



“Estado ecológico del sistema estuarino del Río Guayas, Cantón Durán, Ecuador: Simulación numérica de su dinámica fluvial y principios ecológicos para el diseño de actuaciones de restauración y/o recuperación”

MÁSTER UNIVERSITARIO EN RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS

Presentado por:

Peter Olaya Carbo

Tutor director:

Dr. Diego García de Jalón

Alcalá de Henares, a 30 de Septiembre de 2016

Índice

1. Introducción	1
2. Objetivos	3
3. Metodología	3
4. Descripción	7
4.1. Cuenca hidrográfica del Río Guayas.....	7
4.2. Cantón Durán	8
4.2.1. Ubicación Geográfica	8
5. Estado ambiental.....	9
5.1. Medio Físico.....	9
5.1.1. Clima	9
5.1.2. Geología y relieve.....	10
5.1.3. Coberturas.....	12
5.1.4. Suelo	13
5.2. Medio Biótico.....	15
5.2.1. Flora.....	15
5.2.2. Fauna	15
5.3. Calidad Ambiental.....	16
5.3.1. Calidad de Agua	18
5.3.2. Calidad de sedimento.....	18
5.3.3. Condiciones riparias de un tramo del Río Guayas: Índice parcial RQI.....	19
5.4. Diagnóstico.....	22
6. Simulación numérica	23
6.1. Ecuación de la continuidad y Ecuación de Manning	23
6.2. Caracterización Hidrológica.....	25

6.2.1. Caudal dominante	30
6.2.2. Nivel de agua y energía específica	32
7. Bases para la planificación de mejora del estado ecológico del Cantón Durán.....	34
8. Conclusiones y Recomendaciones	39
9. Agradecimientos	41
10. Bibliografía	42

Índice de Figuras

Figura 1.- Ubicación de estaciones meteorológicas, INAMHI.	4
Figura 2.- Ubicación geográfica de la cuenca del río Guayas.....	7
Figura 3.- Ubicación geográfica del cantón Durán.	8
Figura 4.- Climograma registrado en las cercanías del cantón Durán, perteneciente a la zona climática Tropical megatérmica semi húmeda.	9
Figura 5.- Mapa litológico (izquierda) y modelo digital de elevaciones (derecha) del cantón Durán..	11
Figura 6.- Mapa de uso de suelo del cantón Durán, Sistema Nacional de Información.	13
Figura 7.- Mapa geopedológico del cantón Durán, Sistema Nacional de Información.	14
Figura 8.- Ubicación de muestras para análisis de calidad de agua y sedimentos, clasificadas según estudios de Impacto Ambiental a la que corresponden.	17
Figura 9.- Análisis visual y mediciones sobre la margen izquierda y derecha para el cálculo de RQI.	19
Figura 10.- Esquema sobre el principio de conservación de masa.....	24
Figura 11.- Ubicación de estaciones hidrológicas cercanas al cantón Durán, INAMHI.	26
Figura 12.- Hidrograma de caudal medio mensual estimado que transporta el río Guayas.....	27
Figura 13.- Trazado de perfiles transversales a lo largo del tramo a simular.	28
Figura 14.- Resultados de la simulación numérica del tramo del río Guayas, ecuaciones de los perfiles principales.	29
Figura 15.- Curva de caudales clasificados en el río Guayas, valores promedio anual y del año 2012.	31
Figura 16.- Zonificación de inundaciones determinado por el caudal de desbordamiento del río Guayas.	33

Índice de Tablas

Tabla 1.- Valores del índice RQI y calidad de las riberas, incluye distintas alternativas de gestión recomendadas, modificado de González et al, 2006.	21
Tabla 2.- Cálculos de altura de lámina de agua, sección transversal y energía específica para diferentes caudales.	32
Tabla 3.- Recopilación de las principales actuaciones registradas en sistemas estuarinos desde el enfoque de la ecoingeniería, modificado Elliott, Mander et al. 2016.....	34

Anexos:

ANEXO I: Resumen de análisis de calidad de agua y suelos del Río Guayas.

ANEXO II: Evaluación por el método RQI (Riparian Quality Index) de un tramo del Río Guayas.

ANEXO III: Caudales medios diarios del río Guayas, ordenados de mayor a menor. (Caudales clasificados), INAMHI.

Resumen

El cantón Durán está emplazado en una zona de transición entre el agua dulce del río Guayas y el agua salobre del mar, las principales actividades de la región son la agricultura, ganadería, y las industrias; con la llegada del invierno, la región se somete a inundaciones que producen complicaciones socioeconómicas debido al uso antrópico de áreas inundables, además el río Guayas presenta un pobre estado de conservación ecológico (RQI, *Riparian Quality Index=30*), debido en gran parte a la interacción humana con el medio. El presente trabajo busca establecer las bases hacia la trayectoria de recuperación de este ecosistema; apoyado en la simulación numérica de la dinámica fluvial del río, con la ayuda de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, Instituto Geográfico Militar, Instituto Oceanográfico de la Armada y el Sistema Nacional de Información, junto a herramientas SIG's y algoritmos de interpolación polinómica. Se estima que el caudal de desborde del río, varía entre 2700 m³/s y de 3400 m³/s. Además, se analiza la posibilidad de intervenciones que favorezcan el desarrollo de la vegetación de ribera, y el establecimiento de humedales en zonas de inundación frecuente. Finalmente bajo el enfoque del programa "Building with Nature", se definen 11 principios de diseño ecológico, cuyo cumplimiento en las actuaciones de recuperación, asegura la integridad funcional de los ecosistemas fluvio-marinos.

Abstract

Durán is located in a transition zone between fresh water from Guayas River and sea water, the main activities of the region are agriculture, livestock, and industries; with the arrival of winter, the region is subject to floods that cause socioeconomic complications due to anthropic use of flood prone areas, along the Guayas River presents a poor state of ecological conservation (RQI, Riparian Quality Index = 30), due largely to human interaction with the environment. This document seeks to establish the bases into the path of recovery of this ecosystem; face against the numerical simulation of river dynamics, with the help of data from the Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, Instituto Geográfico Militar, Instituto Oceanográfico de la Armada and Sistema Nacional de Información, laterally with SIG's tools and polynomial interpolation algorithms. It is estimated that the overflow of the river, change between 2700 m³/s and 3400 m³/s. Also, we analyze the possibility interventions that favor the development of riparian vegetation, and the establishment of wetlands in areas of frequent flooding. Finally under the focus of "Building with Nature" program, 11 EcoDesign principles are defined, whose fulfillment in recovery actions, ensures functional integrity of fluvio-marine ecosystems.

1. Introducción

La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos informa que el Ecuador es un país multiamenaza y altamente vulnerable a factores de origen natural y antrópico, expuesto principalmente a fenómenos hidrometeorológicos; durante el invierno del 2012, las precipitaciones fueron las mayores de los últimos 10 años y afectaron principalmente a la provincia del Guayas, Manabí y Los Ríos, con alrededor de 184008 hectáreas de superficie inundada concentradas en la cuenca baja del Río Guayas, lo cual generó pérdidas de aproximadamente USD 237,9 millones (SNGR, 2012).

Las inundaciones son un fenómeno anual sobre la costa del Pacífico de Ecuador y pueden llegar a ser devastadoras durante los años de El Niño (ENOS), especialmente en la cuenca del Guayas, la cuenca de drenaje más grande en el lado occidental de América del Sur de los Andes (Frappart, Bourrel et al. 2015). Para el escenario ENOS 2016, con base a análisis estadísticos de tendencia, con información de datos de eventos de El Niño fuerte (97-98) y datos de estaciones invernales fuertes (2008 y 2012), se estima que para la provincia del Guayas, se verán afectados 1197,27 Km de vías, 6345 viviendas, 23050 habitantes y 10841,72 hectáreas agrícolas.

El cantón Durán, parte de la cuenca baja del río Guayas, es atravesado por canales naturales y artificiales que conforman la red de drenaje pluvial en el área. El cantón se somete a constantes inundaciones con la llegada del invierno. Según datos de SNI, INAMHI y MAGAP del 2002, el 46,34% del suelo se inunda en cada época de lluvia y otro 31,58% es propenso a inundaciones por desbordamiento de ríos o por fuertes precipitaciones, y un 3,32% permanece inundado debido a que son manglares y pantanos. Dentro de las afectaciones provocadas por las intensas lluvias se encuentran graves efectos sanitarios, pérdidas económicas, colapso de sistemas de agua potable, disminución de producción del sector agropecuario, entre otros; esto como expresión de una problemática de ordenamiento territorial, relacionada con la planificación del desarrollo del país, sin consideración de eventos pasados.

En el 2003, la Autoridad Portuaria de Guayaquil (APG), declaró como problema emergente la sedimentación del río Guayas; además el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (USACE) realizó una evaluación sobre la sedimentación en el río y las alternativas para solucionarla, pero la falta de investigaciones previas sobre el comportamiento del río en lo referente a sedimentos en suspensión y erosión de las orillas, hizo que los resultados carecieran de precisión. De acuerdo a la Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del río Guayas (CEDEGE), la razón para que el proceso de erosión se incremente, a 15 millones de metros cúbicos por año, es la tala indiscriminada en las cuencas de los ríos afluentes, lo que a su vez provocan que los ríos pierdan su cauce y su capacidad de conducir agua, desbordando y produciendo inundaciones anuales.

Actualmente se cuentan con planes de contingencia a nivel local, con el fin de aminorar los daños; sin embargo, el Municipio de Durán está apostando por propuestas que permitan mitigar los impactos de escorrentía y desbordamiento de ríos, mediante la aplicación de técnicas como infraestructura verde, construcción zonas de humedales, y revegetación en lugares estratégicos, estas acciones son definidas como amigables con el medio ambiente, sin embargo las estas estrategias de mitigación, deben contemplar la asistencia a los procesos ecosistémicos para recuperar la funcionalidad del ecosistema.

Bajo esta premisa, el presente trabajo considera de gran importancia el contar con una línea base de las condiciones ambientales del cantón; conocer la dinámica del fluvial de la zona, y establecer una serie de principios ecológicos de diseño, que contribuyan con la planificación de las diferentes actuaciones que se realicen sobre el río o sus caudales.

2. Objetivos

Determinar condiciones ecológicas iniciales o línea base ambiental del cantón Durán, referenciada en estudios históricos de impacto en la zona.

Simular numéricamente parte de la dinámica fluvial del río Guayas y su relación con las inundaciones producidas en el cantón Durán.

Determinar el caudal formador o dominante del tramo del río Guayas, aledaño al cantón Durán.

Puntualizar principios ecológicos de diseño, que contribuyan con la elaboración y planificación de diferentes actuaciones de restauración de procesos ecológicos de un sistema fluvio – marino.

3. Metodología

Para cumplir los objetivos planteados se emplea la siguiente metodología, agrupada en tres etapas:

Primera etapa: recopilación de información y análisis de variables físicas y bióticas que influyen en el estado ecológico del sistema. Destaca información de tipo climático, hidrológico, geomorfológico, cartográfico, estudios de flora y fauna local y datos físico químicos de agua y sedimentos.

La información meteorológica se basa en los datos de precipitación y temperatura media, obtenidos de los anuarios meteorológicos publicados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI), procesados y resumidos por el Programa para el Manejo del Agua y del Suelo de la Universidad de Cuenca. Debido a la carencia de estaciones meteorológicas en el área de estudio, se seleccionaron las estaciones Guayaquil Aeropuerto (M056) a y Guayaquil Radio Sonda (MA2V), al ser las más cercanas al cantón Durán (Figura 1), que poseen un mismo régimen meteorológico y que cuentan con amplia información temporal.

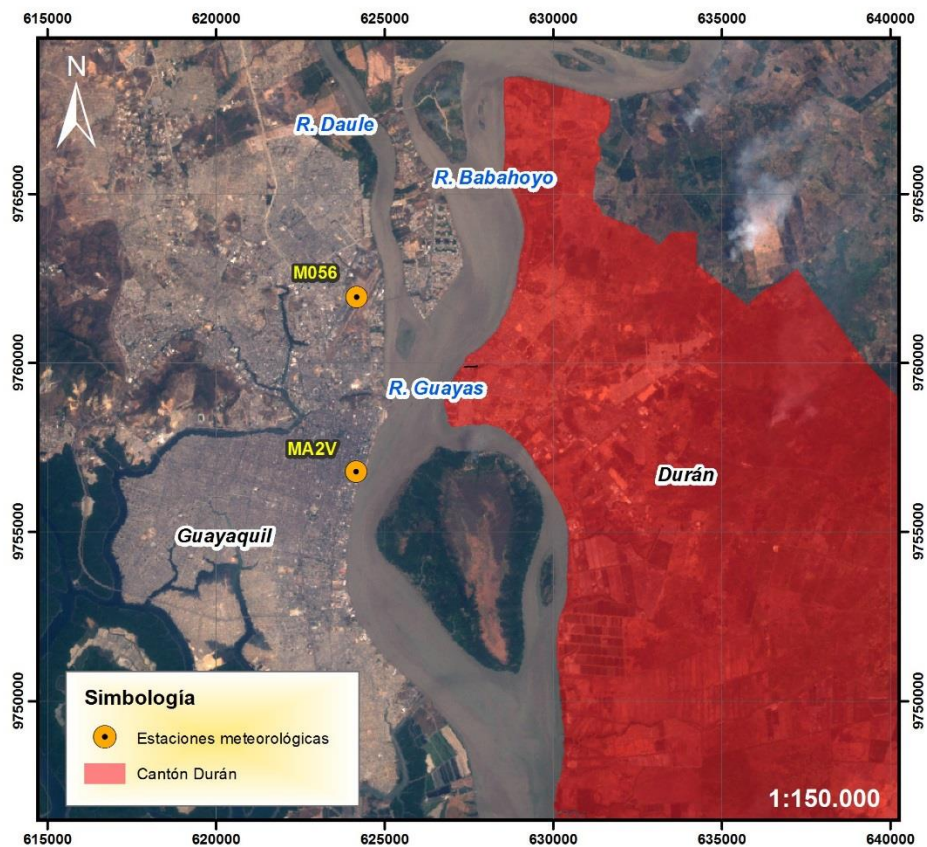


Figura 1.- Ubicación de estaciones meteorológicas, INAMHI.

La geomorfología del cantón se describe en base al mapa generado en el proyecto Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1:25000, publicado por el Sistema Nacional de Información (SNI) en el 2013.

La topografía se obtiene a partir del modelo digital de elevaciones obtenido del geoportal del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM); mientras la información batimétrica del río Guayas se obtuvo del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), parte de esta información en el tramo es protegida, siendo inaccesible para este trabajo. Este problema se solventó, completando los datos mediante la creación de perfiles continuos, con Google Earth, que conecten la topografía y batimetría, sin embargo esto implica un descenso en la precisión de los cálculos; se recomienda corregir y mejorar la información, una vez se obtenga el permiso de acceso a datos clasificados.

La información cartográfica del cantón se encuentra a libre disposición en el portal del Sistema Nacional de Información (SNI), en formato *.jpg, *.shp, *.tiff, *.pdf, entre otros. Entre esta información se encuentran: ortofoto de alta resolución del cantón Durán, archivos formato shapefile de cobertura vegetal, erosión, precipitación, tipos suelo y estaciones hidrológicas y meteorológicas.

Se emplea software SIG's (Arcgis, Global Mapper, Qgis) para gestionar la información cartográfica en bases de datos que permitan su visualización, mediante elaboración de mapas temáticos, y conocer el estado de correlación espacial de los datos. Además, este tipo de programas son ideales para el tratamiento de información como creación de perfiles topográficos, mediciones geométricas, comparativas espaciales, entre otras.

El diagnóstico de las problemáticas ecológicas del río Guayas, a la altura del cantón Durán, se establece mediante parámetros de calidad de agua y sedimentos, en base a estudios de impacto ambiental de diversos proyectos realizados en el cantón (Secretaria del Agua, 2014; Gobierno autónomo descentralizado provincial del Guayas, 2012; Ministerio de desarrollo humano y vivienda, 2012; y Carbono neutral, 2010); no obstante el caso específico para la evaluación de las condiciones ecológicas de las riberas del Guayas, se propone la valoración de la estructura y dinámica mediante el cálculo parcial del índice RQI (parcial debido a que se requiere de trabajo de campo, que por ahora no fue factible), desarrollado por González et al, 2006, el cual considera atributos de reconocimiento visual como: continuidad longitudinal de la vegetación leñosa; dimensiones en anchura del espacio ripario; composición y estructura de la vegetación riparia; regeneración natural de las principales especies leñosas; condición de orillas; conectividad transversal del cauce con sus riberas y llanura de inundación; y conectividad vertical y el grado de alteración de los materiales y relieve de los suelos riparios.

Segunda etapa: simulación numérica de un tramo del río Guayas, la cual permitirá establecer las bases para los criterios de diseño de las actuaciones que puedan proponerse sobre el río, para el control de inundaciones del cantón Durán. Esta simulación se basa en la reproducción teórica de las ecuaciones de dinámica fluvial que rigen a un canal abierto, como la ecuación de Manning, el principio de conservación de masas y conservación de energía en un canal.

La simulación empieza con la determinación del caudal dominante, o caudal formador de la geometría del cauce, mediante la caracterización hidrológica del área, que toma en cuenta los valores de caudales medios diarios de las estaciones hidrográficas de los principales cauces aportantes al río Guayas; estos datos son obtenidos de los anuarios hidrológicos publicados por INAMHI, desde el año 2007 hasta el 2013, con enfoque en los años en que se presentaron periodos invernales fuertes (2008 y 2012). Un análisis temporal de mayor amplitud no logró efectuarse, debido a la baja disponibilidad de datos, sin embargo esto se puede completar, una vez que el INAMHI libere la información pertinente.

Dentro de las principales variables para la simulación se encuentran: la geometría del cauce, que considera los datos de anchura, profundidad, sección y perímetro mojado, estos se pueden obtener mediante el trazado de perfiles transversales a lo largo del río; la pendiente media del cauce, que se mide con el perfil longitudinal del tramo a lo largo del thalweg; y la rugosidad de fondo que es equivalente al parámetro de rugosidad de Manning para un cauce natural.

La simulación numérica contempla el encontrar una relación matemática de los perfiles transversales, entre el caudal circulante, y la altura de la lámina de agua mediante el método de interpolación polinómica; con el fin de determinar el nivel de agua que corresponde al caudal formador. Además se usa el concepto de energía específica del cauce, para estimar el comportamiento del río a lo largo del tramo.

En la primera y segunda etapa no se considera la influencia de mareas, debido a la amplitud de la temática, quedando este apartado para un estudio futuro que complete el presente trabajo.

Tercera etapa: Revisión de casos de intervenciones para restauración de sistemas estuarios, y establecimiento conceptual de principios de diseño ecológico a tener en cuenta en las actuaciones sobre el sistema fluvial – estuarino de la cuenca baja del Guayas. Estos principios son los propuestos por el programa “Building with Nature”, desarrollado por el consorcio Ecoshape, (compuesto por socios privados, agencias gubernamentales e instituciones científicas), que busca establecer el un nexo entre naturaleza, ingeniería y sociedad.

4. Descripción

4.1. Cuenca hidrográfica del Río Guayas

La cuenca del Río Guayas se encuentra en el centro occidental del Ecuador, y se extiende por un área de 32200 km², ocupando el 12,57% del territorio nacional, y pasa por las provincias de Los Ríos, Guayas, Cotopaxi, Bolívar, Manabí, Chimborazo y Santo Domingo (Figura 2).

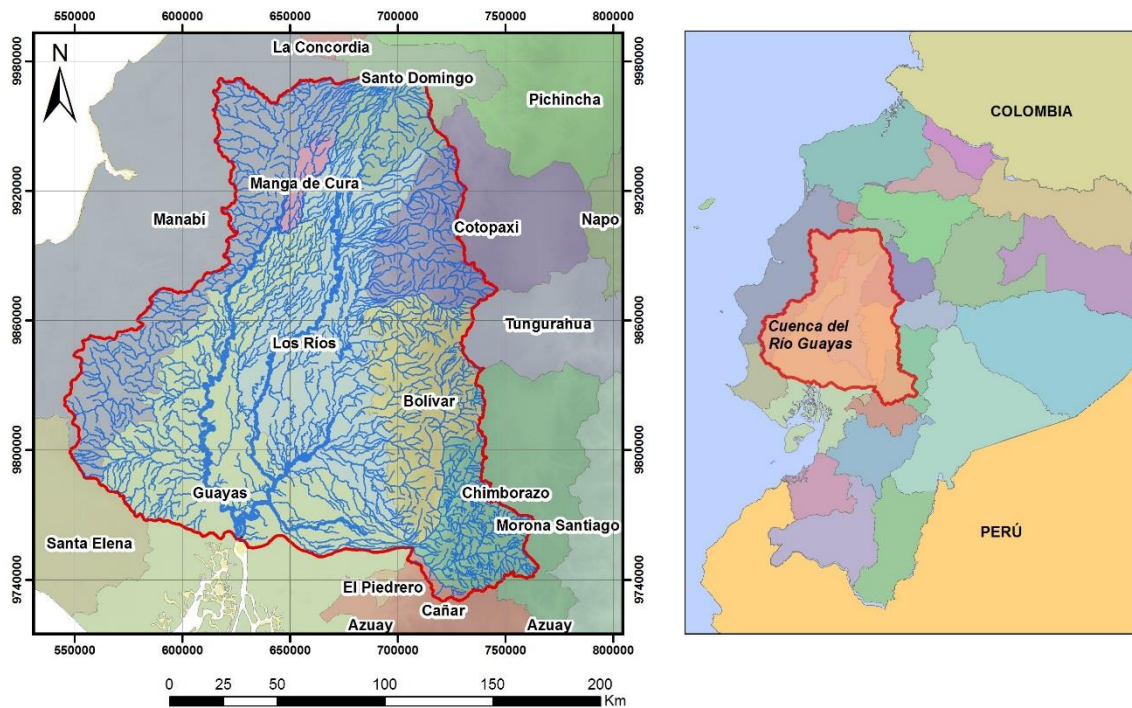


Figura 2.- Ubicación geográfica de la cuenca del río Guayas.

La cuenca del Guayas está conformada por siete subcuencas, cuya red de drenaje nacen en las estribaciones occidentales de la Cordillera de los Andes y en la vertiente oriental de la cordillera costanera Chongón-Colonche que conforman los ríos Daule y Babahoyo, los cuales unen sus caudales dando origen al Río Guayas, el cual tiene una longitud de 93 km desde la Puntilla en la provincia del Guayas hasta Punta Arenas en la Isla Puná (zona estuarina) para desembocar al Océano Pacífico en el Golfo de Guayaquil (INOCAR, 2010).

4.2. Cantón Durán

El cantón Durán se encuentra emplazado en una zona de transición entre el agua dulce proveniente del continente y el agua salobre del mar. Este tipo de sistema se caracteriza por ser altamente productivo a nivel biológico, ofreciendo hábitat y sitios de cría para especies clave, controlan el intercambio de flujo de agua y de químicos (Hattermann, Krysanova et al. 2006), actuando como filtro para los contaminantes del agua. Además debido a la buena calidad de suelos, se caracteriza por la gran variedad de actividad agrícola, ganadera, ubicando a la región como el mayor centro de producción de bienes agropecuarios a nivel nacional.

4.2.1. Ubicación Geográfica

El cantón Durán está ubicado en el margen oriental del río Guayas, limitando al norte con el río Babahoyo, al sur el cantón Naranjal, al este el cantón Yaguachi y al oeste Río Guayas, tiene un área aproximada de 142 km² (Figura 3), presenta una densidad poblacional de 711,82 hab/km² (Armijos, 2015).

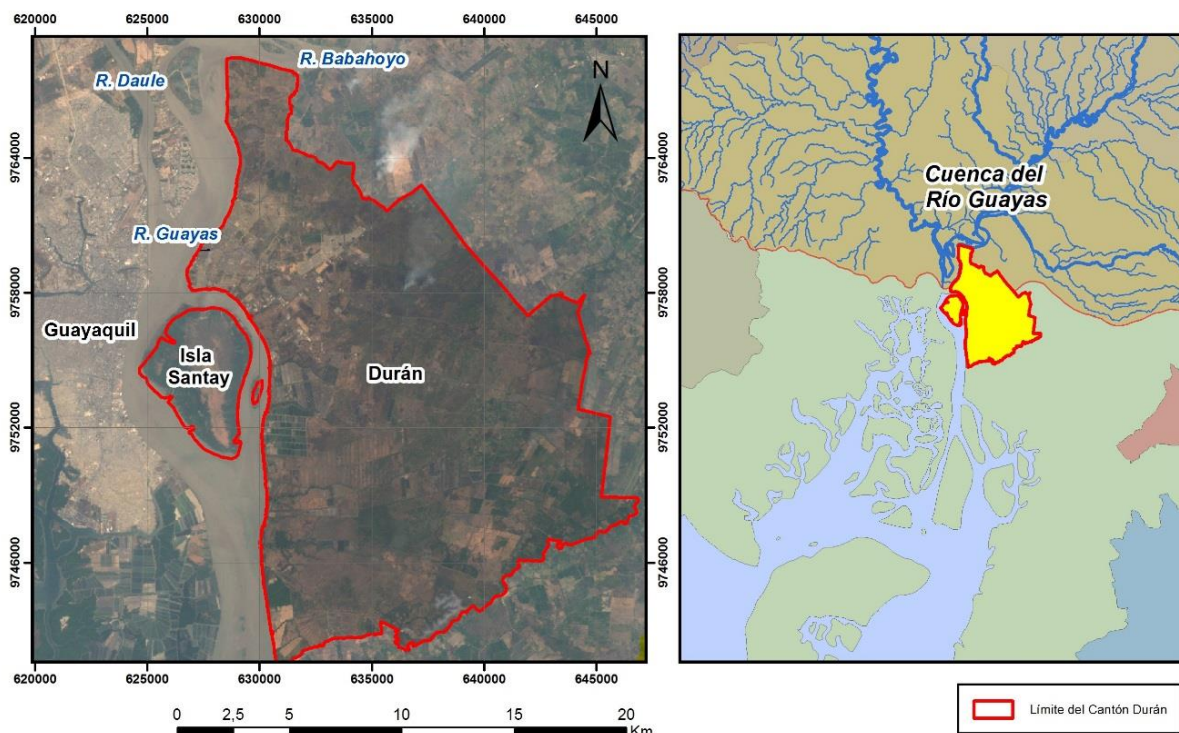


Figura 3.- Ubicación geográfica del cantón Durán.

5. Estado ambiental

5.1. Medio Físico

5.1.1. Clima

Esta región se caracteriza por una marcada estacionalidad que provoca desbalance en las precipitaciones. De enero a mayo es la estación lluviosa o “invierno”, con lluvias del orden de 200 mm a 350 mm, los meses de mayor pluviosidad son febrero y marzo, y son en estos meses cuando se producen inundaciones durante largos periodos; mientras que de junio a diciembre es la estación seca o “verano” caracterizada por escasas lluvias (Figura 4).

Las precipitaciones medias para la cuenca del Guayas para el periodo 1963 – 2009 es de 1849 mm, pero este valor se incrementó a 4769 mm, 2412 mm y 6786 mm debido a los episodios de El Niño de los años 82-83, 91-2 y 97-98; aumentando en 2,6, 1,3, y 3,7 veces respectivamente (Baup, Mougin et al. 2011).

El cantón Durán de encuentra en la zona climática tropical megatérmica, en la que se presentan temperaturas máximas en el invierno, cercanas a los 27 °C y valores mínimos promedio de 24 °C en el verano.

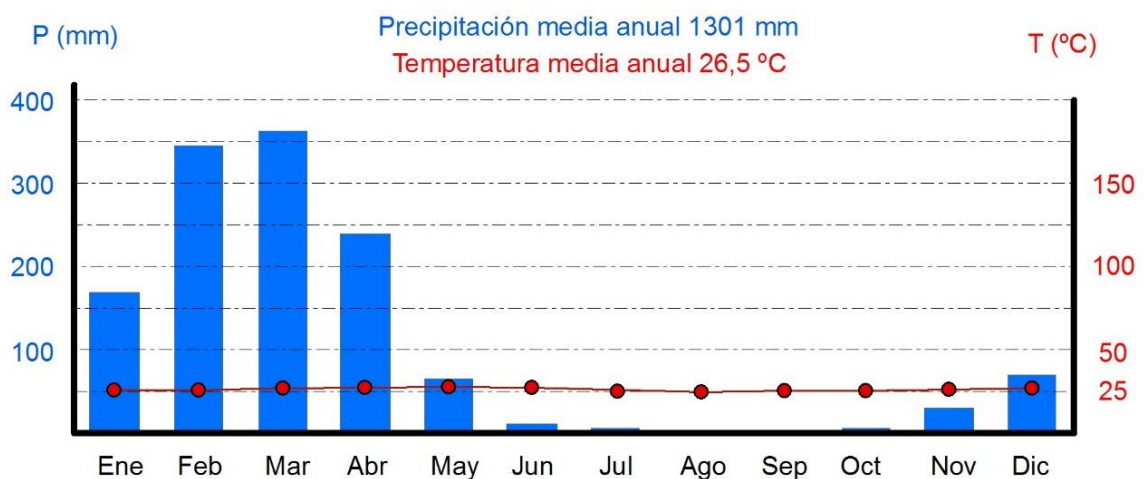


Figura 4.- Climograma registrado en las cercanías del cantón Durán, perteneciente a la zona climática Tropical megatérmica semi húmeda.

La evapotranspiración potencial (ETP) media mensual, calculada a partir de los valores de temperatura media mensual, oscila entre valores máximos, del orden de 140mm, en los meses de marzo a mayo, y valores mínimos de cerca de 95mm en los meses de Julio a Septiembre; es decir los valores de demanda atmosférica más elevados corresponden a los meses con mayor precipitación y los valores más bajos de ETP a los meses con menor humedad (CLIRSEN, 2009).

Con los datos de precipitaciones, ETP, y con una capacidad media de retención de agua en el suelo de 300mm, se calculó que el cantón Durán presenta un déficit hídrico alto entre los meses de mayo a diciembre, mientras en los meses de enero a marzo no se presenta, abril suele presentar valores relativamente bajos (PROMAS, 2016).

Si en el periodo seco, al déficit hídrico se le suma el incremento de áreas agrícolas, el pastoreo y la deforestación, potencialmente tenemos una problemática que incidirá a mediano y largo plazo en la degradación de suelo, que a su vez afecta al rendimiento de las cosechas, incrementando las posibilidades escasas de alimento en la población.

Por otro lado, en el invierno, debido a la magnitud de las precipitaciones, suelen ocurrir inundaciones y el colapso del sistema de drenaje, tanto de esteros como de canales artificiales, lo cual provoca la sobresaturación y lixiviación de suelos, lavado de nutrientes y su consecuente pérdida de fertilidad y la aparición de enfermedades relacionadas a la humedad.

Factores como la insolación, la zona de convergencia intertropical, la frecuencia de ocurrencia del evento El Niño Oscilación del Sur y el cambio de las temperaturas de la superficie marina, influyen en la composición de los ecosistemas y el ciclo hidrológico de las costas ecuatorianas (Seills, Snchez Goi et al. 2015). Es decir, se requiere prestar atención a los cambios que se puedan producir en estos factores climáticos, y los problemas que pueden causar.

5.1.2. Geología y relieve

Geomorfológicamente la cuenca del Guayas, es una fosa de hundimiento con relleno fluvio-marino, extendida de norte a sur. (Gonzales et al, 2008). La cuenca baja presenta pendientes

planas a muy suaves (pendientes menores a 5%), con suelos mal drenados, saturados con agua todo el año (Ministerio del Ambiente, 2000); en estas zonas, para reducir el riesgo de inundación, se suele colocar material pétreo de relleno sobre los sedimentos.

El cantón Durán es una zona topográficamente baja, y parte de la llanura aluvial del río Guayas, que está litológicamente formada por depósitos aluviales holocénicos (cuaternarios) como arcillas, limos y arenas finas, asentados sobre un basamento cretácico. Fragmentos de este basamento afloran en forma de una pequeñas cadenas de elevaciones, donde destaca el cerro Las Cabras, en el centro norte del cantón, con cotas de aproximadamente 88 m (Figura 5), compuesto principalmente por intercalaciones de lutitas y areniscas altamente diaclasadas, además sus elevadas pendientes definen el área como susceptible a deslizamientos.

Los paisajes de la llanura reciente casi no se ven afectados por procesos convencionales de erosión, sin embargo anualmente se ven remodelados por inundaciones periódicas de la estación lluviosa.

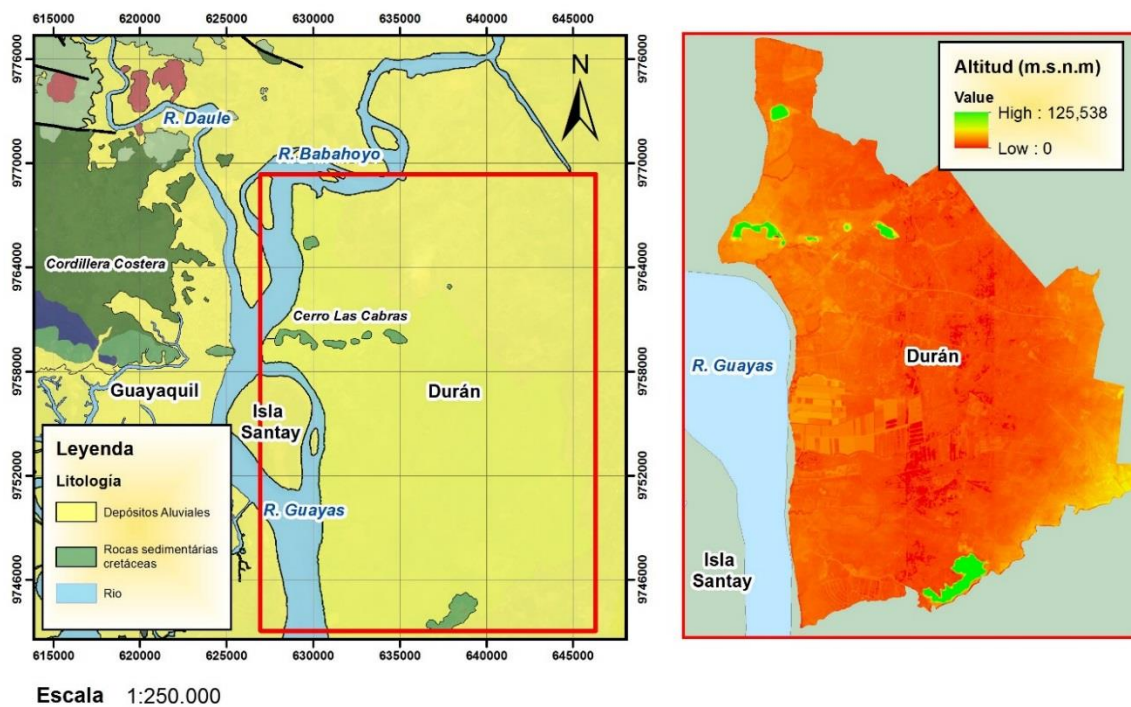


Figura 5.- Mapa litológico (izquierda) y modelo digital de elevaciones (derecha) del cantón Durán.

5.1.3. Coberturas

De la superficie total del cantón, el 11516 ha representan área ocupadas con cobertura vegetal natural; 3388 ha corresponden a uso antrópico, otras 11688 ha se dedican a actividades agrícolas, pecuarias, forestales y avícola; la superficie restante corresponde a tierras improductivas y cuerpos de agua.

Aproximadamente el 26% del área total del cantón (8895 ha) corresponden a cultivos de arroz (Cz), sembrados en su mayoría en la época invernal; 8% (2818 ha) son camaroneras (Oc), que se encuentran distribuidas en la parte oeste y sur, especialmente en las periferias del río Guayas; y 33,56% (11516 ha) corresponden a manglar (Bm), bosque seco, matorral seco, vegetación herbácea seca y vegetación herbácea de humedal (Figura 6).

La gran mayoría de la cobertura vegetal natural se encuentra en estado de conservación muy alterado, además han sido intervenidos por la ampliación de actividades ganaderas, piscícolas, camaroneras y de zonas urbanísticas (SNI, 2013).

El cantón Durán se ubica en una zona de manglar tropical semi húmedo, donde los esteros y zonas pantanosas son vitales para la salud del ecosistema, por esto se debe prestar especial atención a los factores que contaminan el agua, como por ejemplo las actividades de carácter agrícolas e industriales, debido al uso de pesticidas; por otro lado la contaminación por aguas residuales domésticas también es un punto a considerar.

En general, el uso del suelo agrícola y alteración hidromorfológica afectan negativamente a la riqueza de especies y la calidad ecológica de las comunidades acuáticas. La agricultura puede alterar la integridad de los ríos y de ribera, la calidad del hábitat (Damanik-Ambarita, Everaert et al. 2016).

Las zonas agrícolas a menudo muestran el enriquecimiento de nutrientes en los ríos (Bruno, Belmar et al. 2014), lo que puede aumentar la biomasa de algas. Esta condición, en consecuencia provocará una disminución de los niveles de oxígeno en el agua y alterar el hábitat de los organismos acuáticos (Frankforter, Weyers et al. 2010).

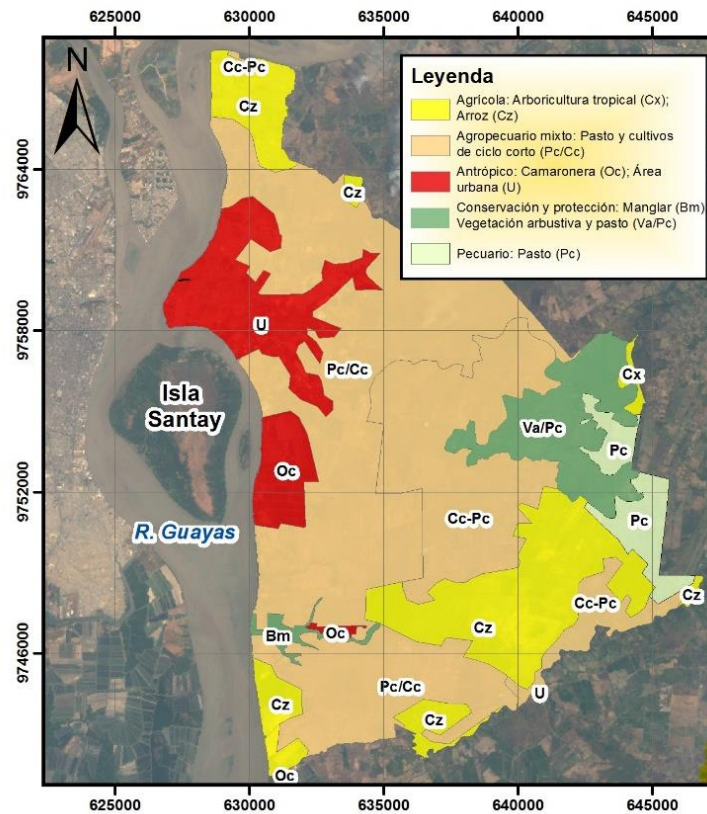


Figura 6.- Mapa de uso de suelo del cantón Durán, Sistema Nacional de Información.

5.1.4. Suelo

En el cantón Durán predominan suelos del orden de los vertisoles con 11 033,96 ha (32,25 %), seguidos de los entisoles con 6 568,10 ha (19,20 %), los molisoles con 3 893,19 ha (11,38 %) (SNI, 2013) (Figura 7). El área no aplicable corresponde a ríos, poblados, superficie plana intervenida y representan el 30,52 %. El PANE que corresponde al patrimonio de áreas naturales del Estado (MAE) representa el 6,48 %.

A continuación se presenta una breve descripción de los suelos encontrados:

Vertisoles (subgrupos Aquic Hapluderts y Typic Haplusters): espacialmente se encuentran a lo largo de todo el cantón. Este orden de suelo se caracteriza por la presencia de grietas por lo menos de 1 cm de anchura a una profundidad de 50 cm durante parte de la mayoría de los años.

Entisoles (Subgrupo Mollic Endoaquents, Typic Udifluents, Vertic Ustifluents, Typic Ustorthents): son suelos jóvenes o de escaso desarrollo pedogenético (sin horizontes B), de origen fluvial, se encuentran espacialmente distribuidos en el oeste del cantón Durán. Se caracterizan por estar saturados con agua estacional, y por presentar colores oscuros en el horizonte superficial.

Molisoles (Subgrupo: Fluventic Hapludolls): se encuentran espacialmente distribuidos en el este del cantón Durán, se caracterizan ser ricos en bases de cambio, con abundantes materiales orgánicos y de consistencia y estructura favorables al desarrollo radicular.

La contaminación del suelo se debe principalmente a la presencia de canteras en la zona urbanas, plantas procesadoras de asfalto, exceso de residuos en el área de mayor concentración poblacional, cierre prematuro de sitio de disposición final de desechos, y a las actividades agrícolas.

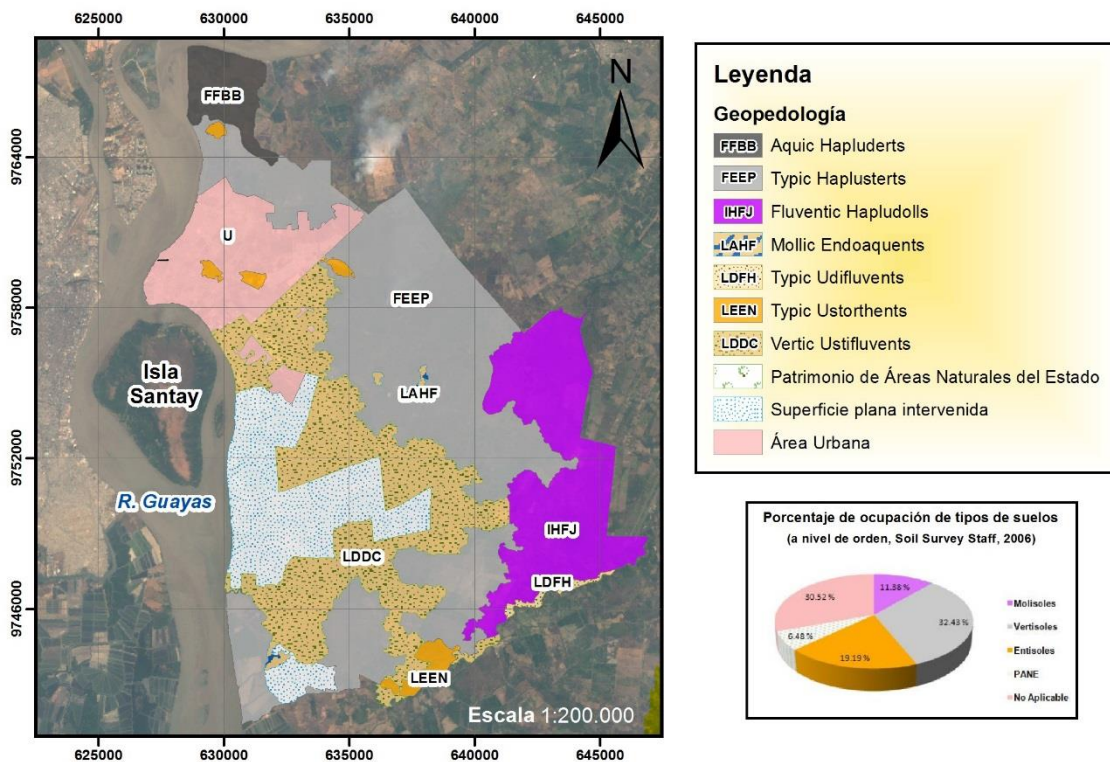


Figura 7.- Mapa geopedológico del cantón Durán, Sistema Nacional de Información.

5.2. Medio Biótico

5.2.1. Flora

Según el mapa bioclimático y ecológico del Ecuador (Cañadas et al, 1983), el Cantón Durán se asienta sobre la formación bosque seco Tropical (b.s.T.), no obstante, de acuerdo con el Mapa de Vegetación Remanente del Ecuador Continental (Sierra et al, 1999), está en una zona intervenida, donde las formaciones vegetales naturales han sido reemplazadas por usos de suelo de carácter antrópico, principalmente agricultura y ganadería. En la Isla Santay y en una pequeña porción del cantón, existen remanentes de manglar, así como vegetación secundaria producto de la regeneración natural.

El estudio de impacto ambiental realizado por la consultora Carbono Neutral, en el 2010, expone que la vegetación ribereña está constituida por herbáceas y ejemplares de ficus (*Ficus benjamina*), que han sido plantado con fines ornamentales sobre el relleno de las orillas. Adicionalmente se evidencian ejemplares flotantes de Jacinto de agua o lechuguín (*Eichhornia crassipes*) que son arrastrados por la corriente.

Los remanentes de manglar son de 5 especies: Mangle rojo (*Rhizophora mangle* y *R. harrisonii*), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), y mangle botón o jelí (*Conocarpus erectus*).

5.2.2. Fauna

El área presenta un elevado grado de intervención, debido al reemplazo de la cobertura vegetal original por cultivos agrícolas. Como consecuencia se han eliminado las condiciones de hábitat para grandes mamíferos nativos. El registro de mamíferos nativos es escaso y se limitaría a especies generalistas de pequeño tamaño, propias de áreas intervenidas por el hombre como zarigüeyas (*Didelphis marsupialis*, *Philander opossum*) y especies asociadas con el hombre que incluyen los ratones domésticos (*Mus musculus*), rata negra (*Rattus rattus*) y animales domésticos (Carbono Neutral, 2010).

En cuanto a aves, se destacan 48 especies dentro de 21 familias y 10 órdenes, distribuidas en 30 residentes, 15 migratorias boreales, 2 migratorias australes y 1 visitante pelágica (Secretaría del Agua, 2014). Según la Unión Internacional Conservación Naturaleza (UICN) las especies registradas tienen categoría de preocupación menor. Las especies mayormente observadas fueron *Dendrocygma autumnalis* y *Nyctanassa violácea*.

Las especies endémicas existentes en el área, son producto de endemismo regional, denominada Región Tumbesina. En esta zona se produce la transición de la selva húmeda del Chocó al occidente de Colombia y nor-occidente del Ecuador, con el desierto que recorre toda la costa del Perú, siendo por lo tanto una zona de transición de especies (Briones et. al., 2001). Este endemismo es particularmente notable en el caso de las aves, con las especies registradas: Tortolita Ecuatoriana (*Columbina buckleyi*) y el Homero del Pacífico (*Furnarius cinnamomeus*).

En cuanto a la ictiofauna, se toma en cuenta el listado de especies para el río Vinces elaborado por Barnhill et al. (1973) así como los resultados de los estudios de Florencio et al. (1998) llevados a cabo en el río Babahoyo, ya que corresponden a sitios de la cuenca baja y planicie de inundación del mismo sistema fluvial; las especies que destacan son: Bocachico (*Ichthyoelephas humerales*), Sábalo (*Brycon* sp.), Chame (*Dormitator latifrons*), Bagre de río (*Hexanematichthys* sp.), Robalo (*Centropomus* sp.); además se considera la invasión de la tilapia (*Oreochromis* spp.), especie de origen africano introducida en el Ecuador en 1970.

5.3. Calidad Ambiental

Para tener una idea de las condiciones ambientales del sistema, se estima del estado de conservación del tramo del río Guayas, ubicado a la altura del cantón Durán, por medio del cálculo del índice RQI (Riparian Quality Index); y se analiza información de línea base en calidad de agua y sedimentos, de muestras ubicadas sobre el río Guayas (Figura 8), de los siguientes estudios realizados en el cantón:

- Estudio de impacto ambiental (EsIA) para el dragado del canal este del islote “El Palmar” ubicado en el río Guayas, Secretaria del Agua (2014)
- Diagnóstico ambiental de los cuerpos hídricos de las cabeceras cantonales del Guayas, Gobierno autónomo descentralizado provincial del Guayas (2012)
- Estudio de Impacto Ambiental del puente peatonal de la isla Santay, Ministerio de desarrollo humano y vivienda (2012).
- Estudio de Impacto Ambiental para la construcción y operación del nuevo muelle exportadora de alimentos S.A - EXPALSA., Carbono neutral (2010).

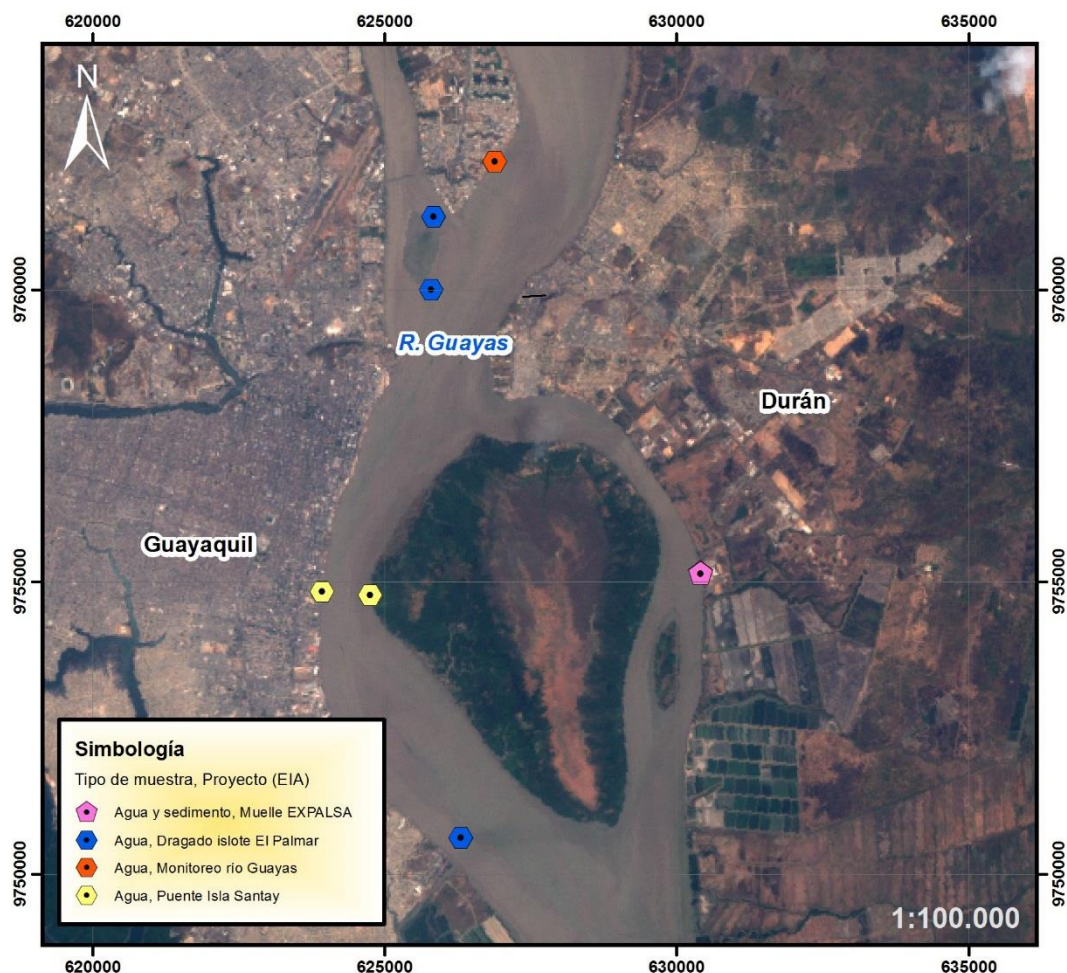


Figura 8.- Ubicación de muestras para análisis de calidad de agua y sedimentos, clasificadas según estudios de Impacto Ambiental a la que corresponden.

5.3.1. Calidad de Agua

La calidad del agua se evalúa con la comparación de resultados obtenidos de EsIA, realizados por la Secretaría del Agua (2014), Gobierno autónomo descentralizado provincial del Guayas (2012), Ministerio de desarrollo humano y vivienda (2012) y Carbono neutral (2010), con los Límites Máximo Permisibles (L.M.P) establecidos en la Normativa Nacional, el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA), Libro VI: De la Calidad Ambiental, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, con lo cual se establece la calidad de los cuerpos de agua bajo los “Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario”

Los resultados de los diferentes parámetros de calidad de agua, (**Anexo I**), muestran que el río Guayas está contaminado; los parámetros que presentan valores fuera de norma son: demanda bioquímica de oxígeno, coliformes fecales, presencia de mercurio, cadmio, arsénico, cromo, y se destaca las elevadas concentraciones de aceites y grasas.

Estos valores fuera de norma se pueden atribuir al impacto acumulado de las industrias del sector, y a la descarga directa de aguas residuales.

5.3.2. Calidad de sedimento

Actualmente, la Normativa Ambiental Ecuatoriana no establece Límites Máximos Permisibles para determinar la calidad de los sedimentos de un cuerpo de agua, sin embargo se evalúan los resultados obtenidos por la Secretaría del Agua (2014), y Carbono neutral (2010) con los “Criterio de Calidad del suelo” establecidos en el Libro VI: De la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente.

De acuerdo los datos mostrados en el **Anexo I**, los parámetros medidos muestran valores dentro de los criterios referenciales.

5.3.3. Condiciones riparias de un tramo del Río Guayas: Índice parcial RQI

El índice RQI (Riparian Quality Index) da una idea del estado de conservación de un cuerpo de agua, y se ha calculado para un tramo de río Guayas de 13 km de extensión, que limita con el cantón Durán. Para este análisis se cuenta con ortofoto de alta resolución del cantón del año 2013, y herramientas SIG's que permiten realizar las diferentes mediciones (Figura 9).

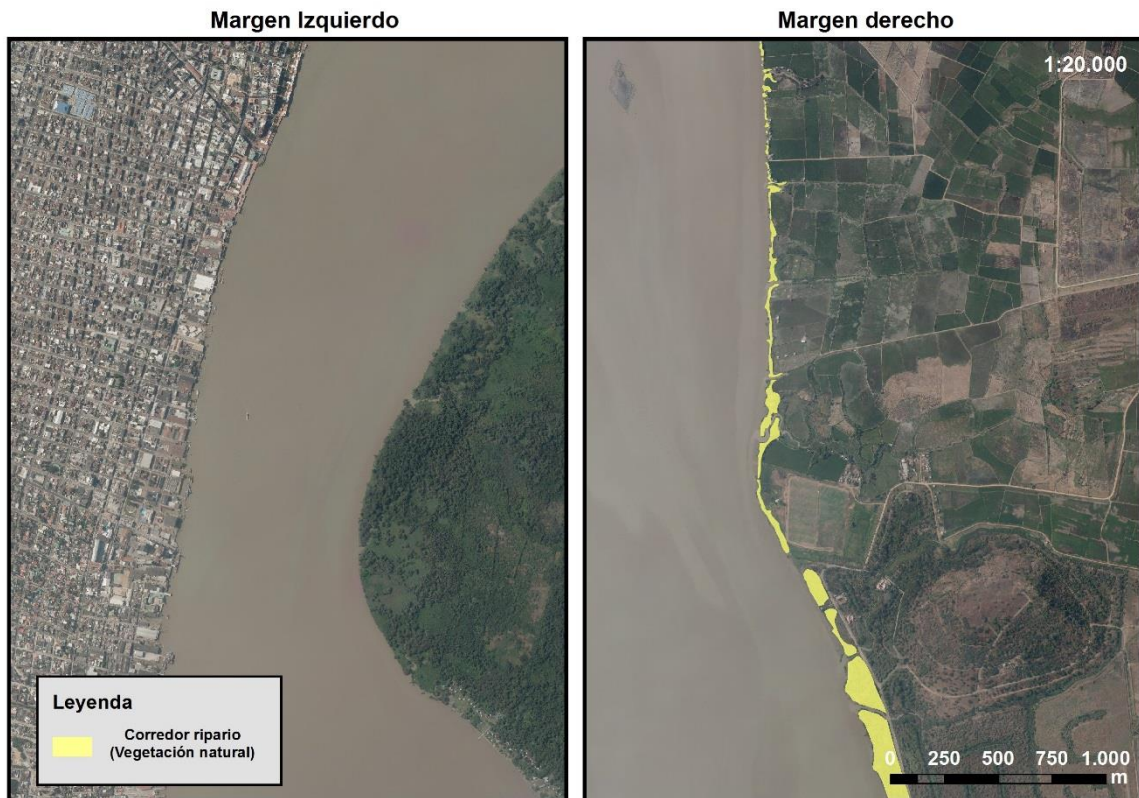


Figura 9.- Análisis visual y mediciones sobre la margen izquierda y derecha para el cálculo de RQI.

La variable de regeneración natural de vegetación riparia no logró ser evaluada, por su requerimiento de actividades de campo. La evaluación parcial del RQI se adjunta en el **Anexo II**. A continuación se detallan los resultados de esta valoración parcial:

Continuidad longitudinal de la vegetación riparia natural: En la margen izquierda del tramo, se encuentra la ciudad de Guayaquil, la orilla del río limita con la infraestructura urbana,

no existe la cobertura vegetal natural en esta orilla. La margen derecha presenta aproximadamente un 35% es de fragmentos de cobertura arbórea y arbustiva asociadas al río, resultando en un estado ecológico regular (RQI=4).

Dimensiones en anchura del espacio ripario: El tramo se encuentra dentro de la clasificación de un valle tipo IV, de relieve plano, zona de humedales por desbordamientos de cauces y elevación de niveles freáticos; en la margen derecha, el promedio de anchura del corredor es de 50m, pero la variabilidad de datos es alta, la zona norte presenta anchos entre 15m y 30m, mientras en el sur superan los 100m; se le asigna un estado ecológico bueno (RQI= 8).

Composición y estructura de la vegetación riparia: Domina el matorral seco y la vegetación herbácea de humedal, con pocos individuos arbustivos y arbóreos (incluyendo las zonas de manglar) dispersos o en pequeños grupos. Además la vegetación está restringida por la acción antrópica, como ganadería y agricultura (RQI=3), resultando en un estado de conservación malo.

Condición de las orillas: En condiciones de bankfull, menos del 50% de la lámina de agua está en contacto con vegetación herbácea y leñosa. Las orillas presentan síntomas de actividades antrópicas, no existe presencia de estructuras rígidas. En general se considera un estado regular (RQI=4).

Conectividad transversal del cauce con sus riberas: Para el margen izquierdo se encuentra limitado por el casco urbano, y a lo largo de 4 km se emplaza el “malecón 2000” que sirve como barrera para impedir el desbordamiento del río; por otra parte, el margen derecho tiene orillas de muy baja cota, que se suelen inundar con periodicidad elevada, no presenta infraestructuras de canalización o barreras físicas que impidan la inundación, sin embargo, debido al contacto de esta orilla con la población (Durán), existen planes de regulación para el control del caudal, como el dragado de los sedimentos del río. El estado de conservación es de regular (RQI=6).

Permeabilidad de los materiales y grado de alteración del relieve de las riberas: Las riberas presentan espacios continuos compactados en más del 20% de su superficie, dificultando la infiltración y la regeneración natural; evidenciado por los caminos para el paso del ganado; además existen materiales de relleno, especialmente en la zona urbana cercana a las riberas, como medidas de protección para las inundaciones. Estado regular (RQI=5)

Considerando estas variables y su valoración, este tramo del río Guayas es calificado como pobre en condiciones ecológicas (RQI total=30), la mayoría de atributos de las riberas están degradados en su funcionamiento y los que no, presentan amenazas de degradación. Este valor de RQI indica una necesidad de rehabilitación y restauración para reintroducir la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas o mejorar su situación actual respecto a su estado de máximo potencial (Tabla 1).

Tabla 1.- Valores del índice RQI y calidad de las riberas, incluye distintas alternativas de gestión recomendadas, modificado de González et al, 2006.

Valor RQI	Estado de la ribera	Condición Ecológica	Estrategias de gestión
108 - 88	Muy bueno	Los atributos de las riberas no presentan amenazas en su funcionamiento, encontrándose en un estado de elevada naturalidad	Gran interés de conservación para mantener el estado actual y prevenir la alteración de las funciones riparias
87 - 68	Bueno	Al menos dos o tres atributos de las riberas están amenazados en su funcionamiento	Interés de protección para prevenir la alteración y mejorar la integridad de las funciones riparias
67 - 48	Regular	Al menos dos o tres atributos de las riberas están degradados en su funcionamiento y el resto tiene amenazas de degradación	Necesidad de restauración para asegurar la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas
47 - 28	Pobre	Más de tres atributos de las riberas están seriamente alterados en su funcionamiento y el resto también se encuentra degradado	Necesidad de rehabilitación y restauración para recuperar la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas
< 27	Muy pobre	Más de tres atributos de las riberas están muy degradados en su funcionamiento y el resto está también degradado	Necesidad de rehabilitación y restauración para reintroducir la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas o mejorar su situación actual

5.4. Diagnóstico

Los resultados de la sección calidad ambiental, muestran que los principales problemas que se registran en el cantón Durán son el mal estado de conservación ecológica del río Guayas, la contaminación de sus aguas, el establecimiento de usos de suelo no compatibles con las zonas de inundación, y la alteración de la vegetación natural de ribera.

Las pobres condiciones ecológicas que muestra río Guayas, se deben en gran parte a la fragmentación y degradación de la vegetación natural de ribera por actividades agrícolas, ganaderas, industriales; y a la modificación de las orillas del río con materiales de relleno para facilitar los asentamientos urbanos.

Los desechos industriales, agrícolas y domésticos, son descargados de manera directa a la red de drenaje del cantón, convirtiéndose en los principales contaminantes del recurso hídrico.

El desbordamiento del río Guayas y las consecuentes inundaciones, no son un problema en sí, ya que las crecidas son un proceso natural de los sistemas fluviales, que contribuyen al mantenimiento del buen estado ecológico del río. La problemática ocurre cuando en las áreas inundables, se establecen actividades agrícolas, ganaderas, camaroneras y urbanas; de manera que cuando llega el invierno, se presentan complicaciones socioeconómicas como: la afectación a la salud de la población, el colapso de sistemas de agua potable, pérdidas económicas, disminución de la producción agropecuaria, entre otros.

El plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Durán para el 2016, prioriza la planificación de actuaciones que busquen mejorar la situación ecológica de las riberas del río Guayas, y promuevan la mitigación de escorrentías superficiales y el control de desbordamiento del río; además se consideran importantes los proyectos que contemplen aplicación de infraestructura verde, construcción de zonas de humedales, y revegetación en lugares estratégicos. Por lo tanto, este trabajo esboza las bases ecológicas que deben considerar estas actuaciones de recuperación/mitigación para asistir a los procesos ecosistémicos y recobrar parte de la funcionalidad del ecosistema.

6. Simulación numérica

El programa HEC-RAS, desarrollado por *Hydrologic Engineering Center del United Army Corps of Engineering y el Environmental System Research Institute (ESRI)*, es una herramienta de modelación hidráulica que combina datos hidrológicos y sistemas de información geográfica, convirtiéndolo en uno de los simuladores gratuitos más potentes que existen en la actualidad; sin embargo su uso requiere de información geoespacial e hidrológica muy específica. El caso que se presenta en este trabajo cuenta con información muy limitada, debido a la protección de datos por parte del estado ecuatoriano, de manera que para conocer qué nivel alcanzaría una lámina de agua para un caudal determinado, o evaluar las inundaciones de zonas aledañas a un canal, recurrimos a cálculos y estimaciones basadas en las leyes y ecuaciones que dominan la dinámica fluvial.

En esta sección se propone la elaboración de un modelo teórico matemático de parte de la dinámica de un tramo del río Guayas, con el fin de determinar el caudal dominante o caudal formador de la geometría del cauce, y su relación con las inundaciones que se dan durante el periodo invernal.

A pesar de que el sistema del río Guayas tiene componentes fluvio - marinas, este apartado solo abarcará la dinámica fluvial; el estudio de la influencia de mareas es complejo, y queda abierto para una extensión y complementación del trabajo.

6.1. Ecuación de la continuidad y Ecuación de Manning

La ecuación de la continuidad para un flujo abierto (caudales naturales), es una versión del principio de conservación de la masa, que expone que la masa que entra a un sistema es igual a la masa que sale, en otras palabras, el caudal a lo largo del cauce se mantiene (Figura 10). Este principio se muestra por la fórmula:

$$V_1A_1 = V_2A_2 = Q$$

Q = caudal (m^3/s),

A = sección transversal (m^2),

V= velocidad media del agua (m/s).

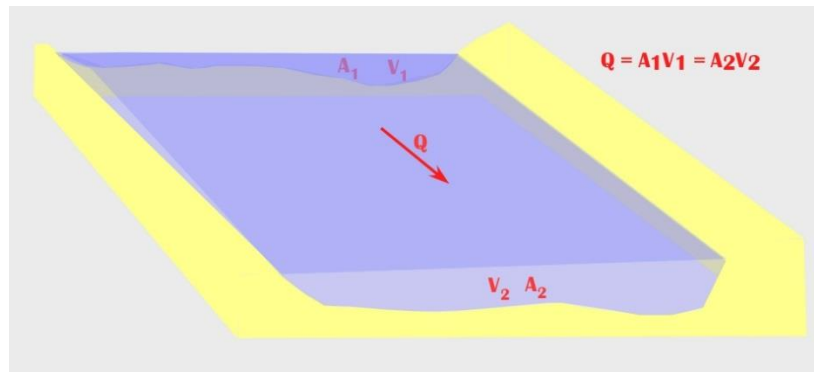


Figura 10.- Esquema sobre el principio de conservación de masa.

Para calcular las áreas que resultarían inundadas para un caudal determinado, se debe conocer fundamentalmente la geometría del cauce. Una geometría es permanente debido a que ciertos caudales, por su magnitud, por su frecuencia o por una combinación de ambas cosas, se convierten en caudales determinantes (Martín, 2007).

La ecuación de Manning plantea el cálculo de velocidad media del agua, en base a la geometría (radio hidráulico), tipo de superficie y pendiente longitudinal al cauce (Ec. 1).

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{\eta} \quad (Ec. 1)$$

V = velocidad media del agua (m/s),

R = Radio hidráulico (m), razón entre sección transversal y perímetro mojado,

S = pendiente de la línea de agua (m/m),

η = parámetro de rugosidad de Manning.

Además se conoce que el caudal es el volumen de agua que atraviesa una sección por unidad de tiempo (Ec.2):

$$Q = V * A \quad (Ec. 2)$$

Combinando las expresiones (Ec.1) y (Ec.2), obtenemos una relación entre el caudal, el radio hidráulico y la sección del cauce; pero debido a que tanto el radio hidráulico como la sección

son valores que dependen de la altura de la lámina de agua, la resolución de la ecuación no se realiza de manera tradicional, debiendo se aplicar métodos de estimación numérica, en este caso la interpolación polinómica, esto permite definir ecuaciones independientes, que relacionen directamente la altura de agua con el caudal que circula por el cauce; estos cálculos son válidos solo para una sección transversal, por lo cual para ampliar el conocimiento el tramo se modelan varias secciones a lo largo del cauce.

6.2. Caracterización Hidrológica

El río Guayas se forma en la cuenca baja, por la unión de los caudales de los ríos Daule y Babahoyo, 5 kilómetros al norte de la ciudad de Guayaquil, y desemboca en el Océano Pacífico en el Golfo de Guayaquil (INOCAR, 2010). Su ancho fluctúa entre 1,5 km y 3 km, excepto a la altura de la ciudad de Guayaquil donde se divide en 2 ramales que bordean a la Isla Santay con 5 km de ancho. El río Guayas descarga anualmente cerca de 30 000 millones de m³ de agua, su caudal varía según la estación, en la época seca el caudal promedio es de 230 m³/s, mientras que en la época húmeda es de más de 1500m³/s. Aguas arriba, en la cuenca alta, se encuentra el embalse Daule-Peripa, un reservorio de aproximadamente 30 000 ha y una capacidad para almacenar 6 000 millones de m³ de agua; este embalse se construyó para la generación eléctrica, irrigación, control de inundaciones y distribución de agua potable (CELEC, 2013).

Para estimar el caudal del río Guayas y su comportamiento general a lo largo del año, se suman los datos de caudales medios diarios publicados en los anuarios hidrológicos del INAMHI, de las estaciones H0368, H0390 y H0387, ubicadas en sus principales afluentes (ríos Babahoyo, Daule y Quevedo) (Figura 11). Sin embargo, este método reduce el rango de disponibilidad temporal de datos, a causa de que la suma de valores se la realiza solo cuando existe coincidencia temporal de datos en las tres estaciones; además se debe destacar que existen datos de carácter protegido, los cuales solo se puede acceder por medio de una petición especial al INAMHI (custodio de la información).

Este trabajo cuenta con datos completos de caudales medios diarios de los años 2007, 2008, 2009, y 2012, este último año presenta un periodo invernal marcado por el incremento significativo de precipitaciones, y por consecuencia un incremento del caudal que transporta el río.

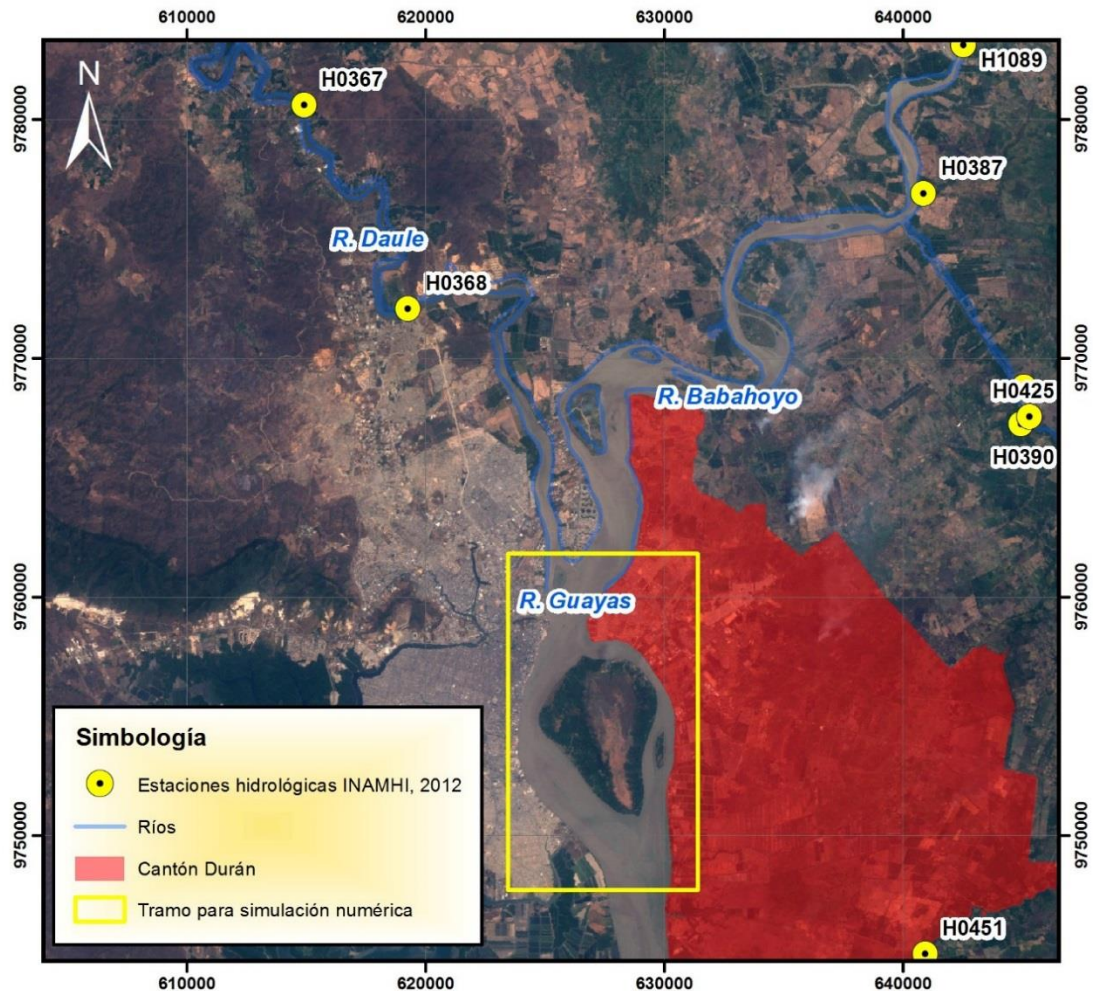


Figura 11.- Ubicación de estaciones hidrológicas cercanas al cantón Durán, INAMHI.

De manera general los valores máximos de caudal que transporta el Río Guayas están en el orden de los $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ y $3000 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo existen periodos anormales que presentan incremento considerable en el caudal máximo, llegando a valores de hasta $4400 \text{ m}^3/\text{s}$, como ocurrió en el año 2012 (Figura 12). Los caudales máximos se presentan en la época invernal, principalmente en los meses de febrero y marzo, con un promedio de $2200 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que de Agosto a Diciembre los caudales no superan los $300 \text{ m}^3/\text{s}$.

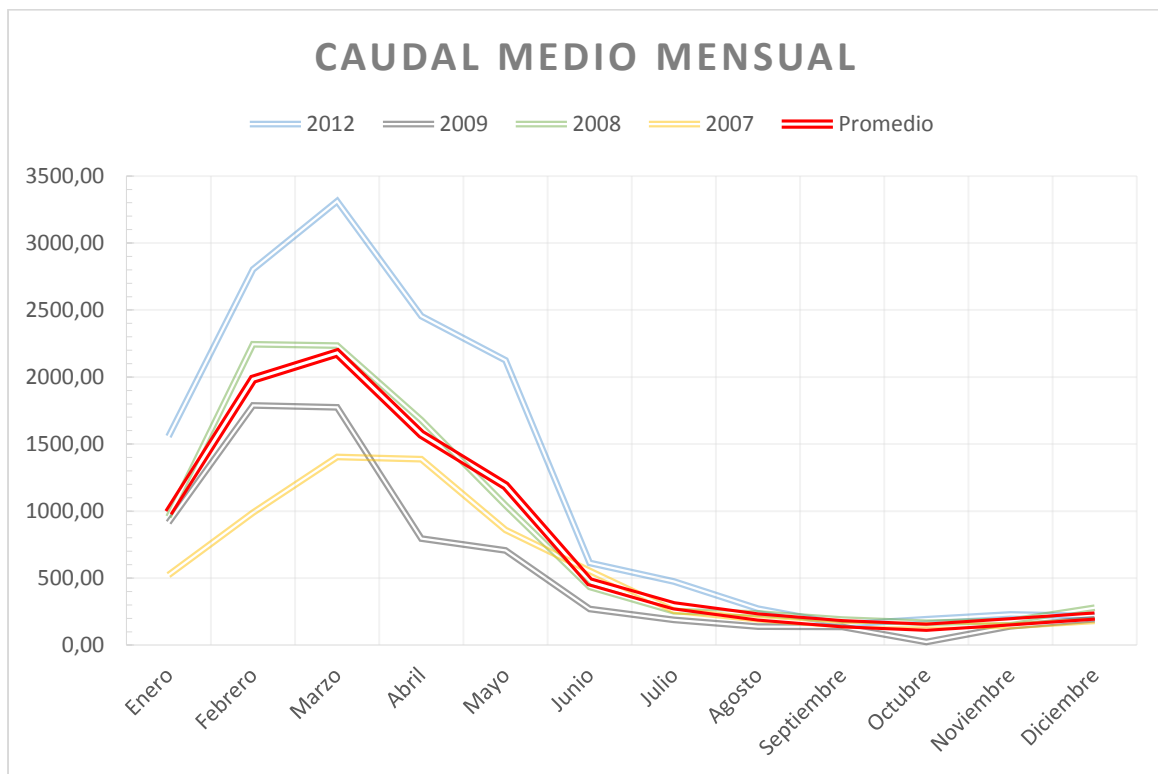


Figura 12.- Hidrograma de caudal medio mensual estimado que transporta el río Guayas.

A lo largo del tramo de estudio, se trazaron perfiles transversales separados en 1 km, con la información batimétrica proporcionada por el Instituto Oceanográfico de la Armada. Los perfiles aportan los datos de geometría del cauce (perímetro mojado, y altura de la lámina de agua); además la pendiente del cauce según el perfil del thalweg es 0,01%; y el coeficiente de Manning para un caudal natural se establece en 0,033.

La simulación se realiza para cada perfil con el fin de conocer cuál es la altura media de la lámina de agua para diferentes caudales, sin embargo para los perfiles del 5 al 11 se generaliza una sola simulación (perfil 5), donde el caudal de entrada al sistema se divide entre los dos cauces alrededor de la isla Santay (Figura 13).

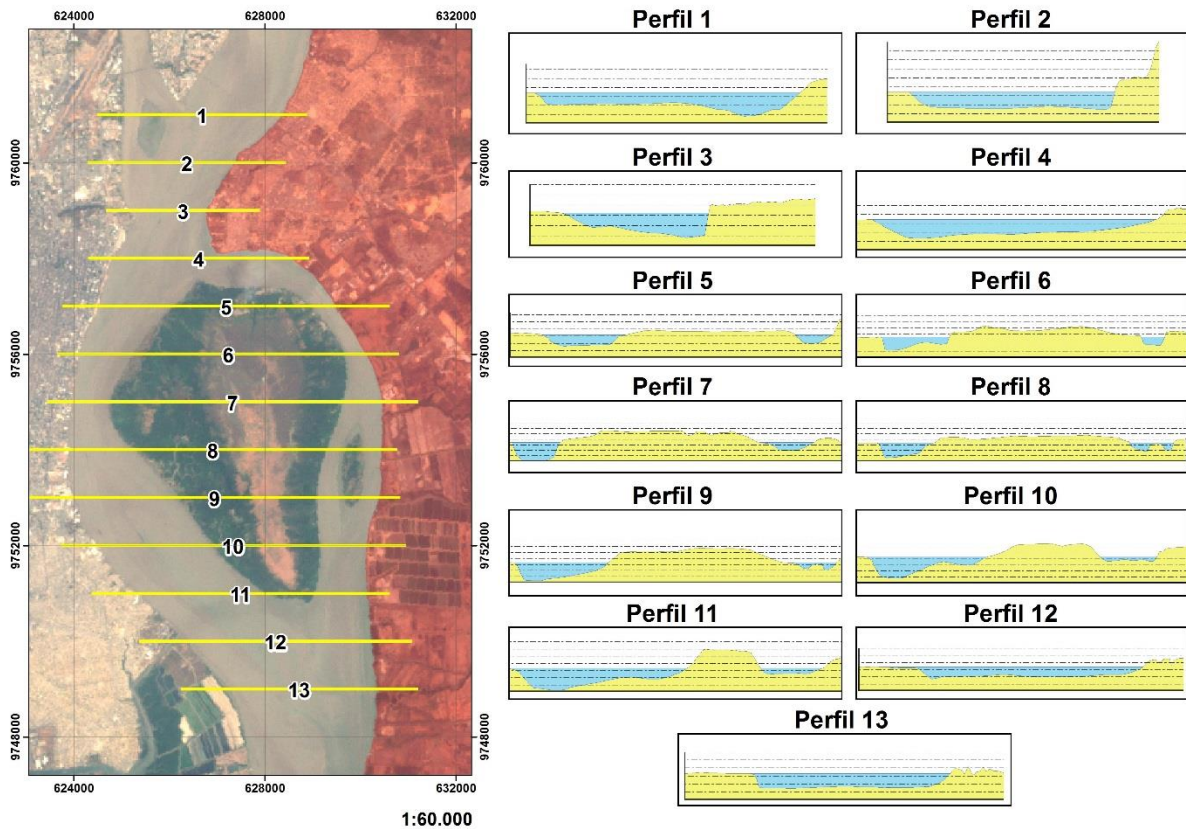


Figura 13.- Trazado de perfiles transversales a lo largo del tramo a simular.

Con el apoyo de una calculadora avanzada, y el algoritmo de interpolación polinómica, se determinaron las 7 ecuaciones que rigen el comportamiento fluvial del tramo, estas relacionan de forma directa el caudal circulante y la altura de la lámina de agua (Figura 14).

La relación $[h \text{ vs } Q]$ de los perfiles 1, 2, 4, 12, y 13 presentan pendientes similares, implicando un comportamiento semejante en la dinámica del cauce; mientras la relación del perfil 3 muestra mayor incremento del nivel para cambios caudal, convirtiéndose en un tramo de interés. La relación del perfil 5 se divide en: A para el ramal izquierdo y el B para el derecho; el caudal en esta sección se reparte para los dos cauces de acuerdo a su proporción geométrica, donde la suma de las relaciones en un mismo nivel de agua es igual al caudal que entra en el sistema.

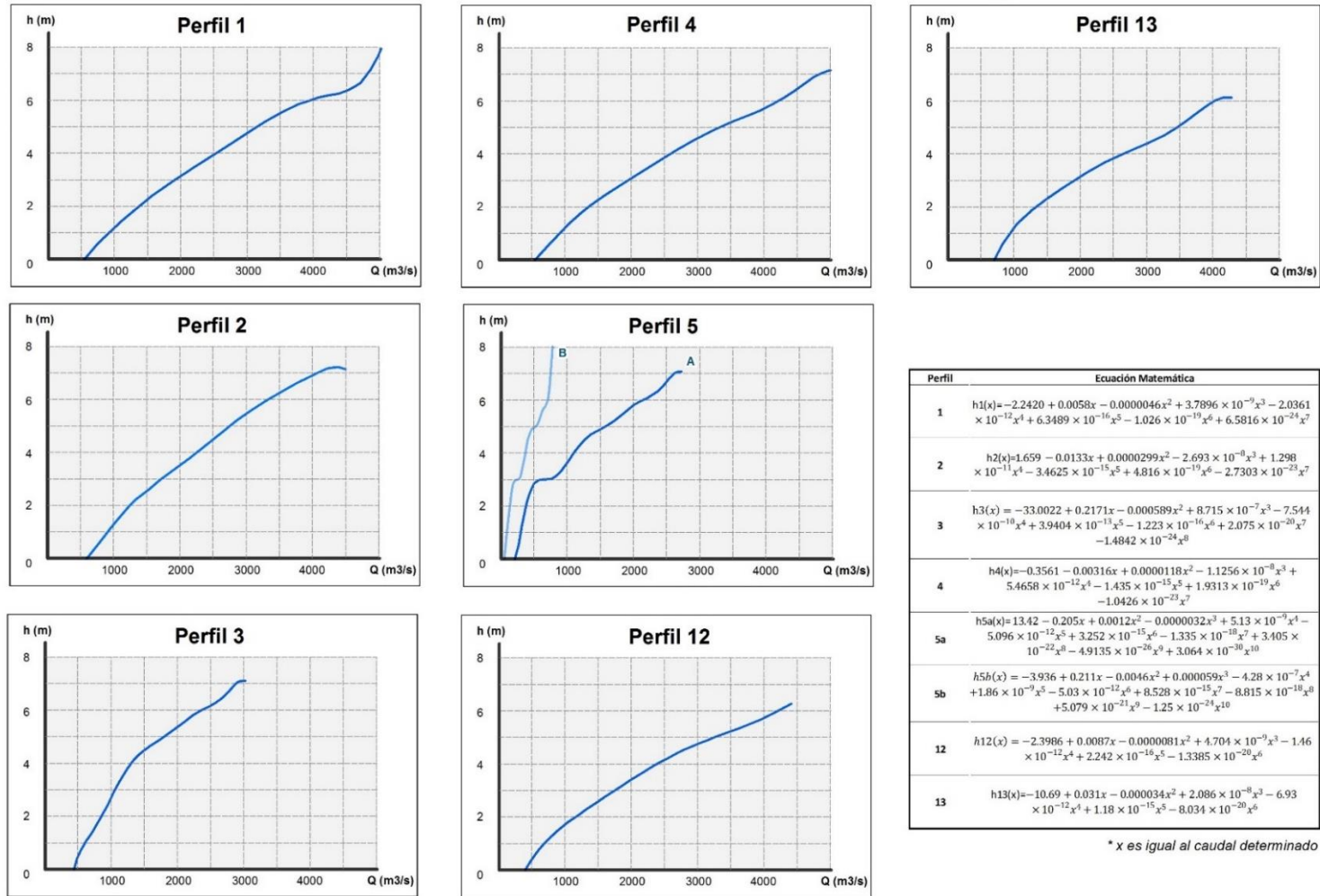


Figura 14.- Resultados de la simulación numérica del tramo del río Guayas, ecuaciones de los perfiles principales.

6.2.1. Caudal dominante

Los análisis para el cálculo del caudal dominantes se lo puede realizar desde tres aspectos, el hidrológico, que está basado en el uso del régimen hidrológico normal; el hidráulico, basado en la sección del cauce principal del río aplicando el concepto de cauce lleno; y el sedimentológico que se apoya en el estudio del caudal sólido (Farías, 2005).

Se procederá con el cálculo del caudal dominante desde el punto de vistas hidrológico, y se analizará el nivel de agua que alcanza este caudal desde la perspectiva hidráulica.

Método hidrológico

Este método consiste en el criterio de que el caudal dominante es aproximadamente el caudal con persistencia de 1 o 2 días en la curva de caudales clasificados (Martín, 2007). Este criterio se ha desarrollado usando los datos promedio de los caudales medios diarios (**Anexo III**).

El diagrama de caudales clasificados (Figura 15), representa los caudales de un año completo ordenados de mayor a menor, permitiendo estimar el número de días en que un caudal determinado es superado, o también cuantos días al año no se alcanza dicho caudal. De manera que el caudal que dura 2 días es $Q=2700 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo este valor una aproximación para el caudal dominante.

Método hidráulico

Este método se basa en el uso de secciones características del río, en lugares donde el río muestra todavía una morfología natural o secciones que se consideren poco alteradas, sin embargo a lo largo del margen occidental del río en nuestro tramo, se encuentra el malecón 2000, infraestructura que no permite el cálculo de caudal dominante por este método; pero sí permite estimar la altura del nivel del agua que se espera para el caudal calculado por el método hidrológico.

CAUDALES CLASIFICADOS (ANUAL)

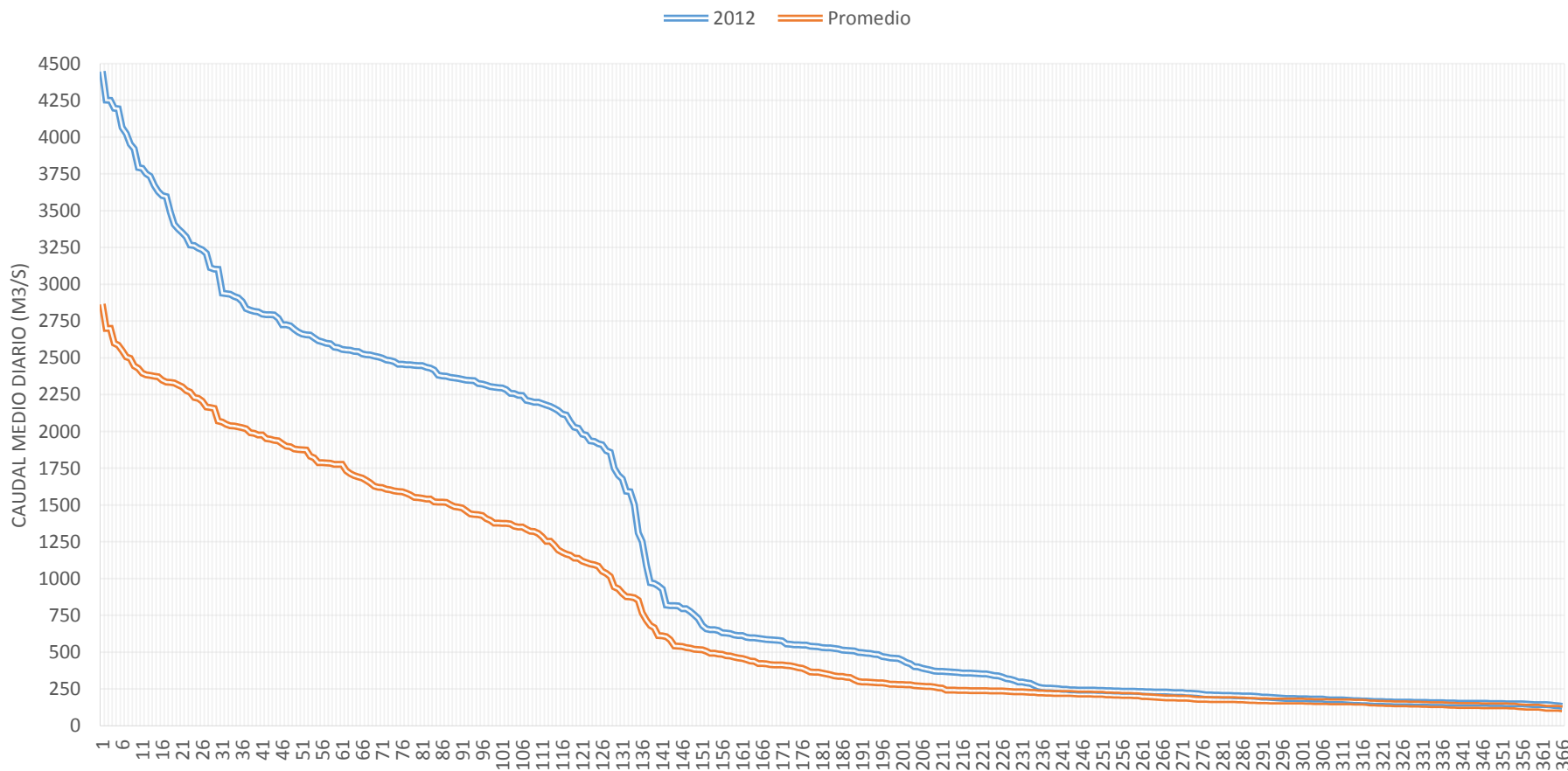


Figura 15.- Curva de caudales clasificados en el río Guayas, valores promedio anual y del año 2012.

6.2.2. Nivel de agua y energía específica

Con las ecuaciones características de cada perfil, se estiman los cambios en la altura de la lámina de agua en relación al caudal del cauce, por ejemplo en la Tabla 2, se muestra los niveles de agua alcanzados por el caudal mínimo del periodo invernal ($Q_1=700\text{m}^3/\text{s}$), el caudal promedio anual ($Q_2=1500\text{m}^3/\text{s}$) y al caudal dominante ($Q_3=2700\text{m}^3/\text{s}$) del río Guayas.

Tabla 2.- Cálculos de altura de lámina de agua, sección transversal y energía específica para diferentes caudales.

Caudal (m^3/s)	Perfil	h (m)	Sección (m^2)	Energía específica (m)	h desborde (m)
Q1=700	1	0,4395	1100,34	0,46	5
	2	0,4018	998,72	0,43	5,4
	3	1,492	906,56	1,52	4,1
	4	0,49	1124,86	0,51	4,4
	5	2,55	1216,65	2,57	6,9
	12	1,124	1250,24	1,14	4
	13	0,03	1028,77	0,05	2,9
Q2=1500	1	2,26	1787,81	2,30	5
	2	2,548	1659,77	2,59	5,4
	3	4,45	1720,16	4,49	4,1
	4	2,292	1892,46	2,32	4,4
	5	4,08346	1934,14	4,11	6,9
	12	2,60366	1993,73	2,63	4
	13	2,375	1951,8	2,41	2,9
Q3=2700	1	4,273	2577,77	4,33	5
	2	4,89	2421,35	4,95	5,4
	3	6,54	2450,87	6,60	4,1
	4	4,206	2760,31	4,25	4,4
	5	5,83662	2759,7	5,89	6,9
	12	4,386	2950,3	4,43	4
	13	4,108	2794,26	4,16	2,9

El caudal Q1, caudal aproximado con el que inicia el periodo invernal, no produce desbordamiento a lo largo del cauce; el caudal Q2, o promedio anual, eventualmente produce el desborde del río en su margen oriental, en la zona del perfil 3 afectando al entorno urbano. El caudal dominante Q3, causa el desbordamiento de tres secciones del tramo, ubicadas en zonas de aprovechamiento agrícola, camaronero y en los alrededores del casco urbano. Se calcula que un caudal superior a los $3400\text{m}^3/\text{s}$, sería suficiente para inundar todas las secciones.

La energía específica es la carga hidráulica en un punto, resultado de la suma entre las cargas de presión, posición y velocidad (Chow, 1959). Este parámetro se lo calculó para analizar los cambios de energía que sufre el cauce a lo largo del tramo. El incremento de energía de la sección 2 a la 3, se puede traducir como un aumento de la velocidad media del agua, implicando mayor probabilidad de producirse eventos erosivos; la disminución de energía y velocidad en el paso de la sección 3 a la 4, hace más factibles los fenómenos de sedimentación. En el resto de las secciones el cambio no es considerable, sin embargo se deberían analizar una vez el método incorpore datos de batimetría y topografía de mayor resolución.

Con los datos de caudal de desbordamiento de cada sección, se elabora un esquema de rangos de caudal que afectan a diferentes áreas a lo largo del margen derecho del río Guayas (Figura 16). Las zonas cercanas a las secciones 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 son áreas que requieren de una caudal por encima de los 2700 m³/s para que el río desborde, mientras que los alrededores de la sección 3, 12 y 13, son los más propensos a sufrir problemas de desbordamiento con caudales superiores a 1500 m³/s.

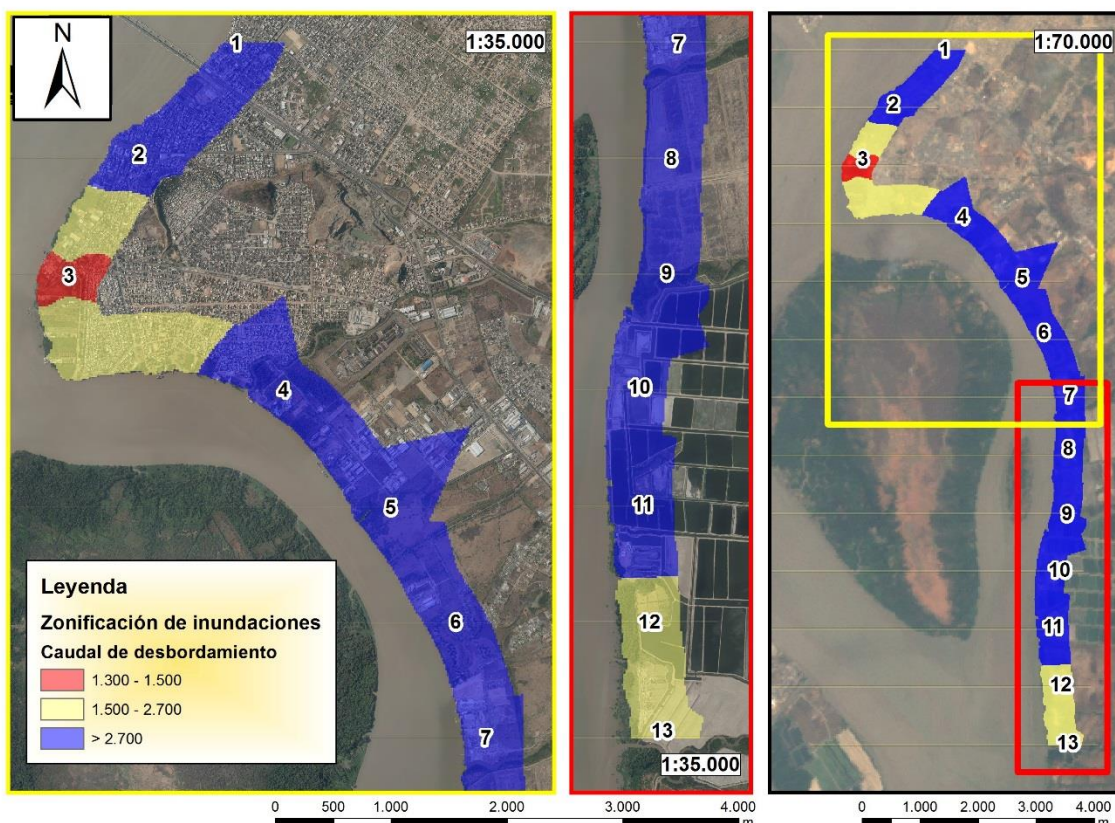


Figura 16.- Zonificación de inundaciones determinado por el caudal de desbordamiento del río Guayas.

7. Bases para la planificación de mejora del estado ecológico del Cantón Durán

Es común que se utilice la ecohidrología para recrear y restaurar los ecosistemas degradados por las actividades humanas, incluyendo la reducción del flujo de agua o la ganancia de terreno inundable para uso agrícola (Elliott, Mander et al. 2016). La ecohidrología se basa en la modificación del sistema físico, para promover la colonización natural de productores y consumidores primarios, la restauración de la cadena trófica natural y la creación de hábitats.

Desde la perspectiva de la ecoingeniería, y considerando los trabajos de Bradby (1997); Brearley (2005); Bruno, Belmar et al. (2014); Calvert (2002); Environmental Protection Authority (2008); Lenanton, Potter et al. (1984); McComb, Humphries (1992); McComb & Lukatelich (1995); Wildsmith, Rose et al. (2009); a continuación se describen las principales actuaciones que se pueden dar, como solución a problemas relativos a inundaciones por desbordamiento de ríos en sistemas estuarinos (Tabla 3).

Tabla 3.- Recopilación de las principales actuaciones registradas en sistemas estuarinos desde el enfoque de la ecoingeniería, modificado Elliott, Mander et al. 2016.

Problema	Intervenciones	Características	Consecuencias Ecológicas
Inundación de zonas para el desarrollo agrícola	Construcción de sistemas de drenaje principales, desviación y rectificación de curvas de ríos	Promueve la erosión y sedimentación en el estuario y humedales, dando lugar a problemas adicionales de anegamiento	Reducción de invertebrados de agua dulce, peces y mamíferos en general
Caudales elevados, y desbordamiento de ríos	Construcción de presas	Reducción de los flujos de agua dulce que entran en el estuario, y la pérdida de humedales estacionales. Contaminación significativa de nutrientes del estuario a través de redes de drenaje y otras captaciones de la escorrentía.	Crecimiento de macroalgas, y pérdida de pastos marinos nativos. Aumento de maleza

Las actuaciones que promueven el control del desbordamiento del río, si bien ayudan a solucionar muchos de los impactos socioeconómicos del cantón, no son compatibles con el buen estado ecológico del sistema, por esta razón debemos enfocar la planificación en el diseño de estrategias que busquen la recuperación o restauración de la naturalidad del río Guayas, y que contemplen medidas de reordenamiento en los usos de suelo, compatibles con zonas inundables.

La limitante en la disponibilidad de información, dificulta el especificar intervenciones que cambien la evolución del ecosistema hacia su recuperación. Por esta razón, en el presente trabajo se establecen diferentes bases que se deben considerar a la hora diseñar alternativas de restauración en el cantón.

La mejora del estado ecológico del río Guayas, está ligado en mayor medida a la recuperación de su corredor ripario, actualmente muy fragmentado, y al descenso en el grado de intervención antrópica que se presentan en sus orillas. La dificultad que se presenta, es que más del 75% del terreno aledaño a la orilla del tramo, está destinado al aprovechamiento antrópico; por lo cual, dar espacio al río, estará condicionada a la factibilidad del cambio de uso de suelo, o al establecimiento de convenios que exijan a los encargados del uso actual, la preservación y promuevan la ampliación de la superficie que ocupa la de vegetación natural en las riberas.

Del esquema de zonificación por caudales de desbordamiento (Figura 16) y el diagrama de caudales clasificados, se infiere que el área 3, propensa a inundarse por mayor tiempo en el año (aproximadamente 120 días), puede destinarse como zona de humedal, sin embargo implica el traslado de parte de la infraestructura urbana de Durán, por lo que se debería estudiar su factibilidad. Las zonas que se inundan con caudales mayores a $1500 \text{ m}^3/\text{s}$, y con persistencia menor a 88 días al año, son buenas para el establecimiento de islas de revegetación (plantación de especies arbóreas nativas, resistentes a encharcamientos frecuentes), que sirvan como fuente de propágulos que promuevan el desarrollo del corredor ripario (zonas 12 y 13 y alrededores de zona 3).

Las zonas 4, 5 y 6, cuentan con superficies libres, cercanas a la zona industrial, por lo que se puede considerar la implantación de humedales con especies retenedoras o fitorremediadoras como filtro para los contaminantes provenientes de los desechos industriales.

Debido a la existencia de periodos invernales intensos, con recurrencia de 3 a 7 años, asociados al evento El Niño, donde fuertes precipitaciones producen caudales por encima de los 2700 m³/s con mayor frecuencia, toda la ribera del tramo se verá afectado por el desbordamiento del río, razón suficiente para considerar devolver al río parte de su llanura de inundación, pero también se puede considerar la creación de infraestructuras como barreras, malecones, presas, en general obras que canalizan el cauce y bloqueen la inundación, en cuyo caso la trayectoria de recuperación conduciría a la pérdida de naturalidad del sistema. Sin embargo, el programa “Building with nature”, que busca establecer un nexo y equilibrio entre naturaleza, ingeniería y sociedad, propone evaluar las diferentes estrategias de restauración mediante 11 principios de diseño ecológico; esta valoración es un análisis cualitativo que busca asegurar que las actuaciones se enfoquen en la asistencia a los procesos ecosistémicos; entre mayor sea el número de principios que se cumplan, ambientalmente mejores serán las actuaciones.

Los 11 principios de diseño ecológico que se contemplan son:

- 1. Continuidad:** Asegurar la continuidad de los flujos de agua y sedimentos y las interfaces tierra-agua.
- 2. Ausencia de disturbios antrópicos directos:** Minimizar o en lo posible evitar las perturbaciones humanas directas.
- 3. Endogeneidad:** O nivel de invasión de un ecosistema por especies exóticas. Las especies invasoras pueden limitar las oportunidades de supervivencia de las especies nativas. Por lo tanto, una estructura hidráulica o sus actividades asociadas no deben dar ventaja a las especies invasoras sobre las especies autóctonas.

4. Viabilidad de la población: Una infraestructura no debe poner en peligro la capacidad de las poblaciones de persistir, sino debe proporcionar oportunidades para las poblaciones en peligro de extinción.

5. Oportunidad para especies amenazadas: Creación de oportunidades para la supervivencia y restauración de especies amenazadas. Las infraestructuras hidráulicas pueden ayudar ofreciendo nuevos hábitats. Este principio se centra en una especie en particular, y no al nivel de población como el punto anterior.

6. Integridad trófica: En una red trófica representativa todas las especies interactúan de manera saludable en todos los niveles. Cuando las especies clave se ven afectadas, la integridad de la red trófica se ve perjudicada y el ecosistema ya no es saludable.

7. Oportunidades para la sucesión ecológica: La sucesión ecológica es el cambio natural de las especies presentes en un ecosistema, en el tiempo. De acuerdo con este principio, las oportunidades para el proceso de cambio dinámico deben ser continuos.

8. Zona de integridad: Tiene por objeto garantizar que el mosaico natural del ecosistema está totalmente representado. La presencia de toda la gama de la diversidad zonal es una condición para la salud de los ecosistemas. Por ejemplo, un pantano de estuario se caracteriza por una serie continua que va de una zona plana de lodo sumergido a una zona de tierras relativamente altas que solo se inundan ocasionalmente.

9. Características de los ciclos orgánicos e inorgánicos: Este principio se refiere a la integridad de los flujos de carbono, nitrógeno, fósforo y silicio en un ecosistema. Ciclos inorgánicos y orgánicos que son plenamente representativo y que funcionan en todos los niveles dentro de sus rangos naturales, actúan para apoyar y permitir el funcionamiento del ecosistema.

10. Características físico-químicas de la calidad de agua: Este principio tiene por objeto garantizar que la calidad del agua se mantiene en el tiempo y en el espacio. Cuando los

parámetros de calidad del agua están dentro de los rangos dinámicos naturales, las funciones de los ecosistemas son apoyadas.

11. Resiliencia: capacidad del ecosistema para mantener su integridad después de disturbios consecutivos. Por lo tanto, un ecosistema es resiliente cuando es capaz de soportar e incluso beneficiarse de alteraciones razonables, o previsibles.

El entendimiento de la evaluación de las estrategias para la restauración mediante estos principios, se dirige hacia las personas responsables del desarrollo, diseño y ejecución de proyectos de ingeniería hidráulica, incluyendo ecologistas, consultores, contratistas de infraestructuras del agua, entre otros; además a personas u organizaciones que potencialmente puedan influir sobre los criterios aplicables a un proyecto, como administraciones nacionales y locales, funcionarios, políticos, administradores, ONGs, financieros. De manera que la aplicación de estos principios sea un lenguaje común para el desarrollo, mantenimiento, recuperación y restauración de ecosistemas costeros.

8. Conclusiones y Recomendaciones

- El tramo del río Guayas, aledaño a la población de Durán está calificado como pobre en condiciones ecológicas (RQI total=30), indicando una necesidad de rehabilitación y restauración para reintroducir la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas.
- El bajo valor de RQI del sistema, está ligada a la fragmentación de la vegetación de ribera o corredor ripario, a favor del establecimiento de zonas urbanas, agrícolas, ganaderos e industriales.
- El desbordamiento del río Guayas no se define como problema, son las ocupaciones de zonas inundables para el desarrollo de actividades agrícolas, ganaderas, industriales y urbanas, que cuando llega el invierno y se producen las inundaciones desencadenan problemas socioeconómicos.
- La metodología aplicada para la simulación numérica del tramo de río, puede ser aplicada para zonas con limitada información, o en etapas iniciales de un estudio sobre el comportamiento fluvial. Además debido al uso directo de cálculos y estimaciones basadas en las leyes y ecuaciones que dominan la dinámica fluvial, este trabajo puede ser empleado con fines académicos.
- El caudal formador de la geometría del río Guayas es de $2700\text{m}^3/\text{s}$. Además se estima que un caudal superior a los $3400\text{m}^3/\text{s}$, sería suficiente para inundar las orillas del cantón Durán, este caudal se suele alcanzar y sobrepasar en los periodos invernales relacionados a los eventos de El Niño.
- Se propone la plantación de especies arbóreas nativas, resistentes a encharcamientos frecuentes, en forma de islas que sirvan como fuente de propágulos y promuevan el desarrollo del corredor ripario, especialmente en las zonas que se inundan con caudales superiores a los $1500\text{ m}^3/\text{s}$.

- Las superficies libres cercanas a la zona industrial, se pueden destinar a la implantación de humedales, que sirvan de filtro para los contaminantes provenientes de los desechos industriales.

Se recomienda que el Ministerio del Medioambiente en el Ecuador, incluya la valoración con los 11 principios de diseño ecológico, en los estudios de impacto ambiental de las actuaciones de restauración, recuperación o mitigación de ecosistemas costeros. Además, se plantea considerar dentro del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Durán, estudios de problemas relativos al cambio climático, como: subida nivel del mar, cambios en las descargas de los sistemas fluviales, sequías, incremento en salinización.

9. Agradecimientos

Quisiera agradecer en primer lugar al tutor de este Trabajo de Fin de Master, Diego por toda la paciencia, y el tiempo que se dedicó para guiar y responder las dudas que se me llegaron a presentar.

De igual forma, agradezco a los profesores del master en Restauración de Ecosistemas, por toda la dedicación en sus clases, y por motivar a los estudiantes a ver el mundo con el filtro de procesos y funciones ecosistémicas, por descubrir la trayectoria de la actual evolución ambiental, y sobre todo por mostrarnos las herramientas para ir hacia la restauración de nuestro entorno.

Y sobre todas las cosas, muchas gracias a mi familia, por entender que la distancia que hemos estado separados, ha sido para el crecimiento profesional, y personal.

A mis amigos, a los nuevos y a los viejos, que con una llamada, un mensaje o un correo, se hacen presente.

10. Bibliografía

ARMIJOS, D., 2015. Regeneración del parque ecológico cultural sector Primavera II Durán. Universidad de Guayaquil: Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Tesis de grado.

BARNHILL Les B., LÓPEZ, E., y Les, A., 1973. Estudio sobre la Biología de los Peces del Río Vinces. Instituto Nacional de Pesca. Boletín Científico Técnico, 3(1), 40.

BAUP, F., MOUGIN, E., DE ROSNAY, P., HIERNAUX, P., FRAPPART, F., FRISON, P.L., ZRIBI, M. and VIARRE, J., 2011. Mapping surface soil moisture over the Gourma mesoscale site (Mali) by using ENVISAT ASAR data. *Hydrol.Earth Syst.Sci.*, **15**(2), pp. 603-616.

BRADBY, K., 1997. Peel-Harvey: the Decline and Rescue of an Ecosystem. Greening the Catchment Taskforce (Inc.). Mandurah, Western Australia. 223p.

BREARLEY, A., 2005. Ernest Hodgkin's Swanland: Estuaries and Coastal Lagoons of South-western Australia. University of Western Australia Press, Perth, Australia. 550 pp.

BRIONES, E., Gómez, J., Hidalgo, M., Tirira, D., y Flachier, A., 2001. Inventario de humedales del Ecuador. Segunda parte, tomo II: humedales interiores de la provincia de Guayas. Quito, Ecuador. Convención de Ramsar/INEFAN/Ecociencia. Quito. Ecuador.

BRUNO, D., BELMAR, O., SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, D., GUARESCHI, S., MILLÁN, A. and VELASCO, J., 2014. Responses of Mediterranean aquatic and riparian communities to human pressures at different spatial scales. *Ecological Indicators*, **45**, pp. 456-464.

CALVERT, T., 2002. Assessment of Foreshore Vegetation Changes in the Peel-Harvey Estuary since the Opening of the Dawesville Channel: with Focus on *Juncus kraussii*, *Melaleuca raphiophylla* and *M.cuticularis*, pp. 174.

CARBONO NEUTRAL, 2010. Estudio de impacto ambiental para la construcción y operación del nuevo muelle de exportadora de alimentos S.A. – EXPALSA. Informe Técnico.

CELEC, 2013. Revista 25 años de la Presa Daule – Peripa. Cuenca.

CHOW, V., 1959. Hidráulica de canales abiertos. Editorial Diana, México. Principios de la energía y del momentum. 39p.

CLIRSEN, 2009. Generación de geoinformación para la gestión del territorio y valoración de tierras rurales de la Cuenca del Río Guayas, escala 1:25.000. Módulo 3: Clima e Hidrología. 30p.

CAÑADAS, L., Copez, X., Lyannaz, J., Ammerman, C., Henry, P., Muñoz, K., & Wilson, P., 1983. El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador (No. IICA-PRRET A2/TT No. 93-01). Ministerio de Agricultura y Ganadería, Quito (Ecuador).

DAMANIK-AMBARITA, N., EVERAERT, G., FORIO, A.M., NGUYEN, H.T., LOCK, K., MUSONGE, L.P., SUHAREVA, N., DOMINGUEZ-GRANDA, L., BENNETSEN, E., BOETS, P. and GOETHALS, L.P., 2016. Generalized Linear Models to Identify Key Hydromorphological and Chemical Variables Determining the Occurrence of Macroinvertebrates in the Guayas River Basin (Ecuador).

ELLIOTT, M., MANDER, L., MAZIK, K., SIMENSTAD, C., VALESINI, F., WHITFIELD, A. and WOLANSKI, E., 2016. Ecoengineering with Ecohydrology: Successes and failures in estuarine restoration. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **176**, pp. 12-35.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AUTHORITY, 2008. Water Quality Improvement Plan for the Rivers and Estuary of the Peel-Harvey System - Phosphorus Management. Australia. 74 pp.

FARIAS, H., 2005. Análisis del concepto de caudal dominante en ríos aluviales y evaluación de metodologías de cálculo. Ríos 2005: Principios y aplicaciones en hidráulica de ríos. Segundo Simposio Regional sobre hidráulica de Ríos, Neuquén, Argentina.

FLORENCIO, A., CADENA, O., y VILLAMAR F., 1998. Bioecología de los peces del Río Babahoyo y perspectivas de cultivo. Comportamiento temporal y espacial de las características físicas, químicas y biológicas del Golfo de Guayaquil y sus afluentes Daule y Babahoyo entre 1994-1996, 59-117.

FRANKFORTER, J.D., WEYERS, H.S., BALES, J.D., MORAN, P.W. and CALHOUN, D.L., 2010. The relative influence of nutrients and habitat on stream metabolism in agricultural streams. *Environmental monitoring and assessment*, **168**(1), pp. 461-479.

FRAPPART, F., BOURREL, L., SALAZAR, R.X., BAUP, F., DARROZES, J. and POMBOSA, R., 2015. Spatio-Temporal Dynamics of the Floods in the Guayas Watershed (Ecuadorian Pacific Coast) using Envisat Asar Images. *2015 Ieee International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Igarss)*, pp. 2515-2518.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO PROVINCILA DEL GUAYAS, 2012. Diagnóstico ambiental de los cuerpos hídricos de las cabeceras cantonales del Guayas. Informe técnico.

GONZÁLEZ, A., ACOSTA, J., ANDRADE, S., 2008. Evaluación de las inundaciones de la cuenca baja del Guayas, datos y manejo. CLIRSEN. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.

GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M., GARCÍA DE JALÓN, D., LARA, F., GARILLETI, R., 2006. Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la directiva marco del agua. *Ingeniería Civil*. 143.

HATTERMANN, F.F., KRYSANOVA, V., HABECK, A. and BRONSTERT, A., 2006. Integrating wetlands and riparian zones in river basin modelling. *Ecological Modelling*, **199**(4), pp. 379-392.

INOCAR, 2010. Memoria Técnica de la comisión realizada en el área del Río Guayas sur. 29 de noviembre al 08 de diciembre del 2009. Instituto Oceanográfico del Armada. Guayaquil. 183p.

LENANTON, R.C.J., POTTER, I.C., LONERAGAN, N.R. and CHRYSTAL, P.J., 1984. Age structure and changes in abundance of three important species of teleost in a eutrophic estuary (Pisces: Teleostei). *Journal of zoology*, **203**(3), pp. 311-327.

MARTÍN, J., 2007. Ingeniería de ríos. Universidad Politécnica de Catalunya. 404p.

MCCOMB, A. and LUKATELICH, 1995. The Peel-Harvey estuarine system, Western Australia. (Ed.). CRC Press Inc., London (1995), pp. 5–17.

MCCOMB, A.J. and HUMPHRIES, R., 1992. Loss of nutrients from catchments and their ecological impacts in the Peel-Harvey estuarine system, Western Australia. *Estuaries*, **15**(4), pp. 529-537.

MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, 2012. Estudio de impacto ambiental del puente peatonal de la Isla Santay. Informe técnico. Geoestudios S.A.

MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2000. Estrategias de adaptación al cambio climático en la cuenca baja del río Guayas y golfo interior de Guayaquil. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 105p.

PROMAS, 2016. Estudio para el levantamiento de línea base y propuesta de reordenamiento del sistema hidráulico del cantón Durán y diseño de la recuperación paisajista de un canal de aguas lluvia. Universidad de Cuenca. Cap.5. 53p.

SECRETARIA DEL AGUA, 2014. Estudio de impacto ambiental (EsIA) para el dragado del canal este del islote “El Palmar” ubicado en el río Guayas. Informe técnico. Consultora Vera y asociados.

SECRETARIA NACIONAL DE GESTIÓN DE RIESGOS, 2012. Informe de Gestión. Cap. V. 35p.

SEILLS, B., SNCHEZ GOI, M.F., LEDRU, M., URREGO, D.H., MARTINEZ, P., HANQUIEZ, V. and SCHNEIDER, R., 2015. Holocene landsea climatic links on the equatorial Pacific coast (Bay of Guayaquil, Ecuador). *The Holocene*.

SIERRA, R., 1996. Mapa de Vegetación Remanente del Ecuador Continental.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN, 2013. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1:25 000. Geomorfología. 40p.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN, 2013. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1:25 000. Geopedología. 63p.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN, 2013. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1:25 000. Sistemas productivos. 85p.

WILDSMITH, M.D., ROSE, T.H., POTTER, I.C., WARWICK, R.M., CLARKE, K.R. and VALESINI, F.J., 2009. Changes in the benthic macroinvertebrate fauna of a large microtidal estuary following extreme modifications aimed at reducing eutrophication. *Marine pollution bulletin*, **58**(9), pp. 1250-1262.

Páginas Web Consultadas

- <http://www.geoportalmgm.gob.ec/portal/>
- <http://sni.gob.ec/inicio>
- <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- <http://mathworld.wolfram.com/LagrangeInterpolatingPolynomial.html>
- <http://www.ecoshape.nl/overview-bwn.html>
- <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>
- <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php>

ANEXO I: Resumen de análisis de calidad de agua y suelos del Río Guayas.

Análisis de la Calidad de Agua del río Guayas							Análisis de Calidad de sedimentos del río Guayas			
Parámetro	Unidades	Estudios de Impacto Ambiental				Límites máximos permisibles	Parámetro	Unidades	EIA: Dragado del islote El Palmar ^a	Valores de referencia ^{**}
		Dragado del islote El Palmar ^a	Monitoreo del Río Guayas ^b	Puente peatonal Santay ^c	Muelle Expalsa ^d					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l de O2	18-24	3-10	2,1-5,5	52,7	30*	Fósforo total	ppm	48 - 58	-
Demanda Química de Oxígeno	mg/l de O2	29-52	5-96	12-17		-	Nitrógeno total	%	0,16 - 0,20	0,1 - 0,2
Carbamatos	mg/l	< 0,02	ND	ND		-	Materia orgánica	%	1,11 - 1,81	2-8
Compuestos organoclorados	mg/l	< 0,14	ND	ND		0,14	pH	pH	7,3	6,5 - 9,5
Compuestos organofosforados	mg/l	< 0,05	ND	< 0,01		0,01			EIA: Muelle Expalsa ^d	
Coliformes fecales	NMP/100ml	32-1850	-	< 200	ND	200	Antimonio	mg/Kg	< 0,2	-
Coliformes totales	NMP/100ml	96-5000	-	-	93 - 460	-	Arsénico	mg/Kg	2,25	5
Sólidos disueltos totales	mg/l	894-4355	-	-		-	Cadmio	mg/Kg	< 0,1	0,5
Sólidos suspendidos totales	mg/l	-	-	-	508,4 - 634,0	-	Cianuro	mg/Kg	< 0,25	0,25
Sólidos totales	mg/l	1580-7180	-	-	-	-	Cromo total	mg/Kg	19	20
Hidrocarburos totales de petróleo	mg/l	ND	< 0,5	< 0,5	ND	0,5	Mercurio	mg/Kg	< 0,1	0,1
Mercurio	mg/l	0,0014 - 0,0171	-	< 0,05		0,0002	Plomo	mg/Kg	3	25
Cadmio	mg/l	ND	> 0,001	< 0,005		0,001	Hidrocarburos totales de Petróleo	mg/Kg	< 50	-
Arsénico	mg/l	0,004- 0,0701	-	-		0,05	Compuestos organoclorados	mg/Kg	< 1,44	-
Plomo	mg/l	0,0008-0,0021	0,3	-		-	Compuestos organofosforados	mg/Kg	< 0,98	-
Amoniaco	mg/l	-	-	-	0,002	0,4	Carbamatos	mg/Kg	< 0,44	-
Cromo total	mg/l	0,0155	0,002 - 0,3	0,2		0,05				
Cianuro	mg/l	0,004 - 0,013	-	-		0,01				
Oxígeno disuelto	mg/l	-	-	-	3,01	> 5				
Aceites y grasas	mg/l	-	-	-	61-295	0,3				
		Monitoreo ambiental de 24 horas río Guayas (2014)								
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l de O2	1-16				30*				
Conductividad	uS/cm	4322 - 4843				-				
Salinidad	g o/oo	2,4 - 2,7				-				
Sólidos sedimentables totales	mg/l	0,2 - 1,4				-				

a: Secretaria del Agua, 2014
b: Gobierno autónomo descentralizado provincial del Guayas, 2012
c: Ministerio de desarrollo humano y vivienda, 2012
d: Carbono Neutral, 2010
* Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL- 1996
** Calidad del suelo, Anexo 2, del Libro VI: De la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente

ANEXO II: Evaluación por el método RQI (Riparian Quality Index) de un tramo del Río Guayas, modificado de González et al, 2006

		12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Continuidad longitudinal de vegetación riparia natural (estrato arbóreo y arbustivo)	Margen Izquierda	No presenta cobertura vegetal natural												0
	Margen derecha	Aproximadamente el 35% de la superficie de ribera corresponde a fragmentos de cobertura arbórea y arbustiva asociadas al río												4
<i>Parámetro: porcentaje de cobertura longitudinal de corredor ripario</i>		Óptimo: Corredor denso, mayor al 75%			Bueno: Bosquetes, entre 50% y 75%			Regular: Pequeños bosquetes, entre 25% y 50%			Malo: Ribera aclarada, menor al 25%			
Dimensiones en anchura del espacio ripario	Margen Izquierda	No presenta cobertura vegetal natural												0
	Margen derecha	Promedio de anchura del corredor es de 50m, sin embargo en la zona la variabilidad de medidas es alta, así el norte presenta anchos entre 15m y 30m, mientras el sur anchos mayores a 100m												8
<i>Valle tipo IV: relieve plano, zona de humedales por desbordamientos de cauces; Parámetro: anchura en metros del corredor ripario.</i>		Óptimo: mayor a 50m			Bueno: entre 25m y 50m			Regular: entre 10m y 25m			Malo: menor de 10m			
Composición y estructura de la vegetación riparia	Margen Izquierda	4	3	2	1	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	Margen derecha	No presenta cobertura vegetal natural				No presenta cobertura vegetal natural								3
<i>Puntuación 1 a 4, para coberturas en la orilla; y de 1 a 8 para las condiciones tras la orilla.</i>		Ó: Bosque denso	B: Matorrales altos	R: Árboles, arbustos dispersos	M: Vegetación herbácea dominante	Ó: Bosque de galería cerrados o sotos muy densos (mayor 2,5m de altura)	B: Bosques de galería o sotos arbustivos, mas 30% de herbáceas	R: formaciones arbóreas o arbustivas abiertas, con especies introducidas	M: Vegetación herbácea dominante, alineaciones de árboles introducidos					
Condiciones de las orillas	En condiciones de bankfull, menos del 50% de la lámina de agua está en contacto con vegetación herbácea y leñosa. Las orillas presentan síntomas de actividades antrópicas, sin estructuras rígidas													
	Óptimo: orillas irregulares y sinuosas, sin síntomas de alteración			Bueno: orillas irregulares, con alteración en una de las márgenes			Regular: orillas rectificadas, inestabilidad leve por causas antrópicas			Malo: orillas rectificadas, por obras de canalización con estructuras rígidas, síntomas de erosión				4
Conectividad transversal del cauce con sus riberas	A lo largo del margen izquierdo, se emplaza el "malecón 2000" (barrera para impedir el desbordamiento del río); mientras las orillas del margen izquierdo son de muy baja cota, se suelen inundar con periodicidad elevada, sin embargo, existen planes de regulación para el control del caudal, como el dragado de sedimentos del río.													
	Óptimo: Las riberas se inundan con periodicidad elevada, sobre un perfil llano. No existe restricción al desbordamiento de agua			Bueno: riberas se inundan con periodicidad entre 5 y 10 años, existencia de cierta restricción al desbordamiento			Regular: orillas sobre elevadas, inundaciones con poca frecuencia, existe restricciones al desbordamiento			Malo: riberas solo se inundan por avenidas extraordinarias con retorno superior a 30 años, y existen fuertes restricciones al desbordamiento				6
Permeabilidad de los materiales y grado de alteración del relieve de las riberas	Se presentan espacios continuos compactados mayor al 20% de su superficie, dificultando la infiltración y la regeneración natural; evidenciado por los caminos para el paso del ganado. Existen materiales de relleno, especialmente en la zona urbana cercana a las riberas, como medidas de protección para las inundaciones.													
	Óptimo: no presenta síntomas de compactación, se mantiene buenas condiciones de infiltración. Ausencia de excavaciones y rellenos. Relieve de las riberas en estado natural.				Bueno: pequeños senderos o espacios compactados (paso de ganado, vehículos, actividades recreativas). Suelos de las riberas laboreados para cultivos agrícolas o forestales. Excavaciones y rellenos muy poco intensos. El relieve de las riberas presenta un grado de alteración ligero.				Regular: espacios continuos muy compactados o sellados, dificultan la infiltración y regeneración de la vegetación natural. El suelo ha sido alterado en su composición granulométrica o se han introducido materiales alóctonos. Extracciones o acopio de áridos, o por depósito de tierras.				Malo: suelos compactados o sellados en más del 20 % de su superficie, comprometiendo la infiltración de las aguas. O el perfil del suelo ha sido alterado severamente en su composición granulométrica, o son abundantes los materiales alóctonos. O los movimientos de tierras han modificado severamente el relieve natural.	5
RQI total													30	

ANEXO III: Caudales medios diarios del río Guayas, ordenados de mayor a menor. (Caudales clasificados), compilación de datos de anuarios hidrológicos del INAMHI

Mes	Día	Caudal (m3/s)	Mes	Día	Caudal (m3/s)	Mes	Día	Caudal (m3/s)	Mes	Día	Caudal (m3/s)
1	1	2865,74	4	92	1461,48	7	183	346,53	10	275	179,37
1	2	2700,12	4	93	1440,29	7	184	338,81	10	276	179,32
1	3	2699,48	4	94	1436,82	7	185	334,68	10	277	179,14
1	4	2598,94	4	95	1433,32	7	186	334,67	10	278	178,53
1	5	2585,47	4	96	1428,67	7	187	330,50	10	279	178,53
1	6	2549,45	4	97	1407,87	7	188	328,28	10	280	178,02
1	7	2505,92	4	98	1396,99	7	189	312,70	10	281	177,71
1	8	2496,11	4	99	1377,58	7	190	302,06	10	282	177,54
1	9	2445,87	4	100	1376,78	7	191	296,70	10	283	177,50
1	10	2428,58	4	101	1375,96	7	192	296,58	10	284	176,83
1	11	2396,02	4	102	1375,16	7	193	295,39	10	285	176,59
1	12	2385,00	4	103	1371,82	7	194	293,98	10	286	176,39
1	13	2381,89	4	104	1355,48	7	195	291,72	10	287	174,36
1	14	2374,81	4	105	1350,35	7	196	291,22	10	288	171,36
1	15	2371,28	4	106	1350,32	7	197	287,47	10	289	171,12
1	16	2347,72	4	107	1335,30	7	198	282,24	10	290	170,83
1	17	2335,92	4	108	1322,69	7	199	281,58	10	291	170,48
1	18	2332,74	4	109	1320,85	7	200	280,51	10	292	169,42
1	19	2329,54	4	110	1307,78	7	201	280,47	10	293	169,09
1	20	2316,89	4	111	1284,31	7	202	278,97	10	294	169,05
1	21	2303,56	4	112	1253,52	7	203	278,54	10	295	168,98
1	22	2277,38	4	113	1252,89	7	204	273,67	10	296	168,66
1	23	2267,03	4	114	1227,31	7	205	270,70	10	297	167,80
1	24	2231,70	4	115	1195,28	7	206	268,95	10	298	167,66
1	25	2224,90	4	116	1179,84	7	207	267,89	10	299	167,63
1	26	2205,58	4	117	1166,91	7	208	267,67	10	300	167,50
1	27	2166,38	4	118	1157,94	7	209	263,21	10	301	167,29
1	28	2162,81	4	119	1139,05	7	210	258,46	10	302	166,91
1	29	2155,92	4	120	1137,18	7	211	255,97	10	303	165,87
1	30	2070,88	4	121	1118,12	7	212	243,19	10	304	164,96
1	31	2063,18	5	122	1108,49	7	213	242,57	10	305	164,88
2	32	2048,11	5	123	1098,88	8	214	242,23	11	306	164,83
2	33	2038,98	5	124	1093,20	8	215	240,87	11	307	163,68
2	34	2037,80	5	125	1084,04	8	216	240,02	11	308	163,19
2	35	2030,36	5	126	1050,49	8	217	239,96	11	309	162,89
2	36	2025,68	5	127	1035,89	8	218	239,41	11	310	162,77
2	37	2018,70	5	128	1013,92	8	219	239,29	11	311	161,99
2	38	1991,72	5	129	942,95	8	220	238,88	11	312	161,99
2	39	1987,38	5	130	931,40	8	221	238,55	11	313	161,77
2	40	1976,94	5	131	900,56	8	222	238,38	11	314	160,68
2	41	1975,14	5	132	877,81	8	223	237,41	11	315	159,75
2	42	1951,52	5	133	875,59	8	224	237,09	11	316	159,64
2	43	1948,32	5	134	870,46	8	225	236,97	11	317	158,42
2	44	1940,63	5	135	852,03	8	226	236,87	11	318	155,76
2	45	1936,99	5	136	766,99	8	227	235,06	11	319	154,97
2	46	1917,56	5	137	716,84	8	228	233,19	11	320	153,14
2	47	1900,84	5	138	681,94	8	229	231,70	11	321	152,13
2	48	1895,93	5	139	665,33	8	230	231,68	11	322	151,52
2	49	1881,70	5	140	613,54	8	231	231,29	11	323	151,31
2	50	1877,68	5	141	610,22	8	232	229,81	11	324	149,40
2	51	1875,13	5	142	606,20	8	233	227,47	11	325	148,99
2	52	1873,57	5	143	583,75	8	234	226,39	11	326	148,94

Máster en Restauración de Ecosistemas, UAH, 2015-2016.

2	53	1832,13	5	144	541,83	8	235	224,20	11	327	148,56
2	54	1820,17	5	145	541,06	8	236	224,12	11	328	146,91
2	55	1788,13	5	146	539,32	8	237	222,11	11	329	146,82
2	56	1787,80	5	147	532,06	8	238	221,51	11	330	146,32
2	57	1786,81	5	148	527,17	8	239	219,99	11	331	145,91
2	58	1783,61	5	149	520,34	8	240	219,78	11	332	145,40
2	59	1777,14	5	150	517,38	8	241	219,70	11	333	144,30
2	60	1777,03	5	151	515,16	8	242	219,48	11	334	144,30
3	61	1775,53	5	152	506,77	8	243	219,15	11	335	144,09
3	62	1733,07	6	153	493,48	8	244	216,71	12	336	142,88
3	63	1713,74	6	154	492,90	9	245	216,23	12	337	141,52
3	64	1701,09	6	155	487,59	9	246	215,92	12	338	139,97
3	65	1691,24	6	156	486,58	9	247	215,60	12	339	139,52
3	66	1683,52	6	157	475,92	9	248	215,55	12	340	138,19
3	67	1668,12	6	158	473,43	9	249	214,42	12	341	137,96
3	68	1650,32	6	159	467,13	9	250	213,76	12	342	137,90
3	69	1628,96	6	160	460,80	9	251	213,20	12	343	137,14
3	70	1620,56	6	161	456,68	9	252	210,26	12	344	136,99
3	71	1618,12	6	162	449,31	9	253	210,04	12	345	136,81
3	72	1608,03	6	163	440,59	9	254	208,82	12	346	136,79
3	73	1604,19	6	164	438,78	9	255	207,21	12	347	136,78
3	74	1595,19	6	165	422,68	9	256	207,10	12	348	136,17
3	75	1591,96	6	166	422,54	9	257	206,93	12	349	135,96
3	76	1589,80	6	167	420,96	9	258	206,86	12	350	135,69
3	77	1580,07	6	168	415,44	9	259	204,58	12	351	135,49
3	78	1568,48	6	169	413,89	9	260	204,00	12	352	135,13
3	79	1551,33	6	170	413,66	9	261	199,33	12	353	134,02
3	80	1549,91	6	171	413,65	9	262	198,67	12	354	133,28
3	81	1546,85	6	172	408,82	9	263	196,70	12	355	130,10
3	82	1540,49	6	173	406,83	9	264	194,85	12	356	128,10
3	83	1540,31	6	174	402,37	9	265	192,86	12	357	127,03
3	84	1520,80	6	175	394,01	9	266	190,26	12	358	126,77
3	85	1520,69	6	176	390,55	9	267	189,33	12	359	125,58
3	86	1518,98	6	177	378,80	9	268	189,29	12	360	125,51
3	87	1517,80	6	178	365,93	9	269	188,59	12	361	123,23
3	88	1503,00	6	179	364,70	9	270	187,67	12	362	118,47
3	89	1488,89	6	180	363,57	9	271	187,45	12	363	118,25
3	90	1485,56	6	181	358,70	9	272	186,42	12	364	118,16
3	91	1480,78	6	182	352,99	9	273	185,25	12	365	118,02
						9	274	182,40	12	366	114,75