terrenos de baja pendiente (planos) donde el agua se transporta muy lentamente dando oportunidad de evacuar; por lo general ocurre cerca de riberas de ríos donde el comportamiento habitual es que en invierno, el nivel de la cantidad de agua inunde zonas aledañas. (Organización Panamericana de la Salud, 2006)

4.1.2.4.1 Repercusiones sociales

Este tipo de inundación posee un mayor riesgo potencial de enfermedades transmisibles debido al deterioro de las condiciones sanitarias como daños que se producen en los sistemas de abastecimiento de agua y redes sanitarias. Entre otras cosas podemos señalar que es común la escasez de alimentos y los grandes desplazamientos de población, además son pocas las lesiones graves y las pérdidas de vida humanas para esta clase de inundación. (Organización Panamericana de la Salud, 2000)

4.1.2.5 Llanuras de inundación

Son zonas propensas a inundación, peligrosas para las actividades de desarrollo si la vulnerabilidad sobrepasa los límites aceptables. En otras palabras, es una franja de tierra plana a lado de un río que sufre rebose de agua debido a las crecidas. (Leopold et al., 1964)

4.1.2.5.1 Formación de llanuras

El ancho de la llanura de inundación depende principalmente del caudal que transita, la pendiente longitudinal del canal, la tasa de erosión y de la resistencia del material del terreno. (Environment., O. o., & Assistance., U. S. , 1993). Además si existe reducción en el ancho del canal, sea por colocación de relleno u obstrucción de algún tipo, aumentará el ancho de la llanura de inundación.

4.1.3 Recuperación del espacio fluvial

Las leyes que rigen la morfología natural de los cauces demuestran que al aumentar los caudales aguas abajo, el aumento de la anchura del cauce es proporcionalmente mayor que el de su profundidad. (Leopold, L., & Maddock, T., 1953)

Es decir, el río va ocupando de forma natural, hacia aguas abajo, más espacio en anchura a medida que se van incrementado los caudales con el aumento de su cuenca. Véase la Figura 4.10.

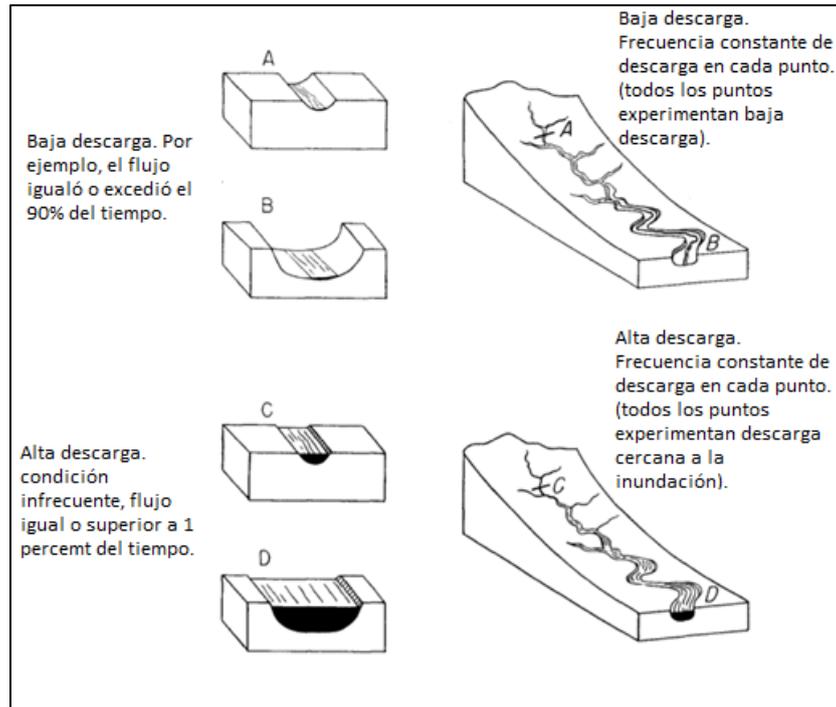


Figura 4.10 Comportamiento hidráulico de acuerdo a la geometría del canal

Fuente: (Leopold, L., & Maddock, T., 1953)

En los proyectos de hidráulica de canales a menudo se tiene una tendencia contraria a lo que se menciona en el párrafo anterior; especialmente en tramos urbanos de canales. Por lo que se tiende a diseñar secciones transversales más profundas y estrechas, debido a que el espacio pluvial se lo destina a otros propósitos. En este caso particular, los canales bordean por zonas aledañas a viviendas debido a que las redes sanitarias que salen de las manzanas llegan a los diferentes canales.

Debido a que existieron asentamientos de viviendas, cercanos a los canales, sin consentimiento del GAD Cantón Durán como se muestra en la Figura 4.11, la aportación de desechos a los canales no es controlada. Además dicho problema de ocupar los terrenos del río preocupa durante las avenidas, produciendo en muchos casos desbordamientos y erosiones de orillas.



Figura 4.11 Contraste entre el límite urbano antes vs el aprobado en el 2018

Fuente: Autores

Uno de los problemas que causan la inundación es el urbanizado en zonas inundables. La urbanización produce cambios en los sistemas hídricos: impermeabilización de los suelos y reducción de la infiltración, provoca picos elevados y descargas más rápidas.

4.1.4 Área de estudio – cuenca

El área de la cuenca la delimita la curva del perímetro que atraviesa por los puntos de mayor nivel topográfico. Para los casos de redes de drenaje muy complejas se debe dividir en sub-cuencas. El trazo de la red de drenaje indica los puntos más bajos por donde debería pasar un sistema de conducción (un canal). Durán posee su propia fuente natural de drenaje, pero ayudaría que también tenga un sistema adicional.

4.1.4.1 Modelamiento de cuenca en ArcGIS

Para la delimitación de la cuenca de Durán se utilizó el DEM de Durán proporcionado por el GAD Durán. Se trabajó ese archivo en

ArcGIS para poder obtener la cuenca de drenaje y sus respectivos parámetros morfométricos. El procedimiento realizado en GIS se detalla a continuación:

1. Se cargó el raster (DEM) de Durán, asegurándose que el espacio de trabajo tenga el sistema de coordenadas respectivo. Posteriormente, se debe eliminar los errores del raster usando la Herramienta *Fill*.
2. Al raster “limpio” se le asignó la dirección de flujo con la herramienta *Flow Direction*, además de la acumulada de flujo con la herramienta *Flow Accumulation*. Se debe hacer en este orden, debido a que para obtener la acumulada de flujo se necesita tener la dirección del flujo.
3. Como resultado del paso anterior, se obtuvo el drenaje principal de las subcuencas y cuencas. Para el análisis se colocó un punto de salida, en la desembocadura para delimitar la cuenca.
4. Con el shape de punto definido en el paso anterior más el raster de dirección de flujo, se obtuvo el área de aportación de la cuenca. Exportar el raster de área a polígono.

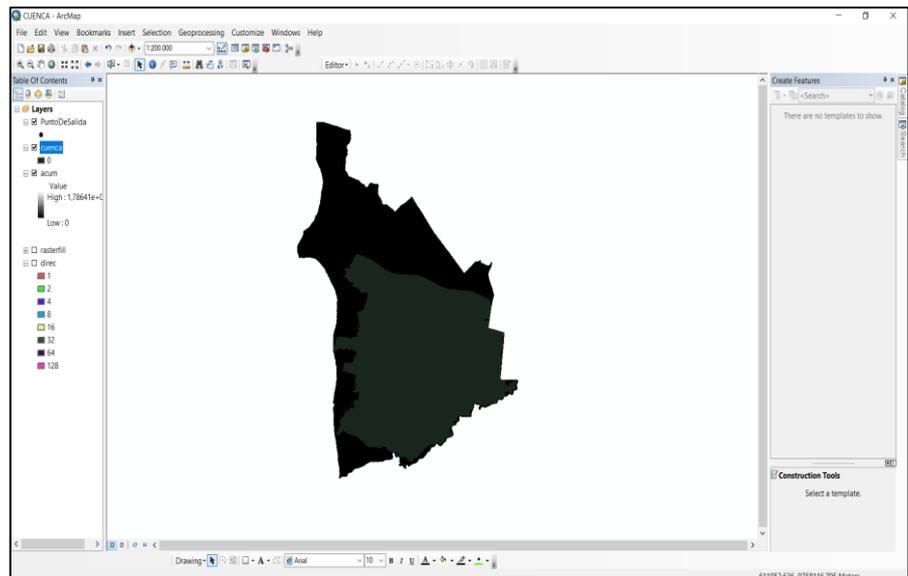


Figura 4.12 Área de aportación de la cuenca de Durán

Fuente: Autores

5. Para obtener la línea de drenaje, se condicionó el raster del flujo acumulado. En este caso, se consideró un valor mayor a 400; este valor dependerá del área de la cuenca y del rango de flujo acumulado.
6. Se adicionó la información de la distribución de la altura de la superficie a la cuenca. Para darle información al área de la cuenca, previamente se convirtió el DEM Durán a TIN, para luego usar la herramienta *Interpolate Shape* donde se interpola el TIN sólo para el área de la cuenca.
7. Se usó la herramienta *Extract by Mask*, para cortar los siguientes raster para que tomen la forma de la cuenca: *RasterFill*, *FlowDirection*, *FlowAccumulation*.
8. Con el shape del área de la cuenca (obtenido del paso 8), se calculó la geometría: área, perímetro, centroides y alturas; con la herramienta *Calculate Geometry*.
9. Para obtener las altitudes, se necesitó conocer las áreas entre curvas de nivel. Usando la herramienta *Reclassify*, clasificar las alturas en intervalos iguales, para construir la curva hipsométrica. En este paso se usó el *RasterFill* recortado en el paso 8. Para los intervalos iguales se usó el valor de 10.

Tabla 4.4 Cota mínima y máxima de la cuenca

Ocurrencia	17863616
Mínimo	1.697
Máximo	125.538002
Suma	51956968.2
Promedio	2.908536
Desviación estándar	5.896029

Fuente: Autores

10. Se convirtió el resultado del “*Reclassify*”, del paso anterior, a shape de polígono para calcular las áreas entre curvas. Los valores de área se pueden consultar en la Tabla de Atributos. Para unificar las áreas que entran en el mismo rango

de elevación, se realizó una consulta con el gridcode a través de la herramienta *Summarize*.

OID	gridcode	Count gridcode	Sum Area
0	1	3	157,558743
1	2	1	0,25968
2	3	1	0,230237
3	4	3	0,226453
4	5	3	0,2139
5	6	3	0,211595
6	7	7	0,169536
7	8	6	0,131489
8	9	8	0,071431
9	10	5	0,012904

Figura 4.13 Valores de áreas entre curvas de nivel

Fuente: Autores

El rango de elevación se lo puede revisar en la opción *Classification* realizado del paso 11. Véase la Figura 4.14.

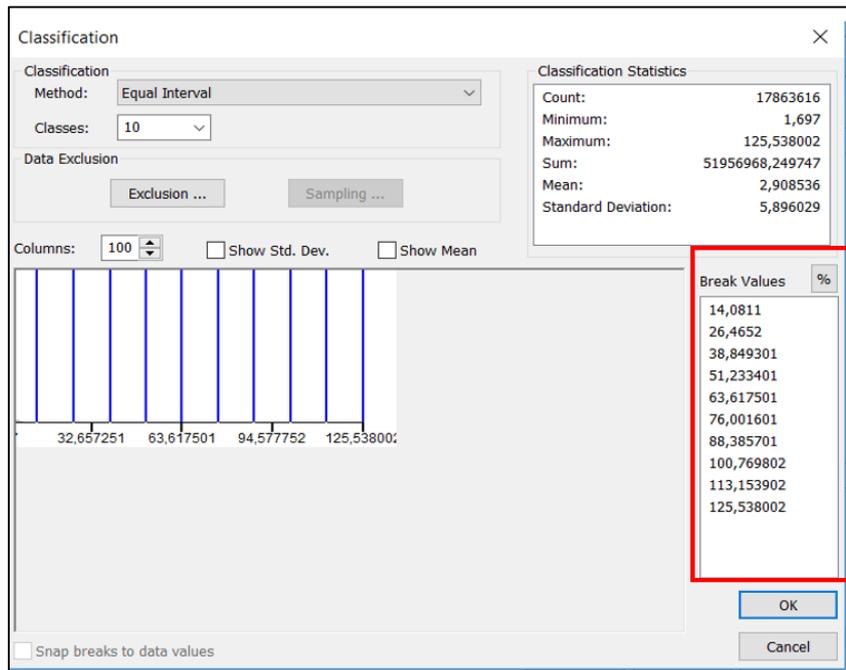


Figura 4.14 Rangos de elevaciones de la cuenca

Fuente: Autores

11. Los “breaks values” son los valores de cota máxima de la tabla del Anexo B. De igual manera en la misma tabla se tienen los intervalos de áreas que se muestra en la Figura 4.14. Para calcular el área acumulada, el porcentaje de área acumulada y el porcentaje de intervalos se utilizó las respectivas ecuaciones:

$$A_{iacumulada} = \sum_{i=\#intervalos}^{n=1} A_i + A_{i+1} \quad (4.1)$$

$$\%A_{iacumulada} = \left(\sum_{i=\#intervalos}^{n=1} A_i + A_{i+1} \right) \times \frac{100}{A_{total}} \quad (4.2)$$

$$\%Intervalo_i = \%A_{iacumulada} - \%A_{i+1} \quad (4.3)$$

12. Calcular la pendiente media de la cuenca. Con la herramienta *slope*, se calculó el mapa de pendientes de la cuenca, como se muestra en la Figura 4.15.

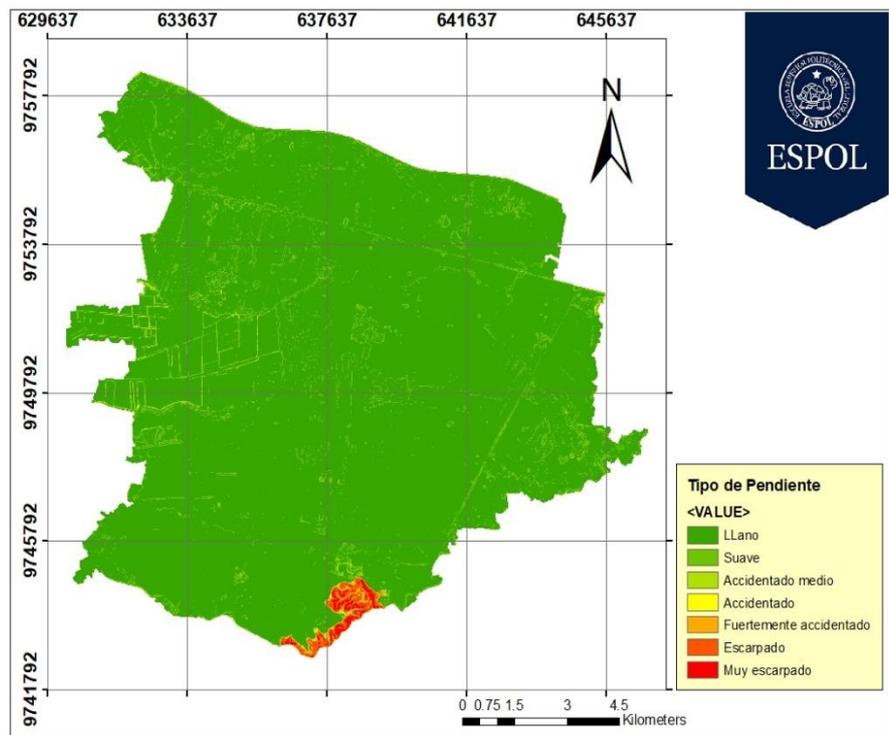


Figura 4.15 Caracterización de la cuenca de acuerdo a su pendiente

Fuente: Autores

Como se puede observar, la cuenca tiene una mayor concentración de área llana y sólo la parte roja tiene una gran pendiente que corresponde a la zona del cerro Las Cabras. Para la clasificación del tipo de pendiente se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 4.5 Característica de una cuenca respecto a su pendiente

Pendiente (%)	Terreno
0 - 2	Llano
2 - 5	Suave
5 - 10	Accidentado medio
10 - 15	Accidentado
15 - 25	Fuertemente accidentado
25 - 50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Fuente: Pérez, 1979

Se reclasificó el raster de mapa de pendientes en el número de intervalos deseados, en este caso 10, para conocer el número de ocurrencias que se da una misma pendiente. La pendiente media del canal sería igual a la Ecuación 4.4:

$$\% \text{Pendiente media} = \frac{\sum(\text{promedioRangodePendiente}_i \times \text{NúmerodeOcurrencia}_i)}{\sum \text{Número de Ocurrencias}} \quad (4.4)$$

La pendiente media de la cuenca de Durán es de 5.33 %, es decir tiene una pendiente moderada. Ver Anexo B.

Se calcula la pendiente promedio de la red hídrica, usando la misma Ecuación 4.4, y realizando el mismo proceso a diferencia que se utiliza el número de orden de la cuenca. La pendiente promedio de la red hídrica de Durán es de 0.26 %, es decir tiene una pendiente suave. Ver Anexo B.

13. Se calculó la pendiente media de la cuenca. Con la herramienta *slope*, se calculó el mapa de pendientes de la cuenca, como se muestra en la Figura 4.15.
14. Se obtuvo el Orden de la cuenca mediante la herramienta *Stream Order*. Se ingresó el condicional del *FlowAccummulation* de la cuenca y el *FlowDirection* de la cuenca. La cuenca de Durán es de orden 3; entre más alto es el número, indica que el

drenaje es más eficiente, por lo que desalojará rápidamente el agua.

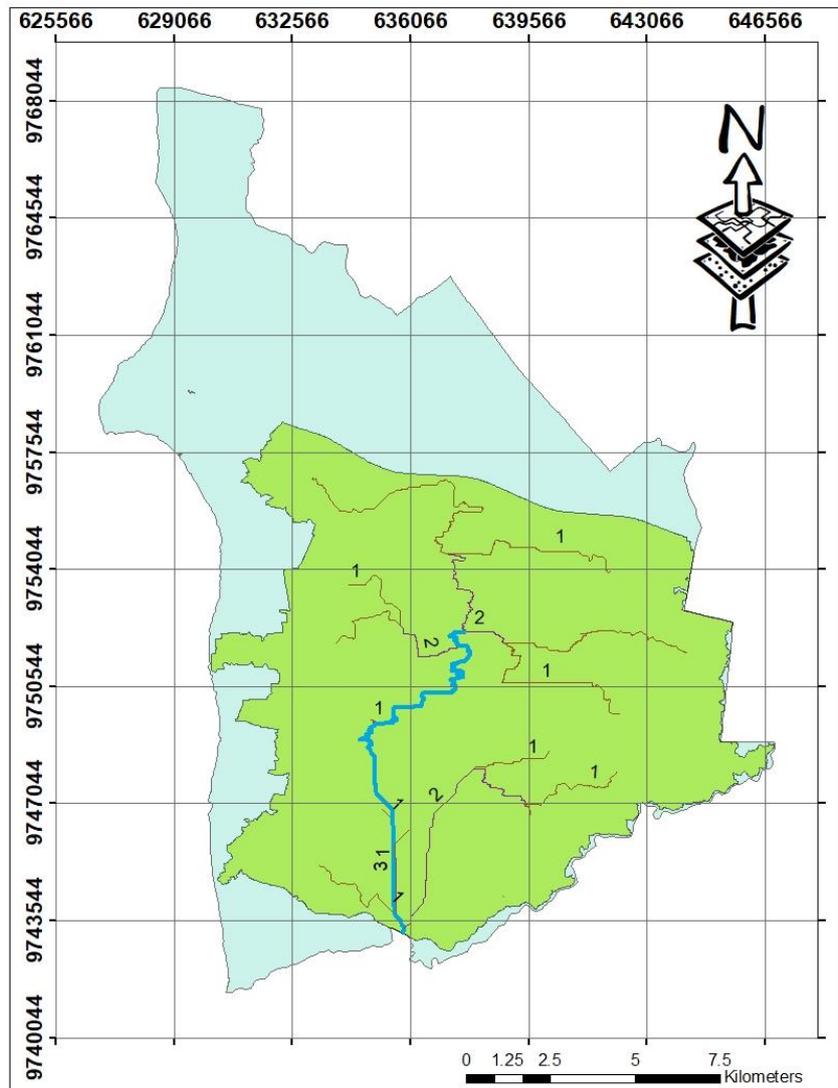


Figura 4.16 Orden de la cuenca del Cantón Durán

Fuente: Autores

15. Se calculó la longitud del cauce principal y la longitud de la red hídrica (longitud de todas las aportaciones). Ver la Figura 4.17 y 4.18 respectivamente.

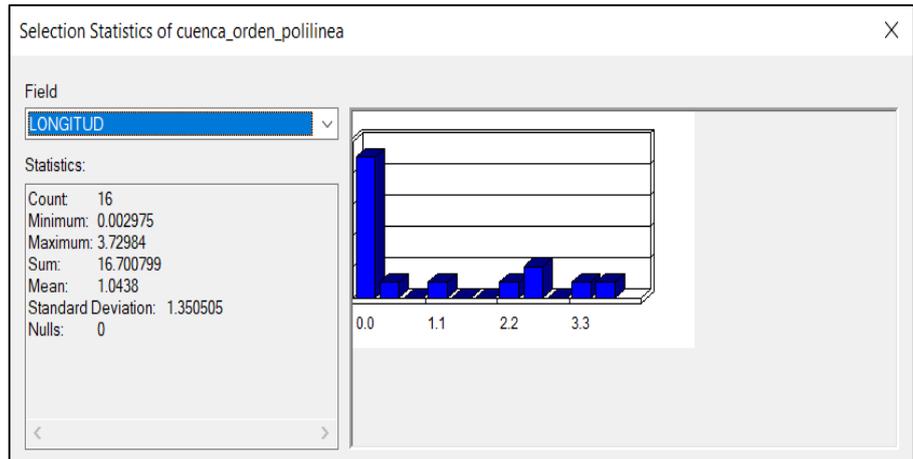


Figura 4.17 Estadística del cauce principal de la cuenca

Fuente: Autores

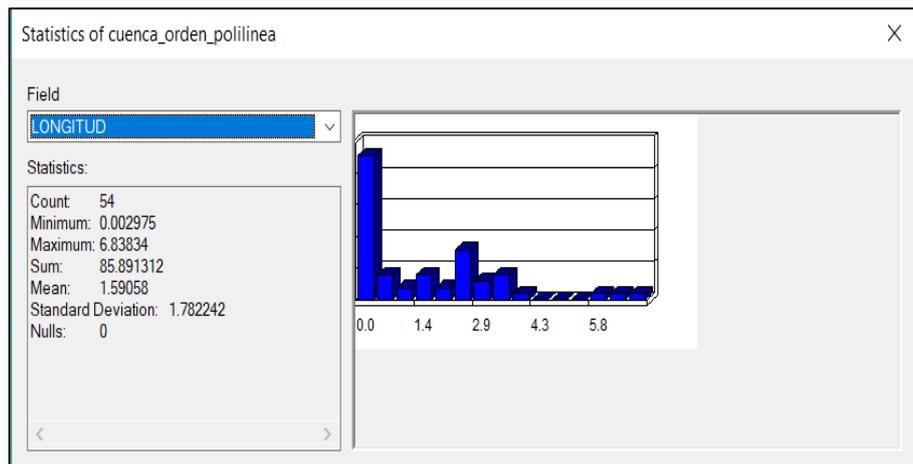


Figura 4.18 Estadística de la red hídrica de la cuenca

Fuente: Autores

16. Determinar los parámetros de forma, usando las siguientes ecuaciones:

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (4.5)$$

$$K_f = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (4.6)$$

$$D_d = \frac{L_T}{A} \quad (4.7)$$

Los valores se detallan en el Anexo B.

CAPÍTULO 5

5. REVISIÓN DE LITERATURA DE LAS POSIBLES SOLUCIONES A MITIGAR

5.1 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

Durante mucho tiempo, los sistemas de drenaje urbano han existido como una infraestructura vital de la ciudad para recolectar y transportar aguas pluviales y aguas residuales lejos de las áreas urbanas. (Chocat, y otros, 2007)

A pesar del desarrollo a lo largo de los años, sigue siendo un desafío importante diseñar un sistema de drenaje que funcione eficazmente. En particular, los impactos debidos al cambio climático y la urbanización han sido ampliamente reconocidos, lo que podría implicar un aumento sustancial de la frecuencia y magnitud de las inundaciones urbanas en muchas regiones del mundo (Huong & Pathirana, 2013), (Leopold L. , 1968), (Semadeni-Davies, Hernebring, Svensson, & Gustafsson, 2008).

Al mismo tiempo, los problemas de calidad del agua también surgen como resultado de la urbanización, lo que resulta en un aumento de la variedad y la cantidad de contaminantes y nutrientes en los cuerpos de agua receptores (Wang, Da, Song, & Li, 2008), (Hatt, Fletcher, Walsh, & Taylor, 2004).

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible son un sistema de drenaje que imita el drenaje natural mediante la gestión de potenciales inundaciones durante fuertes tormentas y protege los cursos de agua y ríos mediante el uso de procesos de tratamiento (Scottish Water, 2018).

5.1.1 Terminología y casos de estudio de sistemas de drenaje sostenible

Las técnicas de los sistemas de drenaje sostenible son ampliamente recomendadas y aplicadas en varios lugares del mundo, mientras que la terminología varía en diferentes regiones, pero con filosofías de diseño similares.

En Europa, los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) son usados principalmente para mantener una buena salud pública, proteger los valiosos recursos hídricos de la contaminación, preservar la diversidad biológica y los recursos naturales para las necesidades futuras (Willems, Arnbjerg- Nielsen, & Olsson, 2012)

En Australia, el término Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD) se refiere principalmente a un enfoque de planificación e ingeniería para integrar de manera sostenible la gestión del agua en el paisaje de una ciudad, para de esta forma minimizar la degradación ambiental y alcanzar la armonía entre el agua y el medio ambiente urbano. (Roy, y otros, 2008)

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible son conocidos en Estados Unidos y Canadá como “Low Impact Development (LID)”, los cuales describen un enfoque que promueve la interacción de los procesos naturales con el entorno urbano, con la finalidad de preservar y recrear los ecosistemas para la gestión del agua. LID enfatiza la conservación y el uso de características naturales en combinación con controles hidrológicos a pequeña escala, con la finalidad de mitigar los impactos adversos de la urbanización. (Elliott & Trowsdale, A review of models for low impact urban stormwater drainage, 2007)

Ejemplos de enfoques similares son “Best Management Practices” (BMP) en los Estados Unidos y el “Low Impact Urban Design and Development” LIUDD en Nueva Zelanda.

Como resultado de la promoción de la sostenibilidad, se han iniciado varios proyectos de investigación importantes alrededor del mundo.

En Dinamarca, los grandes programas nacionales de investigación incluyen el proyecto "Water in urban areas", el cual trabaja en la transformación de la infraestructura hídrica de la ciudad a sistemas climáticamente robustos (VAND I BYER), y el proyecto 2BG "Black, Blue & Green", el cual se encarga de la planificación de la infraestructura integrada para la sostenibilidad

sistemas de agua urbanos (Fryd, y otros, 2009). Los documentos de trabajo correspondientes al proyecto 2BG exponen sus objetivos principales e incluyen estudios de casos sobre el diseño de drenaje urbano sostenible implementados en Dinamarca y los Países Bajos. (Fryd, y otros, 2009)

En el Reino Unido, la “Construction Industry Research and Information Association” (CIRIA), promueve los sistemas de drenaje sostenibles, además también ha realizado una serie de publicaciones sobre prácticas de diseño y proyectos realizados respecto al tema en cuestión. (Ashley, Garvin, Pasche, Vassilopoulos, & Zevenbergen, *Advances in Urban Flood Management*, 2007)

En Suecia, un proyecto de investigación de seis años titulado " Sustainable Urban Water Management" fue iniciado por la “Swedish Foundation for Strategic Research Programme”, el cual se enfoca en la protección de valiosos recursos hídricos en áreas urbanas (Hellström, Jeppsson, & Kärrman, 2000), (Malmqvist, 1999).

En Australia, uno de los mayores centros de investigación sobre soluciones de drenaje sostenible es el “Cooperative Research Centre”(CRC) para Ciudades Sensibles al Agua, que reúne a más de 70 socios interdisciplinarios con la finalidad de ofrecer estrategias hídricas sostenibles que faciliten la transformación de la ciudad en un lugar más habitable y resiliente con el medio ambiente (Wong & Brown, 2009), (Wong T. , 2006), (Langenbach, Eckart, & Schröder, 2008)

5.1.2 Técnicas

Los SUDS son una gama de técnicas y dispositivos de drenaje que permiten la atenuación y mitigación de la escorrentía, la reducción de contaminantes y la construcción de comodidades. (Ashley, Garvin, Pasche, Vassilopoulos, & Zevenbergen, *Advances in Urban Flood Management*, 2007)

Las técnicas más populares de SUDS aplicadas actualmente incluyen zanjas de filtración e infiltración, superficies permeables, almacenamiento de agua, zanjas, recolección de agua, cuencas de detención, humedales y estanques. Los dispositivos pueden ser estructurales mediante el empleo de construcciones físicas principalmente fijas, como humedales y estanques (FLOODsite, 2009), (Elliott & Trowsdale, A review of models for low impact urban stormwater drainage., 2007).

Una aplicación exitosa de SUDS son los parques inundables, los cuales son una solución innovadora para resolver el problema de inundaciones. Se basan principalmente en el escurrimiento superficial de las aguas, combinando canales abiertos, zonas con lagunas permanentes y amplios parques.

Funcionan de tal manera que una vez que el cauce de aguas vea sobrepasada su capacidad, los parques empiezan a inundarse controladamente, de tal forma que las aguas lluvias se conducen en diferentes niveles. Generalmente, los parques inundables son diseñados de tal forma que 24 horas después de finalizar las lluvias, estos vuelvan a estar vacíos y utilizables.

A continuación se presentan dos ejemplos de parques inundables en funcionamiento:

5.1.2.1 Corktown Common Park (Toronto, Canadá)

El parque de 18 acres se encuentra situado en el distrito de West Don Lands de Toronto, cuenta con un pantano lleno de vida salvaje, campos de atletismo, áreas de juegos. Se encuentra construido en el extenso territorio groenlandés, además de un parque, es un plan para proteger los vecindarios circundantes de las inundaciones. (Ciudad de Toronto, 2018)

Debido a que Corktown Common se desarrolló en una llanura de inundación, durante su etapa de construcción se inició construyendo la elevación natural de la zona. Se agregaron casi nueve metros de

tierra, creando una barrera natural para las aguas crecientes. Esto con la finalidad de asegurar que el parque y la infraestructura estuvieran bien integrados para que al final no se sintiera como una infraestructura pura, sino como un parque acogedor que esté conectado con el tejido urbano. Para ello se requirió que la empresa Michael van Valkenburgh Associates agregara seis metros adicionales de topografía en la parte superior de la infraestructura original. Se presenta en forma de colinas, parques infantiles y espacios verdes abiertos. (Ciudad de Toronto, 2018)



Figura 5.1 Parque “Corktown Common” en Canadá

Fuente: (Dowers, T., & Hoghan, M., 2016)

5.1.2.2 Parque las Vegas (Portoviejo, Ecuador)

El parque de Las Vegas se encuentra localizado en el centro de Portoviejo, consta de un humedal artificial que crea conciencia sobre la importancia de estas áreas naturales. La cercanía al río Portoviejo facilita que las pozas se renueven y permitan el desarrollo de los juncos, lechuguines, papiros y flor de loto.

El humedal forma parte del renovado parque cuya construcción inicio en el 2016 y finalizo en el 2018. En la zona donde va el humedal existió un meandro (curva) del río, el cual se formó después del fenómeno de El Niño de 1998. Es en esta curva donde se ha creado el humedal. Ese espacio se llena cuando llueve a causa del aumento del nivel freático por el crecimiento del caudal del río.

Por ello, los técnicos optaron para en verano utilizar equipos de bombeo que surtirán de agua al humedal. El proyecto se levanta en un área de 10.000 metros cuadrados, solo el humedal ocupa 6.000 m² (60%). El costo de la obra sobrepasó los \$ 7'600.000 que son recursos financiados a través de Ecuador Estratégico. El proyecto cuenta con un puente que cruza una parte del humedal.

El viaducto además sirve de conexión entre el parque y los barrios que están ubicados en el noreste de la capital manabita. Los humedales son focos de atracción para los visitantes y los habitantes de la localidad debido a su belleza y biodiversidad. Como elemento complementario, el parque tiene una zona de venta de artesanías y objetos varios con 28 locales que a cargo del Municipio. Este renovado sitio está situado a 50 metros de distancia del edificio del cabildo local en la zona urbana. (El Telegrafo, 2017)



Figura 5.2 Parque Las Vegas
Fuente: (El Telegrafo, 2017)

CAPÍTULO 6

6. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

6.1 Alternativa 1: Ampliación y limpieza del canal San Enrique

El estero San Enrique cuenta con 11 colectores cuya descarga proviene de la red de alcantarillado pluvial urbana como se muestra en la Figura 6.1.

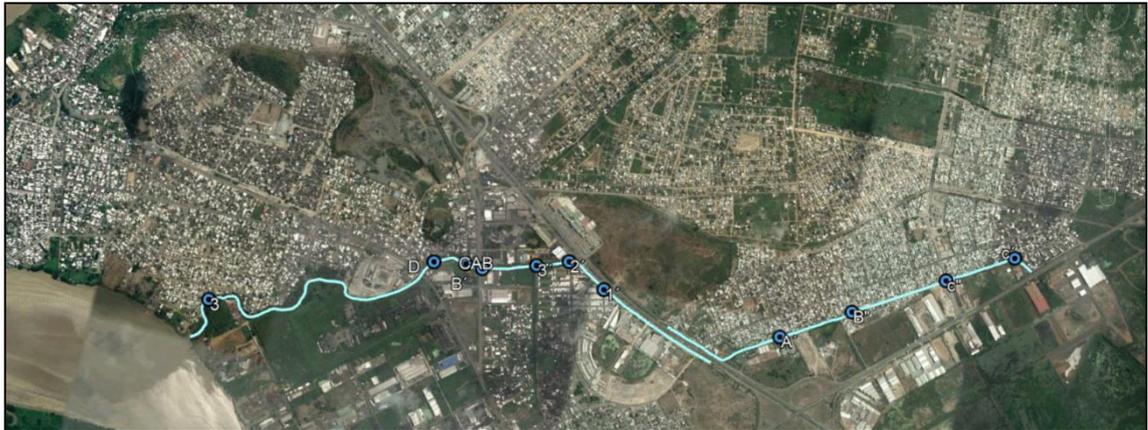


Figura 6.1 Colectores de descarga directa en el estero San Enrique

Fuente: Plataforma Google Earth, 2018

Se debe considerar el caudal de descarga acumulado a medida que se avanza aguas abajo hacia la desembocadura, para que en el canal principal el caudal se más grande a medida que avanza como lo muestra la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Caudal de aportación de cada colector de descarga al canal para T= 2 años

Colector	Ubicación		Ø (m)	Q (m ₃ /seg)	Q _{acum} (m ₃ /seg)	TRAMO
	X	Y				
C´	633380	9759685	1.2	3.5	3.5	2100
C"	632990	9759445	1.35	2.3	5.8	1600
B"	632463	9759115	1.35	32	37.8	1000
A´	632063	9758859	1.35	2.8	40.6	500
1´	630943	9758879	0.65	0.45	41.05	2957
2´	630695	9758993	1.15	0.9	41.95	2757
3´	630507	9758922	0.76	0.35	42.3	2457
CAB	630191	9758823	1.37	3.3	45.6	2157
B´	630086	9758827	0.91	1.25	46.85	2057
D	629895	9758792	0.6	0.32	47.17	1857
3	628638	9758244	1.066	1.7	48.87	257

Fuente: Autores

Debido a que la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Durán (EMAPAD) no posee una normativa que regule el espaciamiento designado a mantenimiento en canales, se toma de referencia el apartado de canales pluviales del Manual de Diseño de Redes de Alcantarillado de Interagua, el cual indica que se debe reservar una franja de al menos 6 metros, medidos desde la parte superior del canal hacia su borde, para protección y mantenimiento de un canal

A fin de proponer una solución al problema de las inundaciones se planteó ampliar la sección transversal del canal en puntos convenientes de acuerdo a la zona aledaña y restricciones de corte. Debido a que en la mayoría de la longitud del canal existen viviendas que se encuentran a menos de 5.5 metros del canal. Es por ello, que se tomará una franja de 3 metros para aumentar la sección del canal en los siguientes tramos a fin de que no existan inconvenientes futuros:

Tabla 6.2 Acciones a realizar en el canal por cada tramo

TRAMO	Observaciones
200 - 2200	Se debe cumplir 3 metros del borde derecho del canal debido que en el lado izquierdo no existe espacio por la cercanía de las viviendas. No se puede extender más el canal debido a que en ese tramo, existe una vía terciaria de acceso de vehículos mediante un camino sin pavimentar.
100	No se podrá extender el canal debido que en uno de sus lados cruza la vía principal Durán – Babahoyo, y en el otro extremo consta de la misma restricción de espacio por las viviendas.
2257 - 2657	Se debe cumplir 3 metros del borde derecho del canal.
1257 - 2657	No se podrá extender el canal debido que existe zona de fábricas y vías de acceso terciario.
557 - 1157	Se debe cumplir 3 metros del canal por ambos lados.

Fuente: Autores

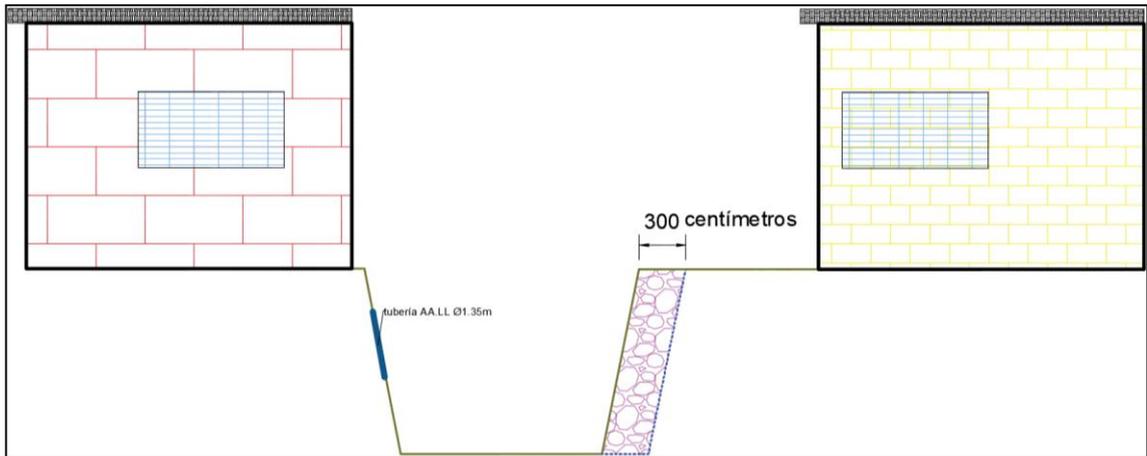


Figura 6.2 Esquema de ampliación del canal frente a la restricción de espacio

Fuente: Autores

6.1.1 Cálculo del coeficiente de manning adoptado para la sección transversal

Se consideró el mismo coeficiente para la parte central, izquierda y derecha del canal. Para canales naturales abiertos, este coeficiente depende de la geometría del canal, y grado de obstrucciones que se pueda presentar en el canal, tipo de vegetación y su densidad, además del recorrido y presencia de irregularidades.

Para la corrección de estos valores se tomó la metodología aplicada como criterio de diseño por el (U.S. Department of Transportation, 1984)

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (6.1)$$

Donde:

n_b : Coeficiente estándar para un canal recto, uniforme y sin irregularidades.

n_1 : Valor de corrección para las irregularidades de la uniformidad del canal.

n_2 : Valor de corrección para la variación de forma y tamaño de las secciones del canal.

n_3 : Valor de corrección para las posibles obstrucciones presentes a lo largo del canal.

n_4 : Valor de corrección para las condiciones de flujo y la vegetación existente en el canal.

m : Factor de corrección por meandros en la longitud del canal.

Se analizaron dos tramos pertenecientes al canal San Enrique. El primer tramo comprende el canal de aguas lluvias donde se observa que el estero ha sido canalizado a una geometría más uniforme con un suelo areno gravo arcilloso (debido al relleno), el segundo tramo comprende el canal desde la Avenida cercana al Terminal Terrestre de Durán hasta la desembocadura al río Guayas, el cual se caracteriza por tener un suelo uniforme donde predomina la grava. La primera parte comprende desde el abscisado 100 - 2200 (véase la figura). Y la segunda parte del canal comprende desde el abscisado 57-3757 (véase la figura). El punto 57 pertenece a la desembocadura al Río Guayas.

Considerando la información del párrafo anterior, se establece un coeficiente estándar n_b para el estero San Enrique:

- Tramo 57 (desembocadura río Guayas) – 2757 (Av. cerca al terminal terrestre): 0.028 a 0.035
- Tramo 2757 – 2200 (“El Recreo” vía Durán – Babahoyo): 0.030 a 0.050

Valores de n_b tomados de Aldridge, B., & Garrett, J., (1973), table 1.

A medida que se disminuye la relación ancho-profundidad, se produce un mayor efecto erosivo que provoca la formación de irregularidades en los taludes. Aldridge, B., & Garrett, J., (1973) sugieren valores de n_1 , donde para el estero San Enrique se consideran los siguientes:

- Tramo 57 (desembocadura río Guayas) – 2057: irregularidad moderada y severa donde los bancos del riachuelo son ondulados y lodosos: 0.006 a 0.011.
- Tramo 2057 – 2200 (“El Recreo” vía Durán – Babahoyo): irregularidad menor a moderada donde los taludes son moderadamente erosionados: 0.005 a 0.010.

De acuerdo a la variación de tamaño y forma de las secciones transversales. Aldridge, B., & Garrett, J., (1973) sugieren valores de n_2 , donde para el estero San Enrique puede considerarse:

- Tramo 57 (desembocadura río Guayas) – 2057: las secciones transversales se alternan frecuentemente entre pequeñas y grandes, además el flujo principal cambia ocasionalmente de lado a lado del canal: 0.010 a 0.015.
- Tramo 2057 – 2757: las secciones transversales se alternan ocasionalmente entre pequeñas y grandes: 0.001 a 0.005.
- Tramo 2757 – 2200 (“El Recreo” vía Durán – Babahoyo): las secciones transversales sufren cambios graduales o no sufren cambios: 0.

De acuerdo a las obstrucciones en el canal, como escombros, pilas de puentes, etc., alteran el flujo e incrementan la rugosidad. Aldridge, B., & Garrett, J., (1973) sugieren valores de n_3 , donde para el estero San Enrique puede considerarse:

- Tramo 57 (desembocadura río Guayas) – 2057: el nivel de obstrucción es despreciable ya que es mucho menor al 5% de la sección transversal: 0 a 0.004.
- Tramo 2057 – 2757: el nivel de obstrucción es menor debido a que ocupa entre el 5 y 15% de la sección transversal: 0.005 a 0.015.
- Tramo 2757 – 2200 (“El Recreo” vía Durán – Babahoyo): el nivel de obstrucción es considerable debido a que ocupa entre el 15 y 50% de la sección trasversal del canal, debido al cruce frecuente con puentes y escombros: 0.020 a 0.030.

De acuerdo a la vegetación, la longitud total del canal está cubierta con maleza y plantas que crecen por los nutrientes mismos del agua del canal. Aldridge, B., & Garrett, J., (1973) sugieren valores de n_4 , donde para el estero San Enrique puede considerarse:

- Tramo 57 (desembocadura río Guayas) – 2200 (“El Recreo” vía Durán – Babahoyo): el crecimiento de hierbas y malezas densas, donde la profundidad promedio del flujo es de dos a tres veces la altura de la vegetación. La vegetación es considerada entre media y grande, debido a que se observan matorrales creciendo a lo largo de las orillas, árboles de mediana altura en los bancos del canal y vegetación en el fondo: 0.010 a 0.025.

Finalmente, se considera el efecto de la sinuosidad del canal, debido a la presencia de meandros. Este efecto debe ser evaluado para modificar el coeficiente de rugosidad de Manning. Se mide como una relación entre la distancia del canal y el desplazamiento del canal. Aldridge, B., & Garrett, J., (1973) sugieren valores de m , donde para el estero San Enrique puede considerarse:

- Tramo 57 (desembocadura río Guayas) – 2057: la relación de sinuosidad es considerable, varía entre 1.2 y 1.5: el valor de m es 1.15.
- Tramo 2057 – 2200 (“El Recreo” vía Durán – Babahoyo): la relación de sinuosidad es menor, varía entre 1.0 y 1.2: el valor de m es 1.00.

El resultado del coeficiente de manning considerando todos los parámetros mencionados anteriormente se detalla en la tabla

Tabla 6.3 Coeficiente de manning del canal para el escenario 1

TRAMO	n_b	n_1	n_2	n_3	n_4	m	n
57 - 2057	0.033	0.010	0.015	0.001	0.020	1.15	0.091
2057 - 2757	0.033	0.010	0.015	0.015	0.020	1.00	0.093
2757 - 3757	0.050	0.006	0.000	0.025	0.020	1.00	0.101
100 - 2200	0.050	0.006	0.000	0.025	0.020	1.00	0.101

Fuente: Autores

6.1.2 Modelamiento de la inundación

En el modelo de la alternativa presentada se utilizó la plataforma HecRAS para la determinación del área de inundación.

Para realizar el análisis se ingresó la geometría de las secciones transversales de cada abscisa, información de la pendiente, el tipo de régimen hidráulico y la influencia del efecto de la rugosidad considerando diferentes parámetros del canal.

6.1.2.1 Trabajo previo en Hec-GeoRAS

Utilizando la red irregular de triángulos del canal, se define el eje del cauce con los límites del cauce (Banks) y las secciones transversales, tal como se muestra en la Figura 6.3. Con respecto a las secciones transversales, se debe definir el espaciamiento entre cada sección (intervalo) y el ancho del mismo para el estudio. Los intervalos se definieron cada 100 metros con un ancho de 100 metros. Además se añadieron atributos como topología, longitud y elevación del canal para el análisis 3D.

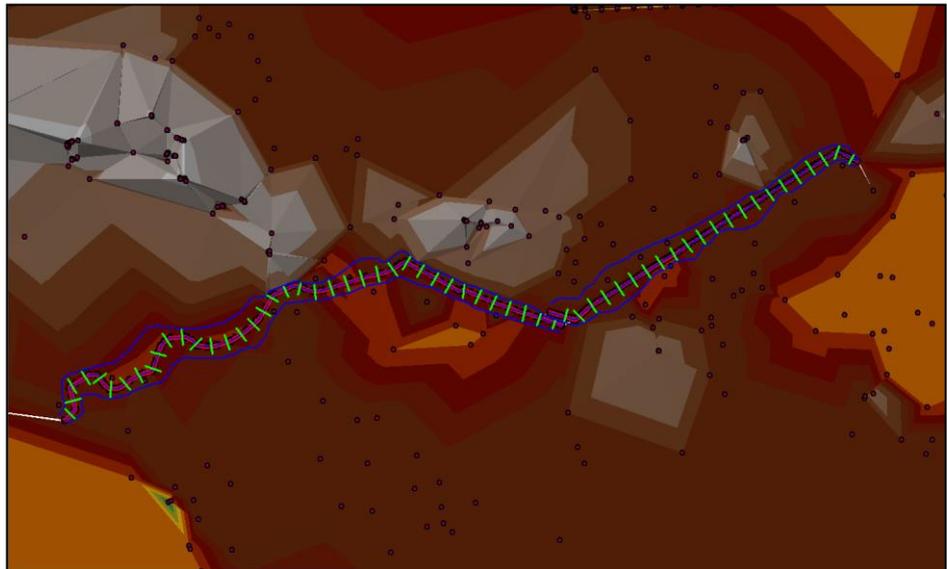


Figura 6.3 Red Irregular de Triángulos del canal San Enrique

Fuente: Autores

6.1.2.2 Modelamiento hidráulico en HecRAS

En HecRas se importó la geometría de las secciones de GIS y se añade el caudal de aporte para cada abscisa, como lo muestra la Tabla 6.1. Los colectores de descarga al canal se muestran como un punto de color verde en la Figura 6.4.

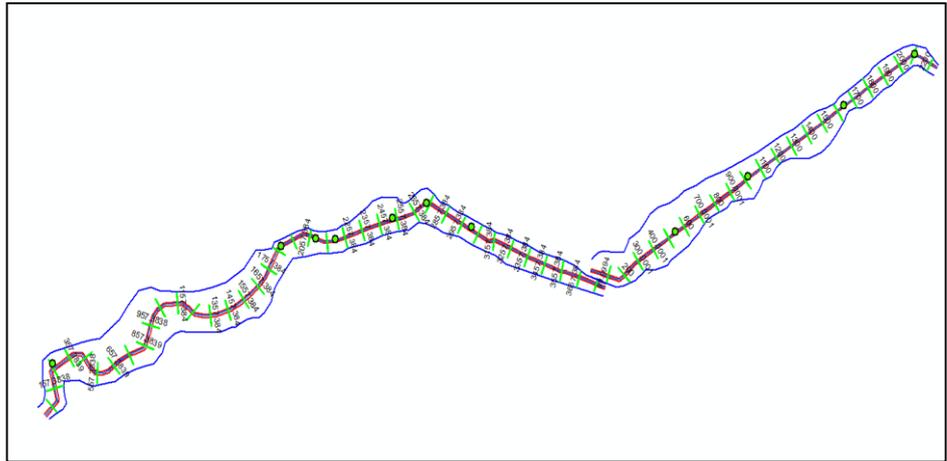


Figura 6.4 Colectores de descarga en sus respectivos tramos del canal

Fuente: Autores

A fin de asegurarse que la dirección del canal es la correcta, se abscisó el río desde aguas arriba hacia aguas abajo porque es más fácil conocer la desembocadura que el inicio de un canal.

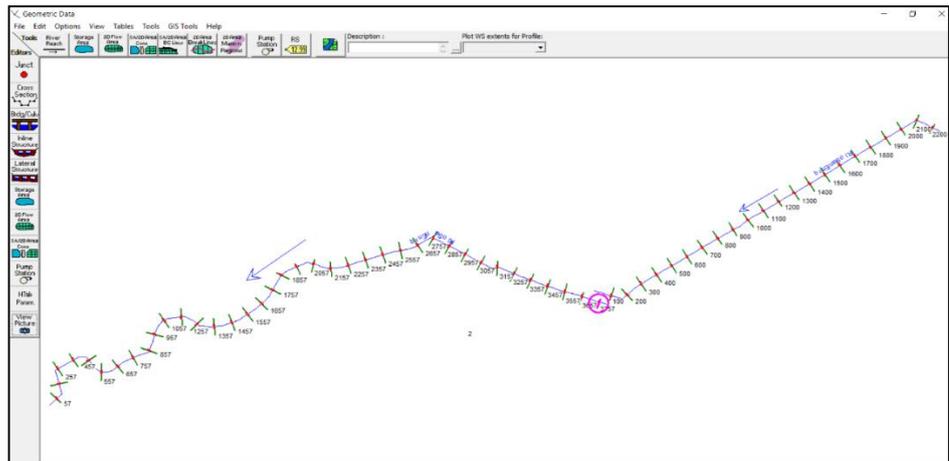


Figura 6.5 Vista en planta de la geometría del canal

Fuente: Autores

Se consideró el mismo valor de coeficiente de manning para cada tramo del canal, es decir para el banco izquierdo y derecho, véase el Anexo C.

6.1.2.2.1 Condiciones de flujo constante

El flujo de agua es lento debido a que las pendientes en la zona de Durán son pequeñas, por ello el régimen que

gobierna es el subcrítico. No obstante, se definió la condición de contorno no sólo para aguas abajo sino también para aguas arriba, y se modeló un régimen de flujo mixto como se muestra en la Figura 6.6.

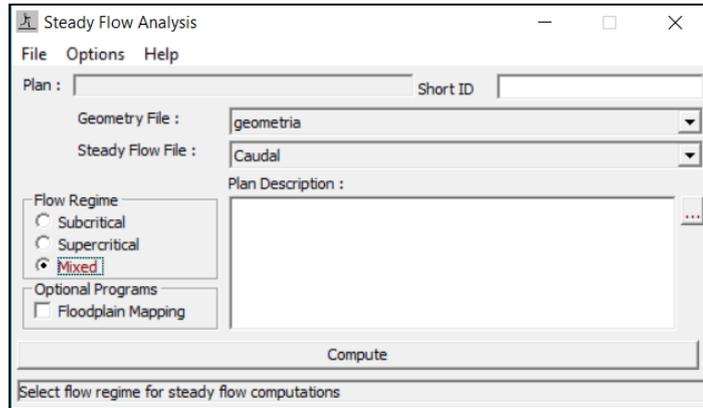


Figura 6.6 Tipo de flujo constante para el análisis

Fuente: Autores

Se definió la condición de contorno a usar, en este caso se eligió la opción “normal depth” (profundidad normal), debido a que se usó un caudal constante perteneciente a un período de retorno de 2 años.

Para la obtención de la pendiente longitudinal del estero, se creó el modelo del río digitalizado en 3D usando los valores de elevación del TIN, y se exportó los valores a Microsoft Excel a fin de graficar el comportamiento de la pendiente para cada perfil para aguas arriba como para condiciones aguas abajo, como se muestra en las Figuras 6.7 y 6.8. Para el tramo 1 del estero se obtuvo una pendiente de -0.00006, y para el tramo 2 una pendiente de 0.0001.

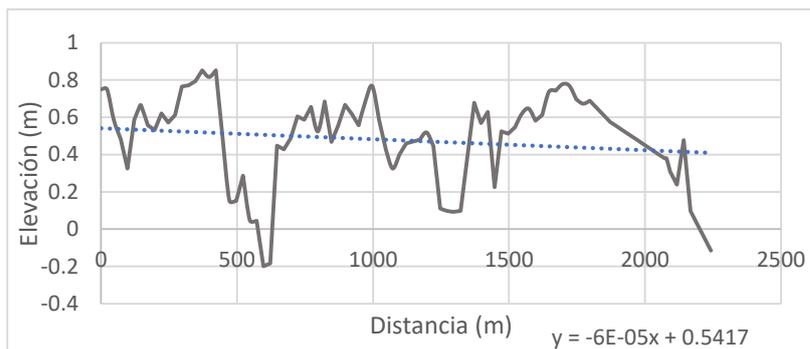


Figura 6.7 Perfil longitudinal – 1er tramo estero San Enrique
Fuente: Autores

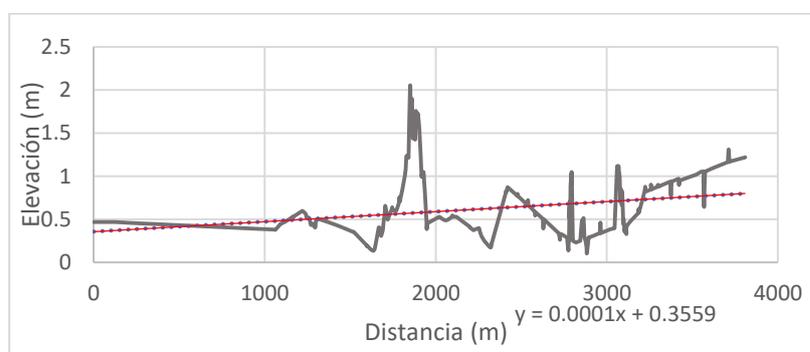


Figura 6.8 Perfil longitudinal – 2do tramo estero San Enrique
Fuente: Autores

La profundidad normal no puede ser negativa ni cero, motivo por el cual, para el tramo del estero San Enrique con pendiente -0.00006 , se optó por tomar una pendiente cercana e igual a 0.0001 como se muestra en la Figura 6.9.

Selected Boundary Condition Locations and Types				
River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
RioSanEnrq	2	all	Normal Depth S = 0.0001	Normal Depth S = 0.0001
RioSanEnrq	1	all	Normal Depth S = 0.0001	Normal Depth S = 0.0001

Figura 6.9 Pendiente adoptada en el modelamiento numérico
Fuente: Autores

6.1.3 Resultados

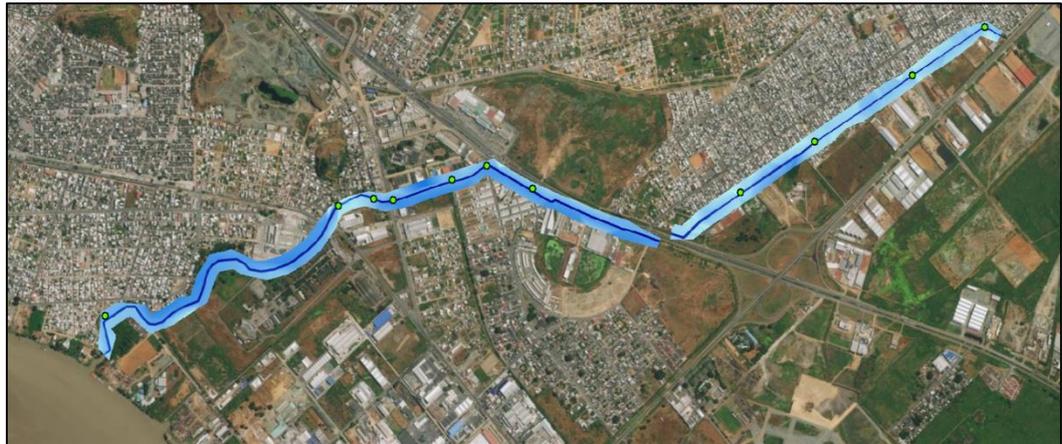


Figura 6.10 Volumen de inundación del canal San Enrique para un T= 2 años

Fuente: Autores

Se contrasta el análisis con un escenario diferente en el cual la cantidad de vegetación es menor, es decir, donde el Municipio se encargue de realizar una limpieza periódica para remover las plantas y malezas existentes. El valor de n_4 para el cálculo del nuevo coeficiente de manning para el canal San Enrique en estado libre de vegetación será modificado en base a los valores sugeridos por Aldridge, B., & Garrett, J., (1973) donde para el estero puede considerarse:

- Tramo 57 (desembocadura río Guayas) – 2200 (“El Recreo” vía Durán – Babahoyo): La vegetación es considerada entre pequeña y media, debido a que se observa una superficie libre de impurezas que no crece a lo largo de la solera ni en las orillas: 0.002 a 0.010.

Se tomó un valor de $n_4=0.002$ y se calculó el nuevo coeficiente de manning, el cual será menor al primer análisis:

Tabla 6.4 Coeficiente de manning del canal para el escenario 2

TRAMO	n_b	n_1	n_2	n_3	n_4	m	n
57 - 2057	0.033	0.010	0.015	0.001	0.002	1.15	0.070
2057 - 2757	0.033	0.010	0.015	0.015	0.002	1.00	0.075
2757 - 3757	0.050	0.006	0.000	0.025	0.002	1.00	0.083
100 - 2200	0.050	0.006	0.000	0.025	0.002	1.00	0.083

Fuente: Autores

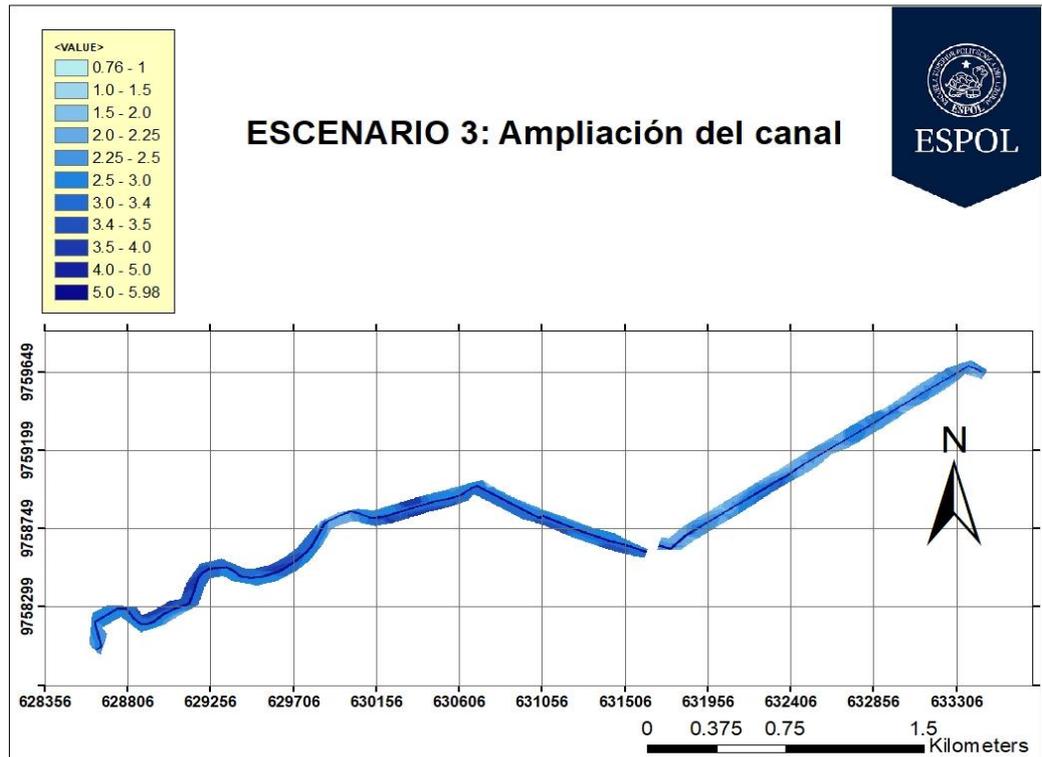


Figura 6.13 Simulación en ArcGIS del escenario 3

Fuente: Autores

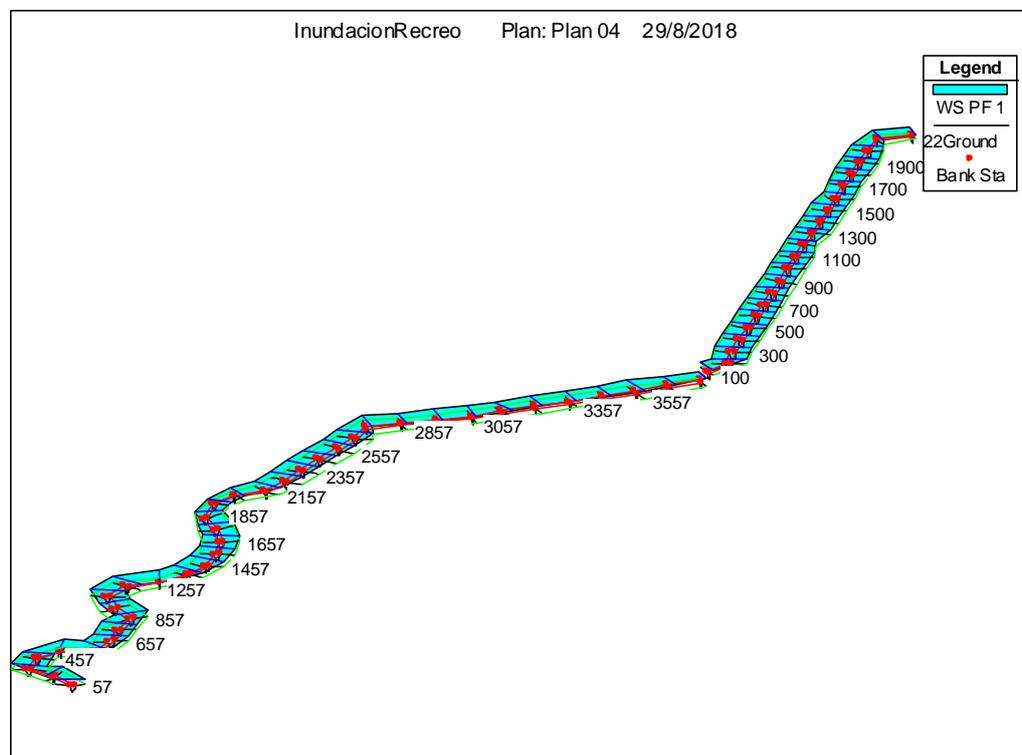


Figura 6.14 Modelo en Hec-RAS para la alternativa 1

Fuente: Autores

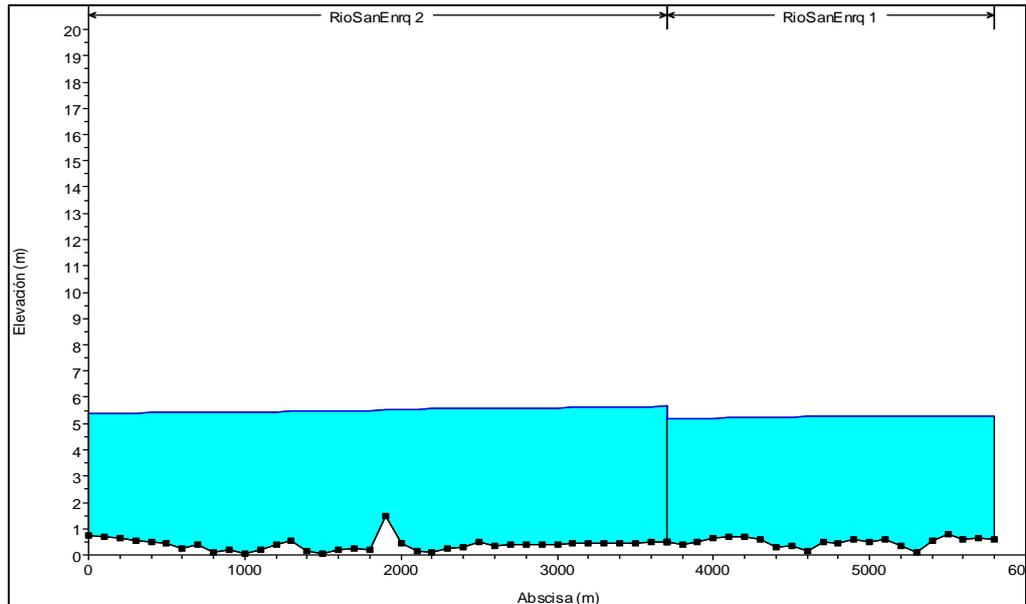


Figura 6.15 Perfil longitudinal del canal San Enrique

Fuente: Autores

6.2 Alternativa 2: Construcción de un parque inundable

Para regular las inundaciones que se dan en la ciudadela El Recreo en el cantón Durán y además generar un espacio urbano y recreacional de esparcimiento para los habitantes, se propuso construir un parque inundable como se muestra en la Figura 6.16.



Figura 6.16 Esquema paisajístico del parque inundable a construir

Fuente: Autores



Figura 6.17 Vista en planta del área destinada a inundarse en “El Recreo”

Fuente: Autores

6.2.1 Definición de colectores críticos dentro de la zona de estudio

En base al análisis realizado a los distintos colectores de la ciudadela “EL Recreo” ubicada en el cantón Durán, considerando un periodo de retorno de 2 años; se concluyó que los colectores C” Y C’ son los que presentan problemas bajo condiciones de marea alta y lluvia.

Tabla 6.5 Área de aportación del sistema de colectores C”

Manhole	Área de inundación (m2)	Inundación máxima (cm)
C”3	1672	6
C”4	3538	9
C”5	5978	14
C”6	2482	13
C”7	4878	42
C”14	6806	51
C”13	4610	14

Fuente: Autores



Figura 6.18 Ubicación del sistema de colectores C''

Fuente: Autores

Tabla 6.6 Área de aportación del sistema de colectores C'

Manhole	Área de inundación (m2)	Inundación máxima (cm)
C'11''	5960	4
C'11'	1350	22
C'11	1780	6
C'12	2500	2
C'13A	1337	9
C'13B	3517	21
C'13	1271	4

Fuente: Autores



Figura 6.19 Ubicación del sistema de colectores C'

Fuente: Autores

6.2.2 Definición del área de implantación del parque

La zona designada para construir el parque inundable se eligió por su cercanía a los colectores que representan un mayor riesgo de inundaciones ante un evento de precipitación intensa. Esta consta de un área de 3905.43 m² y se encuentra delimitada por el siguiente polígono, con coordenadas X= 632750.36, Y= 9759674.53



Figura 6.20 Ubicación del parque inundable

Fuente: Autores

Los colectores C'13, C'13 A, C'13 B son aquellos que se encuentran más cercanos al área de implantación del parque inundable, tal como lo corrobora la Figura 6.17. Se eligió esta zona para que el agua lluvia se captada dentro de la laguna que estará dentro del parque.



Figura 6.21 Ubicación de colectores problemáticos

Fuente: Autores

6.2.3 Cálculos para dimensionamiento de la laguna del parque

El dimensionamiento se llevó a cabo mediante la estimación del área del parque, de acuerdo a las características que tendría el terreno, para esto se usó la siguiente información:

- El área de la zona disponible para la ubicación del parque es de 3905.43 m^2 , motivo por el cual se tiene un terreno de 62.5×62.5 metros.
- La profundidad que tendrá la laguna del parque inundable será de 2.00 metros.

En base a ello, se definió que la laguna tendría un área de 900 m^2 , tal como se muestra en la Figura 6.22.

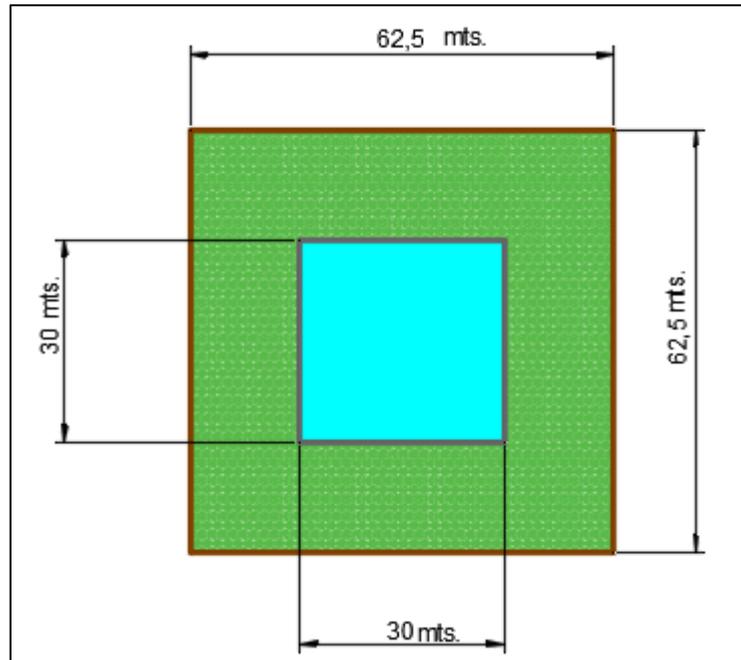


Figura 6.22 Área de implantación de la laguna del parque

Fuente: Autores

El volumen de agua que va a captar la laguna dentro del parque se calculó con la siguiente fórmula:

$$V = \text{Area} * \text{profundidad} \quad (6.2)$$

$$V = 900 * 2$$

$$V = 1800 \text{ m}^3$$

Es decir que la laguna va a poder captar 1800 m³ de agua lluvia.

Además se debe considerar los colectores que salen del parque y descargan al canal. Por ello se tomaron 3 tramos cuyo trazado lo indica la Figura 6.23.



Figura 6.23 Trazado de la ruta para la colocación de los colectores

Fuente: Autores

Es importante analizar el trazo de colocación de las tuberías, debido a las pendientes que se pueden presentar en el terreno como lo muestra la Figura 6.24.

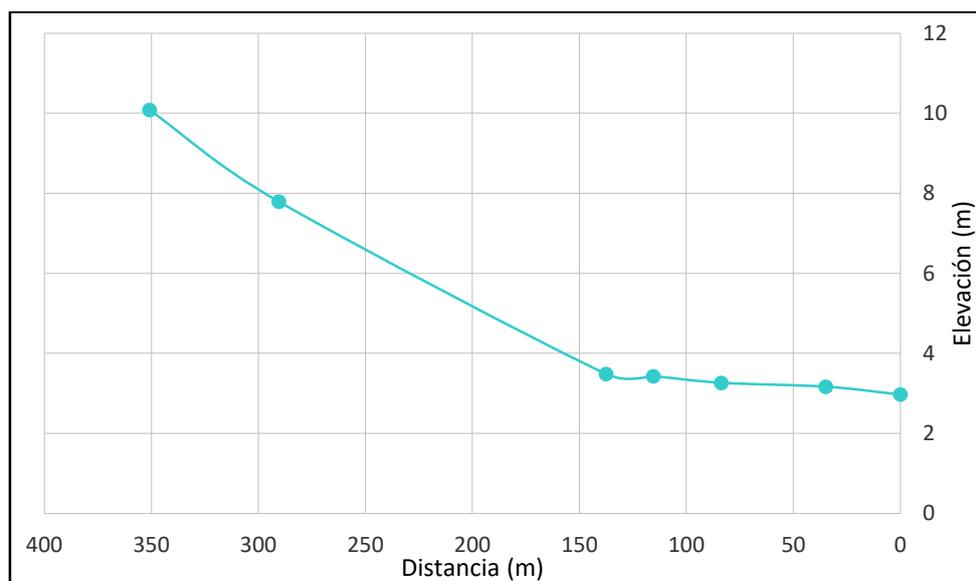


Figura 6.24 Perfil longitudinal del parque al canal San Enrique

Fuente: Autores

En la Tabla 6.7 se detallan las pendientes del terreno natural:

Tabla 6.7 Pendiente del terreno natural en el trazado de la tubería

Tramo	Pendiente (%)
T1	3.64
T2	2.31
T3	0.37

Fuente: Autores

El dimensionamiento de las tuberías a utilizar depende del tipo de material a usarse. Se escoge las tuberías de PVC debido a su eficiencia, desempeño, durabilidad y facilidad de instalación. La velocidad mínima para un colector principal de PVC, trabajando a conducto lleno, es de 0.9 m/s. (Interagua, 2015)

En base a las normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes (Secretaría del Agua, 1992), recomienda para tuberías de PVC un diámetro mínimo de 200 mm, una velocidad máxima para trabajar a tubo lleno de 4m/s, una profundidad mínima de excavación de 1.2 m si existiera tránsito vehicular sobre la tubería y un coeficiente de rugosidad de 0.011. Para el cálculo se tomó el caudal de almacenamiento en el parque de 0.09 Ha. Debido a que el área de almacenamiento es menor a 1 Ha, se consideró un período de retorno de 2 años. El cálculo hidráulico en cuencas pequeñas (menores a 100 Ha) se usa el Método Racional de la Ecuación 4.10:

$$Q = \frac{C i A}{360} \quad (6.3)$$

Donde:

Q : Caudal de escurrimiento (m³/s).

c : Coeficiente de escurrimiento.

i : Intensidad de lluvia (mm/h)

A : Área de drenaje (Ha)

Se asumió un coeficiente de escurrimiento igual a 1 debido a que el parque se encuentra ubicado en una zona alta donde va a estar cubierto con una

geomalla la cual impermeabilizará el terreno y sus alrededores, por lo que se considera que toda el agua que llueve en esa zona se va al parque.

La intensidad de lluvia máxima para Durán considerando un período de retorno de 2 años es 80 – 90 mm/h y la mínima de 10 mm/h. Se consideró el evento más crítico, con una intensidad de 90 mm/h. La lluvia típica en Durán dura aproximadamente 220 min.

$$Q = \frac{1 * 90 * 0.09}{360}$$

$$Q = 0.023 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Tabla 6.8 Diámetros de las tuberías a utilizar

Tramo	De	A	L (m)	Q (m3/s)	n	v (m/s)	D (mm)	Ddisp (mm)	S	vreal (m/s)
T1	Parque	P1	55.4	0.02	0.011	2.51	100.8	220	0.036	2.5
T2	P2	P3	164.3	0.02	0.011	2.16	108.5	220	0.027	2.2
T3	P3	Estero	125.0	0.02	0.011	0.90	168.2	220	0.005	0.9
TOTAL			344.7							
#TUBERÍAS			58							

Fuente: Autores

Debe asegurarse que las velocidades reales de los tramos satisfagan la velocidad mínima y máxima.

Se usarán 58 tuberías Pvc Novafort Plus de 220 mm de diámetro y 6 m de longitud.

REFERENCE VALUES USD 18/02/2015 PIPING SYSTEMS FOR SEWAGE Novafort Certificate of Conformity with INEN Quality Label NTE INEN 2059 Tipo B		
Code	STRUCTURED WALL PVC PIPE EXTRUSION	REF value unit
956021	TUB PVC NOVAFORT PLUS 125mm X 6m (Di 110) S6	34.00
942018	TUB PVC NOVAFORT PLUS 175mm X 6m (Di 160) S5	58.00
942015	TUB PVC NOVAFORT PLUS 220mm X 6m (Di 200) S5	97.00
952250	TUB PVC NOVAFORT PLUS 280mm X 6m (Di 250) S5	120.00
952249	TUB PVC NOVAFORT PLUS 335mm X 6m (Di 300) S5	177.00
942350	TUB PVC NOVAFORT PLUS 400mm X 6m (Di 350) S5	276.00
952248	TUB PVC NOVAFORT PLUS 440mm X 6m (Di 400) S5	292.00
964258	TUB PVC NOVAFORT PLUS 500mm X 6m (Di 450) S5	416.00
PIPE LARGE DIAMETERS Novafort PLUS		
942349	TUB PVC NOVAFORT PLUS 540mm X 6m (Di 500) S5	468.00
942346	TUB PVC NOVAFORT PLUS 650mm X 6m (Di 600) S5	645.00
942348	TUB PVC NOVAFORT PLUS 760mm X 6m (Di 700) S5	853.00
952224	TUB PVC NOVAFORT PLUS 875mm X 6m (Di 800) S5	1196.00
971891	TUB PVC NOVAFORT PLUS 975mm X 6m (Di 900) S5	1446.00

Figura 6.25 Precios de tuberías PVC de la Serie Novafort Plus

Fuente: (MEXICHEM ECUADOR S.A., 2014)

Para el cálculo del volumen aproximado de excavación, se consideró la profundidad de excavación de 1.2 m para el primer tramo de tubería y para los demás tramos dependerá de la pendiente que debe mantener el colector. El ancho de la zanja recomendado dependerá del diámetro nominal del colector según lo muestra la Figura 6.26, y la longitud de la tubería, por ello se usó un ancho de zanja de 0.7 m.

DIÁMETRO NOMINAL (mm)	ANCHO DE ZANJA	
	MÍNIMO (m)	MÁXIMO (m)
125	0,45	0,70
175	0,45	0,75
220	0,50	0,80
280	0,55	0,85
335	0,65	0,95
400	0,70	1,00
440	0,80	1,20
500	0,90	1,50
540	0,90	1,50
650	1,00	1,60
760	1,20	1,70
875	1,30	1,80
975	1,40	2,00

Figura 6.26 Ancho de zanja recomendado según el diámetro nominal del colector

Fuente: (MEXICHEM ECUADOR S.A., 2014)

6.3 Análisis de costos y presupuesto de las alternativas planteadas

6.3.1 Alternativa 1: Ampliación y mantenimiento del canal San Enrique

Debido a que no se realizó la topografía del canal San Enrique en toda su longitud y tan solo en las secciones críticas presentadas en el capítulo 2 del presente estudio, no se tiene el perfil exacto del canal San Enrique. Por ello no se puede saber con precisión el volumen de excavación que se debe realizar a fin de ampliar el canal, tal como se propone en el capítulo 6 de este documento. Por los motivos antes expuestos, no se realizó el análisis de costos y presupuesto para la ampliación y mantenimiento del canal San Enrique.

6.3.2 Alternativa 2: Construcción de un parque inundable

Con la finalidad de tener un estimativo del costo a invertir en la implementación del parque inundable, se procedió a elaborar un análisis de precios unitarios de los rubros presentes durante la puesta en obra.

Los rubros involucrados son: excavación a máquina, carga y transporte de material. Se realizó el cálculo del rendimiento de cada uno de los rubros involucrados durante la obra para lo cual se consideró:

$$R = \frac{\text{Tiempo}}{\text{Unidad del rubro}} \quad (6.4)$$

- **Rendimiento del proceso de trazado y replanteo**

Puesto que se debe realizar el proceso de trazado y replanteo en el área donde se va a construir el parque inundable, se calculó el rendimiento que la cuadrilla va a tener. El cual está dado por los siguientes aspectos:

- Número de puntos en el cual se realiza el levantamiento topográfico.
- El tiempo que le toma al topógrafo organizar la cuadrilla y hacer el levantamiento de los puntos.

El área promedio del parque inundable es de 3905.43, con un aproximado de 49 puntos de topografía. Asumiendo que a la cuadrilla le lleva 7 minutos por punto en el levantamiento topográfico, se obtiene un rendimiento de:

$$R = \frac{49 * 7}{3905.43 * 60} = 0.0015 \text{ h/m}^2$$

- **Rendimiento del proceso de excavación**

Básicamente, el rendimiento depende del tipo de maquinaria y de la eficiencia que tiene el operador para realizar el trabajo y está dado por la siguiente ecuación:

$$R = \frac{1+\xi}{C_x A_x V_x L_x E} \left[\frac{h}{m^3} \right] \quad (6.5)$$

Características de los materiales			
Material	Banco	Compacto	Esponjamiento
Arena	90%	86%	11%
Arcilla arenosa	80%	72%	25%
Arcilla	70%	63%	18%
Suelo con grava	85%	91%	18%
Rocas suaves	61%	74%	65%
Roca dura	59%	77%	70%

Figura 6.27 Esponjamiento característico de los suelos

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 1992)

De la Figura 6.27, se obtuvo que el valor de esponjamiento de suelo es 25%. Se consideró que se va a utilizar una excavadora hidráulica Cat 320DL con capacidad de 1 m³ y un ciclo por hora dependiendo del material a excavar. Debido a que el suelo a excavar es arenoso arcilloso se usó un valor de ciclo por hora de 130 m³/h, con una corrección por ángulo de giro igual a 0.9 y un factor de llenado de 0.9. Además se asumió una eficiencia del de 50 min/h. Al reemplazar los valores en la ecuación 6.5, se obtiene:

$$R = \frac{1 + 0.25}{130 \times 0.9 \times 1 \times 0.9 \times 0.83} = 0.0396 \left[\frac{h}{m^3} \right]$$

6.3.3 Presupuesto

Tubería Pvc Novafort 220 mm x 6m

Cada tubo Pvc Novafort 220 mm x 6m tiene un costo de \$97.00. El costo de los 58 tubos que se necesitan a fin de cubrir la longitud total de la tubería que va a llevar las aguas lluvia desde la laguna del parque inundable hasta el canal San Enrique,

tiene un costo de \$5626.00. Debido a que no se tiene la topografía del lugar donde se va a realizar la instalación de la tubería antes mencionada, no se puede calcular el volumen de excavación. Por tal razón no se pudo estimar el costo de volumen de excavación para colocar la tubería.

Tabla 6.9 Presupuesto sin considerar el rubro tubería PVC

RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL USD
1	TRAZADO Y REPLANTEO	M2	3905.43	2.70	10 544.66
2	EXCAVACION A MAQUINA	M3	1800	1.08	1 944.00
3	TRANSPORTE DE MATERIAL	M3/KM	1800	9.74	17 532.00

Fuente: Autores

Finalmente, el costo aproximado de construir el parque inundable es de \$35646.66, este valor incluye el costo de los 58 tubos de Pvc, pero no de de los costos por trazado y replanteo de la zona donde se encontrara ubicada la tubería, excavación e instalación de la misma, relleno del sitio y finalmente la colocación de hormigón sobre el sitio.

6.4 Requerimientos ambientales

Alternativa 1: Ampliación y mantenimiento del canal San Enrique

A fin de conocer el tipo de documentación necesario para implementar esta solución, se realizó la consulta en el sitio web del Sistema Único de información Ambiental (SUIA). De esta búsqueda se concluyó que la ampliación del canal requiere de la obtención de un certificado ambiental, tal como se muestra en la figura.



Figura 6.28 Tipo de documentación necesaria de acuerdo a la alternativa 1

Fuente: (SUIA, 2018)

Para obtener el certificado ambiental se debe cumplir con los requisitos establecidos en el Manual del proceso de obtención de un certificado ambiental; los cuales se presentan a continuación:

1. Estar registrado o crear un usuario en el SUIA.
2. Registrar el proyecto, concluir el proceso para la obtención del certificado ambiental y descargar la guía de buenas prácticas ambientales correspondiente.

Alternativa 2: Construcción de un parque inundable

A fin de conocer el tipo de documentación necesario para implementar esta solución, se realizó la consulta en el sitio web del Sistema Único de Información Ambiental (SUIA). De esta búsqueda se concluyó que la ampliación del canal requiere de la obtención de un certificado ambiental, tal como se muestra en la figura

MINISTERIO DEL AMBIENTE

EL GOBIERNO DE TODOS

SUIA Sistema Único de Información Ambiental

Inicio SUIA Servicios en línea Noticias Documentos Gestión Interna MAE Transparente Buscar...

Consulta de Actividades Ambientales

Para conocer la Actividad Ambiental a la que pertenece su proyecto, el proceso que corresponde (Registro Ambiental o Licencia Ambiental), el tiempo de emisión y los costos que genera, haga clic en buscar.

Descripción de la actividad	CONSTRUCCIÓN Y/U OPERACIÓN DE PARQUES, CENTROS DE DEPORTES, LUGARES DE RECREACIÓN Y ESPARCIMIENTO
Su trámite corresponde a un(a)	CERTIFICADO AMBIENTAL
Tiempo de emisión	Inmediato.
Costo del trámite	No tiene. (Tiene un costo si existe remoción de cobertura vegetal nativa)

Figura 6.29 Tipo de documentación necesaria de acuerdo a la alternativa 1

Fuente: (SUIA, 2018)

Para obtener el certificado ambiental se debe cumplir con los requisitos establecidos en el Manual del proceso de obtención de un certificado ambiental; los cuales se presentan a continuación:

1. Estar registrado o crear un usuario en el SUIA.
2. Registrar el proyecto, concluir el proceso para la obtención del certificado ambiental y descargar la guía de buenas prácticas ambientales correspondiente. Para la implementación de la presente solución se debe cumplir con la Guía de buenas prácticas ambientales para el sector de la construcción menor o igual a veinte mil metros disponible en la página web del SUIA.

CAPÍTULO 7

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 Alternativa 1: Ampliación y mantenimiento del canal San Enrique

Mediante el modelo realizado en HecRAS se puede analizar el problema de la inundación en el sector debido a la aportación de caudales de la red de tuberías del sistema de aguas lluvia a lo largo del canal para un período de dos años, mediante distintos escenarios.

En el primer análisis se contrastó la condición actual del canal con un trabajo de limpieza de canal para disminuir lo más posible la densidad de vegetación, para que las velocidades de flujo aumenten, puesto que debido a la irregularidad del terreno y las pendientes negativas presentes, no se produzca una estanqueidad de agua. No obstante, estas velocidades no serían de gran magnitud para afectar a la erosión de los márgenes del canal y tampoco deben permitirse velocidades demasiado bajas para evitar la decantación de los sólidos suspendidos, además las bajas velocidades implican que se deberían aumentar las secciones del canal, lo cual en el canal San Enrique no siempre ocurre, debido a que se tienen velocidades bajas y secciones pequeñas, como por ejemplo en la abscisa 1000 hacia aguas abajo se da una reducción de sección. Cuando se trata de canales de tierra (sin revestimiento), la velocidad depende de la composición del tipo de material de las paredes.

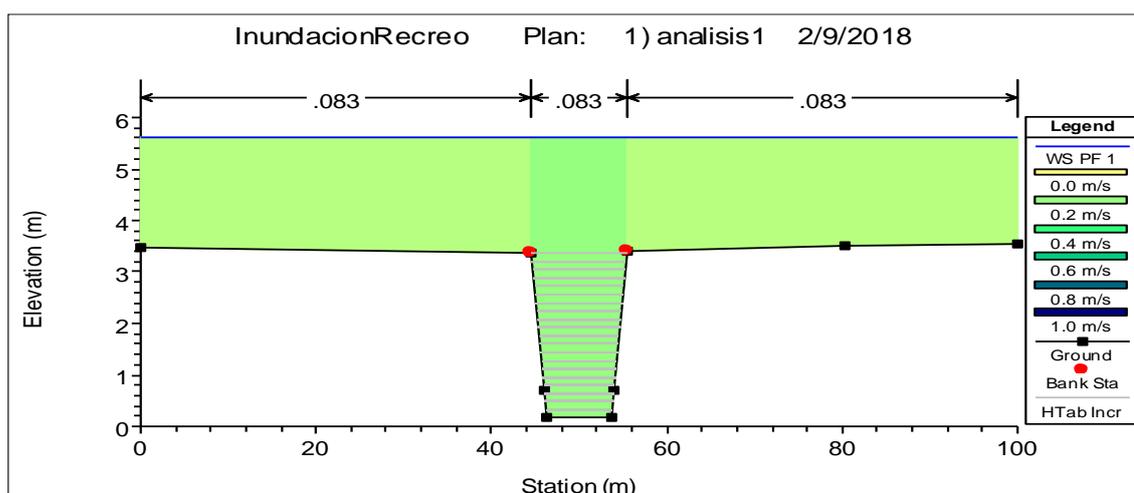


Figura 7.1 Sección transversal de la abscisa 1000

Fuente: Autores

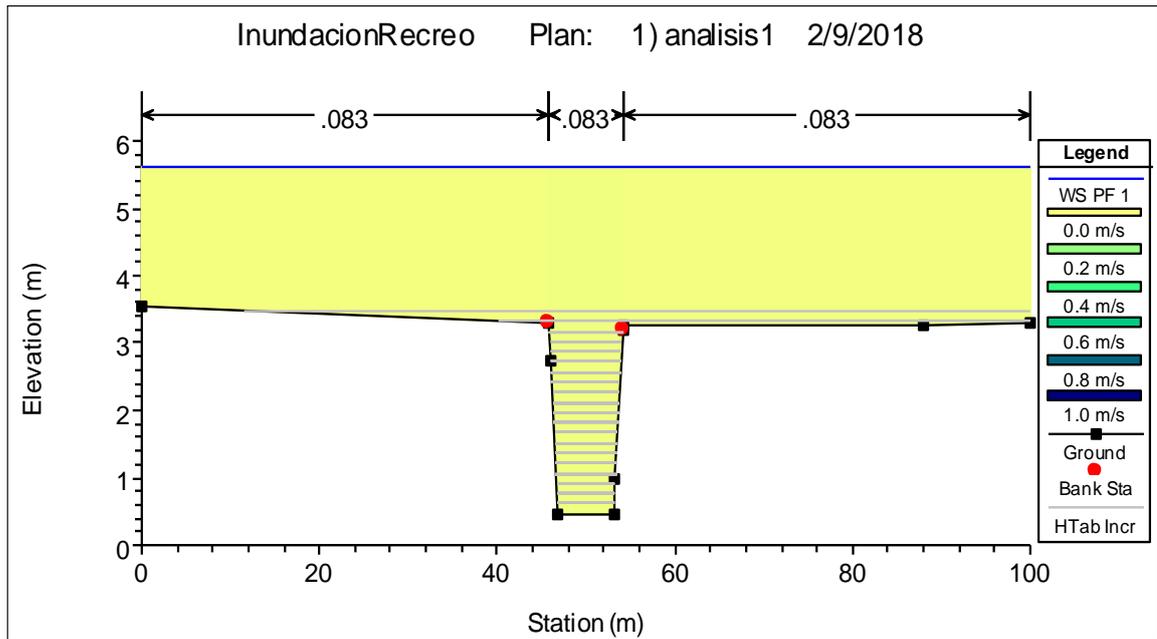


Figura 7.2 Sección transversal de la abscisa 1100

Fuente: Autores

Los resultados del Anexo D muestran que si se cumple el régimen de flujo subcrítico, el cual se caracteriza por velocidades relativamente bajas y profundidades relativamente grandes. Entre las abscisas 2200 – 1100 el canal presenta un número de Froude cercano a cero debido a que las velocidades en esos tramos son bien bajas. La asimetría de las secciones transversales origina corrientes distintas a la dirección principal de la corriente. Es por ello que un canal cuya sección sea la mencionada tendrá problemas de capacidad de carga o transporte (K).

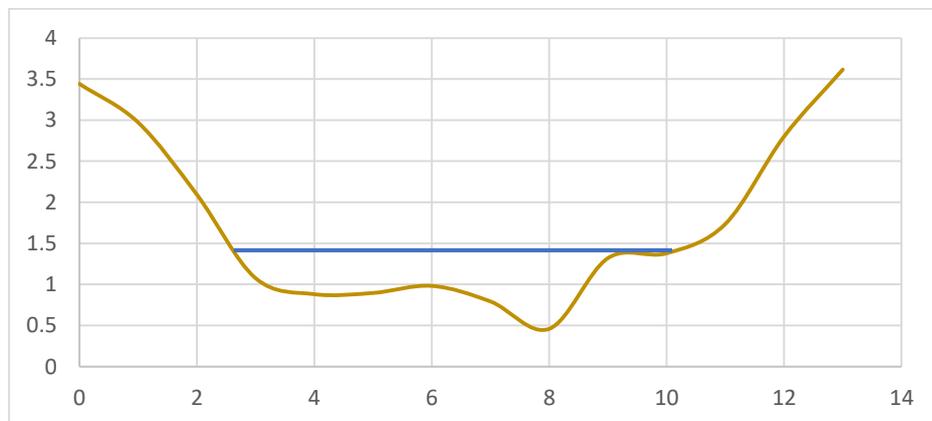


Figura 7.3 Perfil transversal del estero San Enrique – tramo 2

Fuente: Autores

Actualmente, el crecimiento de vegetación se ve afectado por las descargas de material orgánico al canal y sus alrededores, como basura y otros desechos por parte de las viviendas cercanas. La presencia de vegetación influye directamente en las velocidades de flujo que se dan en el canal, es decir a mayor densidad de vegetación el coeficiente de rugosidad aumenta y las velocidades son menores, y viceversa. Para el segundo análisis se contrastó la condición actual del canal con una ampliación posible de su sección con respecto a su restricción de espacio. Debido a esta restricción, el comportamiento es similar a la condición actual obteniéndose una pequeña reducción del nivel de elevación de agua, como se muestra en la Figura 7.4 y 7.5.

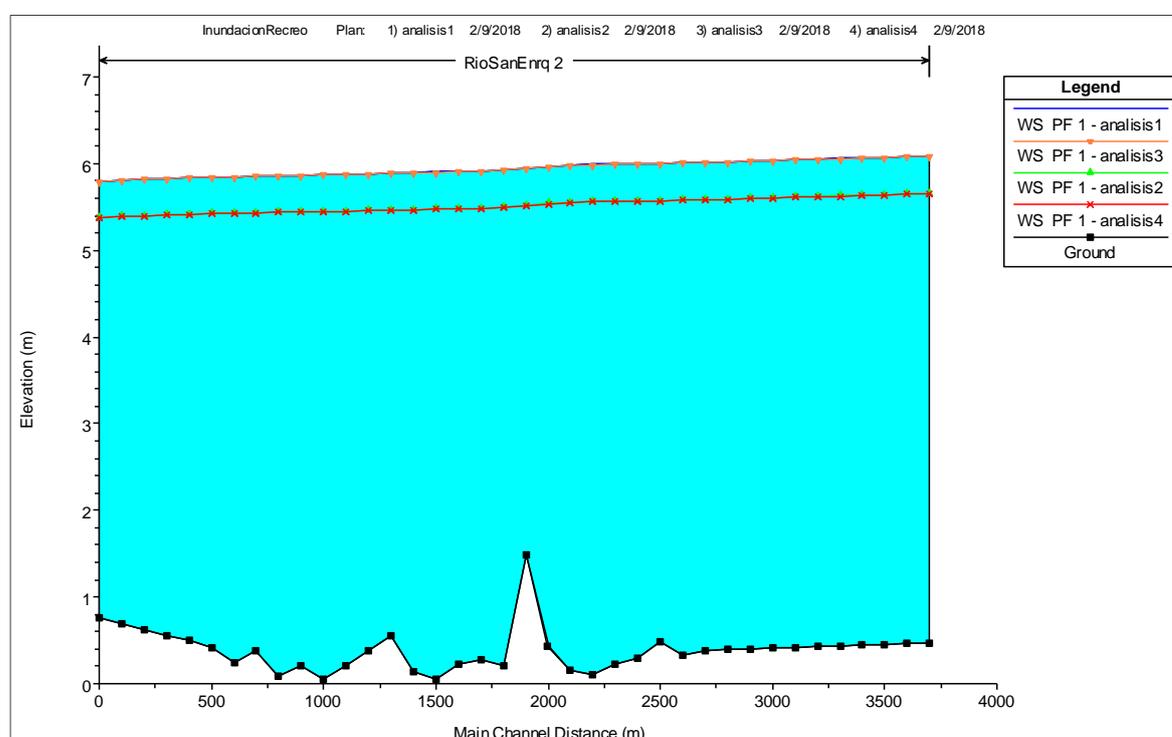


Figura 7.4 Elevación del nivel de agua para el canal San Enrique – tramo 2

Fuente: Autores

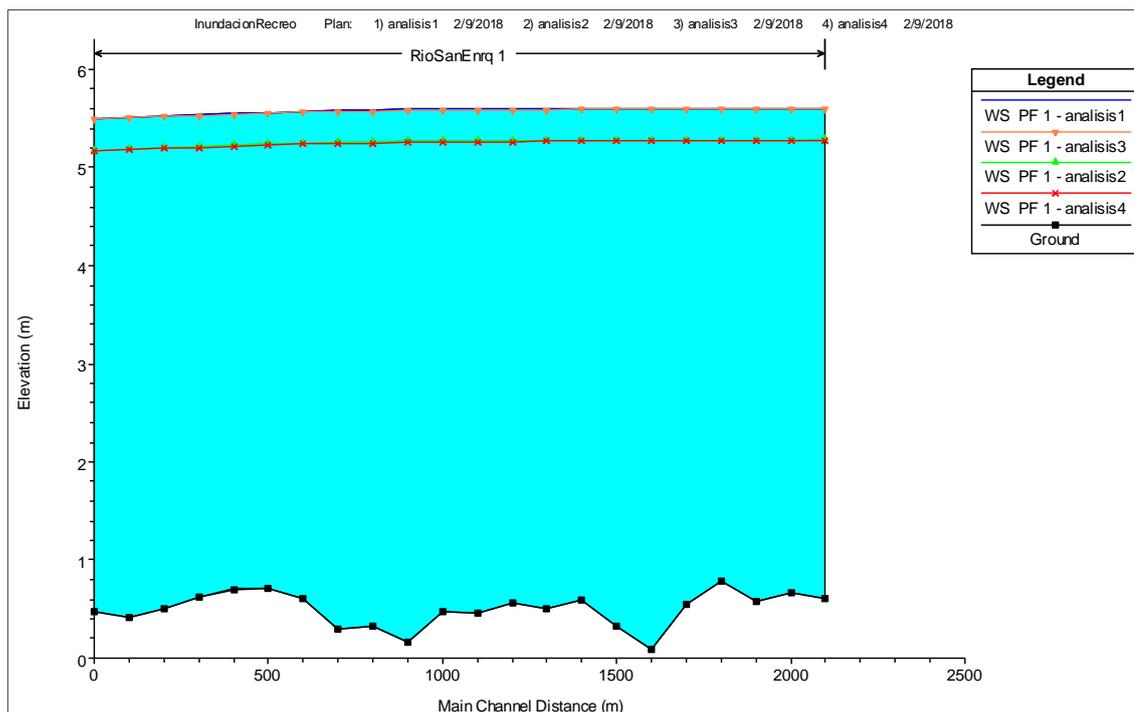


Figura 7.5 Elevación del nivel de agua para el canal San Enrique – tramo 1

Fuente: Autores

En el tercer análisis, se combina la alternativa de limpieza y aumento de sección, obteniéndose mejores resultados como lo muestra la tabla

Tabla 7.1 Volumen de inundación para diferentes análisis realizados

	Volumen (m3)	
Estero San Enrique	218458	
	Volumen de agua (m3)	Volumen de inundación (m3)
Canal actual	2948510	2730052
Limpieza de canal	2552990	2334532
Ampliación del canal	2933970	2715512
Ampliación y limpieza del canal	2541770	2323312

Fuente: Autores

En el modelo debido a la falta de información en las secciones transversales se idealizó el escenario final considerando la una sección transversal crítica, es decir una sección de menor tamaño. Los resultados mostraron un 15% de reducción del volumen de inundación considerando un volumen ideal de almacenamiento del canal.

Tabla 7.2 Alturas representativas

	Tramo 2	Tramo 1
Fondo del canal (m.s.n.m)	0.388	0.502
Water Surface (m)	5.516	5.246
Tirante promedio del canal (m)	2.952	2.874

Fuente: Autores

Un factor muy importante a analizar, fue la limitante que se tiene respecto al material que constituye el canal con tipo de suelo areno gravo arcilloso para el tramo 1 y un suelo arcillo limo arenoso para el tramo 2, debido a que se condiciona el factor de estabilidad de los taludes, el cual debe respetarse y ser considerado al mismo al momento de realizar la ampliación del canal.

7.2 Alternativa 2: Construcción de un parque inundable

Es importante destacar que para la creación del parque inundable no se utilizó la modelación realizada con el software Hecras explicada anteriormente.

El parque consta de un espacio total de 3906.25 m², de los cuales 900 m² contribuirán a la recolección de agua lluvia con una capacidad de 1800 m³ durante un evento de precipitación evitando que el sistema de drenaje pluvial no colapse y deje de funcionar. Se optó por seleccionar el trazo de tubería más conveniente de acuerdo a la pendiente, para evitar excavar grandes volúmenes dando a los colectores la pendiente requerida.

Además se aseguró que las pendientes que tendría el colector aseguren las velocidades mínimas y máximas, para que no se produzca un flujo crítico en la tubería y genere inestabilidad. La tubería empleada descargará directamente al canal San Enrique sin aportación de una conexión adicional de otra tubería que no haya sido mencionada.

CAPÍTULO 8

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

El tema principal del documento es realizar el diagnóstico de la situación de la ciudadela El Recreo ubicada en el cantón Durán en el tramo de estudio, para lo cual se realizó el análisis del canal San Enrique, ya que este atraviesa dicha ciudadela.

De los estudios realizados se dedujo que es factible aplicar soluciones que impliquen nuevos conceptos y procedimientos, a fin de disminuir el riesgo de inundaciones en esta ciudadela.

El presente estudio se realizó considerando caudales para un periodo de retorno de 2 años ya que el análisis se hizo a corto plazo. Si se desea realizar un análisis a largo plazo, se debería hacer un análisis con periodos de tiempo de 5, 10, 15, 25 y 50 años, para el cual se tendrá un incremento en los caudales a ingresar en el modelo construido en el software HECRAS.

En base al análisis realizado a lo largo de este estudio, se concluye que el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Durán debería implementar las dos propuestas de solución presentadas en este estudio.

- La alternativa 1 consiste en ampliar la sección del canal San Enrique en ambos lados en el tramo 557-1157 y en los bordes derechos en los tramos 200-2200 y 2257 – 2657. Además de realizar la limpieza del canal San Enrique en toda su longitud, lo cual es de vital importancia para que las inundaciones que se dan en esta ciudadela de Durán disminuyan considerablemente.
- La alternativa 2 consiste en la construcción de un parque inundable a fin de recolectar el agua lluvia durante un evento de precipitación evitando de esta forma que el sistema de drenaje pluvial colapse y deje de funcionar.

8.2 Recomendaciones

En base al análisis realizado a lo largo de este estudio, se recomienda realizar el levantamiento topográfico del canal San Enrique en toda su longitud, de tal modo que se obtengan resultados más reales al instante de construir el modelo hidráulico en el software ARCGIS.

Asimismo, es necesario efectuar un estudio tridimensional detallado, sin dejar de lado ninguna propiedad física o geomorfológica del comportamiento hidráulico de un canal, previo a la construcción de soluciones en cauces como el del canal San Enrique. Cabe destacar la necesidad de realizar esta clase de investigaciones en toda la longitud del canal.

Se sugiere también proveer al cantón Durán de un canal adicional que permita ayudar a conducir el flujo de aguas lluvia hacia el río Guayas en los puntos más bajos del cantón cercanos a los colectores más críticos, con el fin de redirigir el flujo de agua hacia un canal adicional. Esto se debe a que debido a la topografía de la zona, el cantón posee una cuenca natural que descarga las aguas lluvia de forma lenta, sin considerar el aporte de las microcuencas del sistema de drenaje pluvial.

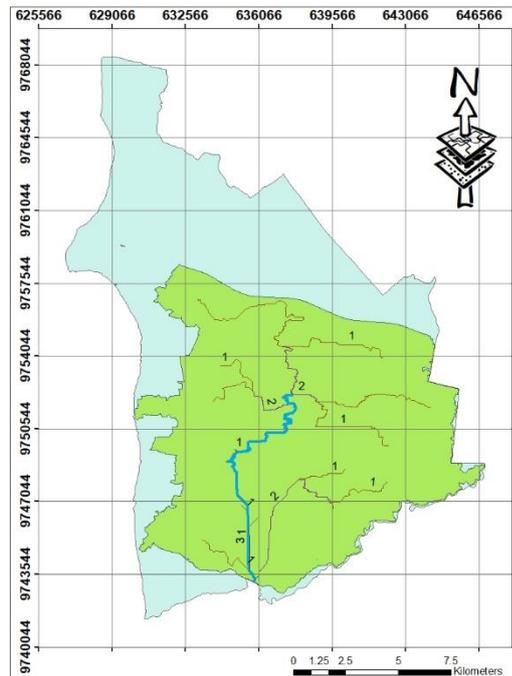


Figura 8.1 Trazado de un canal adicional de acuerdo a la topografía del sector

Fuente: Autores

Finalmente es recomendable para el GAD prohibir la construcción de viviendas en los alrededores del canal, a fin de evitar una de las mayores causas por las cuales se dan las inundaciones. Esto puesto que la urbanización produce cambios notables, tales como la impermeabilización de los suelos y reducción de la infiltración, provocando de esta forma picos elevados y descargas más rápidas.

BIBLIOGRAFÍA

- IPCC. (2007). Climate change 2007 : impacts, adaptation and vulnerability : Working Group II contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report, 1(July), 976. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0015br>
- IPCC. (2014b). Summary for Policymakers. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Contributions of the Working Group II to the Fifth Assessment Report, 1–32. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.11.012>
- Center for Environmental Assessments, N. (2016). Evaluating Urban Resilience to Climate Change: A Multi-Sector Approach. Retrieved from www.epa.gov/research
- Lu, P., & Stead, D. (2013). Understanding the notion of resilience in spatial planning: A case study of Rotterdam, The Netherlands. *Cities*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.06.001>.
- Moser, S. C., & Ekstrom, J. a. (2010). A framework to diagnose barriers to climate change adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(51), 22026–22031. <https://doi.org/10.1073/pnas.1007887107>
- Aldridge, B. N. (1973). *Roughness coefficients for stream channels in Arizona: U.S. Geological Survey open-file report, 49 p.* Arizona.
- Ashley, R., Garvin, S., Pasche, E., Vassilopoulos, A., & Zevenbergen, C. (2007). *Advances in Urban Flood Management.* London, UK.
- Ashley, R., Garvin, S., Pasche, E., Vassilopoulos, A., & Zevenbergen, C. (2007). *Advances in Urban Flood Management.* London, UK.
- Charlesworth, S. (2010). A review of the adaptation and mitigation of global climate change using sustainable drainage in cities. *J. Water Clim. Chang.* , 1, 165–180. .
- Chocat, B., Ashley, R., Marsalek, J., Matos, M., Rauch, W., Schilling, W., & Urbonas, B. (2007). Toward the sustainable management of urban storm-water. *Indoor Built Environ*, 16,273-285.
- Ciudad de Toronto. (2018). *TORONTO.* Retrieved from <https://www.toronto.ca/data/parks/prd/facilities/complex/3499/index.html>
- CORIMAT. (2012). *CORIMAT.* Retrieved from <https://corimat.net/es/inundacion-costera/>

- Corporación Andina de Fomento. (2000). *scioteca*. Retrieved from <http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/676/Las%20lecciones%20de%20El%20Ni%C3%B1o.Per%C3%BA.pdf>
- Dawson, R., Ball, T., Werritty, J., Werritty, A., Hall, J., & Roche, N. (2011). Assessing the effectiveness of non-structural flood management measures in the Thames Estuary under conditions of socio-economic and environmental change. *Glob. Environ. Change*, 21, 628–646.
- Dowers, T. &. (2016, Agosto). *waterfrontoronto*. Retrieved from <http://blog.waterfrontoronto.ca/nbe/portal/wt/home/blog-home/posts/from-the-archives-corktown-common>
- El Diario, .. (2016, enero 3). Intensas lluvias causan estragos en Guayaquil. *El Diario*.
- El Telegrafo*. (2017, diciembre 15). Retrieved agosto 29, 2018, from <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/el-60-del-parque-las-vegas-en-portoviejo-es-un-humedal-artificial>
- El Universo, .. (2008, febrero 17). Fuerte aguacero dejó inundado El Recreo. *El Universo*.
- Elliott, A., & Trowsdale, S. (2007). A review of models for low impact urban stormwater drainage. *Environ. Model. Softw.*, 22, 394 - 405.
- Elliott, A., & Trowsdale, S. (2007). A review of models for low impact urban stormwater drainage. *Environ. Model. Softw.*, 22,394-405.
- Environment., O. o., & Assistance., U. S. . (1993). *Manual sobre el manejo de* . Retrieved from <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea65s/oea65s.pdf>
- EPA, U. (2018). *Storm Water Management Model Manual version 5.0*. US EPA.
- ESRI, Inc. (2016). *ArcGIS for Desktop*. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-interpolation-analysis.htm>
- FLOODsite. (2009). *Flood Risk Assessment and Flood Risk Management. An Introduction and Guidance Based on Experiences and Findings of FLOODsite (An EU-Funded Integrated Project)*. Delft, the Netherlands: Deltares/Delft Hydraulics.
- Fryd, O., Backhaus, A., Jeppesen, J., Ingvertsen, S., Birch, H., Bergman, M., . . . Jensen, M. (2009). *Connected Disconnections: Conditions for Landscape-Based Disconnections of Stormwater from the Copenhagen Sewer System in the Catchment Area for River Harrestrup. The 2BG Project Working Report: River*

- Harrestrup Case Study*. Copenhagen, Denmark, : Danish Centre for Forest, Landscape & Planning, University of Copenhagen.
- GAD, M. d. (2018). *Alcaldía de Guayaquil*. Retrieved from <http://www.guayaquil.gob.ec/geograf%C3%ADa-de-guayaquil>
- GARMIN INTERNATIONAL, Inc. (2011). *GARMIN*. Retrieved from <https://buy.garmin.com/es-ES/ES/p/63801>
- Hallegate, S. (2013). *Repositorio de investigación de la Universidad de Middlesex*. Retrieved from Evaluación de los costos de los peligros naturales: <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-13-1351-2013>
- Hatt, B., Fletcher, T., Walsh, C., & Taylor, S. (2004). The influence of urban density and drainage infrastructure on the concentrations and loads of pollutants in small streams. *Environ. Manag.*, 34, 112–124.
- Hellström, D., Jeppsson, U., & Kärman. (2000). *E. A framework for systems analysis of sustainable urban water management*. . 20,311-321: *Environ. Impact Assess. Rev.*
- Huong, H., & Pathirana, A. (2013). Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho City, Vietnam. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17,379-394.
- INAMHI. (2017). *Boletín de Precipitación y Temperatura*. Quito. Retrieved from http://sipa.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/tematicos_zonales/precipitacion_temperatura/2017/precipitacion_febrero2017_zona5.pdf
- INAMHI. (2017). *Mapas de inundación*. Retrieved from <http://www.serviciometeorologico.gob.ec>
- INAMHI. (2018). *Boletín Climático y Agrícola*. Retrieved from <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/boletines-climaticos-y-agricolas/>
- INEN. (1990). *NTE INEN 1752: Urbanización. Sistema de eliminación de residuos líquidos. Requisitos*. UsGovernmentDocuments.
- INOCAR. (2011). *INOCAR*. Retrieved from https://www.inocar.mil.ec/modelamiento/el_nino/nino_generalidades.php
- Interagua. (2015). *Manual de diseño de redes de alcantarillado*. Guayaquil.
- Interagua C. LTDA. (2015). *Manual de diseño de redes de alcantarillado*. Guayaquil: MA-OED-003.
- Kundzewicz, Z. e. (2014). Flood risk and climate change: Global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), 1-28.

- Langenbach, H., Eckart, J., & Schröder, G. (2008). Water Sensitive Urban Design- Results and Principles. *In Proceedings of the 3rd SWITCH Scientific Meeting*. Belo Horizonte, Brazil.
- Leopold et al. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*. San Francisco, California: W.H. Freeman.
- Leopold, L. &. (1953). *The Hydraulic Geometry of stream channels and some physiographic implications*. Washington D.C. Retrieved from [https://eps.berkeley.edu/people/lunaleopold/\(040\)%20The%20Hydraulic%20Geometry%20of%20Stream%20Channels%20and%20Some%20Physiographic%20Implications.pdf](https://eps.berkeley.edu/people/lunaleopold/(040)%20The%20Hydraulic%20Geometry%20of%20Stream%20Channels%20and%20Some%20Physiographic%20Implications.pdf)
- Leopold, L. (1968). Hydrology for Urban Land Planning—A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use. *Geological Survey Circular 554; U.S. Geological Survey: Washington, DC, USA, .*
- López., O. J. (1992). *Normas Para Estudio Y Diseño De Sistemas De Agua Potable Y Disposición De Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores A 1000 Habitantes*. Quito: Secretaría del Agua.
- Ludeña, C., & Wilk, D. (2013). *Mitigación y adaptación al cambio climático*. No. IDB-TN-619.
- Malmqvist. (1999). Sustainable urban water management. Vatten.
- Metcalf & Eddy, I. (2003). *Ingeniería de Aguas Residuales*. New York: McGraw-Hill.
- MEXICHEM ECUADOR S.A. (2014, Mayo 28). *PLASTIGAMA*. Retrieved from www.plastigama.com
- Ministerio de Obras Públicas. (1992). *Manual de costos de construcción pesada, carreteras y puentes*. Guayaquil.
- Normas del Reglamento Nacional. (2010). Instalaciones Sanitarias para Edificaciones. In *Norma Técnica IS.010* (pp. 11-19). Lima: Limusa.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2015, Octubre). *Perspectivas de cosechas y situación alimentaria*. Retrieved from <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/ah873s/ah873s00.pdf>
- Organización Meteorológica Mundial. (2014). *Organización Meteorológica Mundial*. Retrieved from https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1145_es.pdf
- Organización Panamericana de la Salud. (2000). *Los desastres naturales y la protección de la salud*. Retrieved from

http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/desastres/desastresall._los_desastres_naturales_y_la_proteccion_a_la_salud.pdf

Organización Panamericana de la Salud. (2006). *Hospitales seguros ante inundaciones*.

Retrieved from <http://helid.digicollection.org/en/d/Js13490s/3.2.html>

Organization, World Health Organization & The Pan American Health. (2006). *Health Library for disasters*. Retrieved from

<http://helid.digicollection.org/en/d/Js13490s/3.2.html>

Reguero BG, L. I.-S. (2015, Marzo 16). *Efectos del cambio climático sobre la exposición a las inundaciones costeras en América Latina y el Caribe*. España: PLoS ONE 10(7). Retrieved from <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133409>

Roy, A. H., S.J., Fletc.EWher, T., Walsh, C., Ladson, A., Shuster, W., . . . Brown, R. (2008). Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: Lessons from Australia and the United States. *Environ. Manag.*, 42, 344 - 359.

Scottish Water. (2018). *Sustainable Drainage Systems*. Scotland.

Secretaría del Agua. (1992). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. Guayaquil.

Semadeni-Davies, A., Hernebring, C., Svensson, G., & Gustafsson, L. (2008). The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Suburban stormwater. *J. Hydrol.*, 350,114-125.

SUIA. (n.d.). *SUIA*. Retrieved agosto 30, 2018, from <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/3450361/MANUAL+PARA+OBTENER+UN+CERTIFICADO+AMBIENTAL.pdf/98efe5a4-8490-4802-a620-a392797f49e9?version=1.0>

Tomalaweb. (2018). *Sistemas topográficos digitales*. Retrieved from <http://sistemastopograficos.com.mx/producto/nivel-sokkia/>

U.S. Department of Transportation. (1984). *Guide for selecting manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains*. Virginia.

UNAM. (2015). *Medidas de emergencia*. Retrieved from <https://www.unam.mx/medidas-de-emergencia/lluvias-e-inundaciones>

VAND I BYER. (n.d.). Retrieved agosto 25, 2018, from <http://www.vandibyer.dk/>

- Wang, J., Da, L., Song, K., & Li, B.-L. (2008). Temporal variations of surface water quality in urban, suburban and rural areas during rapid urbanization in Shanghai, China. *Environ. Pollut.* 2008, 152, 387–393. [*Google Scholar*], 152, 387–393.
- Willems, P., Arnbjerg- Nielsen, K., & Olsson, J. (2012). Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: Methods and shortcomings. . *Atmos. Res.*, 103,106-118.
- Wong, T. (2006). Water sensitive urban design-the journey thus far. *Aust. J. Water Resour.*, 10, 213–222.
- Wong, T., & Brown, R. (2009). The water sensitive city: Principles for practice. *Water Sci. Technol.*, 60,213-222.

ANEXOS

ANEXO A

TABLA DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Norma de Referencia: ASTM D 422

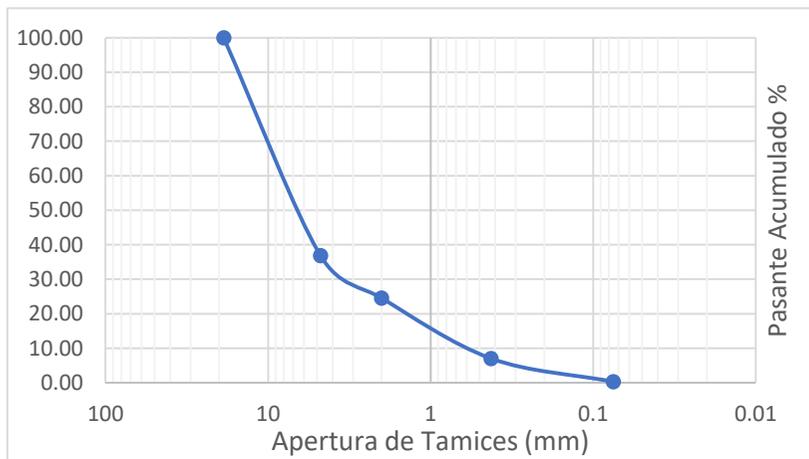
Tamiz	Retenido	Retenido	Retenido	Pasante
ASTM	mm	Parcial (g)	Parcial %	Acumulado %
3/4"	18.75	0	0.00	0.00
No. 4	4.75	89.78	63.19	63.19
No. 10	2	17.44	12.28	75.47
No. 40	0.425	24.87	17.51	92.98
No. 200	0.075	9.57	6.74	99.71
fondo		0.41	0.29	100.00
total		142.07	100.00	

CONTENIDO DE HUMEDAD

Norma de Referencia: ASTM D 2216

Wh (g)	195.93
Ws+recipiente (g)	199.48
Wrecipiente (g)	57.41
%Humedad	37.91

D60	8.1
D30	3.7
D10	0.605
Cu	13.39
Cc	2.79



UBICACIÓN: CANTÓN DURÁN - ESTERO LA MATANZA (PEÑÓN DEL RIO - PUNTO 2 EN EL MAPA)

FECHA: 11/Junio/2018

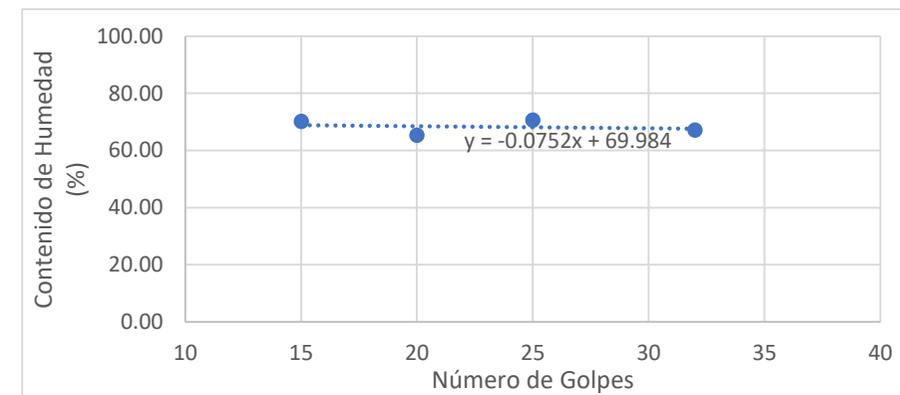
LÍMITES DE ATTERBERG

Norma de Referencia: ASTM D 4318

	Límite Líquido (Wl)				Límite Plástico (Wp)		
	1	2	3	4	1	2	3
No. Tara	16	9	10	8	35	28	19
Wh+tara (g)	16.05	15.06	22.46	16.26	9.45	9.31	9.04
Ws+tara (g)	12.09	11.37	15.95	12.05	8.53	8.48	8.14
Wtara (g)	6.02	6.11	6.25	6.08	6.3	6.35	5.68
Wagua (g)	3.96	3.69	6.51	4.21	0.92	0.83	0.9
Ws (g)	6.07	5.26	9.7	5.97	2.23	2.13	2.46
No. Golpes	20	15	32	25			
%Humedad	65.24	70.15	67.11	70.52	41.26	38.97	36.59

LÍMITES	
Wl (%)	68.10
Wp (%)	38.94
Ip (%)	29.17

CLASIFICACIÓN	
SUCS	GW



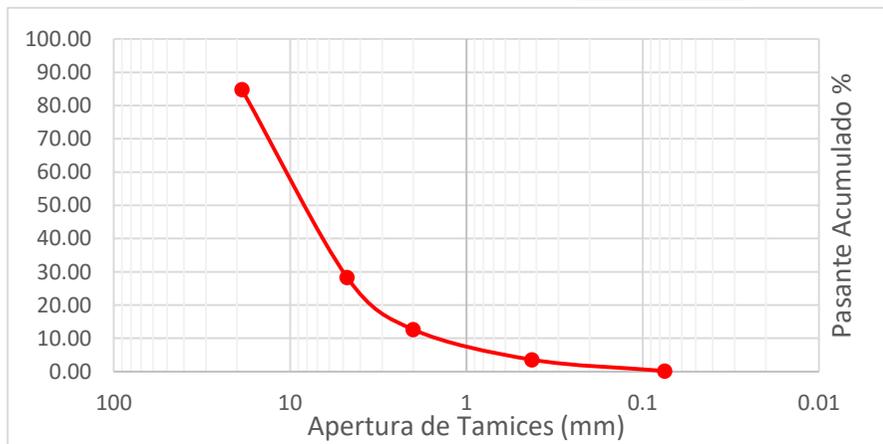
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
Norma de Referencia: ASTM D 422

Tamiz		Retenido	Retenido	Retenido	Pasante
ASTM	mm	Parcial (g)	Parcial %	Acumulado %	Acumulado %
3/4"	18.75	27.33	15.20	15.20	84.80
No. 4	4.75	101.56	56.47	71.67	28.33
No. 10	2	28.23	15.70	87.37	12.63
No. 40	0.425	16.31	9.07	96.44	3.56
No. 200	0.075	6.1	3.39	99.83	0.17
fondo		0.31	0.17	100.00	0.00
total		179.84	100.00		

CONTENIDO DE HUMEDAD
Norma de Referencia: ASTM
D 2216

Wh (g)	200.78
Ws+recipiente (g)	236.55
Wrecipiente (g)	56.71
%Humedad	11.64

D60	10.1
D30	5
D10	1.7
Cu	5.94
Cc	1.46



UBICACIÓN: CANTÓN DURÁN - ESTERO LA MATANZA (PUNTO 3 EN EL MAPA)

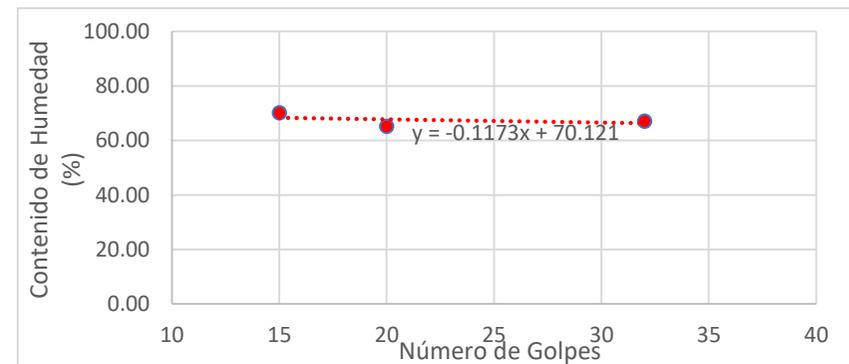
FECHA: 11/Junio/2018

LÍMITES DE ATTERBERG
Norma de Referencia: ASTM D 4318

	Límite Líquido (Wl)			Límite Plástico (Wp)		
	1	2	3	1	2	3
No. Tara	16	9	10	25	32	34
Wh+tara (g)	16.05	15.06	22.46	9.16	11.5	9.95
Ws+tara (g)	12.09	11.37	15.95	8.33	10.18	8.99
Wtara (g)	6.02	6.11	6.25	5.87	6.2	6.17
Wagua (g)	3.96	3.69	6.51	0.83	1.32	0.96
Ws (g)	6.07	5.26	9.7	2.46	3.98	2.82
No. Golpes	20	15	32			
%Humedad	65.24	70.15	67.11	33.74	33.17	34.04

LÍMITES	
Wl (%)	67.19
Wp (%)	33.65
Ip (%)	33.54

CLASIFICACIÓN	
SUCS	GW



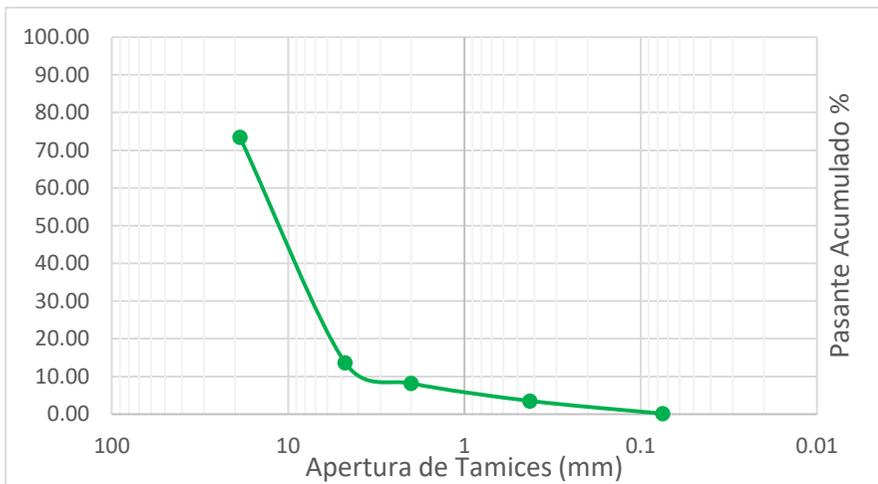
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
Norma de Referencia: ASTM D 422

Tamiz		Retenido	Retenido	Retenido	Pasante
ASTM	mm	Parcial (g)	Parcial %	Acumulado %	Acumulado %
3/4"	18.75	48.92	26.58	26.58	73.42
No. 4	4.75	109.98	59.75	86.32	13.68
No. 10	2	10.11	5.49	91.81	8.19
No. 40	0.425	8.58	4.66	96.47	3.53
No. 200	0.075	6.25	3.40	99.87	0.13
fondo		0.24	0.13	100.00	0.00
total		184.08	100.00		

CONTENIDO DE HUMEDAD
Norma de Referencia: ASTM D 2216

Wh (g)	199.36
Ws+recipiente (g)	243.49
Wrecipiente (g)	59.41
%Humedad	8.30

D60	10.5
D30	7.35
D10	4.05
Cu	2.59
Cc	1.27



UBICACIÓN: CANTÓN DURÁN –PUENTE MAVISA (PUNTO 1 EN EL MAPA)

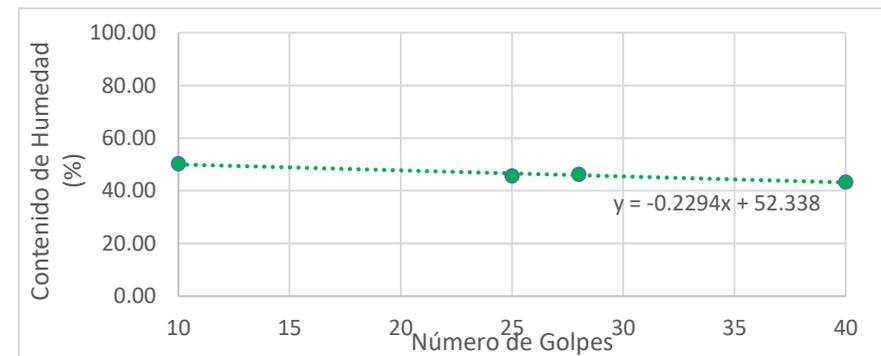
FECHA: 11/Junio/2018

LÍMITES DE ATTERBERG
Norma de Referencia: ASTM D 4318

	Límite Líquido (Wl)				Límite Plástico (Wp)	
	1	2	3	4	1	2
No. Tara	38	34	25	45	31	15
Wh+tara (g)	15.14	15.42	12.25	13.93	10.08	8.34
Ws+tara (g)	12.17	12.52	10.32	11.46	9.2	7.86
Wtara (g)	6.27	6.17	5.87	6.13	5.93	6.11
Wagua (g)	2.97	2.9	1.93	2.47	0.88	0.48
Ws (g)	5.9	6.35	4.45	5.33	3.27	1.75
No. Golpes	10	25	40	28		
%Humedad	50.34	45.67	43.37	46.34	26.91	27.43

LÍMITES	
Wl (%)	46.60
Wp (%)	27.17
Ip (%)	19.43

CLASIFICACIÓN	
SUCS	GP





ANEXO B

TABLA DE RESULTADOS DE LA DELIMITACIÓN DE CUENCA DURÁN

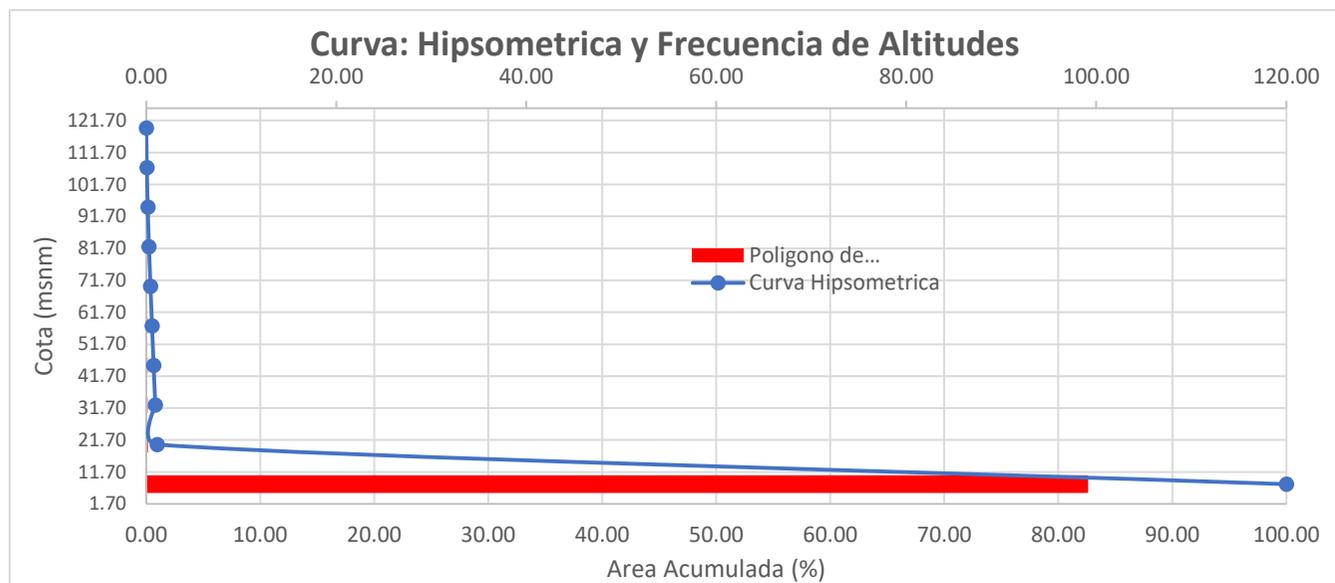
PARAMETROS MORFOMETRICOS CUENCA DURAN		
DESCRIPCION	UNID	VALOR
De la superficie		
Area	km2	159.084979
Perimetro	km	80.896387
Cotas		
Cota Maxima	msnm	125.538002
Cota Minima	msnm	1.697
Centroide (Projected WGS 1984 UTM ZONE 17S)		
Xcentroide	m	638128.774
Ycentroide	m	9750461.08
Zcentroide	msnm	37.034077
Altitud		
Altitud media	msnm	37.034077
Altitud más frecuente	msnm	7.89
Altitud de frecuencia media	msnm	38.5772911
Pendiente		
Pendiente media de la cuenca	%	5.33005491
De la Red Hídrica		
Longitud del cauce principal	km	16.700799
Orden de la red hídrica		3
Longitud de la red hídrica	km	85.891312
Pendiente Promedio de la red hídrica	%	0.26410364

No	Cota (msnm)			Área (km2)			
	Mínima	Máxima	Promedio	Intervalo	Acumulado	% Acumulado	% Inter
1	1.70	14.08	7.89	157.56	159.08	100.00	99.04
2	14.08	26.47	20.27	0.26	1.53	0.96	0.16
3	26.47	38.85	32.66	0.23	1.27	0.80	0.14
4	38.85	51.23	45.04	0.23	1.04	0.65	0.14
5	51.23	63.62	57.43	0.21	0.81	0.51	0.13
6	63.62	76.00	69.81	0.21	0.60	0.38	0.13
7	76.00	88.39	82.19	0.17	0.39	0.24	0.11
8	88.39	100.77	94.58	0.13	0.22	0.14	0.08
9	100.77	113.15	106.96	0.07	0.08	0.05	0.04
10	113.15	125.54	119.35	0.01	0.01	0.01	0.01
				159.08			

Cota mínima (msnm)	1.697
Cota máxima (msnm)	125.538
Numero de intervalos	10
Altura de intervalo	12.384

PARAMETROS DE FORMA	
Kc	1.81
Kf	0.57
Dd	0.54

Altitud media	37.034	msnm
Altitud más frecuente	7.889	msnm
Altitud de frecuencia 1/2	38.577	msnm



Nro	Rango Pendiente (%)			Numero de ocurrencias (2)	(1)x(2)
	Inferior	Superior	Promedio (1)		
1	0	10	5	17631094	88155470
2	10	20	15	37257	558855
3	20	30	25	44758	1118950
4	30	40	35	50415	1764525
5	40	50	45	39731	1787895
6	50	60	55	21789	1198395
7	60	70	65	6365	413725
8	70	80	75	537	40275
9	80	90	85	64	5440
10	90	100	95	23	2185
				17832033	95045715

Pendiente media de la cuenca (%)

5.33

Nro	Pendiente Promedio (1)	Numero de ocurrencias (2)	(1)x(2)
1	0.207364	19707	4086.52235
2	0.362505	7002	2538.26001
3	0.332257	6297	2092.22233
		33006	8717.00469

%pendiente promedio de la red hídrica

0.26

ANEXO C

Tabla C1. Coeficientes de rugosidad de Manning considerados en el modelo en HEC-RAS

Estero San Enrique TRAMO 1			
ABSCISA (m)	n#1	n#2	n#3
2+200	0.101	0.101	0.101
2+100	0.101	0.101	0.101
2+000	0.101	0.101	0.101
1+900	0.101	0.101	0.101
1+800	0.101	0.101	0.101
1+700	0.101	0.101	0.101
1+600	0.101	0.101	0.101
1+500	0.101	0.101	0.101
1+400	0.101	0.101	0.101
1+300	0.101	0.101	0.101
1+200	0.101	0.101	0.101
1+100	0.101	0.101	0.101
1+000	0.101	0.101	0.101
0+900	0.101	0.101	0.101
0+800	0.101	0.101	0.101
0+700	0.101	0.101	0.101
0+600	0.101	0.101	0.101
0+500	0.101	0.101	0.101
0+400	0.101	0.101	0.101
0+300	0.101	0.101	0.101
0+200	0.101	0.101	0.101
0+100	0.101	0.101	0.101
Estero San Enrique TRAMO 2			
ABSCISA (m)	n#1	n#2	n#3
3+757	0.101	0.101	0.101
3+657	0.101	0.101	0.101
3+557	0.101	0.101	0.101
3+457	0.101	0.101	0.101
3+357	0.101	0.101	0.101
3+257	0.101	0.101	0.101
3+157	0.101	0.101	0.101
3+057	0.101	0.101	0.101
2+957	0.101	0.101	0.101
2+857	0.101	0.101	0.101
2+757	0.093	0.093	0.093
2+657	0.093	0.093	0.093
2+557	0.093	0.093	0.093
2+457	0.093	0.093	0.093
2+357	0.093	0.093	0.093
2+257	0.093	0.093	0.093
2+157	0.093	0.093	0.093

2+057	0.091	0.091	0.091
1+957	0.091	0.091	0.091
1+857	0.091	0.091	0.091
1+757	0.091	0.091	0.091
1+657	0.091	0.091	0.091
1+557	0.091	0.091	0.091
1+457	0.091	0.091	0.091
1+357	0.091	0.091	0.091
1+257	0.091	0.091	0.091
1+157	0.091	0.091	0.091
1+057	0.091	0.091	0.091
0+957	0.091	0.091	0.091
0+857	0.091	0.091	0.091
0+757	0.091	0.091	0.091
0+657	0.091	0.091	0.091
0+557	0.091	0.091	0.091
0+457	0.091	0.091	0.091
0+357	0.091	0.091	0.091
0+257	0.091	0.091	0.091
0+157	0.091	0.091	0.091
0+057	0.091	0.091	0.091

Fuente: Autores

Tabla C2. Coeficientes de rugosidad de Manning considerados para la limpieza del canal en el modelo en HEC-RAS

o			
ABSCISA (m)	n#1	n#2	n#3
2+000	0.083	0.083	0.083
2+100	0.083	0.083	0.083
2+000	0.083	0.083	0.083
1+900	0.083	0.083	0.083
1+800	0.083	0.083	0.083
1+700	0.083	0.083	0.083
1+600	0.083	0.083	0.083
1+500	0.083	0.083	0.083
1+400	0.083	0.083	0.083
1+300	0.083	0.083	0.083
1+200	0.083	0.083	0.083
1+100	0.083	0.083	0.083
1+000	0.083	0.083	0.083
0+900	0.083	0.083	0.083
0+800	0.083	0.083	0.083
0+700	0.083	0.083	0.083
0+600	0.083	0.083	0.083
0+500	0.083	0.083	0.083

0+400	0.083	0.083	0.083
0+300	0.083	0.083	0.083
0+200	0.083	0.083	0.083
0+100	0.083	0.083	0.083
Estero San Enrique TRAMO 2			
ABSCISA (m)	n#1	n#2	n#3
3+757	0.083	0.083	0.083
3+657	0.083	0.083	0.083
3+557	0.083	0.083	0.083
3+457	0.083	0.083	0.083
3+357	0.083	0.083	0.083
3+257	0.083	0.083	0.083
3+157	0.083	0.083	0.083
3+057	0.083	0.083	0.083
2+957	0.083	0.083	0.083
2+857	0.075	0.075	0.075
2+757	0.075	0.075	0.075
2+657	0.075	0.075	0.075
2+557	0.075	0.075	0.075
2+457	0.075	0.075	0.075
2+357	0.075	0.075	0.075
2+257	0.075	0.075	0.075
2+157	0.070	0.070	0.070
2+057	0.070	0.070	0.070
1+957	0.070	0.070	0.070
1+857	0.070	0.070	0.070
1+757	0.070	0.070	0.070
1+657	0.070	0.070	0.070
1+557	0.070	0.070	0.070
1+457	0.070	0.070	0.070
1+357	0.070	0.070	0.070
1+257	0.070	0.070	0.070
1+157	0.070	0.070	0.070
1+057	0.070	0.070	0.070
0+957	0.070	0.070	0.070
0+857	0.070	0.070	0.070
0+757	0.070	0.070	0.070
0+657	0.070	0.070	0.070
0+557	0.070	0.070	0.070
0+457	0.070	0.070	0.070
0+357	0.070	0.070	0.070
0+257	0.070	0.070	0.070
0+157	0.070	0.070	0.070
0+057	0.070	0.070	0.070

Fuente: Autores

ANEXO D

Tabla D1. Resultados obtenidos del modelo en HecRAS para los distintos análisis

Abscisa	Plan	Volume (1000 m3)	Vol Izquierda (1000 m3)	Vol Chan (1000 m3)	Vol Derecha (1000 m3)	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Froude # Chl
3+757	analisis1	2012.27	920.93	255.55	835.8	6.09	0.25	198.99	0.03
3+757	analisis2	1737.72	787.28	232.92	717.53	5.66	0.28	175.95	0.04
3+757	analisis3	2000.8	912.02	272.05	816.73	6.09	0.25	198.85	0.03
3+757	analisis4	1728.12	779.56	247.59	700.97	5.66	0.28	175.81	0.04
3+657	analisis1	1972.02	896.13	248.74	827.14	6.08	0.18	271.66	0.03
3+657	analisis2	1702.47	765.65	226.67	710.15	5.65	0.21	239.04	0.03
3+657	analisis3	1960.57	887.24	265.25	808.08	6.08	0.18	271.46	0.03
3+657	analisis4	1692.91	757.96	241.34	693.61	5.65	0.21	238.84	0.03
3+557	analisis1	1917.33	866.41	241.94	808.99	6.07	0.15	343.26	0.02
3+557	analisis2	1654.8	739.68	220.41	694.71	5.64	0.17	300.23	0.02
3+557	analisis3	1905.93	857.54	258.45	789.94	6.07	0.15	342.99	0.02
3+557	analisis4	1645.27	732.01	235.09	678.18	5.64	0.17	299.97	0.02
3+457	analisis1	1860.8	838.63	235.12	787.04	6.07	0.18	290.25	0.02
3+457	analisis2	1605.9	715.66	214.15	676.09	5.64	0.21	251.39	0.03
3+457	analisis3	1849.44	829.79	251.63	768.02	6.06	0.18	290	0.03
3+457	analisis4	1596.42	708.01	228.83	659.58	5.63	0.21	251.15	0.03
3+357	analisis1	1809.37	812.77	228.31	768.29	6.06	0.18	292.14	0.02
3+357	analisis2	1561.76	693.57	207.9	660.3	5.63	0.21	252.55	0.03
3+357	analisis3	1798.06	803.95	244.82	749.29	6.06	0.18	291.9	0.02
3+357	analisis4	1552.33	685.94	222.58	643.81	5.62	0.21	252.31	0.03
3+257	analisis1	1756.25	784.8	221.49	749.96	6.05	0.16	307.19	0.02
3+257	analisis2	1515.95	669.38	201.64	644.93	5.62	0.19	268.14	0.03
3+257	analisis3	1744.99	776	238.01	730.97	6.05	0.16	306.95	0.02
3+257	analisis4	1506.56	661.78	216.32	628.46	5.62	0.19	267.9	0.03
3+157	analisis1	1702.98	755.03	214.79	733.15	6.04	0.17	292.53	0.02
3+157	analisis2	1469.72	643.38	195.49	630.85	5.61	0.2	255.74	0.03
3+157	analisis3	1691.76	746.26	231.32	714.18	6.04	0.17	292.29	0.02
3+157	analisis4	1460.37	635.8	210.18	614.39	5.61	0.2	255.51	0.03
3+057	analisis1	1649.69	726.41	208.09	715.18	6.04	0.17	307.33	0.02
3+057	analisis2	1423.66	618.52	189.33	615.81	5.61	0.2	266.32	0.03
3+057	analisis3	1638.52	717.66	224.62	696.24	6.03	0.17	307.07	0.02
3+057	analisis4	1414.36	610.96	204.03	599.37	5.6	0.2	266.06	0.03

2+957	analisis1	1597.22	698.86	201.26	697.1	6.03	0.18	285.7	0.02
2+957	analisis2	1378.46	594.73	183.06	600.67	5.6	0.21	248.48	0.03
2+957	analisis3	1586.09	690.13	217.8	678.17	6.03	0.18	285.47	0.03
2+957	analisis4	1369.2	587.19	197.76	584.25	5.6	0.21	248.25	0.03
2+857	analisis1	1546.79	671.1	194.43	681.25	6.02	0.18	286.93	0.02
2+857	analisis2	1334.9	570.73	176.78	587.38	5.59	0.21	249.87	0.03
2+857	analisis3	1535.7	662.4	210.97	662.34	6.02	0.18	286.69	0.02
2+857	analisis4	1325.68	563.22	191.49	570.97	5.59	0.21	249.63	0.03
2+757	analisis1	1493.94	642.65	187.6	663.69	6.02	0.17	309.93	0.02
2+757	analisis2	1289.18	546.03	170.5	572.64	5.59	0.2	270.13	0.03
2+757	analisis3	1482.9	633.97	204.14	644.79	6.01	0.17	309.67	0.02
2+757	analisis4	1280.01	538.55	185.21	556.25	5.58	0.2	269.88	0.03
2+657	analisis1	1437.94	614.33	181.14	642.47	6.01	0.17	314.57	0.02
2+657	analisis2	1240.93	521.49	164.59	554.86	5.58	0.2	271.49	0.03
2+657	analisis3	1427.11	605.68	197.2	624.23	6.01	0.16	317.49	0.02
2+657	analisis4	1231.93	514.03	178.86	539.03	5.58	0.19	274.41	0.03
2+557	analisis1	1380.05	585.74	175.29	619.02	6	0.15	322.91	0.02
2+557	analisis2	1191.14	496.69	159.25	535.2	5.57	0.18	279.81	0.03
2+557	analisis3	1369.66	577.11	190.47	602.08	6	0.15	324.39	0.02
2+557	analisis4	1182.47	489.25	172.75	520.47	5.57	0.18	281.31	0.03
2+457	analisis1	1318.72	555.92	169.43	593.37	6	0.15	348.96	0.02
2+457	analisis2	1137.91	470.66	153.91	513.35	5.57	0.17	305.88	0.03
2+457	analisis3	1308.81	547.3	183.73	577.78	6	0.14	351.57	0.02
2+457	analisis4	1129.62	463.24	166.62	499.76	5.57	0.17	308.49	0.03
2+357	analisis1	1252.41	525.54	163.3	563.57	5.99	0.13	375.34	0.02
2+357	analisis2	1079.71	444.07	148.3	487.34	5.56	0.15	332.27	0.02
2+357	analisis3	1242.98	516.95	176.64	549.4	5.99	0.13	377.62	0.02
2+357	analisis4	1071.79	436.67	160.15	474.97	5.56	0.15	334.56	0.02
2+257	analisis1	1187.19	494.92	157.06	535.21	5.99	0.15	339.32	0.02
2+257	analisis2	1022.58	417.24	142.57	462.77	5.56	0.18	296.25	0.03
2+257	analisis3	1178.22	486.34	169.41	522.47	5.99	0.15	342.27	0.02
2+257	analisis4	1015.02	409.85	153.53	451.63	5.56	0.18	299.21	0.03
2+157	analisis1	1129.69	465.48	150.82	513.39	5.98	0.19	298	0.03
2+157	analisis2	972.79	391.59	136.85	444.35	5.55	0.22	258.85	0.03
2+157	analisis3	1120.94	456.91	162.67	501.35	5.98	0.19	297.84	0.03
2+157	analisis4	965.4	384.22	147.36	433.82	5.55	0.22	258.7	0.03
2+057	analisis1	1084.91	440.77	144.82	499.32	5.97	0.28	209.85	0.04

2+057	analisis2	934.6	370.67	131.39	432.54	5.54	0.35	177.67	0.05
2+057	analisis3	1076.19	432.23	156.67	487.29	5.97	0.28	209.72	0.04
2+057	analisis4	927.24	363.32	141.9	422.02	5.54	0.35	177.54	0.05
1+957	analisis1	1052.79	421.09	139.56	492.14	5.94	0.35	163.97	0.06
1+957	analisis2	908.18	354.77	126.68	426.72	5.51	0.45	133.64	0.08
1+957	analisis3	1044.09	412.56	151.41	480.12	5.94	0.35	163.84	0.06
1+957	analisis4	900.84	347.43	137.2	416.21	5.51	0.45	133.52	0.08
1+857	analisis1	1020.79	402.56	133.36	484.87	5.92	0.29	218.04	0.04
1+857	analisis2	881.93	339.89	121.11	420.93	5.49	0.35	184.52	0.05
1+857	analisis3	1012.11	394.04	145.22	472.85	5.92	0.29	217.89	0.04
1+857	analisis4	874.61	332.56	131.63	410.42	5.49	0.35	184.38	0.05
1+757	analisis1	974.48	382.68	125.73	466.07	5.91	0.18	321.36	0.03
1+757	analisis2	842.59	323.55	114.17	404.87	5.48	0.22	278.34	0.03
1+757	analisis3	965.83	374.19	137.59	454.06	5.91	0.18	321.17	0.03
1+757	analisis4	835.3	316.24	124.69	394.37	5.48	0.22	278.16	0.03
1+657	analisis1	915.8	360.27	118.15	437.38	5.91	0.17	341.24	0.02
1+657	analisis2	791.82	304.66	107.28	379.88	5.48	0.2	298.29	0.03
1+657	analisis3	907.19	351.79	130.01	425.39	5.91	0.17	341.04	0.02
1+657	analisis4	784.56	297.36	117.8	369.4	5.48	0.2	298.1	0.03
1+557	analisis1	854.1	335.47	110.41	408.23	5.9	0.16	353.18	0.02
1+557	analisis2	738.02	283.4	100.22	354.4	5.47	0.19	310.29	0.03
1+557	analisis3	845.53	327	122.27	396.26	5.9	0.16	352.98	0.02
1+557	analisis4	730.8	276.12	110.74	343.94	5.47	0.19	310.1	0.03
1+457	analisis1	792.41	311.31	102.58	378.52	5.9	0.17	341.95	0.02
1+457	analisis2	684.22	262.79	93.08	328.35	5.47	0.2	299.12	0.03
1+457	analisis3	783.88	302.86	114.45	366.56	5.9	0.17	341.76	0.02
1+457	analisis4	677.03	255.52	103.61	317.9	5.47	0.2	298.93	0.03
1+357	analisis1	734.13	289.28	95.16	349.69	5.89	0.18	315.17	0.03
1+357	analisis2	633.81	244.26	86.34	303.21	5.46	0.22	272.37	0.03
1+357	analisis3	725.63	280.85	107.03	337.75	5.89	0.18	314.97	0.03
1+357	analisis4	626.66	237.01	96.87	292.78	5.46	0.22	272.19	0.03
1+257	analisis1	677.08	267	87.94	322.15	5.88	0.18	327.52	0.03
1+257	analisis2	584.63	225.48	79.8	279.34	5.46	0.21	284.78	0.03
1+257	analisis3	668.61	258.58	99.81	310.23	5.88	0.18	327.32	0.03
1+257	analisis4	577.51	218.25	90.34	268.93	5.46	0.21	284.6	0.03
1+157	analisis1	618.28	243.24	80.44	294.6	5.88	0.17	335.36	0.03
1+157	analisis2	533.69	205.23	72.99	255.47	5.45	0.2	292.69	0.03

1+157	analisis3	610.51	235.48	91.44	283.59	5.88	0.17	337.42	0.03
1+157	analisis4	527.16	198.56	82.75	245.85	5.45	0.19	294.75	0.03
1+057	analisis1	557.13	218.29	72.69	266.15	5.87	0.16	353.66	0.02
1+057	analisis2	480.39	183.78	65.92	230.69	5.45	0.19	311.05	0.03
1+057	analisis3	550.78	212	81.83	256.94	5.87	0.16	355.97	0.02
1+057	analisis4	475.06	178.37	74.04	222.64	5.45	0.18	313.36	0.03
0+957	analisis1	493.71	192.68	64.86	236.17	5.87	0.16	358.89	0.02
0+957	analisis2	424.8	161.66	58.77	204.37	5.44	0.18	316.34	0.03
0+957	analisis3	488.74	187.6	72.23	228.92	5.87	0.15	360.43	0.02
0+957	analisis4	420.66	157.31	65.32	198.04	5.44	0.18	317.89	0.03
0+857	analisis1	430.51	167.36	57.06	206.09	5.86	0.16	351.04	0.02
0+857	analisis2	369.43	139.83	51.65	177.95	5.44	0.19	308.55	0.03
0+857	analisis3	426.92	163.48	62.63	200.81	5.86	0.16	353.77	0.02
0+857	analisis4	366.46	136.51	56.6	173.35	5.44	0.18	311.28	0.03
0+757	analisis1	370.58	144.93	49.46	176.19	5.86	0.18	324.29	0.03
0+757	analisis2	317.32	120.88	44.73	151.71	5.43	0.21	281.84	0.03
0+757	analisis3	368.22	142.23	53.23	172.76	5.86	0.17	327.17	0.03
0+757	analisis4	315.38	118.58	48.08	148.73	5.43	0.2	284.73	0.03
0+657	analisis1	312.55	124.37	42	146.17	5.85	0.18	330.67	0.03
0+657	analisis2	267.09	103.8	37.94	125.34	5.43	0.2	288.28	0.03
0+657	analisis3	311.18	122.64	44.21	144.32	5.85	0.17	333.53	0.03
0+657	analisis4	265.97	102.33	39.9	123.75	5.43	0.2	291.15	0.03
0+557	analisis1	254.45	102.58	34.62	117.25	5.84	0.18	324.08	0.03
0+557	analisis2	216.79	85.53	31.24	100.02	5.42	0.21	281.75	0.03
0+557	analisis3	254	102.01	35.34	116.64	5.84	0.17	326.84	0.03
0+557	analisis4	216.43	85.05	31.88	99.5	5.42	0.2	284.51	0.03
0+457	analisis1	197.55	80.34	27.45	89.76	5.84	0.18	316.62	0.03
0+457	analisis2	167.67	66.84	24.75	76.08	5.41	0.21	274.34	0.03
0+457	analisis3	197.55	80.34	27.45	89.76	5.84	0.18	316.62	0.03
0+457	analisis4	167.67	66.84	24.75	76.08	5.41	0.21	274.34	0.03
0+357	analisis1	144.75	58.4	20.41	65.94	5.83	0.21	281.83	0.03
0+357	analisis2	122.39	48.44	18.38	55.56	5.41	0.25	242.16	0.04
0+357	analisis3	144.75	58.4	20.41	65.94	5.83	0.21	281.83	0.03
0+357	analisis4	122.39	48.44	18.38	55.56	5.41	0.25	242.16	0.04
0+257	analisis1	94.2	37.03	13.48	43.69	5.82	0.21	292.93	0.03
0+257	analisis2	79.35	30.62	12.13	36.6	5.4	0.25	250.74	0.04
0+257	analisis3	94.2	37.03	13.48	43.69	5.82	0.21	292.93	0.03

0+257	analisis4	79.35	30.62	12.13	36.6	5.4	0.25	250.74	0.04
0+157	analisis1	44.02	16.28	6.67	21.07	5.81	0.23	276.98	0.04
0+157	analisis2	36.93	13.41	6	17.52	5.39	0.27	234.81	0.04
0+157	analisis3	44.02	16.28	6.67	21.07	5.81	0.23	276.98	0.04
0+157	analisis4	36.93	13.41	6	17.52	5.39	0.27	234.81	0.04
0+057	analisis1					5.79	0.27	229.92	0.04
0+057	analisis2					5.37	0.33	194.47	0.05
0+057	analisis3					5.79	0.27	229.92	0.04
0+057	analisis4					5.37	0.33	194.47	0.05
2+200	analisis1	936.24	419.64	103.34	413.26	5.61	0.03	162.85	0
2+200	analisis2	815.27	363.51	96.31	355.44	5.28	0.03	143	0
2+200	analisis3	933.17	418.01	129.87	385.3	5.59	0.03	168.28	0
2+200	analisis4	813.65	361.69	120.99	330.97	5.27	0.03	148.35	0
2+100	analisis1	901.33	400.95	99.72	400.65	5.61	0.02	222.36	0
2+100	analisis2	784.81	347.39	92.95	344.47	5.28	0.02	195.12	0
2+100	analisis3	898.6	399.41	125	374.19	5.59	0.02	226.17	0
2+100	analisis4	783.46	345.67	116.46	321.33	5.27	0.02	198.81	0
2+000	analisis1	858.01	380.73	96.12	381.15	5.61	0.02	246.87	0
2+000	analisis2	746.96	329.88	89.6	327.49	5.28	0.02	216.95	0
2+000	analisis3	855.72	379.29	120.14	356.28	5.59	0.02	251.17	0
2+000	analisis4	745.98	328.27	111.95	305.75	5.27	0.02	221.13	0
1+900	analisis1	812	360.76	92.43	358.81	5.61	0.02	250.17	0
1+900	analisis2	706.93	312.64	86.16	308.13	5.28	0.02	217.73	0
1+900	analisis3	810.13	359.42	115.15	335.56	5.59	0.02	254.64	0
1+900	analisis4	706.3	311.15	107.31	287.84	5.27	0.02	222.07	0
1+800	analisis1	765.15	338.2	88.71	338.24	5.61	0.02	255.41	0
1+800	analisis2	666.31	293.06	82.71	290.55	5.28	0.02	222.97	0
1+800	analisis3	763.55	336.97	110.16	316.42	5.59	0.02	261.13	0
1+800	analisis4	665.88	291.69	102.67	271.52	5.27	0.02	228.56	0
1+700	analisis1	722.48	317.28	84.85	320.35	5.61	0.02	209.97	0
1+700	analisis2	629.41	274.95	79.1	275.36	5.28	0.03	182.18	0
1+700	analisis3	720.93	316.16	104.95	299.82	5.59	0.02	217.2	0
1+700	analisis4	628.96	273.7	97.81	257.45	5.27	0.02	189.3	0
1+600	analisis1	683.06	297.18	80.76	305.11	5.6	0.03	225.13	0
1+600	analisis2	595.28	257.65	75.28	262.35	5.28	0.04	197.31	0.01
1+600	analisis3	681.54	296.16	99.47	285.9	5.59	0.03	231.41	0
1+600	analisis4	594.79	256.51	92.69	245.59	5.27	0.04	203.48	0.01

1+500	analisis1	637.85	275.15	76.51	286.18	5.6	0.03	269.45	0
1+500	analisis2	555.81	238.58	71.32	245.91	5.28	0.03	237.01	0
1+500	analisis3	636.53	274.24	93.89	268.39	5.59	0.03	274.47	0
1+500	analisis4	555.46	237.56	87.49	230.41	5.27	0.03	241.9	0
1+1400	analisis1	586.93	252.43	72.12	262.37	5.6	0.03	283.67	0
1+1400	analisis2	511.08	218.8	67.23	225.05	5.28	0.03	251.23	0
1+1400	analisis3	585.94	251.62	88.19	246.13	5.59	0.03	288.47	0
1+1400	analisis4	511	217.9	82.17	210.92	5.27	0.03	255.9	0
1+1300	analisis1	538.23	230.33	67.68	240.22	5.6	0.03	247.69	0
1+1300	analisis2	468.57	199.64	63.09	205.84	5.28	0.04	215.25	0.01
1+1300	analisis3	537.14	229.64	82.43	225.07	5.59	0.03	257.1	0
1+1300	analisis4	468.32	198.87	76.81	192.64	5.27	0.03	224.53	0.01
1+200	analisis1	497.35	214.06	63.46	219.82	5.6	0.04	203.28	0.01
1+200	analisis2	433.28	185.73	59.16	188.4	5.28	0.04	176.87	0.01
1+200	analisis3	496.02	213.45	76.92	205.65	5.59	0.04	209.21	0.01
1+200	analisis4	432.73	185.05	71.68	176	5.27	0.04	182.69	0.01
1+100	analisis1	456.26	198.18	59.47	198.6	5.6	0.03	247.57	0
1+100	analisis2	397.81	172.22	55.43	170.15	5.28	0.04	215.13	0.01
1+100	analisis3	454.95	197.66	71.61	185.68	5.59	0.03	254.56	0
1+100	analisis4	397.21	171.64	66.73	158.84	5.27	0.03	221.99	0.01
1+000	analisis1	411.69	178.41	54.81	178.48	5.6	0.21	244.73	0.03
1+000	analisis2	359.42	155.38	51.08	152.96	5.27	0.24	212.22	0.04
1+000	analisis3	410.3	177.99	65.62	166.69	5.59	0.2	251.88	0.03
1+000	analisis4	358.68	154.91	61.13	142.64	5.26	0.24	219.25	0.04
0+900	analisis1	366.26	157.87	49.03	159.36	5.59	0.18	267.38	0.03
0+900	analisis2	319.8	137.41	45.69	136.71	5.26	0.21	237.96	0.03
0+900	analisis3	364.79	157.53	58.53	148.72	5.58	0.17	274.14	0.02
0+900	analisis4	318.92	137.03	54.51	127.39	5.25	0.2	244.63	0.03
0+800	analisis1	317.91	136.2	42.52	139.19	5.58	0.17	281.16	0.02
0+800	analisis2	276.97	118.01	39.6	119.37	5.25	0.19	251.22	0.03
0+800	analisis3	316.62	135.93	50.72	129.97	5.57	0.17	285.72	0.02
0+800	analisis4	276.2	117.7	47.19	111.31	5.24	0.19	255.68	0.03
0+700	analisis1	267.21	113.51	35.9	117.8	5.57	0.16	292.06	0.02
0+700	analisis2	231.97	97.76	33.41	100.8	5.25	0.18	260.74	0.03
0+700	analisis3	266.24	113.3	42.76	110.18	5.56	0.16	297.57	0.02
0+700	analisis4	231.45	97.53	39.76	94.16	5.24	0.18	266.16	0.03

0+600	analisis1	217.63	90.71	30.14	96.78	5.56	0.18	261.33	0.03
0+600	analisis2	188.36	77.69	28.05	82.62	5.24	0.22	228.93	0.03
0+600	analisis3	216.91	90.56	35.66	90.68	5.56	0.18	266.74	0.03
0+600	analisis4	188.01	77.53	33.16	77.32	5.23	0.21	234.24	0.03
0+500	analisis1	172.54	69.9	25.34	77.3	5.55	0.22	237.63	0.03
0+500	analisis2	149.41	59.78	23.59	66.05	5.22	0.27	205.15	0.04
0+500	analisis3	172.01	69.81	29.57	72.63	5.54	0.22	243.19	0.03
0+500	analisis4	149.17	59.68	27.51	61.98	5.22	0.26	210.65	0.04
0+400	analisis1	127.54	49.58	20.29	57.67	5.53	0.2	262.86	0.03
0+400	analisis2	110.55	42.35	18.9	49.31	5.21	0.24	230.35	0.04
0+400	analisis3	127.65	49.53	23.3	54.82	5.53	0.2	263.13	0.03
0+400	analisis4	110.87	42.3	21.69	46.89	5.2	0.24	230.58	0.04
0+300	analisis1	81.8	29.92	13.98	37.9	5.52	0.21	257.69	0.03
0+300	analisis2	70.88	25.5	13.02	32.35	5.2	0.25	225.16	0.04
0+300	analisis3	82.15	29.9	15.81	36.45	5.52	0.2	266.72	0.03
0+300	analisis4	71.36	25.49	14.73	31.14	5.19	0.24	234.17	0.04
0+200	analisis1	38.94	13.07	6.83	19.05	5.51	0.22	242.36	0.03
0+200	analisis2	33.81	11.18	6.36	16.26	5.18	0.26	212.14	0.04
0+200	analisis3	38.94	13.06	7.47	18.41	5.51	0.21	248.79	0.03
0+200	analisis4	33.85	11.18	6.96	15.71	5.18	0.25	218.56	0.04
0+100	analisis1					5.5	0.24	215.32	0.04
0+100	analisis2					5.17	0.28	189.52	0.04
0+100	analisis3					5.5	0.24	215.32	0.04
0+100	analisis4					5.17	0.28	189.52	0.04

Fuente: Autores