



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LAS CARACTERÍSTICAS
SEDIMENTOLÓGICAS A LO LARGO DEL RÍO GUAYAS, ENTRE LAS
COORDENADAS 2°08' S, 79°49'W Y 2°23'S, 79°54'W**

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO EN GEOLOGÍA

Presentado por:

DANNY POLIVIO ALARCÓN ALARCÓN

GUAYAQUIL - ECUADOR

2018

DEDICATORIA

A mis padres Manuel Polivio Alarcón López (+) y María Rebeca Alarcón Flores, hermanos y hermanas, quienes me han sabido brindar su apoyo incondicional, y me han sabido apoyar en todo momento para que culminara esta etapa de mi vida.

A mi esposa María Cecibel Castillo Olvera, quien, en los momentos más difíciles de mis estudios, estuvo apoyándome con su amor incondicional para que siguiera adelante y culminara mi carrera.

A mi hijo Daniel Alarcón, quien fue mi fuente de inspiración para no desfallecer y seguir adelante.

Danny Polivio Alarcón Alarcón.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida.

Al M.Sc. Miguel González, quien con sus vastos conocimientos y entrega fue el motor fundamental para la realización de este proyecto.

Al M.Sc. Daniel Garcés, por su paciencia, apoyo, y aporte brindado a lo largo de este trabajo.

A la Msg. Patricia Villa, por su invaluable ayuda y consejos en la elaboración de este trabajo.

Al Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) por permitirme utilizar la información recolectada por sus técnicos.

Danny Polivio Alarcón Alarcón.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Danny Polivio Alarcón Alarcón, y doy mi 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”.

Danny Polivio Alarcón Alarcón

EVALUADORES

MSc. David Altamirano
MIEMBRO EVALUADOR

MSc. Miguel González
MIEMBRO EVALUADOR

Msg. Patricia Villa
MIEMBRO EVALUADOR

RESUMEN

La acumulación de sedimentos en el río Guayas es una realidad que se ha vivido por años, sin embargo, en estos últimos periodos ha presentado un aumento considerable, provocando formaciones de nuevos bancos de arena. Este trabajo tiene como objetivo determinar las zonas más propicias a la acumulación y erosión de estos sedimentos, y como esto puede afectar a la ciudad de Guayaquil.

Para determinar estas zonas se realizó un estudio multitemporal en el río, con datos batimétricos, granulométricos, mineralógicos y de corriente (tanto en flujo como en reflujos), mediante el Software ArcGis 10.2, con el cual se realizaron los distintos mapas temáticos y finalmente se determinó la correlación que existe entre ellos.

A partir de los datos batimétricos, se obtuvieron los veriles barométricos y el Modelo Digital del Terreno, que ayudaron a determinar la morfología del área de estudio. Con los datos granulométricos se obtuvieron las curvas de distribución de los tamaños de grano de los sedimentos superficiales del fondo del río. Se pudo observar también el cambio de velocidad y dirección de la corriente, tanto en flujo como en reflujos.

Finalmente se pudo determinar la formación de dos bajos de arena, uno ubicado en la desembocadura del río Babahoyo y otro al SO de la isla Santay. De igual forma se determinó la acumulación de sedimentos al sector este de la isla Santay, la cual tiende a unirse a Durán.

Palabras Clave: Erosión, Acumulación, Análisis, Multitemporal

ABSTRACT

The accumulation of sediments in the Guayas River, is a reality that has been experienced for years. However, lately it has presented a considerable increase, causing formations of new sandbanks. Therefore, the main objective of this work is to determine the most suitable area for erosion and accumulation of sediments along the river channel, and how this can affect to the city of Guayaquil.

In order to determine these areas a multitemporal study was carried out on the river, by using bathymetric, mineralogical, grain size and river flow data, both in ebb and flow, using the ArcGis 10.2 software, in which the different thematic maps were done. And finally, the correlation between them is determined.

By using the bathymetric data, we obtained the bathymetric contour lines, and the Digital Terrain Model, which helps us to determine the morphology of the study area. With the grain size data, we obtained the granulometric curves of the superficial sediments of the bottom of the river. It was also possible to observe a change in the speed of the current and, in some cases, even a change in the speed's direction, both in flow and in reflux.

Finally, it was possible to determine the formation of two sand accumulations, one located at the mouth of the Babahoyo River and the other at the SW of Isla Santay. Likewise, sediment accumulation was determined in Sector East of Santay Island, which tends to join Durán.

Keywords: Erosion, Accumulation, Analysis, Multitemporal

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURA.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1	1
1. GENERALIDADES	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del Problema.....	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivos Generales	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO 2	4
2. MARCO GEOLÓGICO.....	4
2.1 Ubicación del Área de Estudio	5
2.2 Marco Hidrológico.....	6
2.3 Marco Geológico	6
2.3.1 Geología Regional	6
2.3.2 Geología Local.....	7
CAPÍTULO 3	9
3. METODOLOGÍA	9
3.1 Metodología.....	9

3.2	Procesamiento de Datos	11
3.2.1	Datos Batimétricos.....	11
3.2.2	Datos Granulométricos	15
3.2.3	Datos Mineralógicos.	20
3.2.4	Datos de Corrientes.....	21
CAPÍTULO 4	22
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	22
4.1	Análisis	23
4.1.1	Análisis batimétrico, granulométrico y corriente.....	24
4.2	Cálculo de volumen	37
4.3	Zonas de erosión.....	40
CAPÍTULO 5	42
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
5.1	Conclusiones.....	43
5.2	Recomendaciones.....	44

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada
WGS-84	World Geodetic System 1984
ASTM	American Society for Testing and Materials
prof.	Profundidad
Ma	Millones de años

SIMBOLOGÍA

°C	Grados Centígrados
km	Kilómetros
mm	Milímetros
m	Metros
N	Norte
S	Sur
W	Oeste
E	Este
SW	Suroeste
SE	Sureste
#	Número
m^3	Metros cúbicos

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 2. 1 Ubicación Geográfica del Área de Estudio (Datum WGS-84)	5
Figura 2. 2 Mapa geológico donde se puede apreciar la geología de la zona de estudio (EP Petroecuador y el IRD, 2012)	8
Figura 3. 1 Esquema gráfico de la metodología que se realizó para la elaboración del proyecto, así como las diferentes fases planteadas.....	10
Figura 3. 2 Mapas de curvas de nivel correspondiente a los años 2009 y 2010	12
Figura 3. 3 Mapas de curvas de nivel correspondiente a los años 2010 y 2018.	13
Figura 3. 4 Mapas de distribución aproximada de sedimentos correspondiente a los años 1996, 1997, 2000.....	16
Figura 3. 5 Mapas de distribución aproximada de sedimentos correspondiente a los años 2001, 2002, 2008.....	17
Figura 3. 6 Mapas de distribución aproximada de sedimentos correspondiente a los años 2009 y 2018.....	18
Figura 3. 7 Proceso del análisis mineralógico	20
Figura 4. 1 Mapa de variación de la corriente con respecto al tipo de sedimento. (a) Las flechas rojas y los números a su lado indican la dirección y velocidad de la corriente (flujo) en esos puntos, (b) las flechas verdes y los números indican la dirección e intensidad de la corriente (flujo) en esos puntos.....	23
Figura 4. 2 Mapa de variación de la dirección de la corriente con respecto a la morfología del río. Las flechas y los números a su lado indican la dirección y velocidad de la corriente en (a) flujo y (b) refluo.....	24
Figura 4. 3 Mapa de erosión y acumulación de sedimentos correspondiente al periodo 2009-2018	25
Figura 4. 4 Mapa de corriente de flujo en relación con la sedimentación en sector norte.	26
Figura 4. 5 Mapa de corriente de refluo en relación con la sedimentación.....	27
Figura 4. 6 MDT de la zona norte del área de estudio del año 2009	28
Figura 4. 7 MDT de la zona norte del área de estudio del año 2018	29
Figura 4. 8 Granulometría de la zona norte correspondiente al año 2009.....	30
Figura 4. 9 Granulometría de la zona norte correspondiente al año 2018.....	30
Figura 4. 10 Mapa de acumulación de sedimento zona central.....	32

Figura 4. 11 Mapas de relación de la corriente con la sedimentación de la zona central con datos de flujo y reflujos correspondientes al año 2014. (a) Reflujo, (b) flujo.....	32
Figura 4. 12 Mapas de relación de la corriente con la sedimentación de la zona central con datos de flujo y reflujos correspondientes al año 2000. (a) Flujo, (b) reflujos.....	33
Figura 4. 13 MDT de la zona centro del área de estudio del año 2009	34
Figura 4. 14 MDT de la zona centro del área de estudio del año 2018	35
Figura 4. 15 Mapa de análisis de sedimento y veriles barométricos	36
Figura 4. 16 Mapa Raster correspondiente a las batimetrías 2009 y 2018.	37
Figura 4. 17 Mapa Raster de la zona central.....	38
Figura 4. 18 Mapa Raster de la zona norte	38
Figura 4. 19 Mapa de la zona de estudio con muestras de los minerales y clastos encontrados en diferentes sitios a lo largo del cauce del río.	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1 Tabla de tamaños de celda utilizados para la interpolación de los sedimentos	19
Tabla 4. 1 Volumen del Área de Estudio.....	39
Tabla 4. 2 Volumen de la Zona norte del área de estudio	39
Tabla 4. 3 Volumen Zona central del área de estudio	39
Tabla 4. 4 Volumen de las zonas de estudios con sus respectivas áreas.....	39

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Introducción

La Cuenca del Guayas con un área de 34.500 km², abarca el sistema hidrográfico formado por las subcuencas de los ríos Daule y Babahoyo, los mismos que dan lugar a la formación del río Guayas en su confluencia en la Puntilla de Samborondón a una distancia de 5 km de la ciudad de Guayaquil. (Villa, P., et. al., 2016).

Los sedimentos trasportados por los ríos Daule y Babahoyo, desde la Cordillera Costera, y la parte baja de la Cordillera Occidental de los Andes, son depositados en el río Guayas. Esto es algo que se ha dado a lo largo de la historia, sin embargo, en los últimos años el aumento considerable de la sedimentación en el río Guayas es un tema de preocupación que debe ser analizado.

Los sedimentos que transportan los dos afluentes son de grano fino, correspondientes a sedimentos cuaternarios generalmente, los cuales están conformados en su mayoría por arenas, limos y arcillas, de origen aluvial.

El nacimiento del Islote el Palmar afecta de manera directa la velocidad de la corriente, provocando la acumulación de sedimentos en el río, y consecuentemente la formación de bancos de arena.

La sedimentación del río está afectando su profundidad, haciendo que la navegación de embarcaciones medianas y grandes sea cada vez más difícil. De igual forma, esto complica el drenaje de las aguas de la ciudad lo que podría aumentar el riesgo de inundaciones.

El presente trabajo tiene como finalidad determinar las zonas más propensas a la acumulación y erosión de sedimentos, y cuáles serían las futuras consecuencias que esto tendría.

1.2 Descripción del Problema

La intensa dinámica del sistema fluvial formado por los ríos Babahoyo y Daule, que forman al río Guayas, provoca la erosión y acumulación de sedimentos en gran cantidad, lo que genera la formación de bancos de arena que eventualmente se tornarían en un peligro para la navegación por esta zona, y que pueden provocar accidentes. Estos nuevos islotes podrían actuar como diques naturales que alterarían la dirección e intensidad de las corrientes, provocando el aumento de zonas de erosión y acumulación que a la larga crearían zonas de inundación en la ciudad de Guayaquil.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos Generales

Determinar zonas con mayor propensión a la acumulación y erosión de sedimentos que afecten la navegación a lo largo de la zona de estudio, y que puedan generar zonas de inundación en la ciudad de Guayaquil.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los tipos de sedimentos superficiales del fondo del río que predominan en el área de estudio, así como su distribución espacial aproximada.
- Hacer un análisis de proveniencia de los sedimentos, con muestras tomadas en el año en curso (marzo del 2018).
- Determinar la variación de la morfología del fondo del río dentro de las coordenadas de estudio, con datos batimétricos del 2009 hasta el 2018.
- Determinar la variación temporal en la orientación e intensidad de la corriente.

CAPÍTULO 2

MARCO GEOLÓGICO

2.1 Ubicación del Área de Estudio

El área de estudio se encuentra ubicada al suroeste de la República del Ecuador, la cual comprende una parte del río Daule y Babahoyo, (desde la urbanización Vista al Río, hasta La Puntilla), y un tramo del río Guayas, (desde La Puntilla, hasta aproximadamente la zona de Punta Miel), como se puede observar en la Figura 2.1.

Esta zona corresponde a la Carta Hidrográfica IOA-1072, que se encuentra en formato impreso a escala 1:25000 (INOCAR-2015), la cual ocupa las coordenadas geográficas comprendidas entre 79°49'W y 79°54'W de longitud, y entre 2°08'S y 2°23'S de latitud.

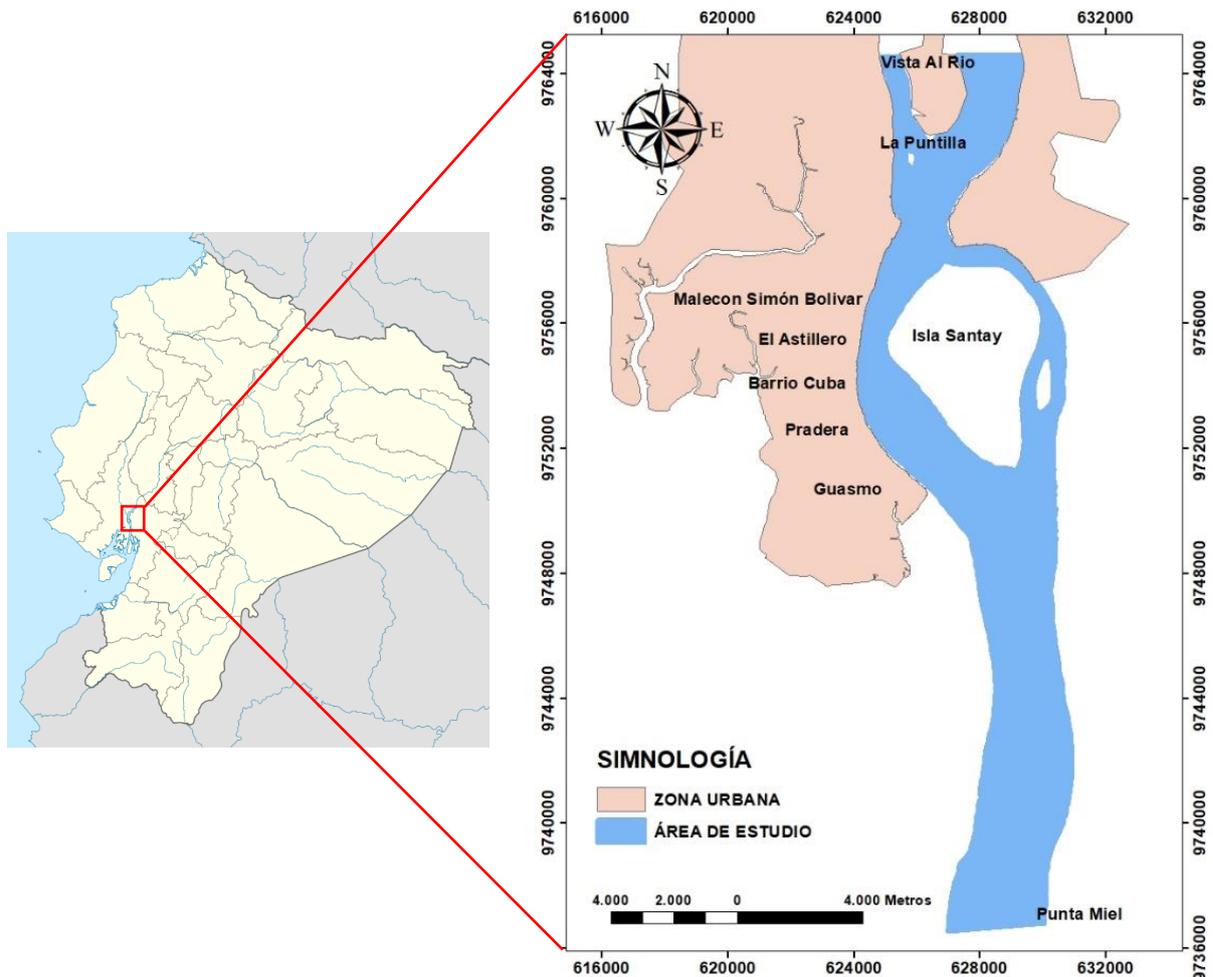


Figura 2. 1 Ubicación Geográfica del Área de Estudio (Datum WGS-84)

2.2 Marco Hidrológico

La cuenca del Guayas, la cual se encuentra conformada por los ríos Pagua, Balao, Naranjal, Chongón, Boliche, Taura, Yaguachi, Puebloviejo, Zapotal, Balzar, Quevedo, Vinces, Daule y Babahoyo, pertenece a la vertiente Occidental de la red hidrográfica nacional, y a su vez constituye el sistema fluvial más importante del Pacífico (Pinos, 2016).

Esta red de drenaje fluvial nace en las estribaciones de la Cordillera de los Andes y en la vertiente oriental de la Cordillera Costanera de Chongón Colonche, los cuales conforman los ríos Babahoyo y Daule respectivamente. Estos caudales se unen para dar origen al río Guayas, que tiene 93 km de longitud, medidos desde La Puntilla en la provincia del Guayas, hasta Punta Arenas, en la Isla Puná, para finalmente desembocar al Océano Pacífico en el Golfo de Guayaquil (INOCAR, 2010).

2.3 Marco Geológico

2.3.1 Geología Regional

El área de estudio se encuentra ubicada en la costa ecuatoriana, la cual se encuentra fuertemente relacionada con un margen activo de subsidencia entre la placa de Nazca y la Placa Sudamericana, que se originó hace aproximadamente 70 Ma. (Nuñez Del Arco, 2003). La convergencia entre estas dos placas dio como consecuencia la formación de las Cordilleras Andinas, la cual empezó hace 9-10 Ma. Posterior a eso en el Plioceno surgió la cuenca del Guayas, seguido de la formación de la Cordillera Costera a finales de la misma época. Este relieve costero incidió de manera directa en la concentración del drenaje a los pies del borde occidental de los Andes, y a su vez que este traslado de sedimentos se diera por dos medios:

- Al sur a través del Golfo de Guayaquil
- Al norte por los corredores de las fallas Esmeraldas y Bahía Ancón de Sardinias (Dumont et. al., 2007).

La cuenca del Guayas ocupa una posición de ante-arco, en ella se han estudiado unidades rocosas pertenecientes al Cretácico, Terciario y Cuaternario, cuyas formaciones se encuentran estrechamente relacionadas con:

- El degaste de las laderas y pie de la montaña de la cordillera de los Andes, y de la parte baja, que corresponde a los depósitos aluviales Cuaternarios, los cuales se encuentran constituidos por depósitos volcánicos de la Cordillera Occidental de los Andes.
- La Cordillera Costera, que está compuesta de material vulcano-sedimentario (Explasa, 2010).

2.3.2 Geología Local.

La zona de estudio se desarrolla en una llanura aluvial con una superficie plana predominante, en la cual prevalecen los sedimentos del Cuaternario y terrenos superficiales recientes. Estos sedimentos corresponden a depósitos formados por la acción de la deposición de materiales aluviales por corrientes fluviales, y están constituidos en su mayoría por arena, limos y arcillas.

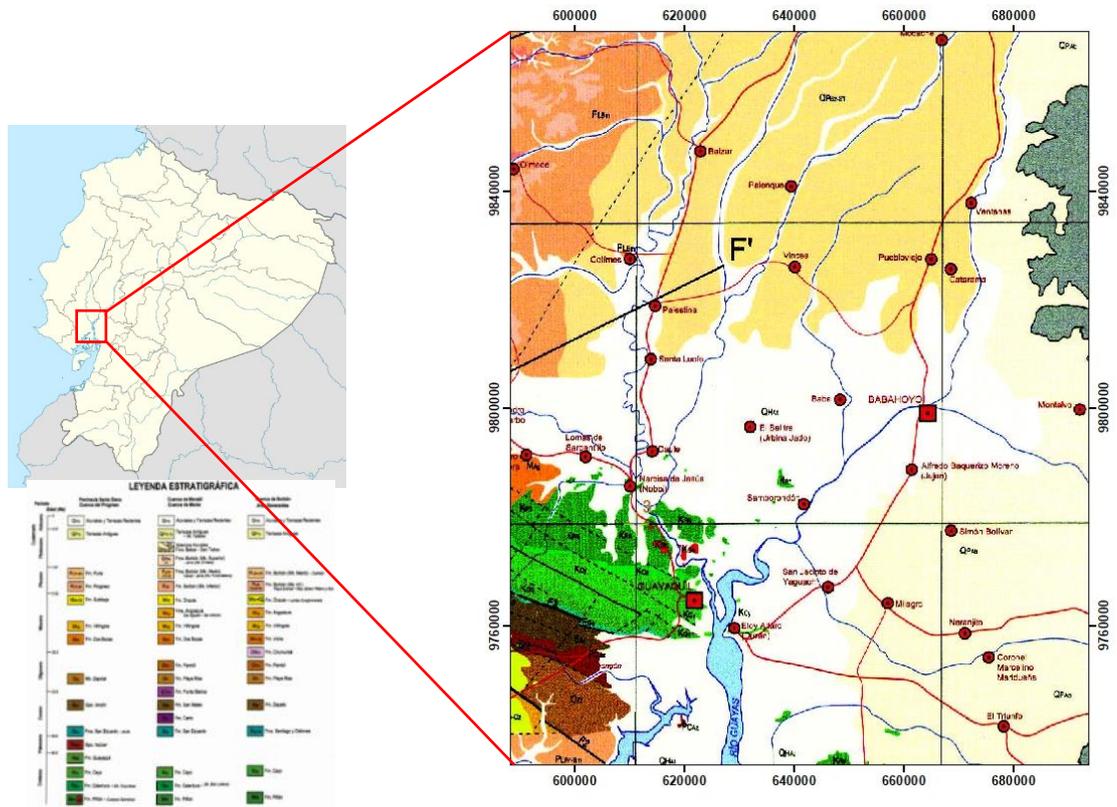


Figura 2. 2 Mapa geológico donde se puede apreciar la geología de la zona de estudio (EP Petroecuador y el IRD, 2012)

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 Metodología

Mediante el convenio marco de cooperación científica entre ESPOL e INOCAR (junio 2015), se procedió a hacer la petición, por parte de ESPOL al INOCAR, de los datos batimétricos, de corrientes y granulométricos, los cuales fueron proporcionados en distintos formatos dependiendo del tipo de archivo a analizar.

El desarrollo de este proyecto fue realizado siguiendo las fases detalladas a continuación, y se encuentra plasmada en la Figura 3.1.

Fase 1. Recopilación bibliográfica.

En esta fase se procedió a la recopilación de información bibliográfica (proyectos, investigaciones, informes, artículos de revistas), que se hayan realizado en la zona de estudio, y que puedan aportar información para el desarrollo del proyecto.

Fase 2. Procesamiento de datos.

Haciendo el uso del Software ArcGIS se trazó el polígono de la zona de estudio, con el cual se creó el archivo tipo “shape” base (Figura 2,1) para el procesamiento de los datos (batimétricos, granulométricos, mineralógicos y corriente). Posterior a esto se procedió a la revisión y filtrado de los datos, para luego darle el debido procesamiento, los cuales serán detallados más adelante.

Fase 3. Análisis de datos.

Esta fase consistió a la interpretación de la información obtenida de la fase 2, para así determinar la correlación que existe entre los distintos datos, lo que nos permitiría obtener las zonas de erosión y acumulación en el área de estudio.

Fase 4. Resultados.

Finalmente, en esta fase se procedió a determinar cuáles son las zonas de erosión y acumulación de sedimento, y como esto podría o no afectar a la ciudad de Guayaquil.

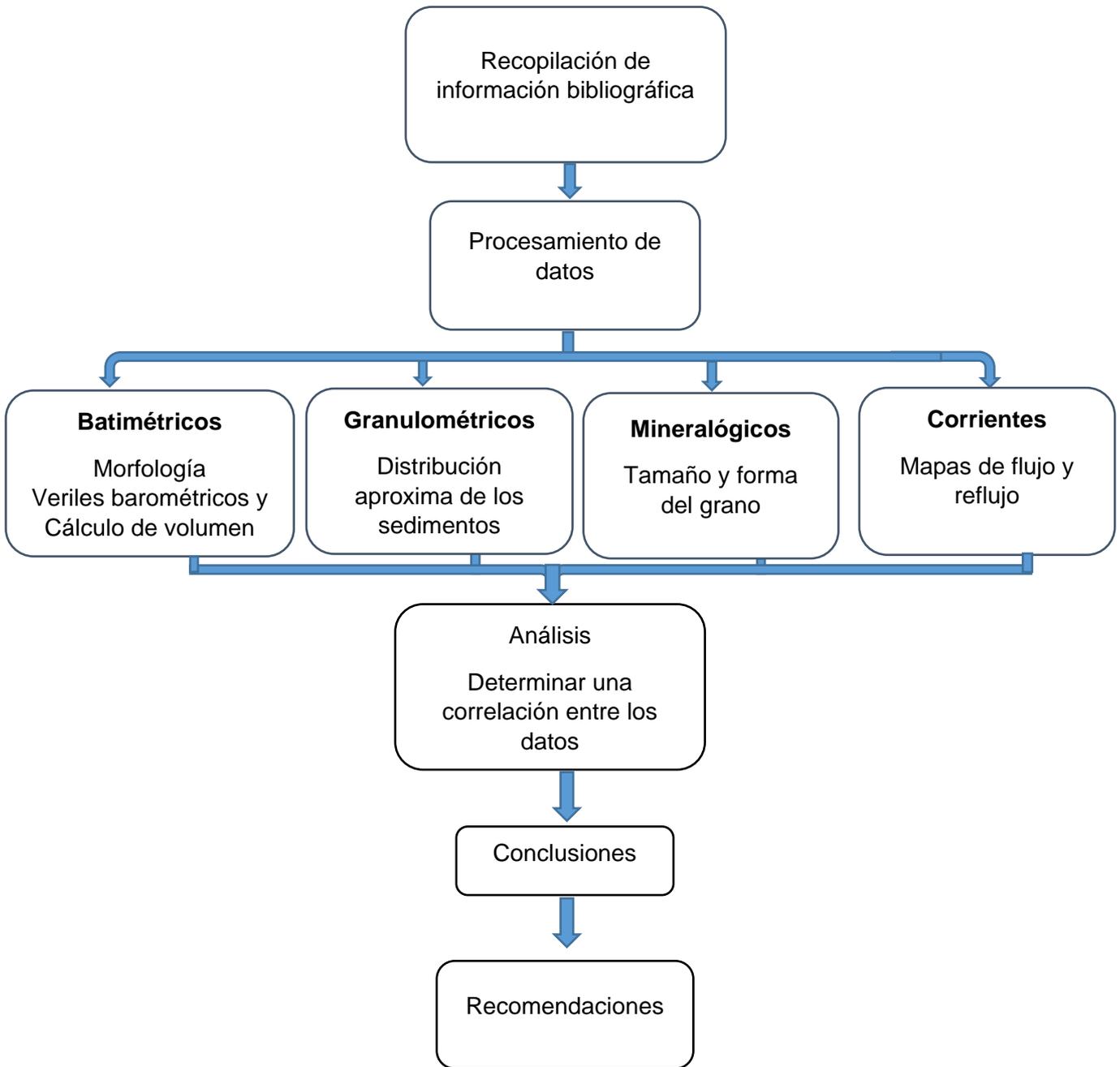


Figura 3. 1 Esquema gráfico de la metodología que se realizó para la elaboración del proyecto, así como las diferentes fases planteadas

3.2 Procesamiento de Datos

3.2.1 Datos Batimétricos

Los datos batimétricos fueron receptados en formato XYZ, los cuales fueron abiertos con el software Excel para posteriormente ser procesados en el Software ArcGis 10.2.

Los datos batimétricos fueron trabajados para la obtención de la siguiente información.

- Morfología del área de estudio
- Veriles barométricos
- Cálculo de volumen
- Zonas de erosión y acumulación

3.2.1.1 Morfología del área de estudio

Para determinar la morfología del área de estudio, se elaboró un modelo digital del terreno (MDT), siguiendo los pasos detallados a continuación:

1. Cargar los datos de batimetría en el Software Arcgis, y crear el shape de puntos.
2. Con la ayuda de la herramienta "Create TIN From Features" de la herramienta "3D Analyst" se procedió a crear los TIN. Los TIN son una forma de datos geográficos digitales basados en vectores, y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices (puntos).
3. Luego se procedió a la edición del TIN, utilizando como polígono de recorte, el shape base que hemos creado de acuerdo con nuestra zona de estudio (ver Anexo A).

3.2.1.2 Veriles batimétricos

Con el MDT ya elaborado se procedió a elaborar los veriles batimétricos, mediante la herramienta “Terrain and TIN Surface” → “Surface Countour”, que se encuentra en “3D Analyst”, con un intervalo de 0.5 m. (ver Figuras 3.2, y 3.3).

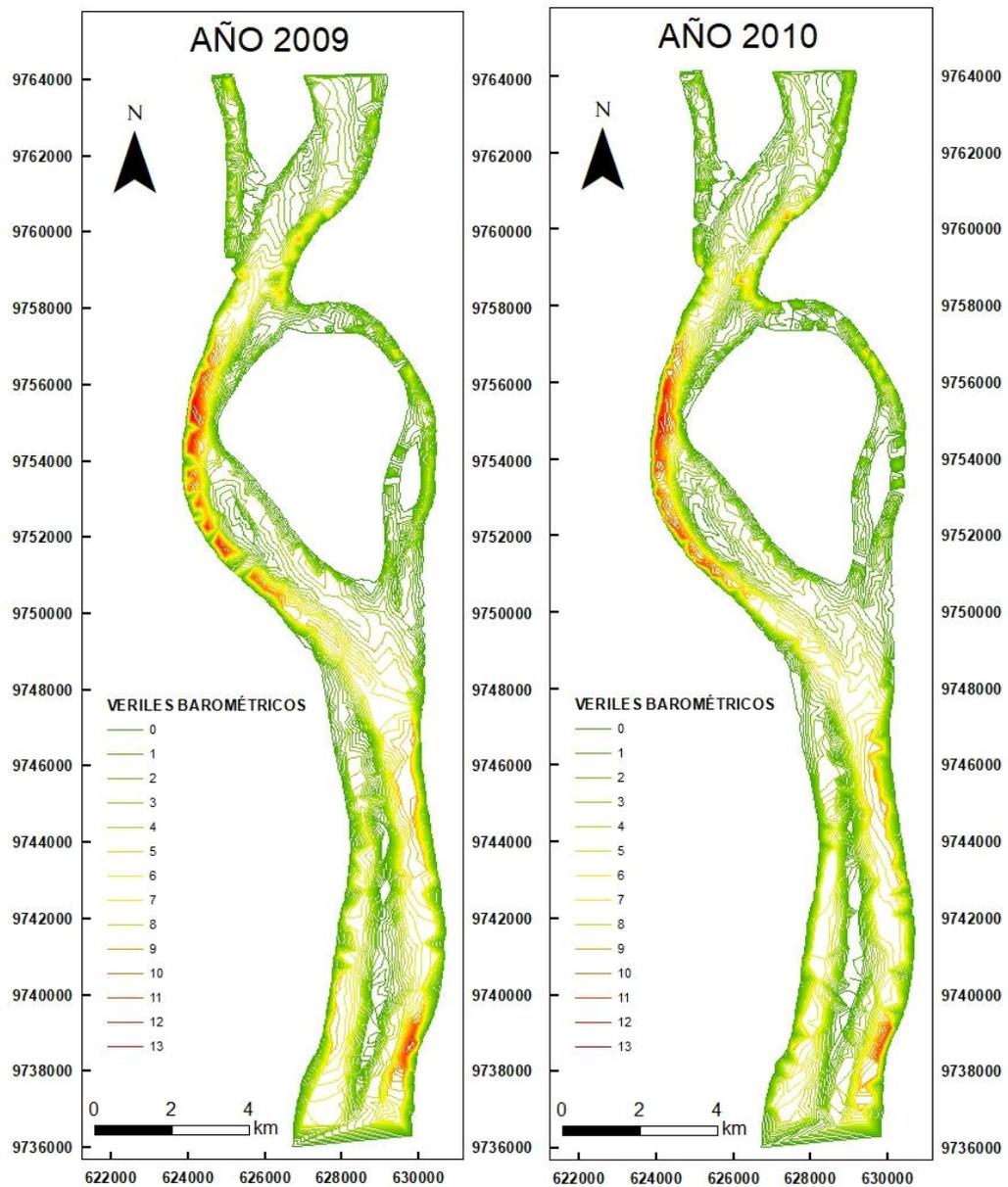


Figura 3. 2 Mapas de veriles batimétricos correspondiente a los años 2009 y 2010

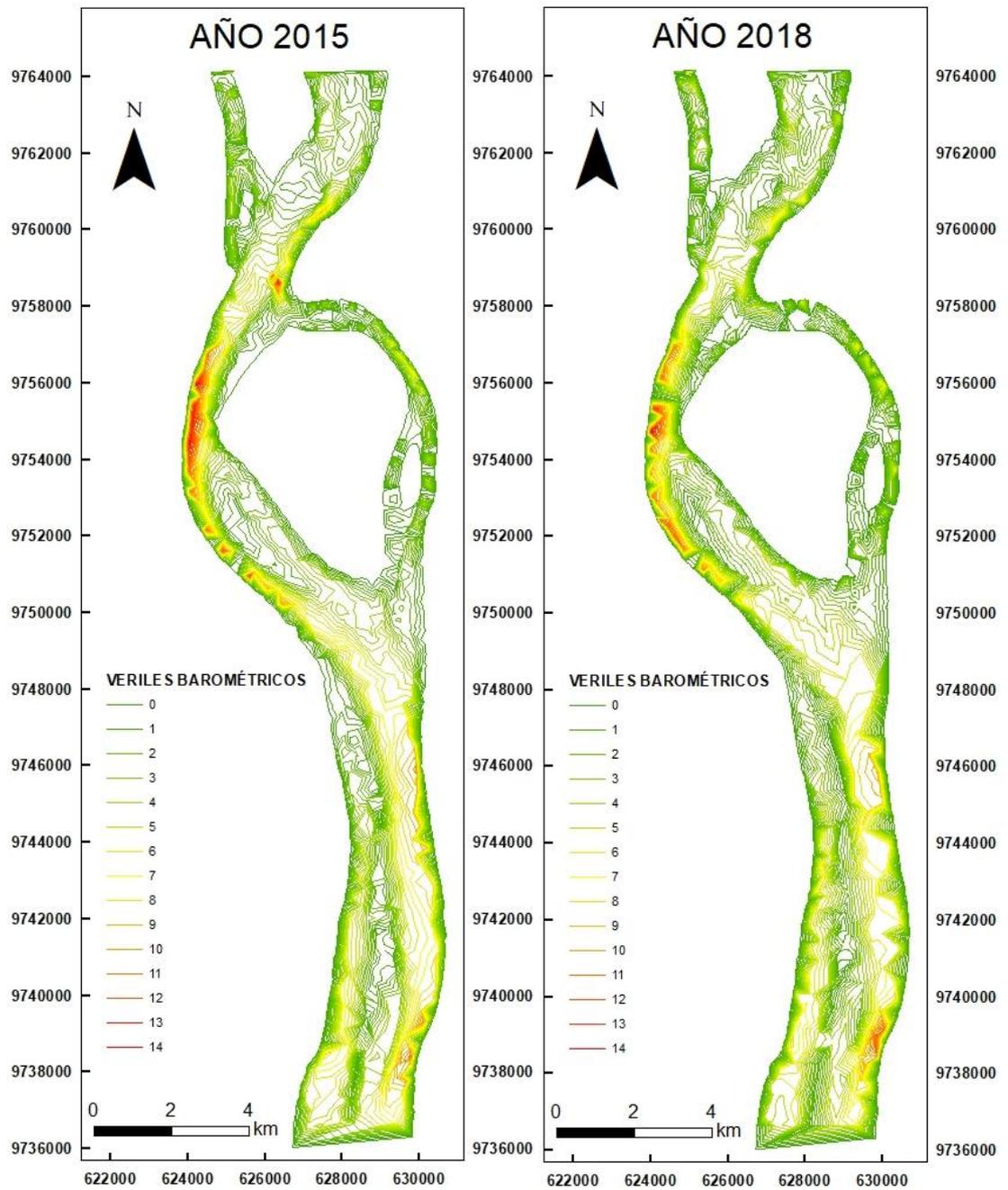


Figura 3. 3 Mapas de veriles batimétricos correspondiente a los años 2010 y 2018.

3.2.1.3 Cálculo de volumen

El cálculo de volumen se lo realizó mediante el software ArcGis 10.2, siguiendo los siguientes pasos.

3.2.1.3.1 Cálculo de volumen del Área de estudio

1. Se procedió a realizar los archivos Raster mediante la herramienta “Topo to Raster”, al cual se le dio un tamaño de celda de 20.
2. Mediante la herramienta “Extract by Mask”, se procedió a realizar la extracción de la zona de estudio.
3. Se procedió a clasificar los datos obtenidos en el Raster tomando solo los datos mayores a 0.
4. Con la herramienta “Surface Volume” ubicada en “3D Analysis tool”, se procedió a realizar el cálculo del volumen para los años 2009 y 2018, con un tamaño de celda de 1.

3.2.1.3.2 Cálculo de volumen por zona

Se realizó el cálculo de volumen por zona (norte, centro y sur) para determinar las zonas con mayor índice de sedimentación. Para ello se realizaron los siguientes pasos:

1. Se creó un shape base para cada zona delimitando el área a analizar.
2. Se procedió a realizar una extracción de cada zona mediante la herramienta “Extract by Mask”.
3. A continuación, se realizaron los pasos 3 y 4 de la sección anterior (sección 3.2.1.3.1), para cada zona.

3.2.1.4 Zonas de erosión y acumulación

Para determinar las zonas de erosión y acumulación desde el año 2009 hasta la actualidad, se procedió hacer la resta de los Raster creados en dichos periodos mediante la calculadora Raster, que se encuentra en “Spatial Analyst tool” → “Map Algebra” → “Raster Calculator”.

Bajo el procedimiento descrito se procedió a realizar el mapa de erosión y acumulación de sedimentos, que nos ayudará para el análisis de resultados.

3.2.2 Datos Granulométricos

Los datos granulométricos fueron receptados en formato Excel, (excepto el del 2018 el cual será explicado más adelante). Con estos datos se procedió a la elaboración de los distintos mapas de textura y de su posible distribución espacial para los diferentes años.

Los mapas de distribución aproximada de los sedimentos según su textura se realizaron siguiendo los siguientes pasos.

1. Procesar los datos receptados para su correcto análisis, (cambiar a coordenadas UTM, obtener los datos correspondientes a los sedimentos superficiales del fondo del río).
2. Cargar los datos en el software ArcGIS, para posteriormente crear el shape de puntos.
3. Mediante la herramienta “Spatial Analys tools” → “Interpolation” se procedió a realizar la interpolación con el método IDW, siendo este método de interpolación el que mostró las representaciones graficas más adecuadas.

Los modelos de distribución aproximada de sedimentos obtenidos por este método de interpolación se encuentran plasmados en las figuras 3.4, 3.5 y 3.6.

Los otros métodos de interpolación analizados fueron “Kriging” y “Natural Neighbors”, los cuales se los puede apreciar en los anexos B y C respectivamente.

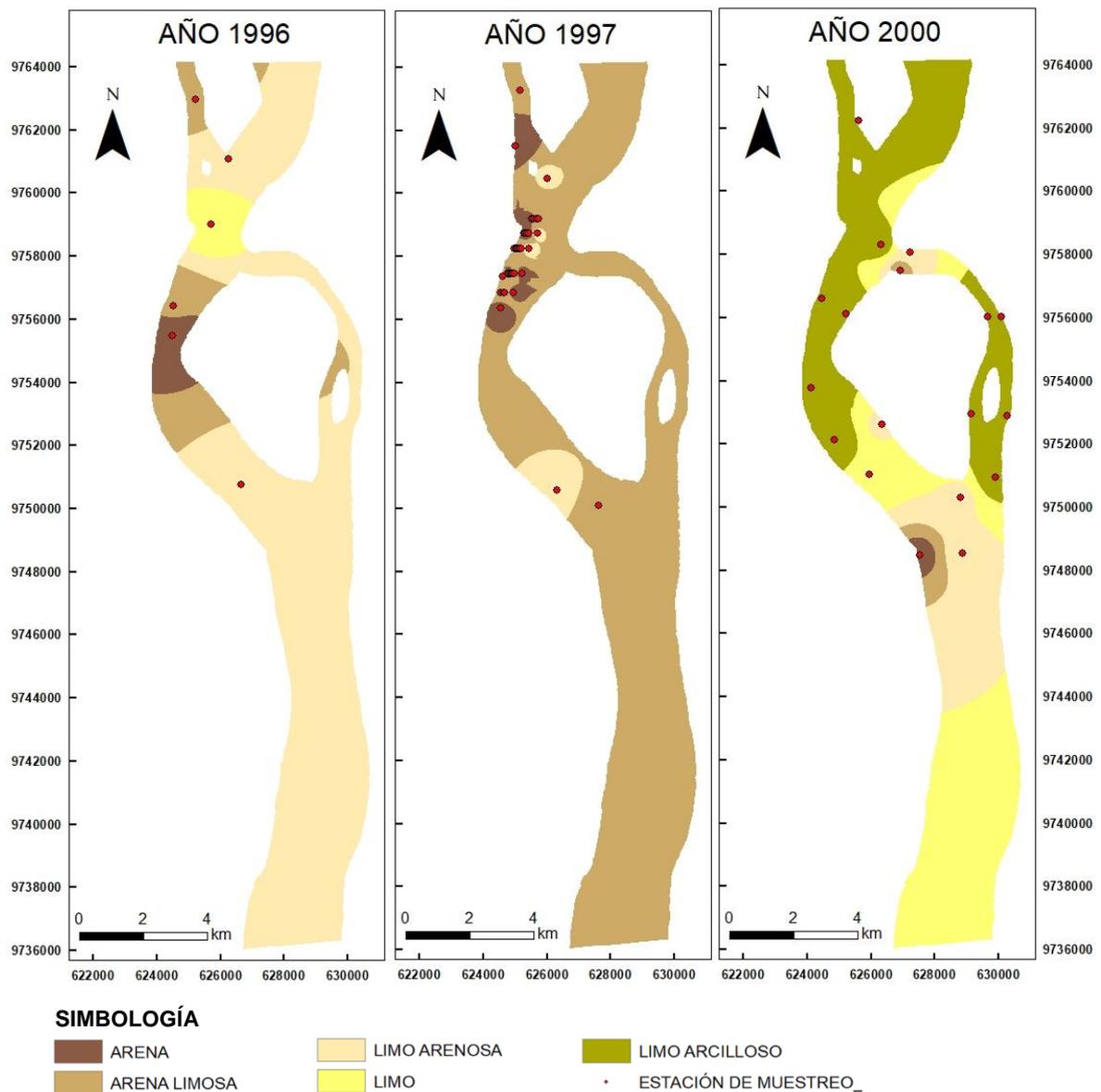


Figura 3. 4 Mapas de distribución aproximada de sedimentos correspondiente a los años 1996, 1997, 2000.

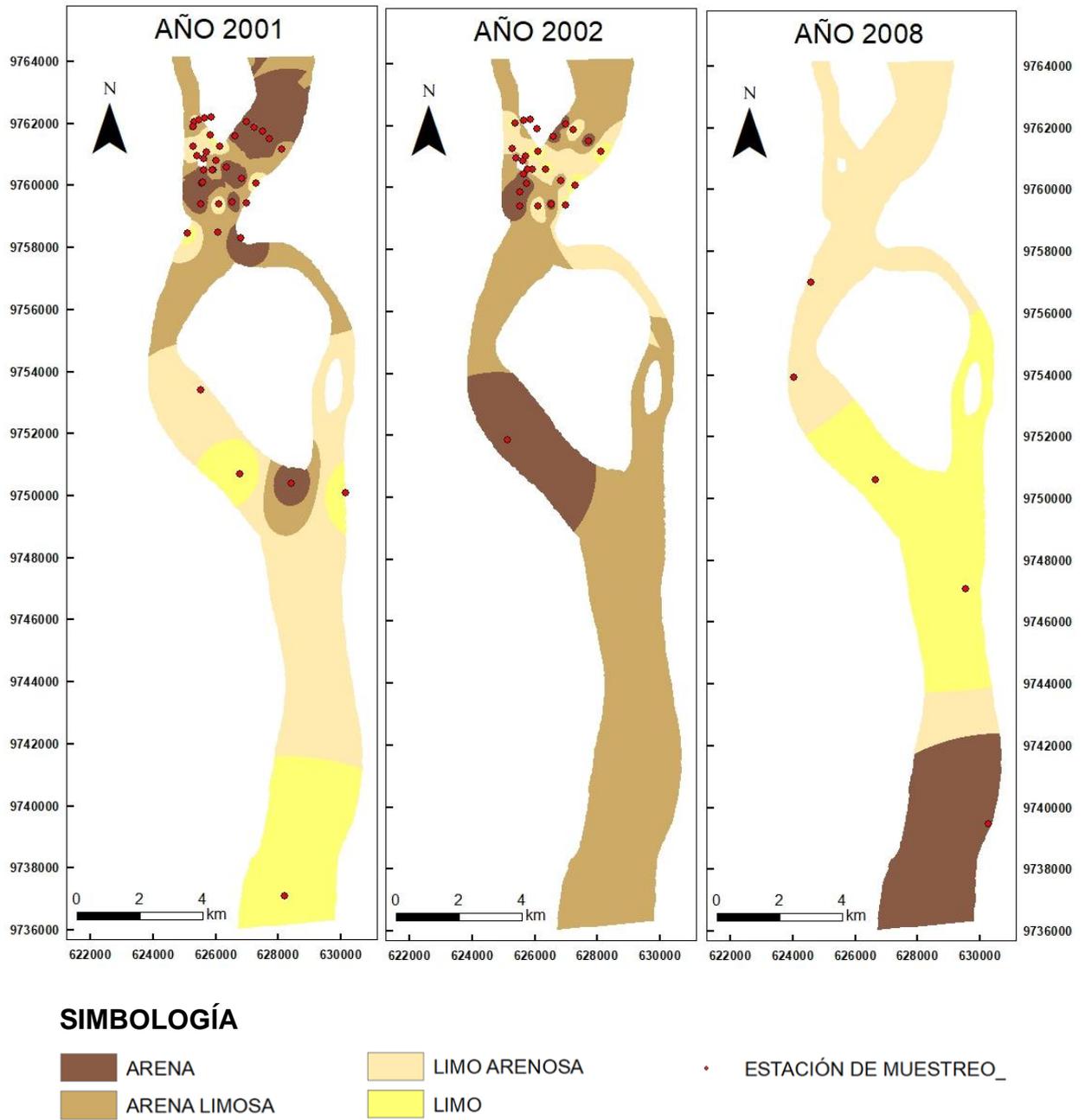
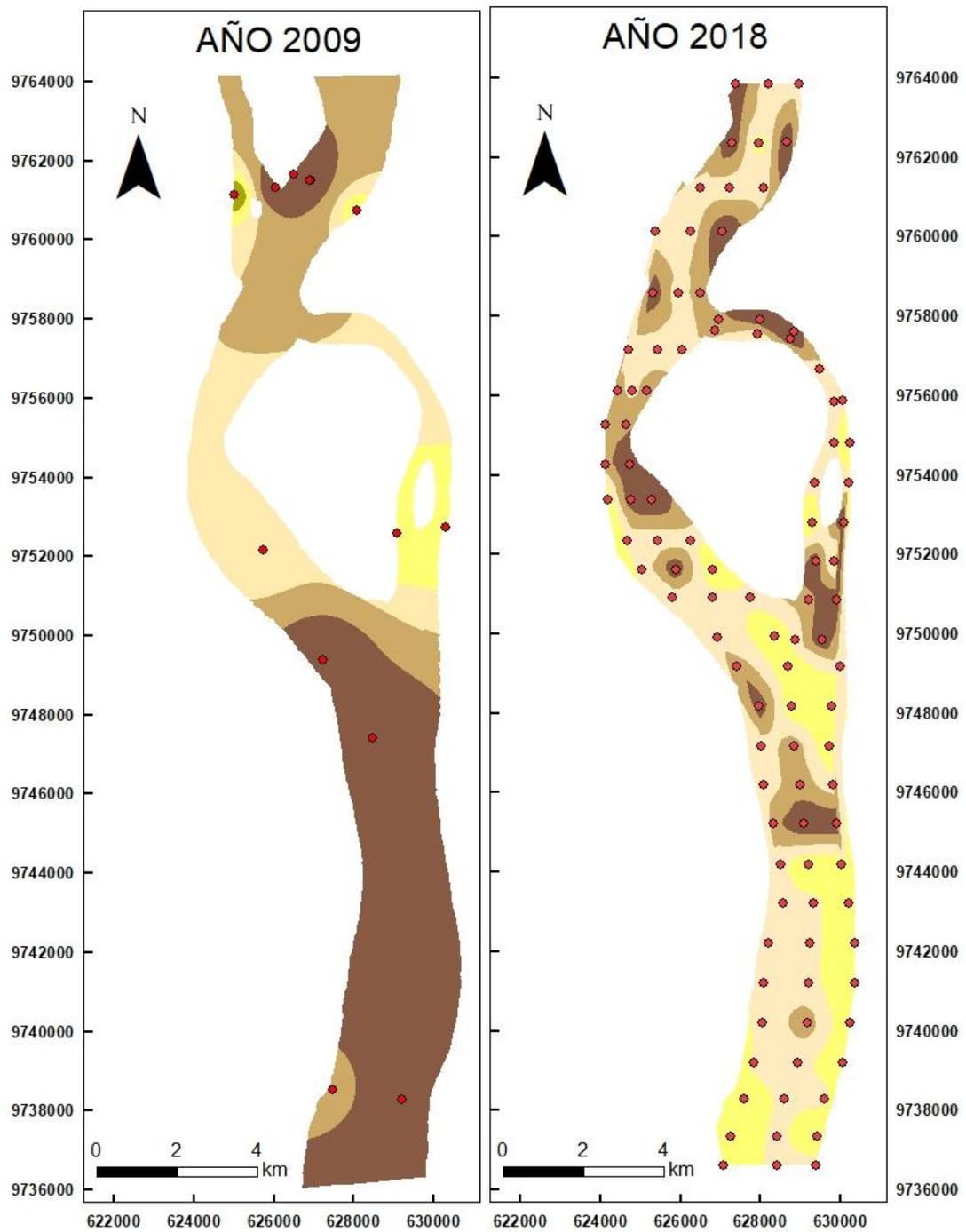


Figura 3. 5 Mapas de distribución aproximada de sedimentos correspondiente a los años 2001, 2002, 2008.



SIMBOLOGÍA

- | | | | | | |
|---|--------------|---|--------------|---|-----------------------|
|  | ARENA |  | LIMO ARENOSA |  | ESTACIÓN DE MUESTREO_ |
|  | ARENA LIMOSA |  | LIMO | | |

Figura 3. 6 Mapas de distribución aproximada de sedimentos correspondiente a los años 2009 y 2018.

El tamaño de celda que se utilizó para la realizar los mapas de la distribución aproximada de los sedimentos superficiales del fondo del río, se explicará en la siguiente tabla.

Tabla 3. 1 Tabla de tamaños de celda utilizados para la interpolación de los sedimentos.

Año	Tamaño de celda
1996	8
1997	10
2000	20
2001	15
2002	10
2008	20
2009	15
2018	20

Para la elaboración del mapa de la posible distribución de los sedimentos correspondiente al año 2018, como primer paso se tuvo que realizar el análisis granulométrico a las muestras que se encontraban en la bitácora del laboratorio del INOCAR.

El análisis granulométrico se lo realizó en el laboratorio del INOCAR utilizando el granulómetro laser MasterSizer 2000. Este es un equipo avanzado que sirve para la medición del tamaño de las partículas, el cual permite medir materiales desde 0.02 μ m hasta 2000 μ m. El análisis se lo realizo en el módulo adicional Hydro G, que sirve específicamente para el análisis de muestras húmedas. Los resultados fueron obtenidos bajo directrices de la norma ASTM E11.

Con los resultados obtenidos, se procedió a la elaboración del mapa de distribución aproximada de los sedimentos en el área de estudio correspondiente al periodo 2018, el cual se lo puede apreciar en la Figura 3.6.

3.2.3 Datos Mineralógicos.

Para el análisis mineralógico, se tomaron las muestras que se encontraban en la bitácora del laboratorio del INOCAR, de las cuales se procedió a tomar una fracción de éstas previamente homogenizada.

El análisis mineralógico fue realizado siguiendo los pasos detallados a continuación (Figura 3.7):

1. Tamizar a través del tamiz # 80.
2. Poner a secar al horno durante un periodo de 20 horas a 50°C.
3. Envasarla debidamente para su traslado hasta el laboratorio de Geología de la ESPOL para su análisis.
4. Analizar las muestras a través del estereoscopio a un zoom de 4x.
5. Tomar fotos con su respectiva escala.



Figura 3. 7 Proceso del análisis mineralógico.

3.2.4 Datos de Corrientes

Los datos de corriente fueron recibidos en formato Word, los cuales fueron procesados de la siguiente manera.

- Digitalizar los datos en formato Excel.
- Cargar los datos en el software ArcGIS, para posteriormente crear el shape de puntos.
- Dar las respectivas etiquetas (velocidad y dirección) a los puntos.
- Elaborar los distintos mapas de acuerdo con el tipo de corriente (flujo y refluo), profundidad y año.

Los mapas de corriente de flujo y refluo de los diferentes años se los puede observar en el Anexo D.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis

Para el análisis se procedió a la revisión de los diferentes mapas temáticos elaborados, con los cuales se analizó la correlación entre ellos, para saber cuál es el comportamiento del río, y determinar las zonas más propensas a la acumulación y erosión de sedimentos, así como las zonas, a lo largo de la ribera del río, más vulnerables a ser desbordados en un probable escenario de inundación en la ciudad de Guayaquil y sus alrededores.

Como primer paso, se procedió a determinar cómo varía la velocidad de la corriente con respecto al tipo de sedimento superficial del fondo del río.

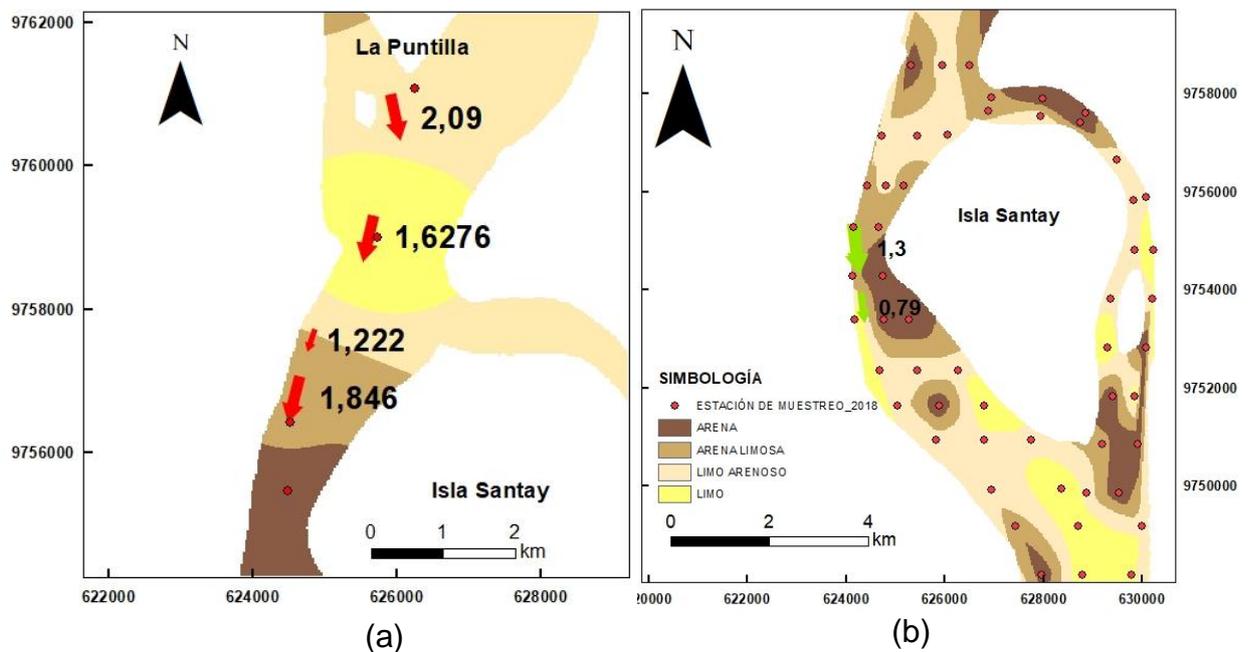


Figura 4. 1 Mapa de variación de la corriente con respecto al tipo de sedimento. (a) Las flechas rojas y los números a su lado indican la dirección y velocidad de la corriente (flujo) en esos puntos, (b) las flechas verdes y los números indican la dirección e intensidad de la corriente (flujo) en esos puntos.

De la Figura 4.1 podemos notar que en los sectores donde existe sedimento más fino la corriente tiende a ser menor. Esto quiere decir, que los sectores donde existe disminución de la corriente son áreas idóneas para la deposición de sedimento, y por ende a la formación de nuevos bancos de arena.

De igual forma se procedió a determinar cómo cambia la dirección de la corriente en cuanto a la morfología del río.

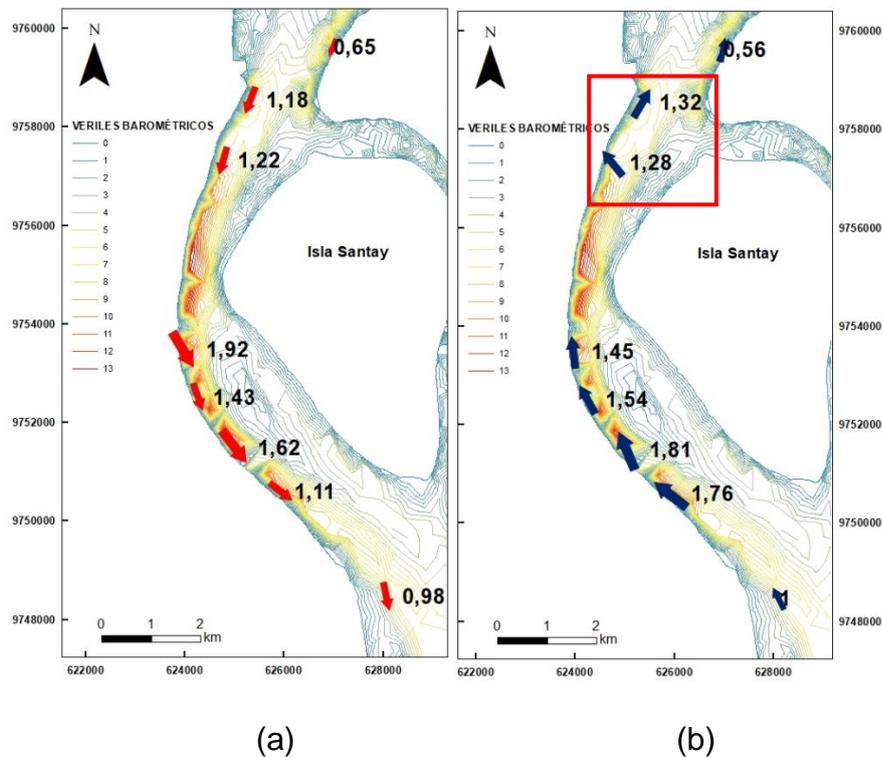


Figura 4. 2 Mapa de variación de la dirección de la corriente con respecto a la morfología del río. Las flechas y los números a su lado indican la dirección y velocidad de la corriente en (a) flujo y (b) reflujos

En la Figura 4.2, se puede notar que no existe cambio de dirección de la corriente en flujo (a), mientras que en reflujos (b) en la parte norte la corriente tiende a irse hacia la orilla del río, siendo esta la parte más profunda en esa zona. En ese punto existe un considerable cambio en la morfología del río que, consecuentemente, hace que la dirección de la corriente tienda a cambiar de dirección.

4.1.1 Análisis batimétrico, granulométrico y corriente.

Como primer paso, se procedió a determinar las zonas, a lo largo del canal de los ríos, más vulnerables a la acumulación de sedimentos, y que puedan afectar tanto a la ciudad de Guayaquil como Duran.

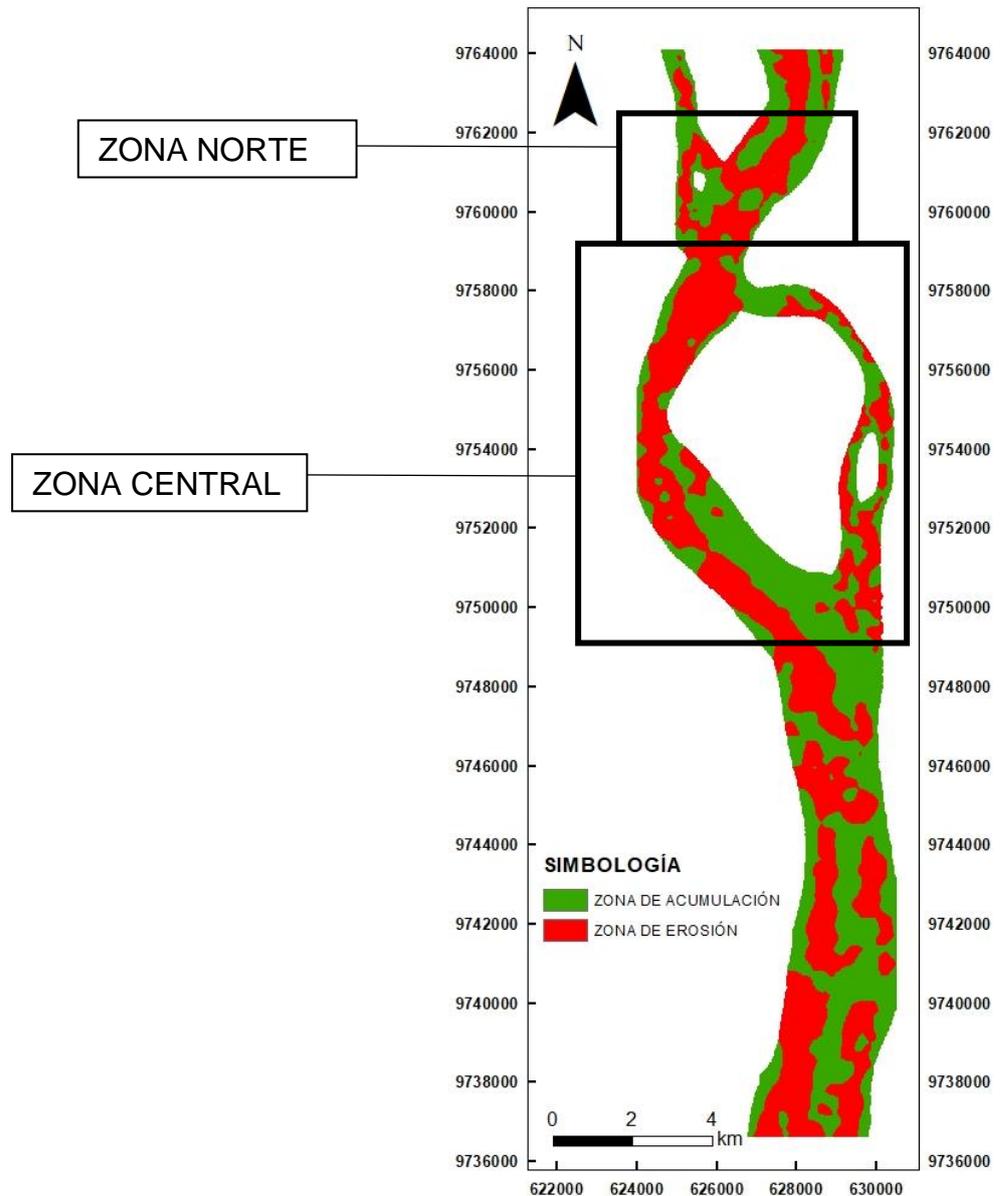


Figura 4. 3 Mapa de erosión y acumulación de sedimentos correspondiente al periodo 2009-2018

La Figura 4.3 muestra un mapa con las zonas de mayor erosión y acumulación de sedimentos a lo largo del cauce del río Guayas. Este gráfico se obtuvo de la comparación de la batimetría tomada en el año 2009 respecto a la tomada en el año 2018. Como se puede apreciar en la Figura 4.3, el área de estudio se la dividió en dos zonas: zona norte y zona central; debido que son los sectores más vulnerables a la acumulación de

sedimentos y que tendrían mayor probabilidad, debido a su cercanía, de afectar tanto a la ciudad de Guayaquil como a sus alrededores.

4.1.1.1 Análisis zona norte.

En la zona norte se puede apreciar la acumulación de sedimentos, tanto en la desembocadura del río Daule como el Babahoyo.

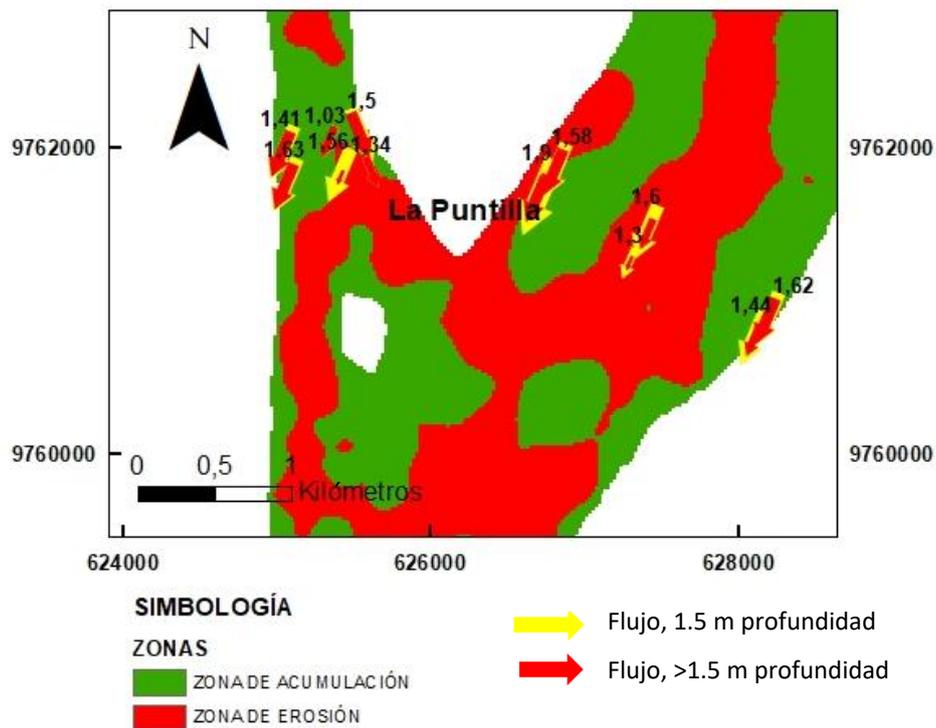


Figura 4. 4 Mapa de corriente de flujo en relación con la sedimentación en sector norte.

En la Figura 4.4 se puede apreciar, como el Islote el Palmar tiende a crecer con el tiempo, mientras que del lado del río Babahoyo, se aprecia lo que parecería ser la formación de un nuevo banco de arena. La acumulación de sedimentos en esta zona tiene relación directa con la velocidad y dirección de la corriente. En la desembocadura del río Babahoyo, se puede apreciar como la velocidad en el centro del cauce tiende a disminuir. La disminución de la velocidad a profundidad es aún mayor (Figura 4.4), esto nos permite suponer un cambio en la pendiente

del río, lo que es generado por la acumulación de sedimentos en esta zona.

En la desembocadura del río Daule (Figura 4.5), se observa la disminución de la velocidad en la orilla este del río, mientras que en centro del cauce y en la orilla oeste se apreciar un aumento de velocidad, así como también el cambio de dirección.

En base a lo descrito anteriormente, podemos decir que existe un cambio en el cauce del fondo del río, el cual tiende a buscar las zonas más profundas, o de mayor pendiente. Esto está provocando la disminución del flujo del lado este del río, lo que está generando la acumulación de sedimentos en el sector del islote El Palmar, provocando que este crezca hacia el sector de La Puntilla, que a la larga traería consecuencias en el sector norte de la ciudad de Guayaquil y La Puntilla.

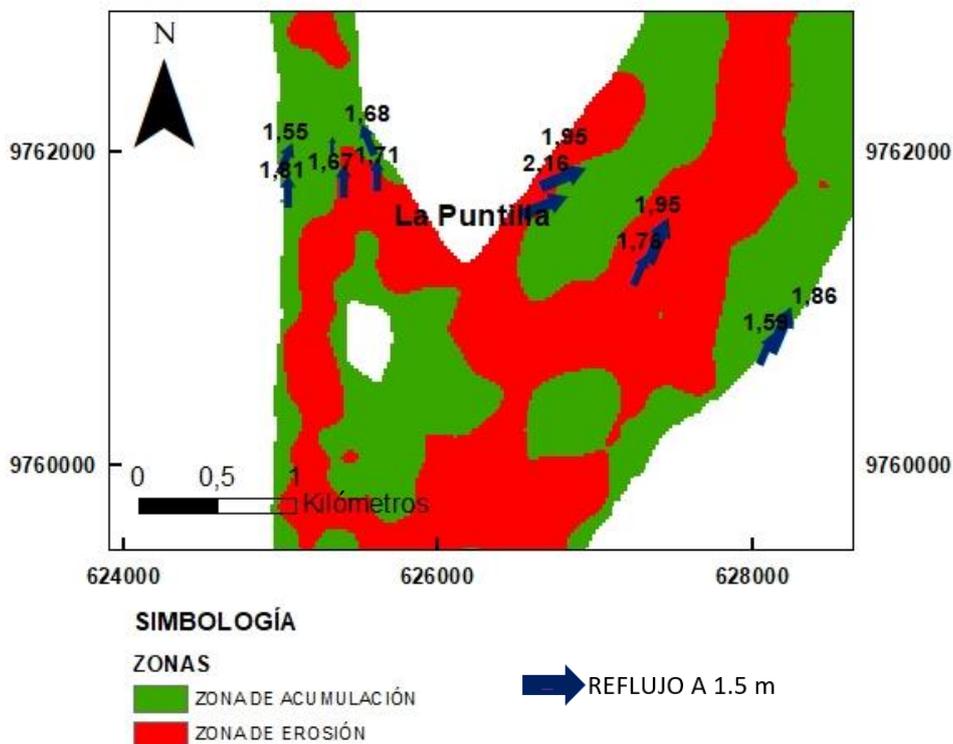


Figura 4. 5 Mapa de corriente de reflujo en relación con la sedimentación

El mapa de reflujos (Figura 4.5) presenta lo opuesto al mapa de flujo, mientras que en flujo la velocidad tiende a disminuir, en reflujos tiende a aumentar. Esto nos permite corroborar que efectivamente existe un cambio de pendiente en el fondo del cauce del río provocado por la acumulación de sedimentos en esta zona.

Mediante el Modelo Digital de Terreno (MDT), se puede apreciar claramente la formación del banco de arena en la desembocadura del río Babahoyo, y el aumento del Islote el Palmar (Figura 4.6 y Figura 4.7).

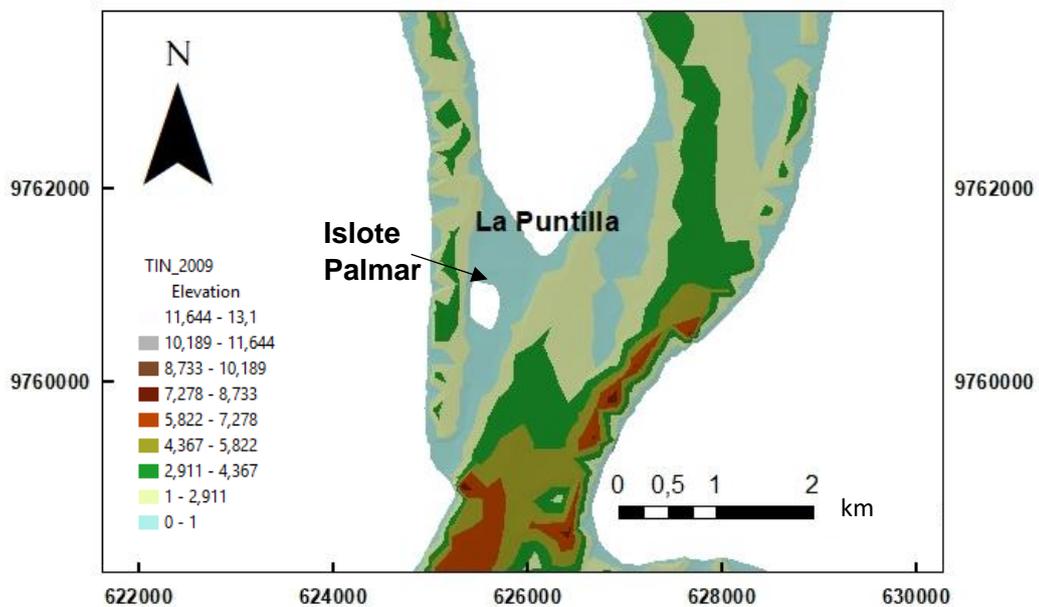


Figura 4. 6 MDT de la zona norte del área de estudio del año 2009.

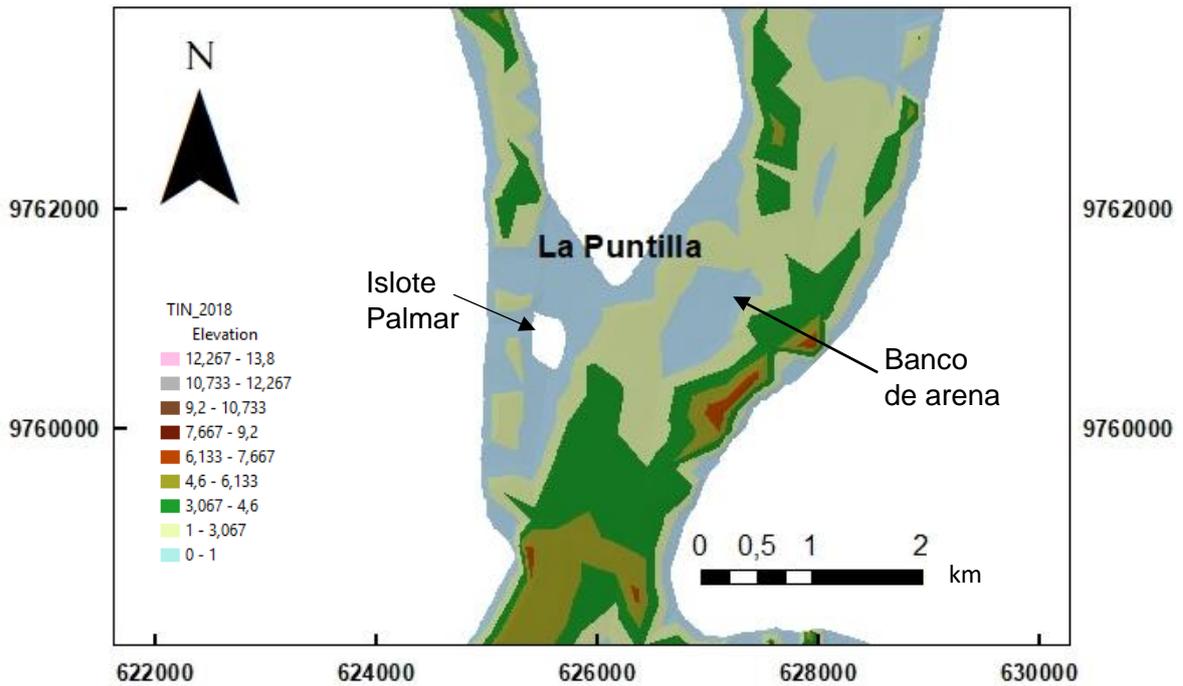


Figura 4. 7 MDT de la zona norte del area de estudio del año 2018.

En el año 2009 no se aprecia claramente la aparición de este banco de arena (Figura 4.6), sin embargo, ya hay la presencia de acumulación de sedimentos en esta zona. En el año 2018 claramente se puede apreciar la aparición de este banco de arena (Figura 4.7). De la misma manera se puede apreciar el crecimiento del Islote el Palmar. Esto se debe tener en cuenta ya que a la larga traería grandes consecuencias a las poblaciones ribereñas de este sector.

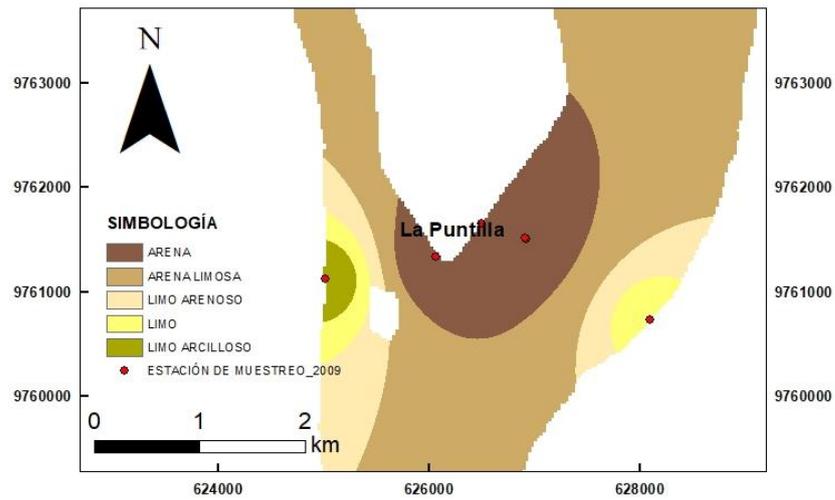


Figura 4. 8 Granulometría de la zona norte correspondiente al año 2009.

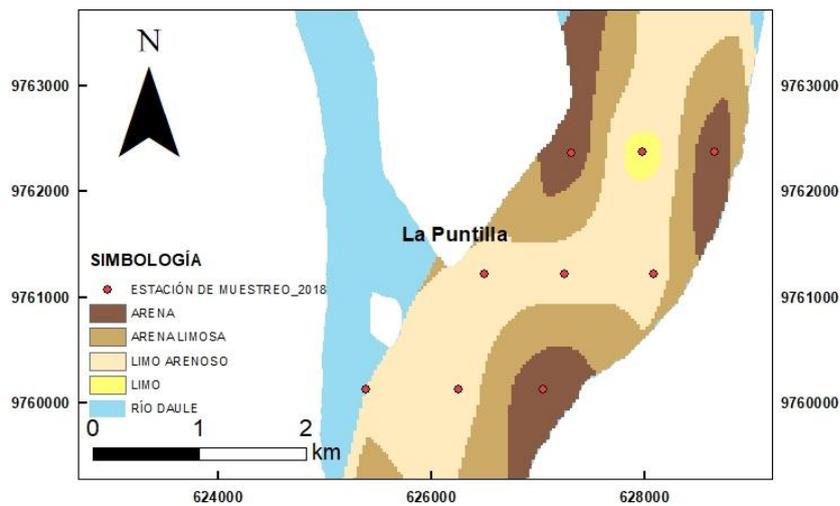


Figura 4. 9 Granulometría de la zona norte correspondiente al año 2018.

En los mapas de distribución espacial aproximada de los sedimentos (Figuras 4.8 y 4.9), correspondientes a la zona norte, se puede apreciar un cambio en el tipo de sedimentos correspondiente al periodo 2009-2018.

Para el 2009 (Figura 4.8) se puede apreciar que el tipo de sedimento que predomina en el área de estudio era de tipo arena limosa. En ausencia de estudios granulométricos anteriores se toma a la situación del río en ese

momento como el estado de referencia, al cual se comparan los datos tomados en años posteriores. Por lo tanto, se asume que la dinámica del río en ese año está en un margen aceptable. Sin embargo, para el año 2018 (Figura 4.9) se puede apreciar que el tipo de sedimento que predomina es de carácter limo arenoso.

El producto de la disminución de la dinámica del río provoca que los sedimentos que son transportados en suspensión se depositen, y que con el trascurso del tiempo se forman los llamados bancos de arena.

Debido a que los datos de corriente no corresponden al mismo periodo de la toma de los datos de granulometría no se pudo hacer una correlación directa, para obtener información más detallada de su comportamiento en este sector.

4.1.1.2 Análisis zona central

En la zona central, se puede apreciar que el sector donde presenta mayor tendencia a la acumulación de sedimentos se encuentra alrededor de la Isla Santay, en especial en los lados sur y sur-oeste, donde se puede apreciar que existe un alto grado de acumulación de sedimentos, que afectaría al sector sur de la ciudad de Guayaquil (Figura 4.10).

En lado norte de la Isla, se puede apreciar la acumulación de sedimento que tienden a tapan el cauce este del río, provocando que la Isla tienda a crecer hacia el sector de Durán. Esto a la larga puede tener grandes consecuencias en la ciudad de Guayaquil, ya que provocaría que las aguas del río circulen solo por el cauce oeste del río, ocasionando erosión en el margen costero de la ciudad. (Figura 4.10).

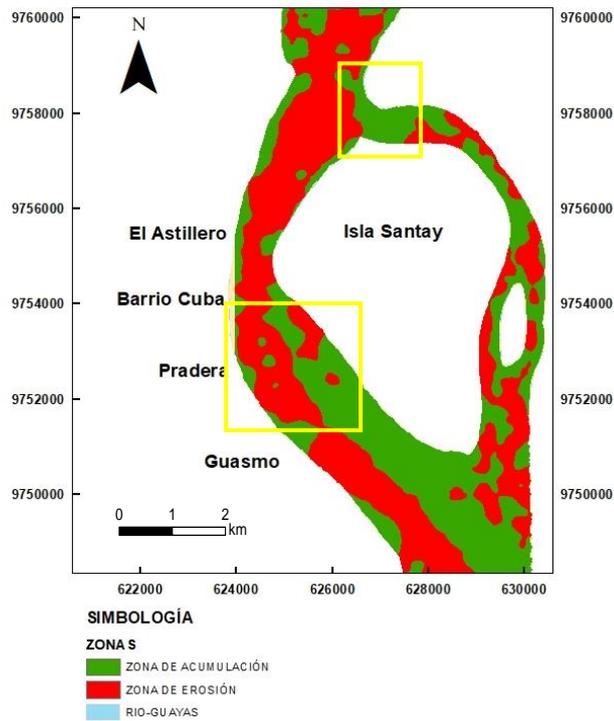


Figura 4. 10 Mapa de acumulación de sedimento zona central.

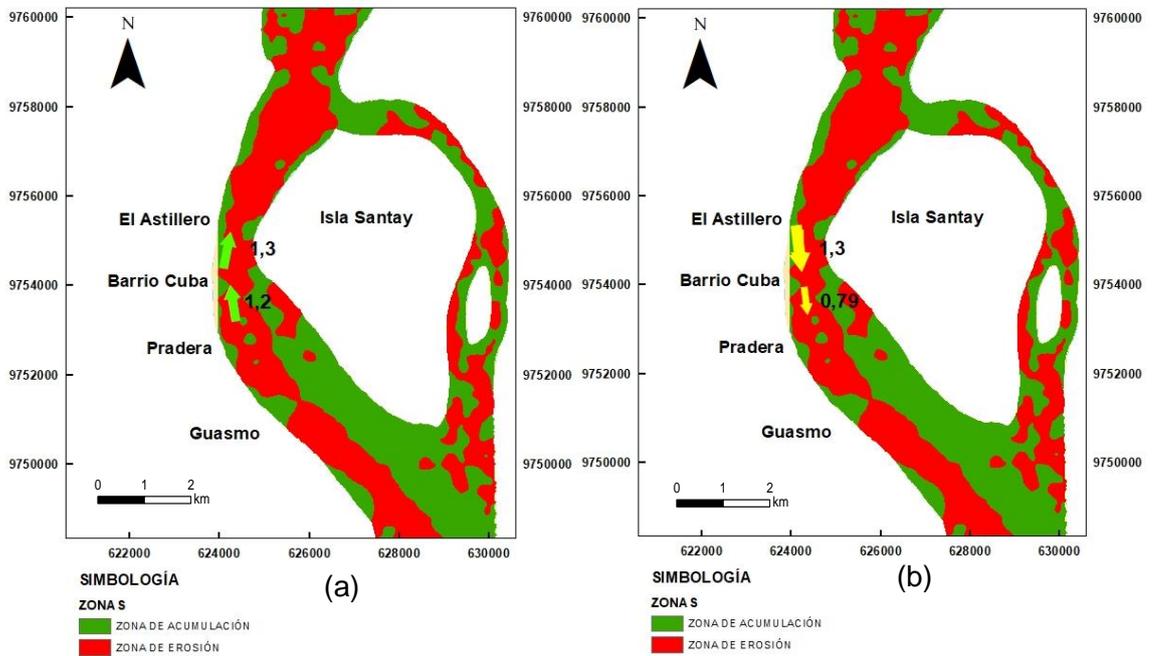


Figura 4. 11 Mapas de relación de la corriente con la sedimentación de la zona central con datos de flujo y reflujo correspondientes al año 2014. (a) Reflujo, (b) flujo.

En la Figura 4.11, se puede apreciar un cambio en la velocidad de la corriente, tanto en flujo como en el reflujó. La velocidad en flujo tiende a disminuir (Fig. 4.11b) mientras que en reflujó tiende a crecer (Fig. 4.11a). En base al cambio de velocidad, podemos decir que existe un cambio en la pendiente del río, provocado por la acumulación de sedimento. En ese sector se pueden apreciar pequeños parches verdes que indican zona de acumulación, y se encuentran en la misma dirección de la velocidad.

De acuerdo con la información obtenida es posible que se puede estar formando un banco de arena en este sector del río.

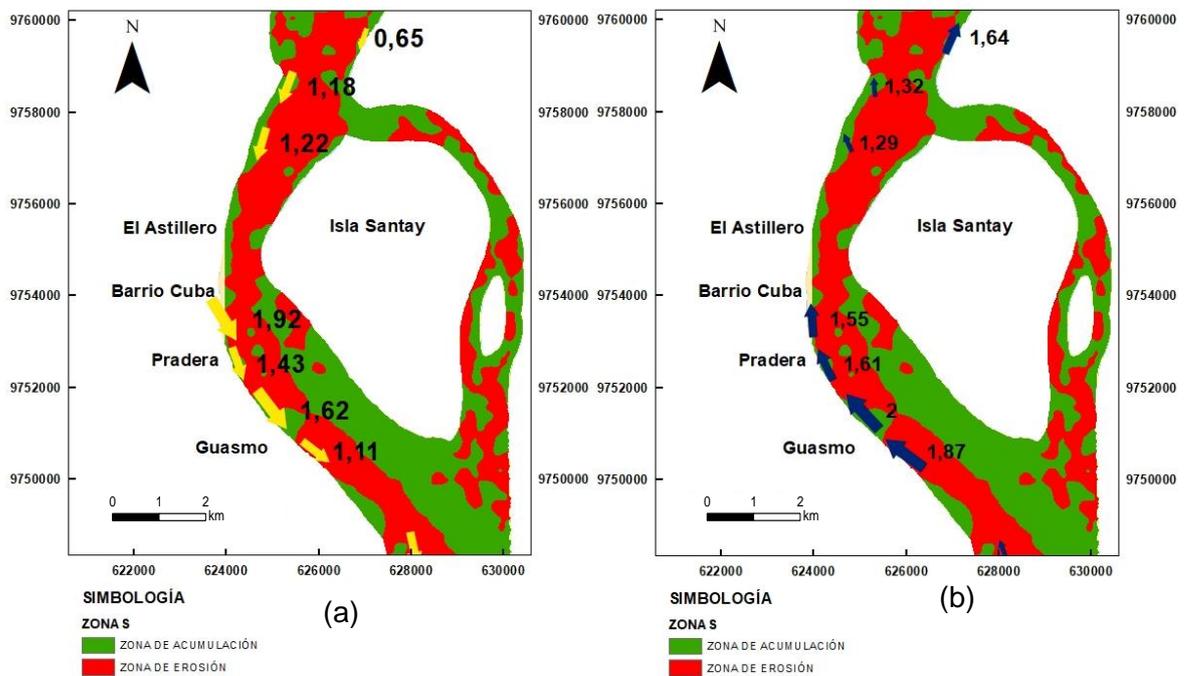


Figura 4. 12 Mapas de relación de la corriente con la sedimentación de la zona central con datos de flujo y reflujó correspondientes al año 2000. (a) Flujo, (b) reflujó.

En Figura 4.12, correspondiente a las corrientes de flujo y reflujó del año 2000, se puede apreciar que la velocidad para ese periodo era mayor en comparación con la del 2014 (Figura 4.11), sin embargo, en ese periodo ya presenta cambios en su velocidad.

Mediante el MDT (Figuras 4.13 y 4.14) se puede apreciar claramente el aumento de un bajo que ha crecido en este periodo de tiempo (2009-2018), y a su vez a la orilla del río, del lado sur de la ciudad de Guayaquil, en el sector del Guasmo, se aprecia la acumulacion de sedimento que tiende a unirse a este bajo, Esto podria actuar como un dique natural, frenando la corriente y provocando condiciones ideales para la depositacion de sedimentos, que a la larga causaria indunacion en este lado de la ciudad de Guayaquil.

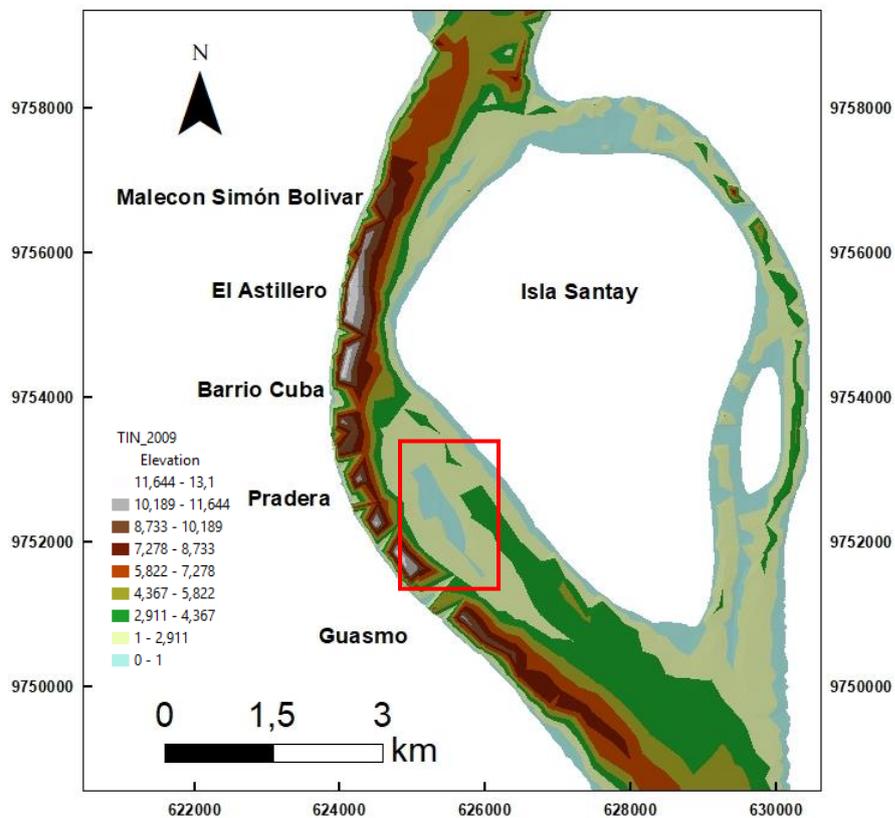


Figura 4. 13 MDT de.la zona centro del area de estudio del año 2009.

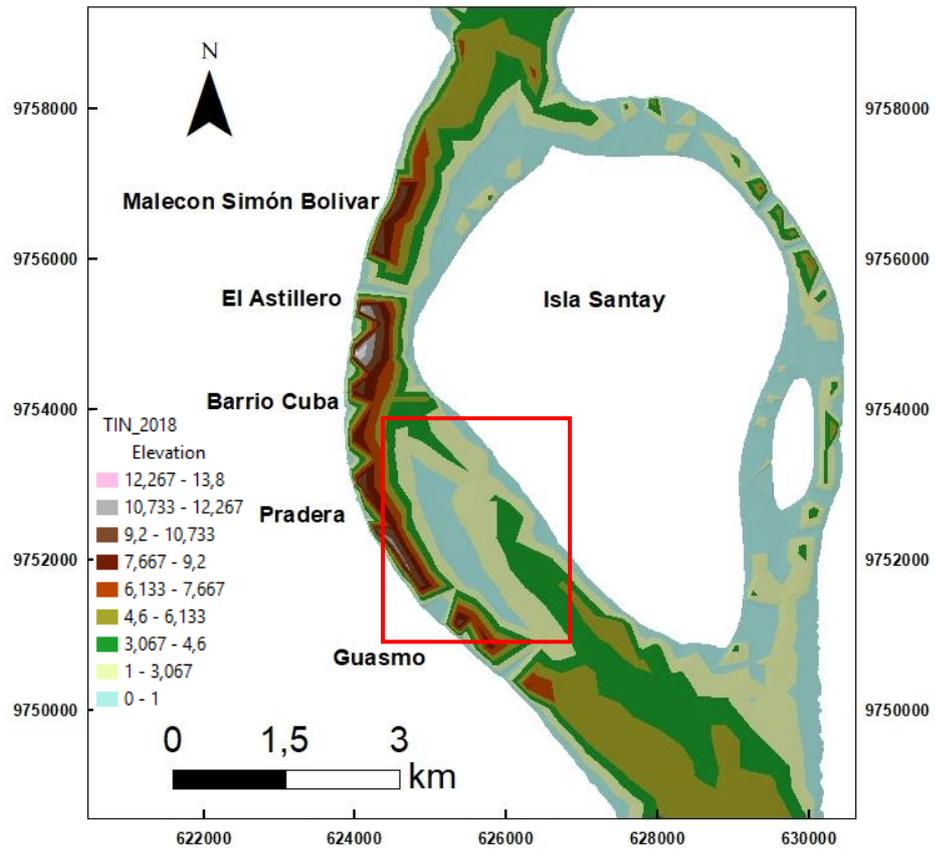


Figura 4. 14 MDT de la zona centro del area de estudio del año 2018.

Para el de tipo de sedimento del fondo del rio correspondiente a esta zona nos basaremos únicamente al del año 2018, ya que los otros mapas no presentan mucha información de esta área, debido a que son pocas las muestras que se han tomado en este sector.

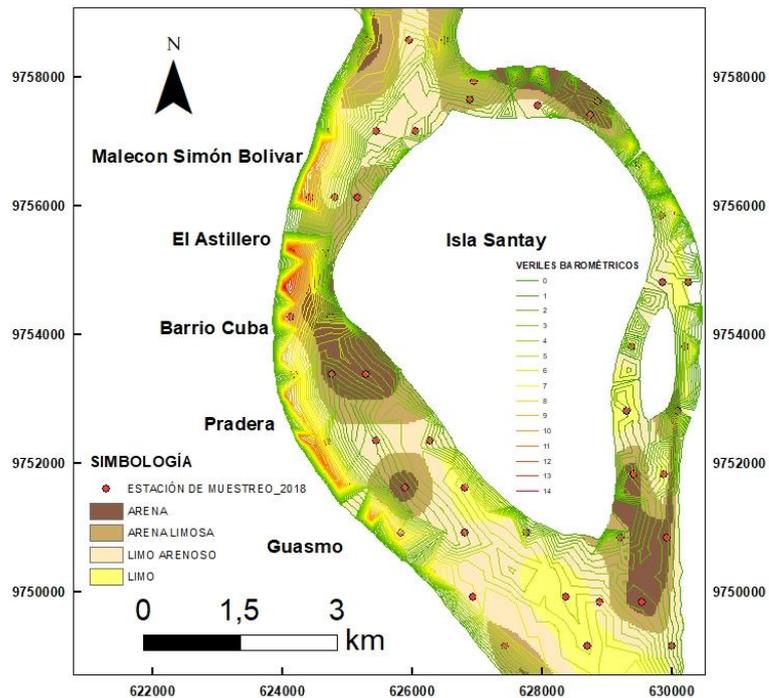


Figura 4. 15 Mapa de análisis de sedimento y veriles batimétricos.

En la imagen 4.15 se puede apreciar áreas de acumulación de arena, en sectores pocos profundos. Como lo antes mencionado se puede observar como la isla Santay tiende a crecer en la parte centro-sur de Guayaquil, de igual manera la formación de un banco de arena frente al sector del Guasmo.

En el ramal derecho se puede observar la acumulación de arena en gran cantidad. Probablemente este sea la fuente para que se dé la acumulación de sedimento en la parte norte de la Isla Santay, que provocaría el cierre de este ramal, provocando el crecimiento de la Isla hacia el sector de Durán.

4.2 Cálculo de volumen

Mediante las imágenes Raster correspondiente a las batimetrías de año 2009 y 2018 (Figuras 4.16, 4.17 y 4.18), se procedió a sacar el volumen total para el área de estudio, y en cada zona, para determinar cómo este parámetro ha variado durante este periodo de tiempo.

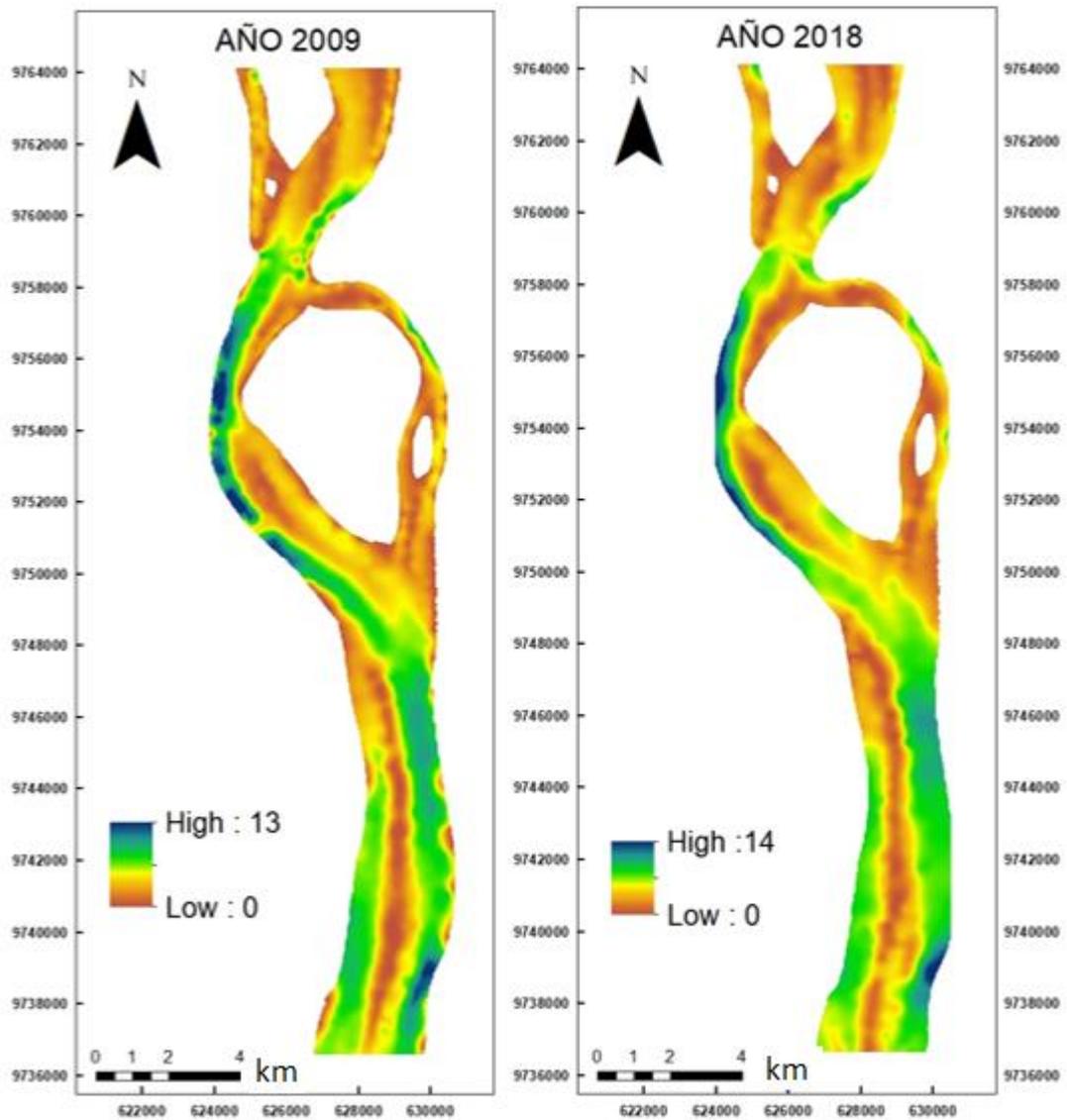


Figura 4. 16 Mapa Raster correspondiente a las batimetrías 2009 y 2018.

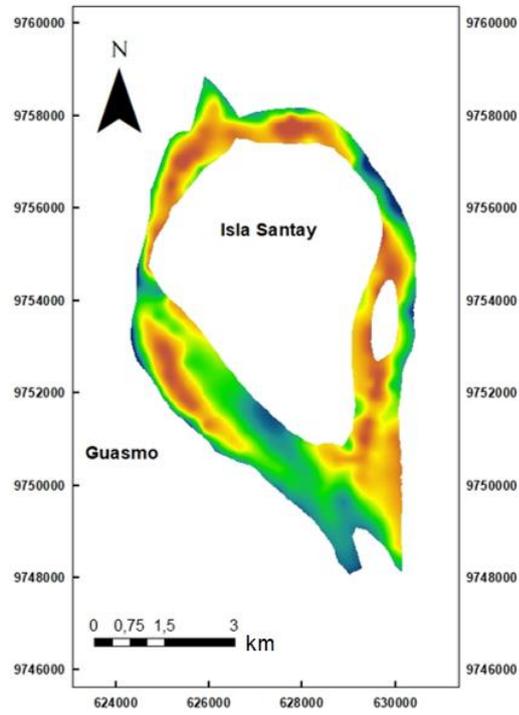


Figura 4. 17 Mapa Raster de la zona central.

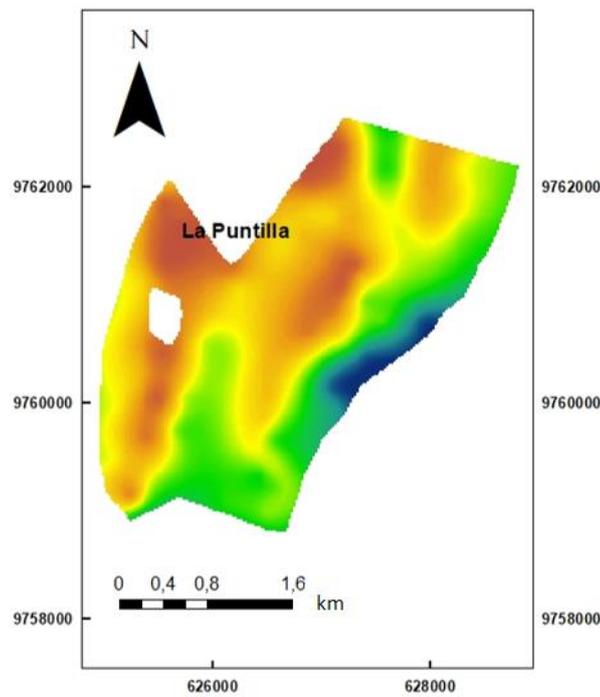


Figura 4. 18 Mapa Raster de la zona norte.

Tabla 4. 1 Volumen del Área de Estudio.

Zona de Estudio			
Año	Volumen (m ³)	ΔV (m ³)	Tasa de sedimentación (m ³ /año)
2009	339'211.319m ³	25'123,921	2791546
2018	314'087.398m ³		

Tabla 4. 2 Volumen de la Zona norte del área de estudio.

Zona Norte		
Año	Volumen (m ³)	ΔV (m ³)
2009	25'047.098m ³	932.790m ³
2018	25'979.888m ³	

Tabla 4. 3 Volumen Zona central del área de estudio.

Zona Central		
Año	Volumen (m ³)	ΔV (m ³)
2009	65'578.279m ³	3'656,667m ³
2018	61'921.612m ³	

Tabla 4. 4 Volumen de las zonas de estudios con sus respectivas áreas.

Zona	Acumulación (m ³ /9años)	Área	Tasa de sedimentación (m ³ /año)
Norte	932.790m ³	8173122m ²	103643
Central	3'656,667m ³	20338158m ²	406296

Se puede apreciar que, considerando la zona de estudio en su totalidad, hubo un aumento en el volumen de sedimentos de aproximadamente 25 millones de metros cúbicos. Esto nos indica que en el lapso de tiempo comprendido entre 2009 y 2018, en la zona de estudio, la sedimentación actuó con mayor fuerza que la erosión, y más de 25 millones de metros cúbicos de sedimentos fueron acumulados en el cauce del río Guayas en comparación a su estado en el 2009. Estos cálculos indican que la tasa de sedimentación del río Guayas, dentro del área de estudio, es de 2791546 m³/año.

De igual manera se encontró un aumento en el volumen de los sedimentos en la parte norte, la cual corresponde a la zona donde desembocan los ríos Daule y Babahoyo. En esta zona se calculó un aumento en el volumen de sedimentos de

aproximadamente 932 mil metros cúbicos y una tasa de sedimentación de 103643 m³/año. Esto indica que en este sector la sedimentación también actúa con mayor fuerza que la erosión, propiciando en el futuro un estrangulamiento del cauce, que hará que el río busque nuevas rutas de desfogue de sus aguas, creando meandros muy probablemente hacia el oeste, afectando directamente a la ciudad.

Para la zona central, la cual corresponde a los alrededores de la Isla Santay, se obtuvo un aumento en el volumen de sedimentos de más de 3 millones de metros cúbicos con una tasa de sedimentación de 406296 m³/año, en concordancia con el comportamiento general de toda la zona. Localmente se observa que la sedimentación es mucho más intensa que en otros lugares, pero también hay zonas donde la erosión es el principal agente modelador del fondo fluvial, y probablemente también actúe socavando las márgenes del río, aunque esto no ha sido confirmado en este estudio.

Cabe recalcar que los valores calculados tienen diferentes áreas (ver tabla 4.4), por ende, en ciertos sectores el valor calculado es muy significativo con respecto a los otros. Sin embargo, en el plano global la acumulación de sedimentos, en ciertas partes del cauce, es bastante preocupante para la navegación en el río, y para el desarrollo de la Ciudad.

4.3 Zonas de erosión

Con los mapas de veriles (Figura 3.2, y 3.3), se puede apreciar que la morfología del río en ese sector es muy cambiante, producto de la dinámica del mismo.

Mediante las imágenes Raster (Figura 4.16), se pudo notar que la ribera oeste del río Guayas se encuentra erosionando el margen costero de la ciudad de Guayaquil. Sectores como el Cerro Santa Ana y Malecón 2000, podrían ser los más afectados. Esto podría causar que las estructuras del Malecón 2000 colapsaran, trayendo graves consecuencias para la población de la Ciudad.

Esto se lo pudo constatar mediante el análisis mineralógico realizado, en el cual se pudo identificar que en la parte baja del río, se depositan trazas de minerales subangulosos y de mayor tamaño a los depositados en la parte norte del río.

En el análisis mineralógico realizado, se pudo observar que las muestras pertenecientes al sector norte del área de estudio, están conformadas por cuarzo redondeado, material calcáreo redondeado, fragmentos rocosos redondeados, micas de igual forma redondeadas.

Por otra parte, en el SE de la Isla Santay, se pudo apreciar presencia de materia orgánica que está siendo depositada. Esto confirma, que la corriente en el cauce este del río es muy baja, con lo cual tiende a depositarse material que es transportando en suspensión. Esto es otro de los puntos que nos permite decir que, efectivamente, la Isla Santay tiende a crecer hacia el sector de Durán.

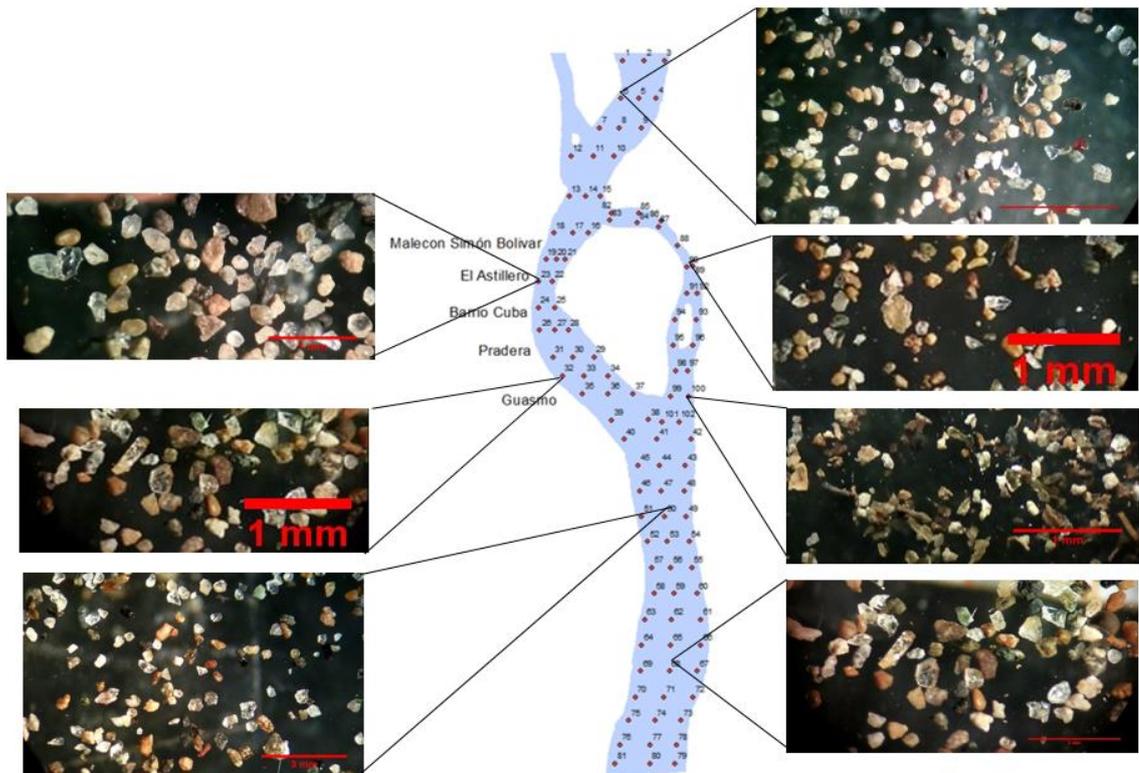


Figura 4. 19 Mapa de la zona de estudio con muestras de los minerales y clastos encontrados en diferentes sitios a lo largo del cauce del río.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Considerando toda el área de estudio se concluye que los procesos acumuladores de sedimentos son mayores que la erosión. Según la comparación de los volúmenes calculados entre los años 2009 y 2018 se observa un considerable aumento de este en más de 25 millones de metros cúbicos, con una tasa de sedimentación de 2791546 m³/año.

Se determinó que la acumulación de sedimentos en la zona de confluencia de los ríos Daule y Babahoyo es mucho mayor que la erosión, con un aumento en el volumen de aproximadamente 103643 m³/año. Esto propició la formación del islote El Palmar en la desembocadura del río Daule y frente a Guayaquil, y lo mismo está pasando en la desembocadura del río Babahoyo. En esta zona se está progresivamente acumulando sedimentos que provocarán la formación de un nuevo islote. Estos eventos a la larga podrían provocar el estrangulamiento del cauce del río Babahoyo en el sector de La Puntilla, lo que provocaría inundaciones, tanto en el sector de La Puntilla como en la ciudad de Duran.

En el sector central (alrededores de la isla Santay) la acumulación de sedimentos es de más de 3 millones de metros cúbicos, con una tasa de sedimentación de 406296 m³/año. Este aumento en la sedimentación en el cauce este del río Guayas, provocaría el crecimiento de la isla Santay hacia el este, haciendo que las aguas del río gradualmente vayan circulando en mayor cantidad por el cauce oeste, propiciando el aumento de la erosión frente a la ciudad de Guayaquil. Estos materiales se van a depositar más hacia el sur por este mismo cauce, frente al sector de las camaroneras.

Frente al sector del Guasmo, se observó la formación de un banco de arena que también tiende a crecer. En este mismo sector, en la orilla oeste del río, se aprecia la acumulación de sedimentos que tienden a unirse a este banco de arena con lo cual actuaría como un dique natural provocando inundación en este sector de la ciudad.

5.2 Recomendaciones

Realizar estudios posteriores en las zonas más propensas a la acumulación y erosión de sedimentos, para saber su evolución y poder prevenir cualquier afectación que esto pueda causar en la ciudad de Guayaquil.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

Burgos, C., (2017). Diseño de modelo estratigráfico de las formaciones cuaternarias del sector septentrional de la cuenca baja del Guayas. Tesis para Ingeniería en Geología, Espol, Guayaquil, Ecuador.

Dumont, J., Santana, E., Soledispa, B., & King, A. (2007). El Islote Palmar, Resultado de una evolución a largo plazo de la distribución del drenaje entre ríos Daule y Babahoyo en la Cuenca del Guayas. Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. 14, N°1, 171.

EP Petroecuador, & IRD. (2013). Mapa Geológico de la margen costera ecuatoriana, escala 1:500000. Accedido el 10 Julio, 2018, desde <http://www.ecuador.ird.fr/actualidades-eventos/actualidad/publicacion-del-mapa-geologico-de-la-margen-costera-ecuatoriana>.

Explasa (2010). Estudio de impacto y plan de manejo ambiental del proyecto: Construcción y Operación de la Ampliación de Almacenaje al Granel de Granos y Pastas, Tortas y Harinas, de Propiedad de EXPLASA. Durán, Ecuador.

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.

Mestanza, J. C. (2015). El incremento de la sedimentación del río Guayas es un riesgo. El Comercio. Accedido el 7 de junio, 2018, disponible en <https://www.elcomercio.com/actualidad/incremento-sedimentacion-rio-guayas-riesgo.html>.

Núñez del Arco, E. (2003). Geología del Ecuador. Guayaquil, Ecuador.

Olaya, P. (2016). 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. Maestría en Restauración de Ecosistema.

Pinos, E. A. (2016). Enciclopedia del Ecuador. Accedido el 5 de junio, 2018, desde <http://www.encyclopediadelecuador.com/geografia-delEcuador/cuenca-del-rio-guayas/>.

Suárez, P. (2010). Muelle de Servicio Isla Santay Estudio y Diseño. Ministerio del Ambiente.

Soledispa, B. (2002), Estudio de las características sedimentológicas del sector donde convergen los ríos Daule y Babahoyo y forman el Guayas, y las posibles causas que están formando un nuevo islote en esa área. Acta Oceanográfica del Pacífico, vol. 13 N°1.

Tapia, J. (2014). Rehabilitación del canal navegable del río Guayas frente a la Ciudad de Guayaquil en base a estudios multitemporales. Tesis para Ingeniería Civil, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

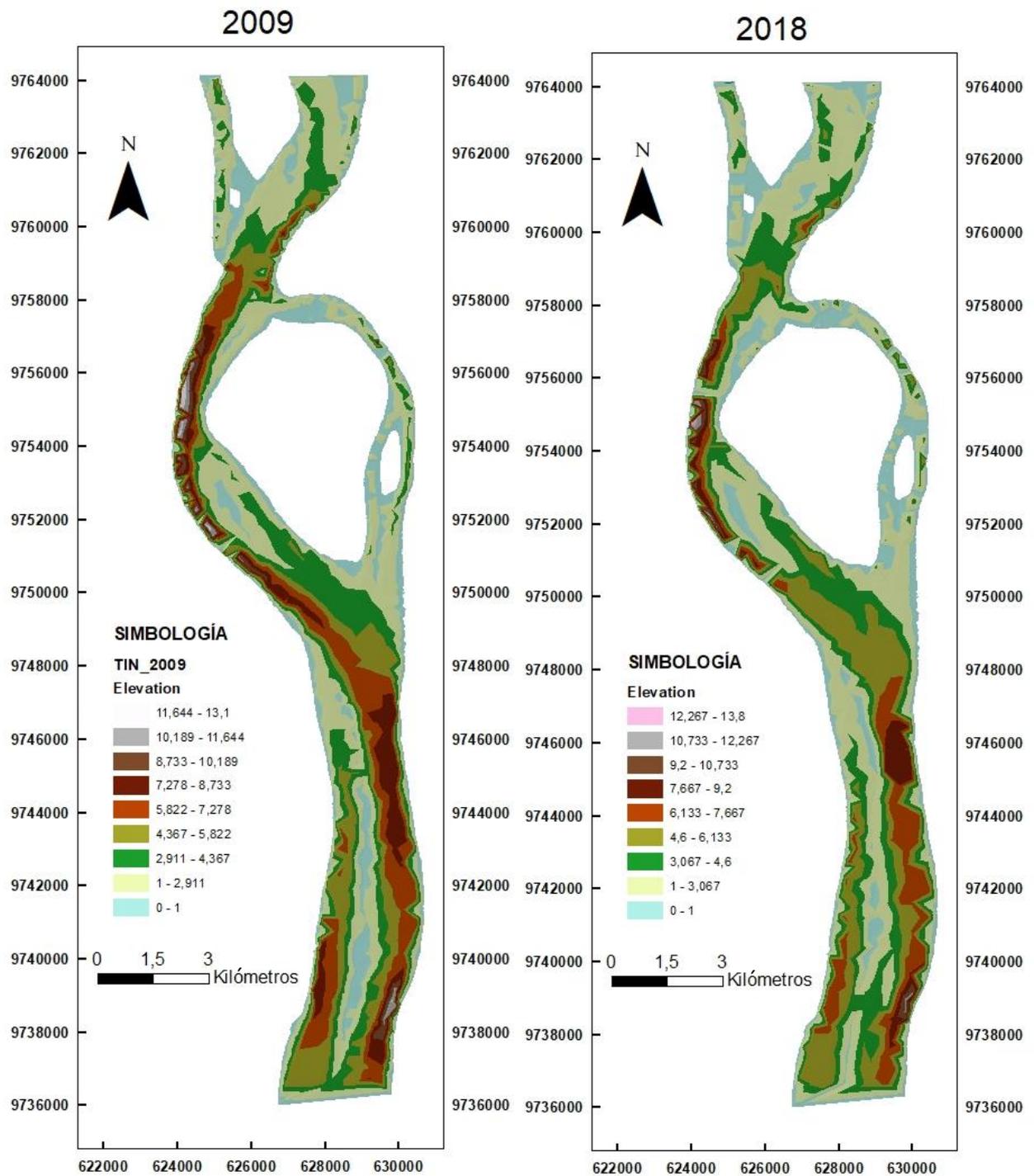
Tapia, J. C. (2012). Modelización Hidrológica de un área experimental en la Cuenca del Río Guayas en la producción de caudales y sedimentos. Tesis de Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, Universidad Nacional de la Plata, La Plata, Argentina.

Villa, P., Gómez, M. & Pacheco, A. (2016). Análisis morfológico en la confluencia de los ríos Daule y Babahoyo realizado en el año 2016, Acta Oceanográfica del Pacífico vol. 21 n°1, 2016-2017.

ANEXOS

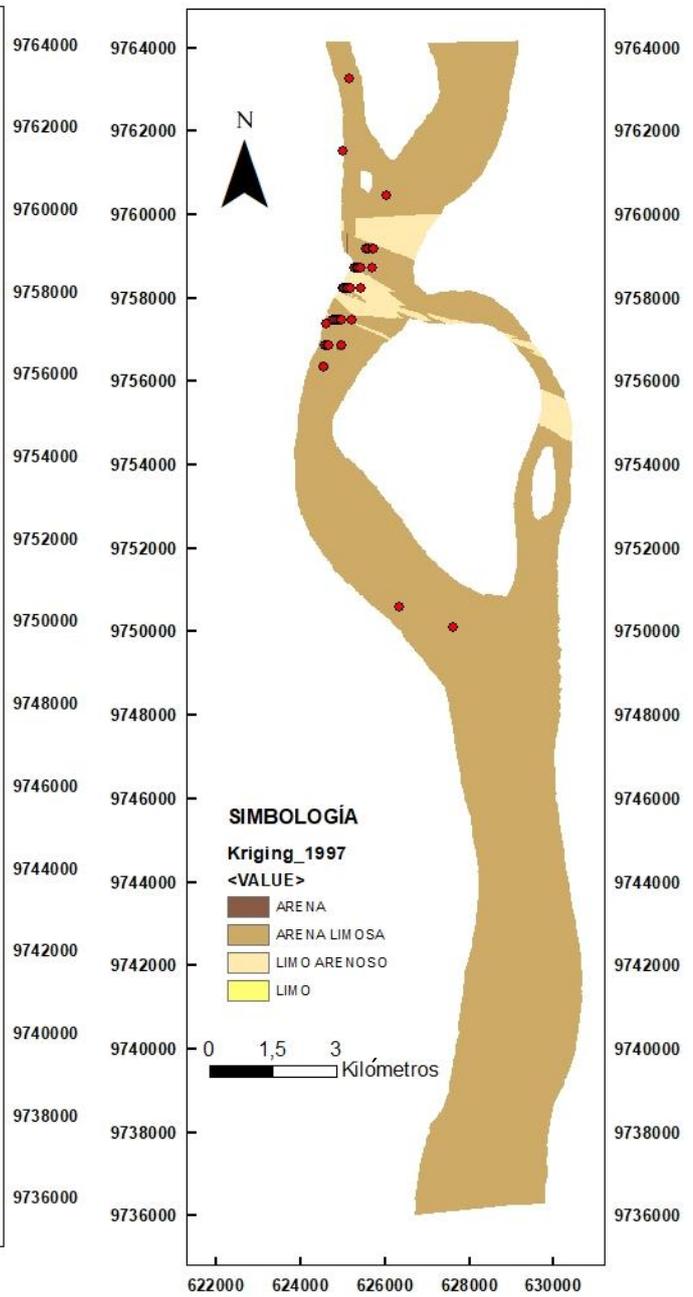
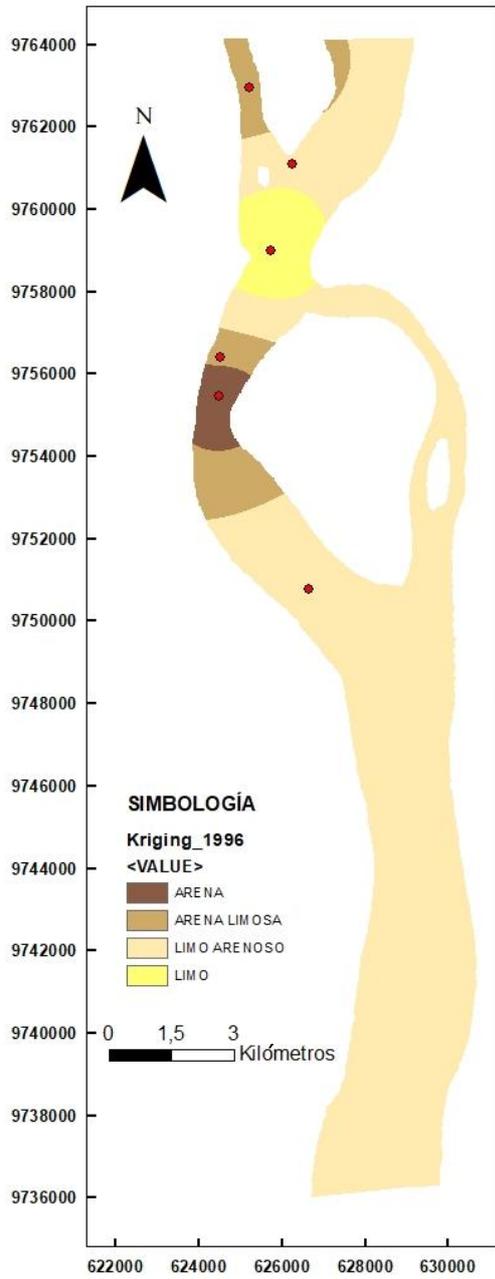
ANEXO A

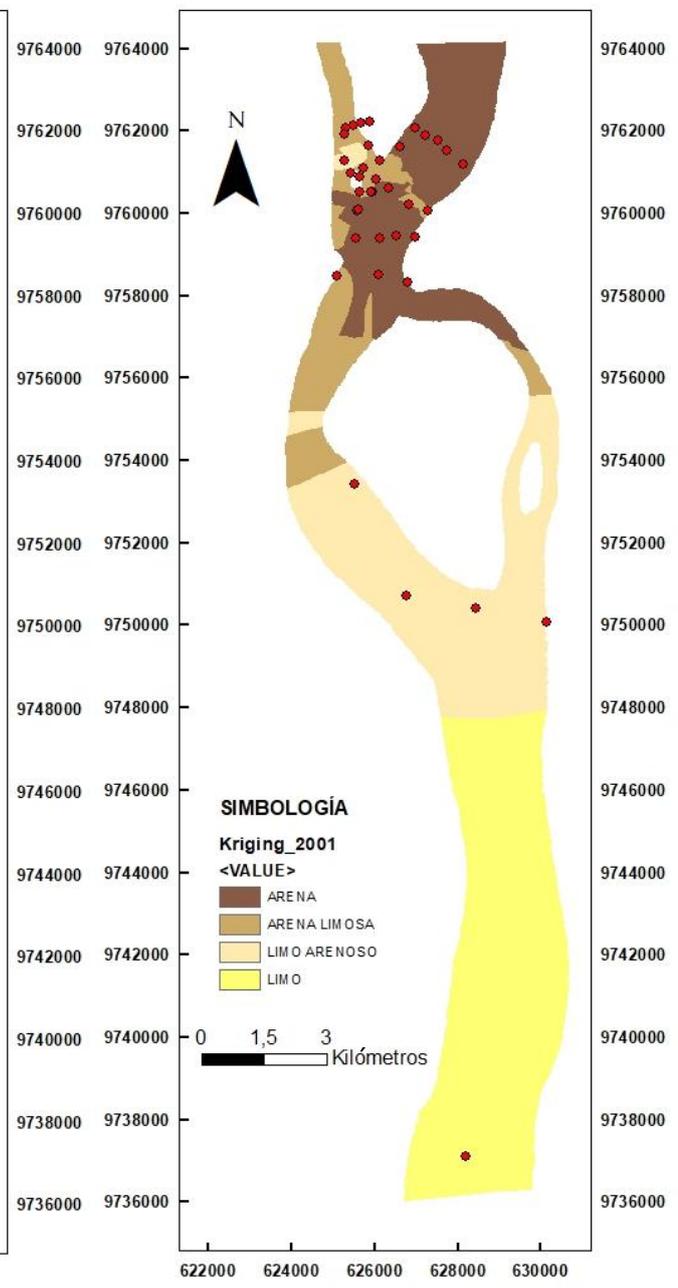
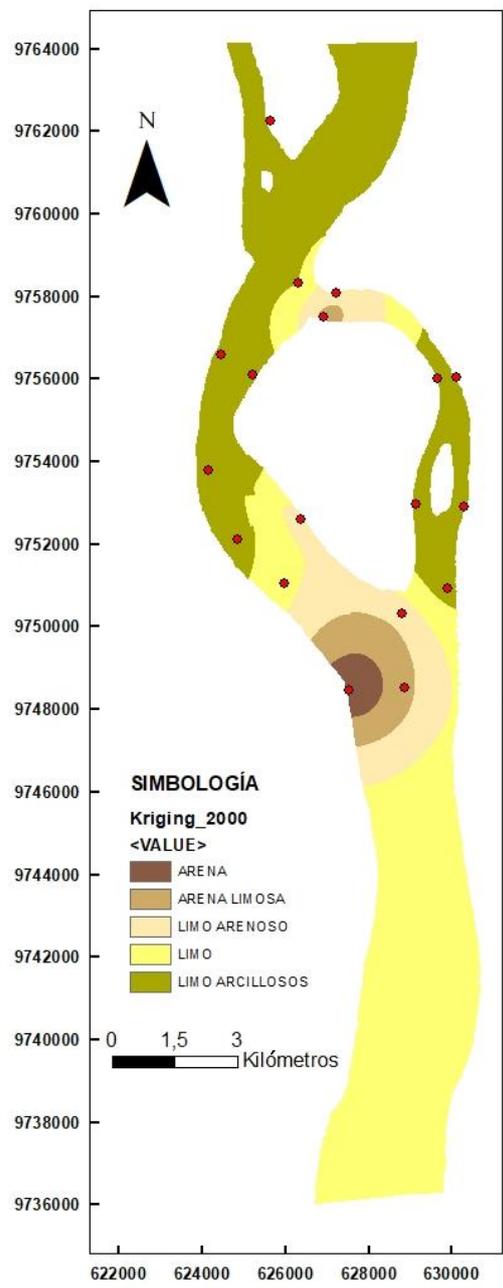
MDT (MODELO DIGITAL DE TERRENO)

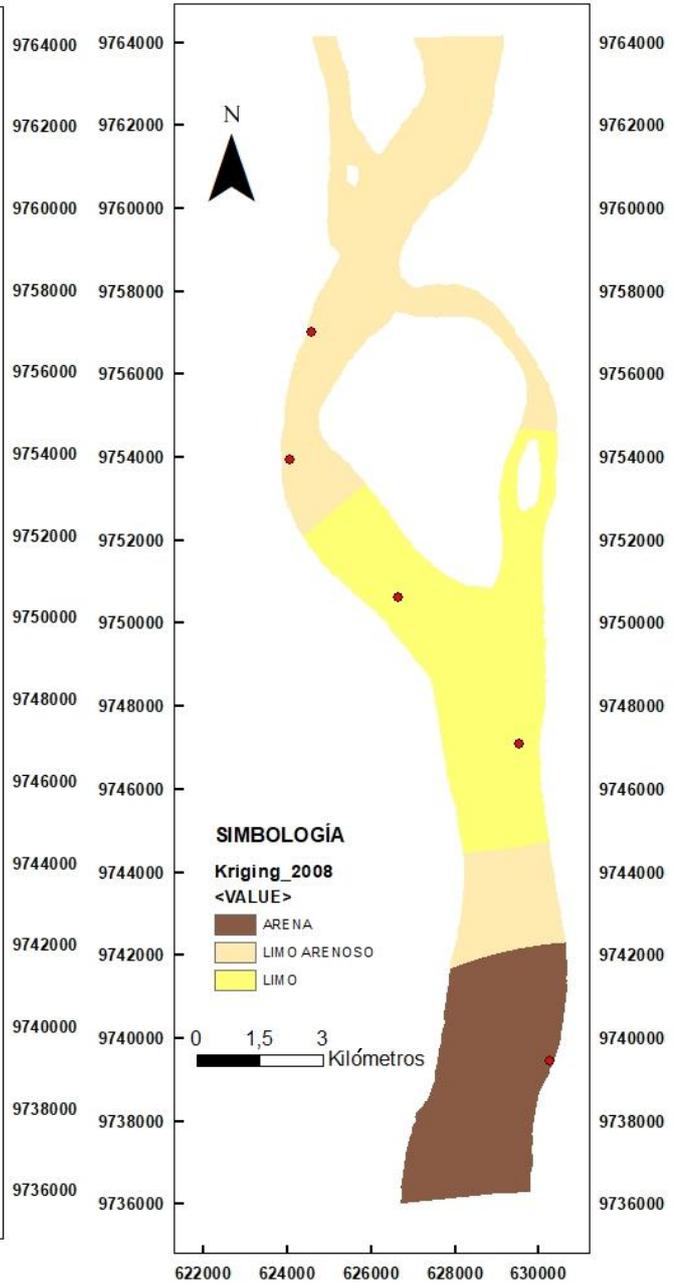
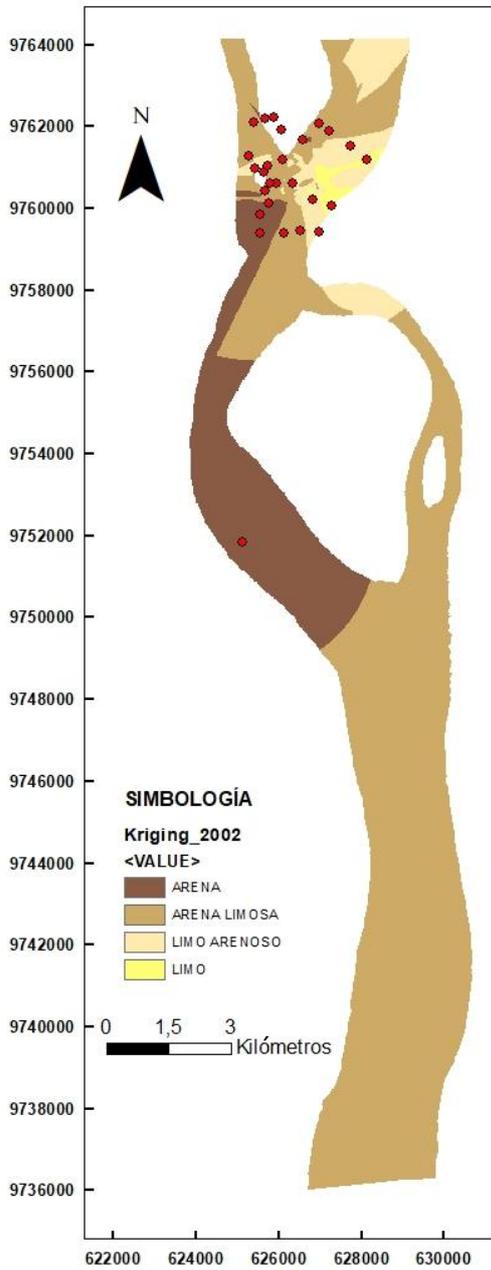


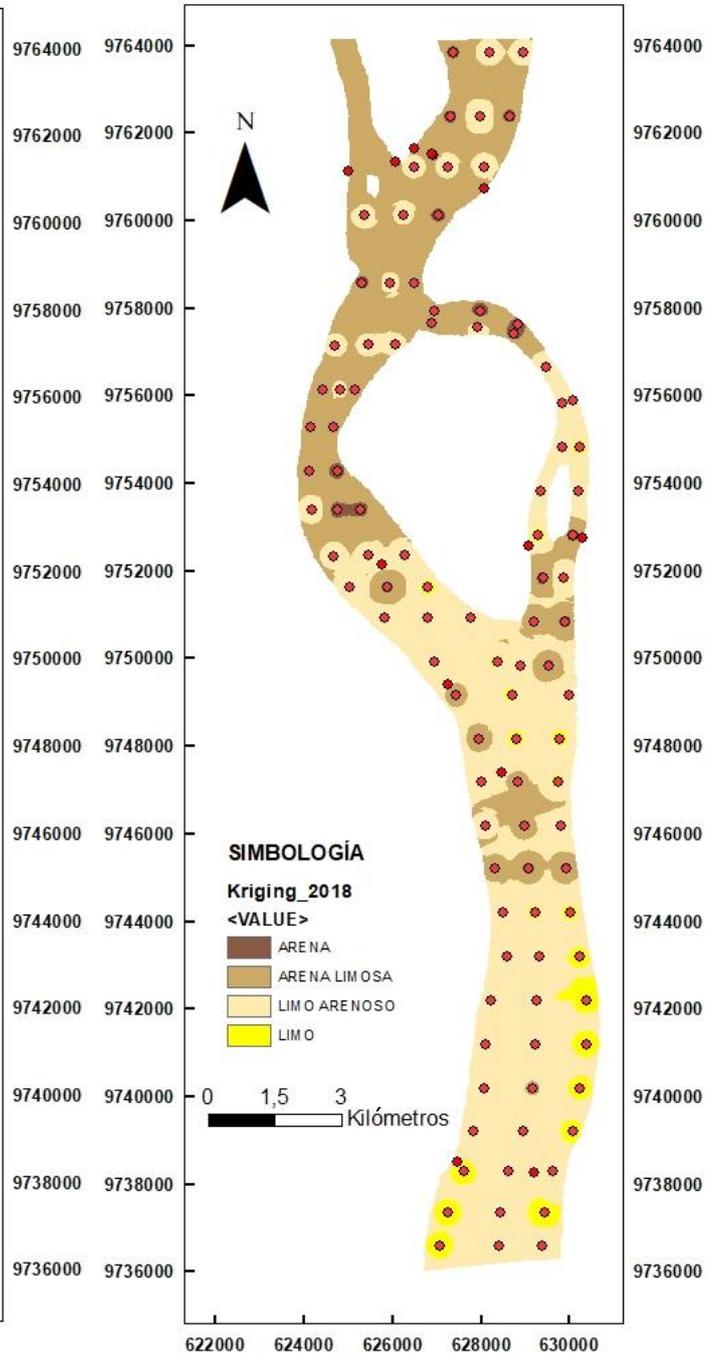
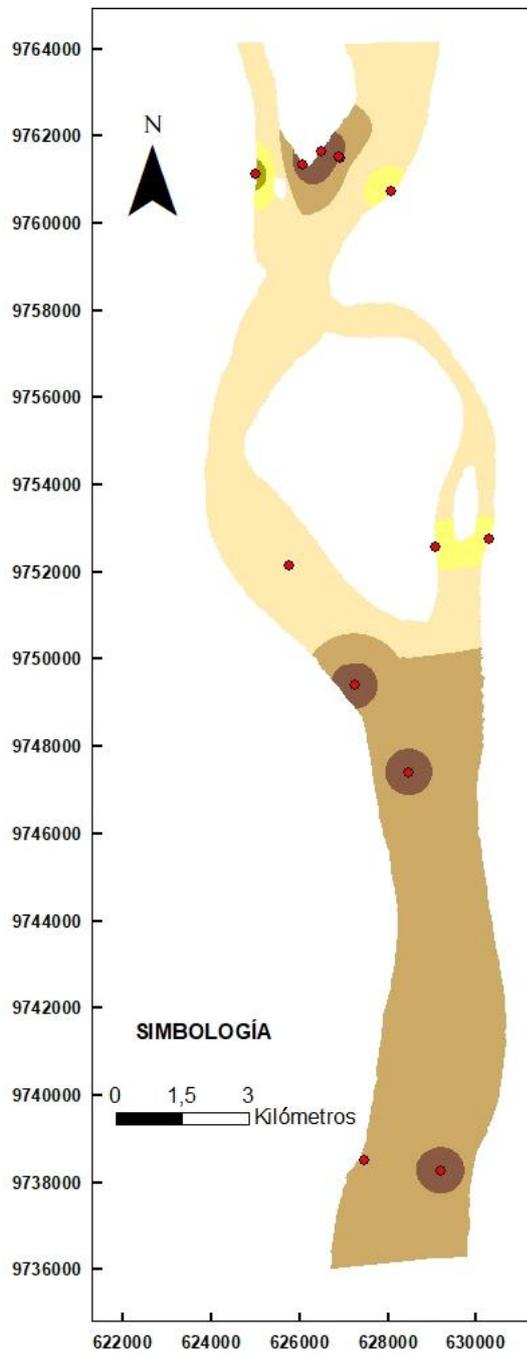
ANEXO B

MAPAS DE LA POSIBLE DISTRIBUCIÓN DE LOS SEDIMENTOS (KRIGING)



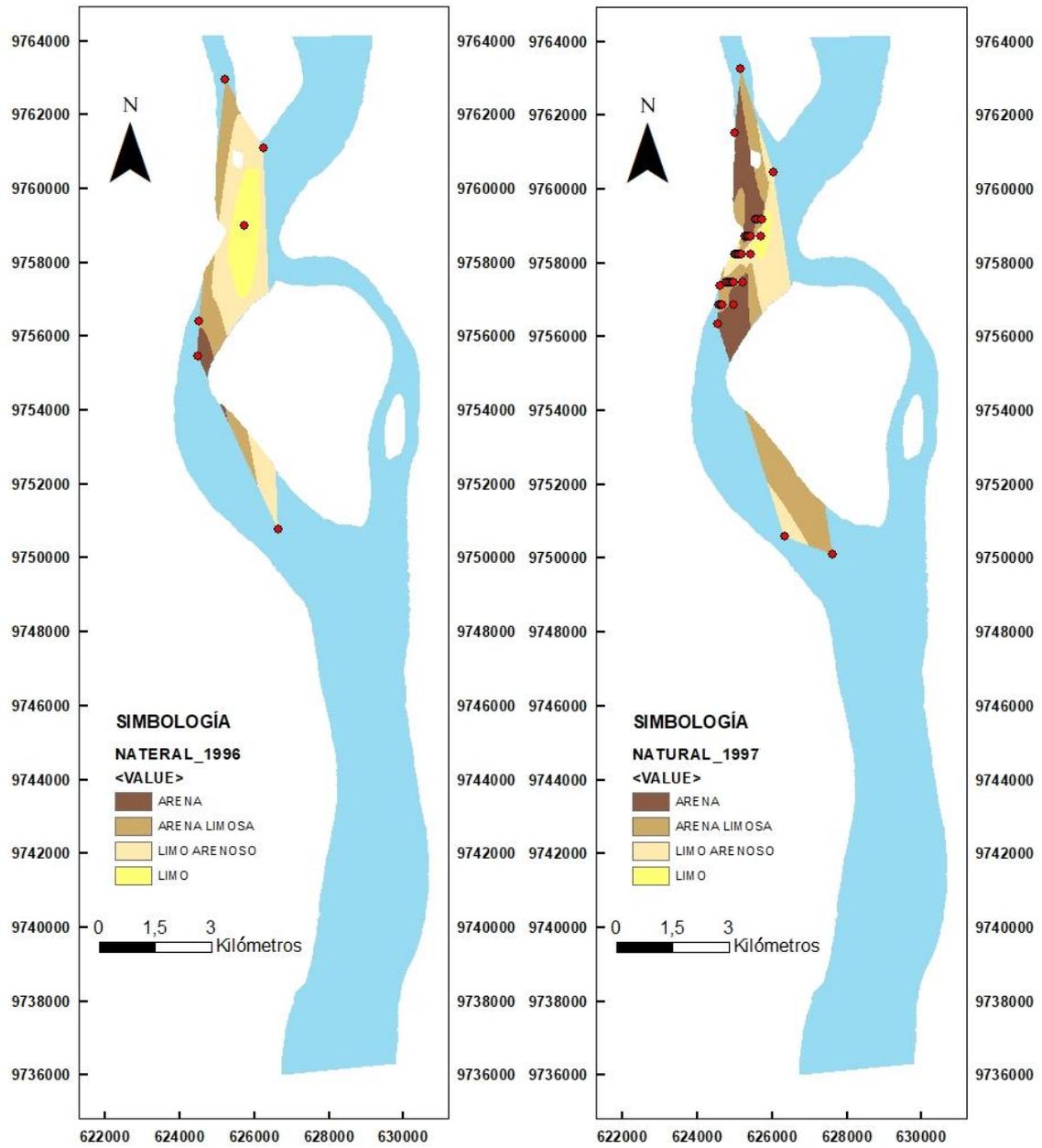


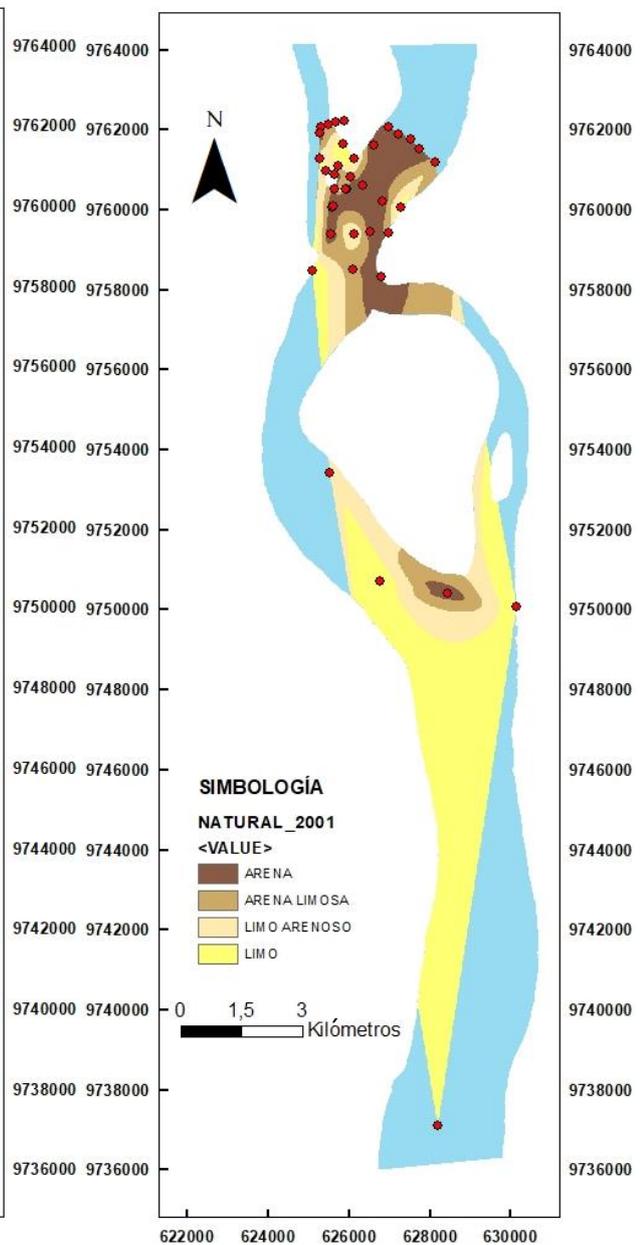
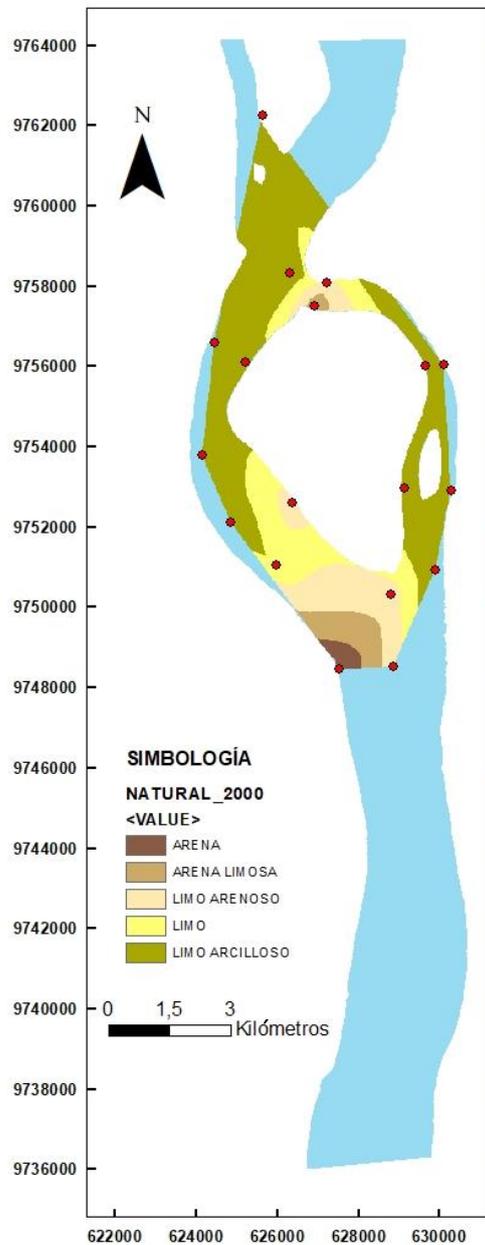


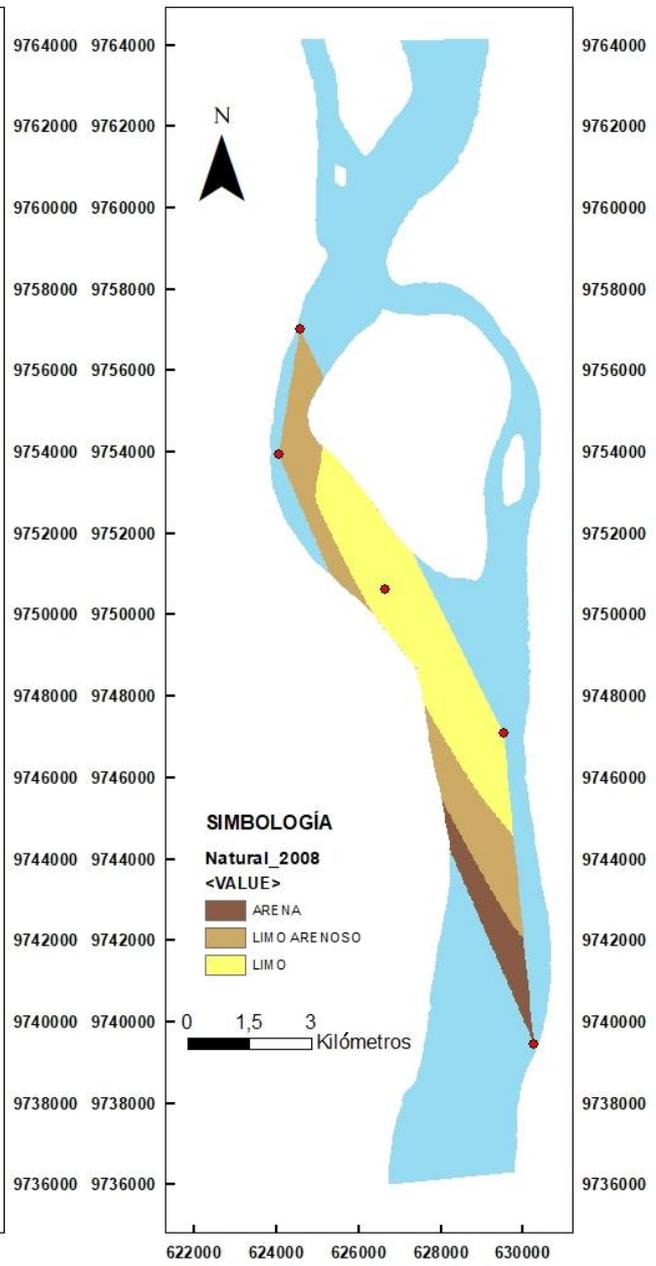
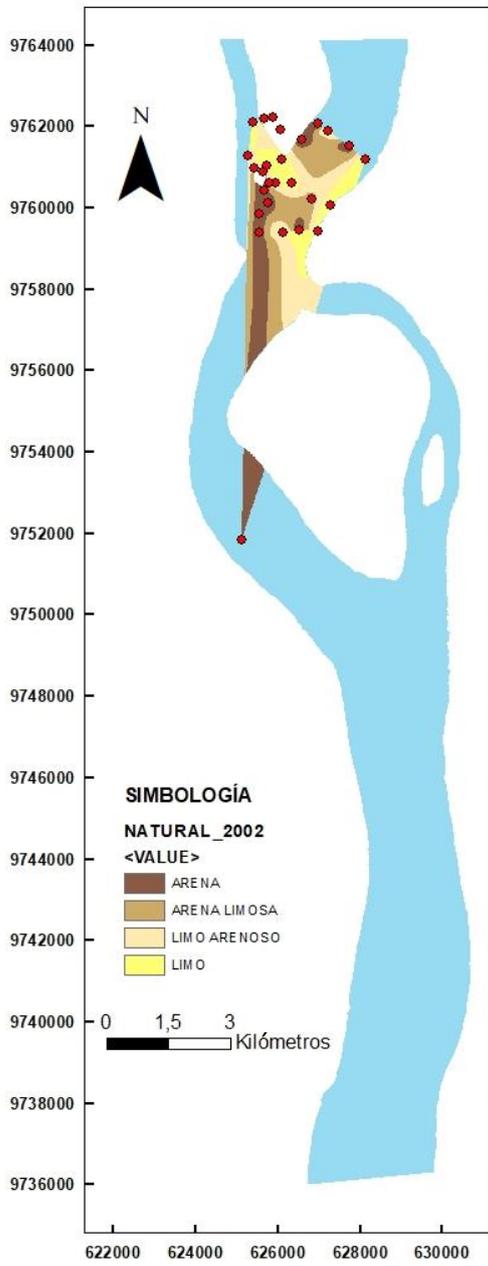


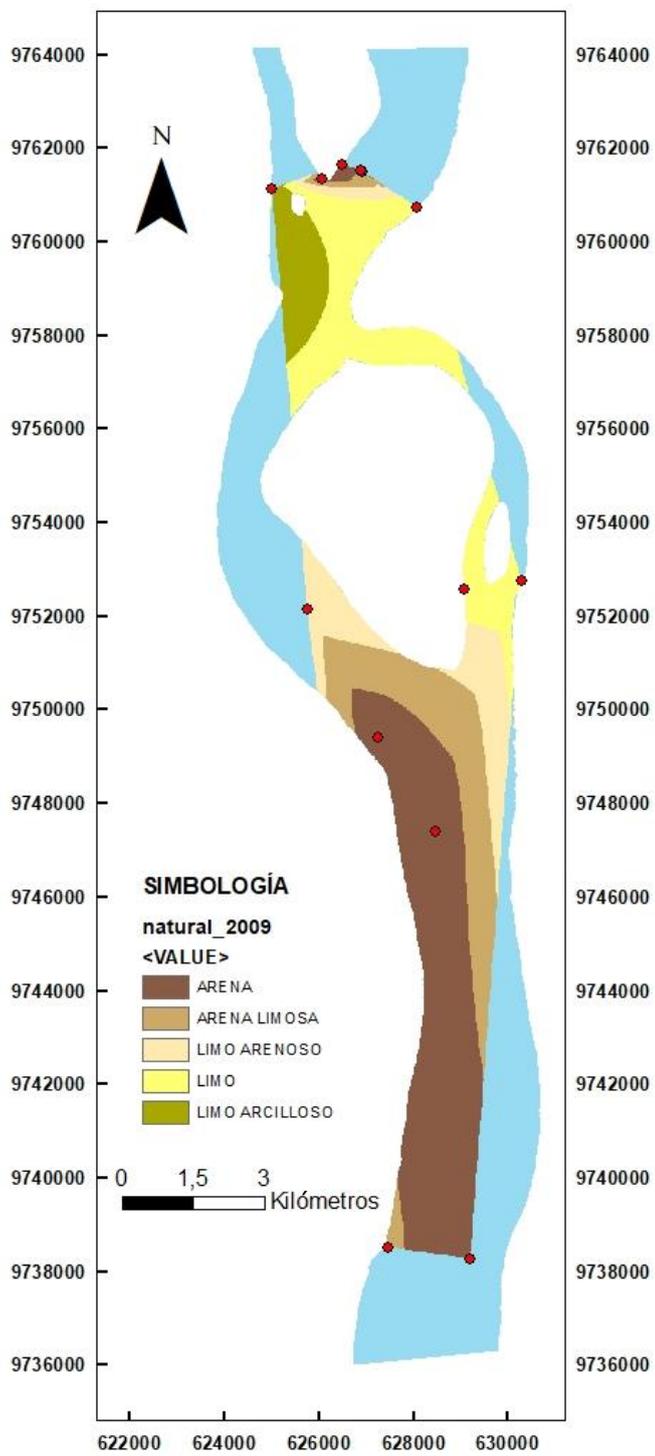
ANEXO C

MAPAS DE LA POSIBLE DISTRIBUCIÓN DE LOS SEDIMENTOS (NATURAL NEIGHBOR)



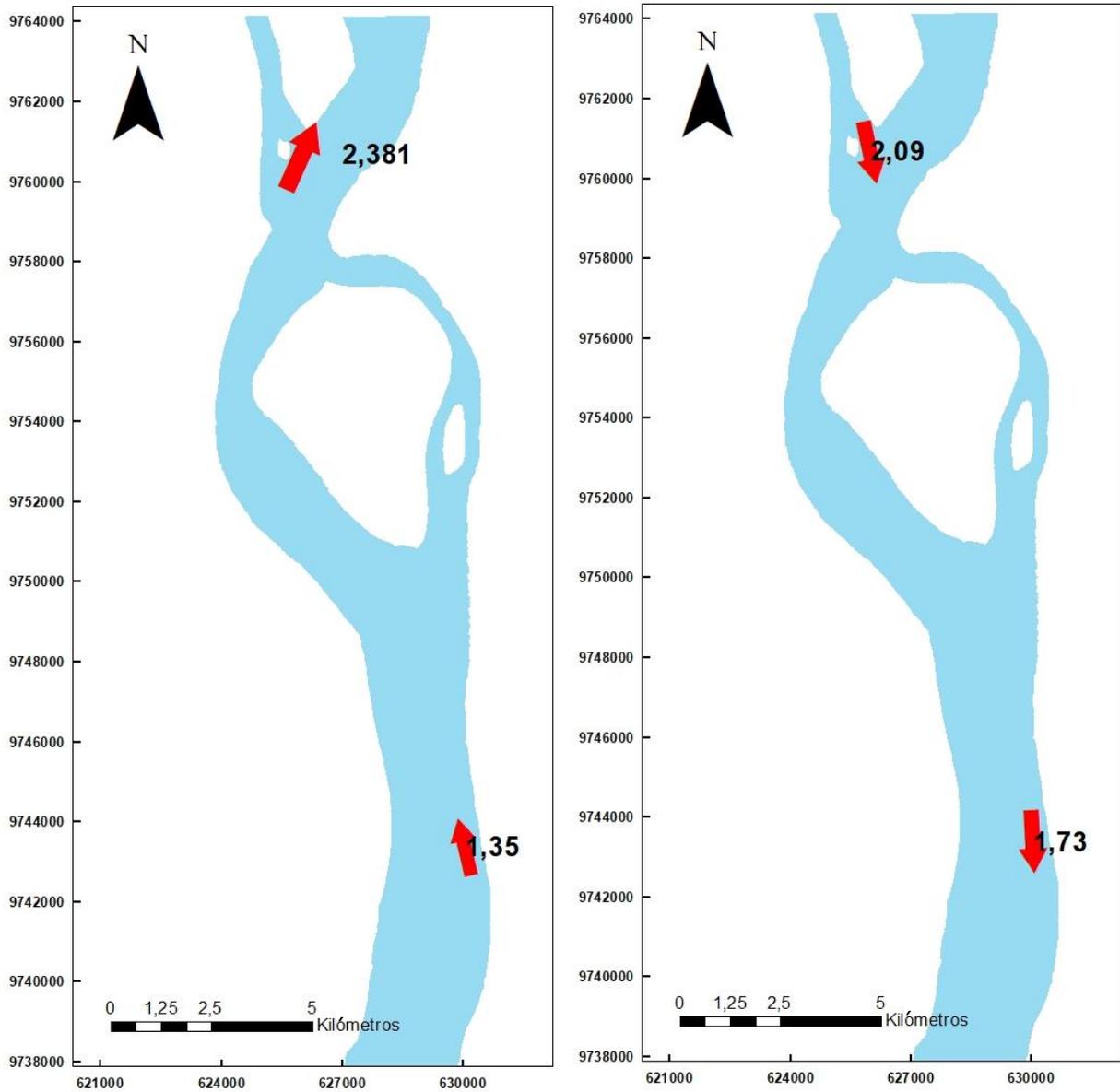




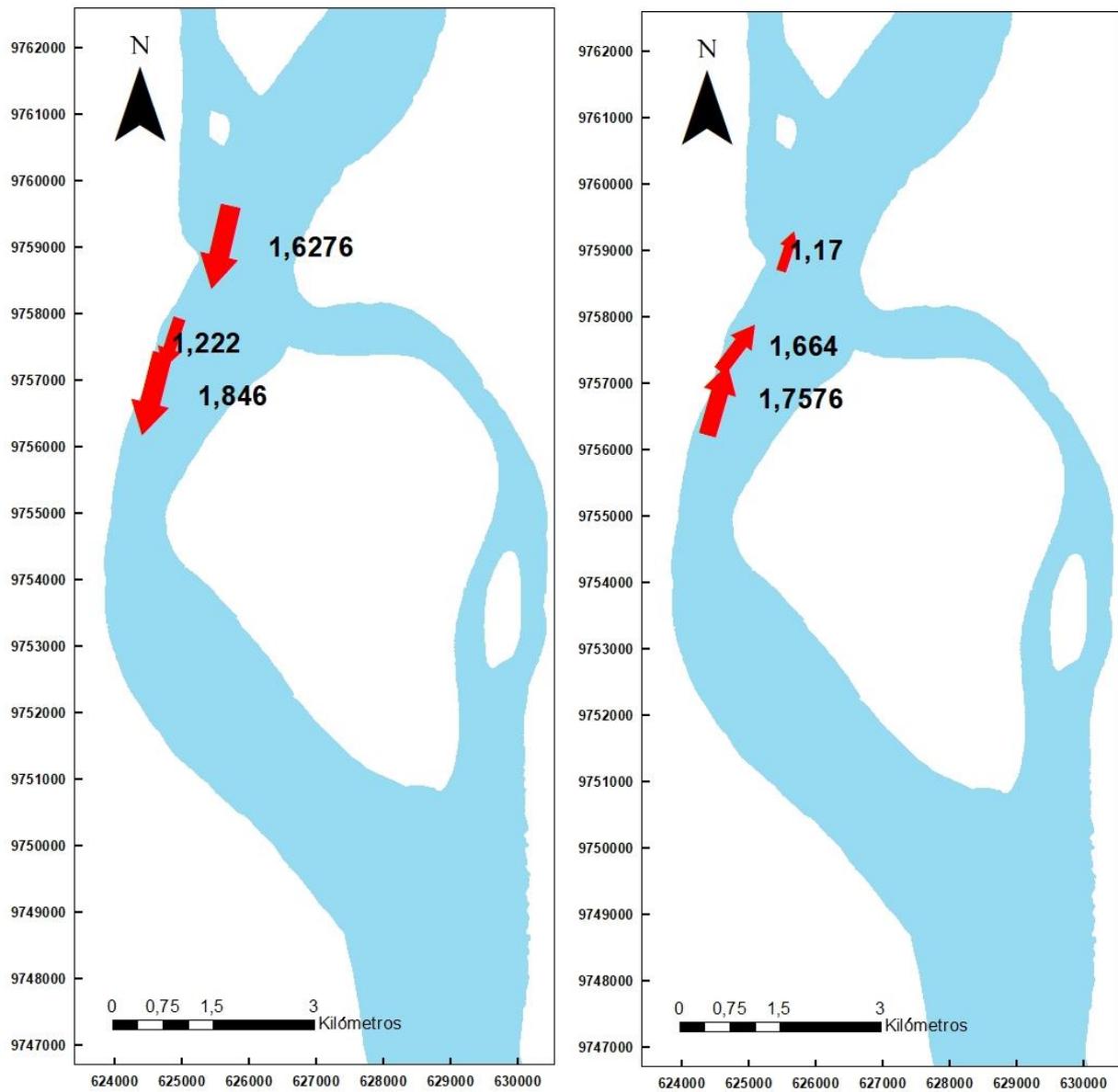


ANEXO D

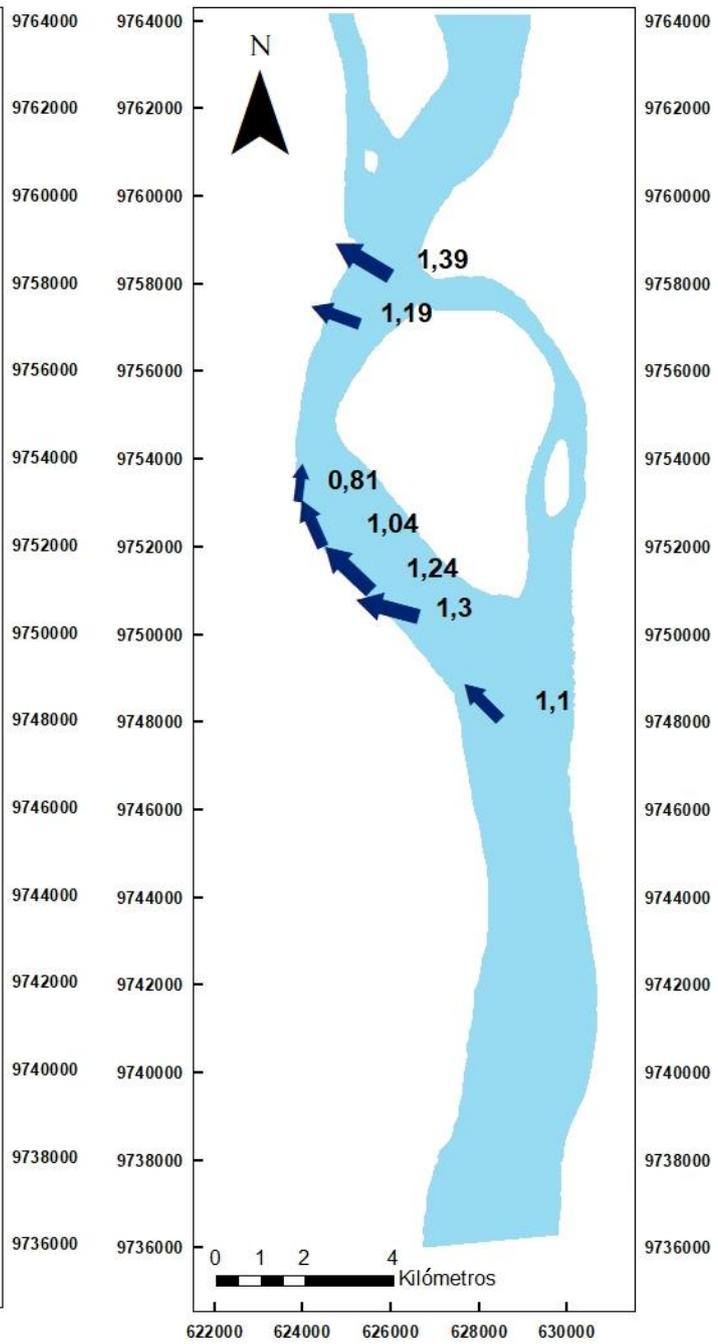
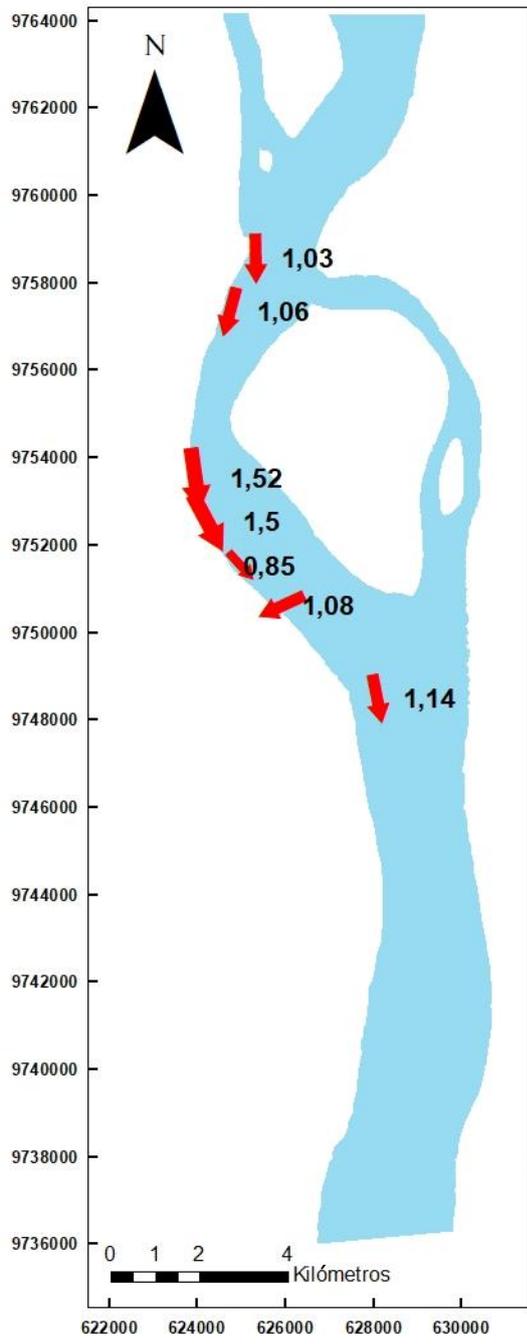
MAPAS DE CORRIENTES



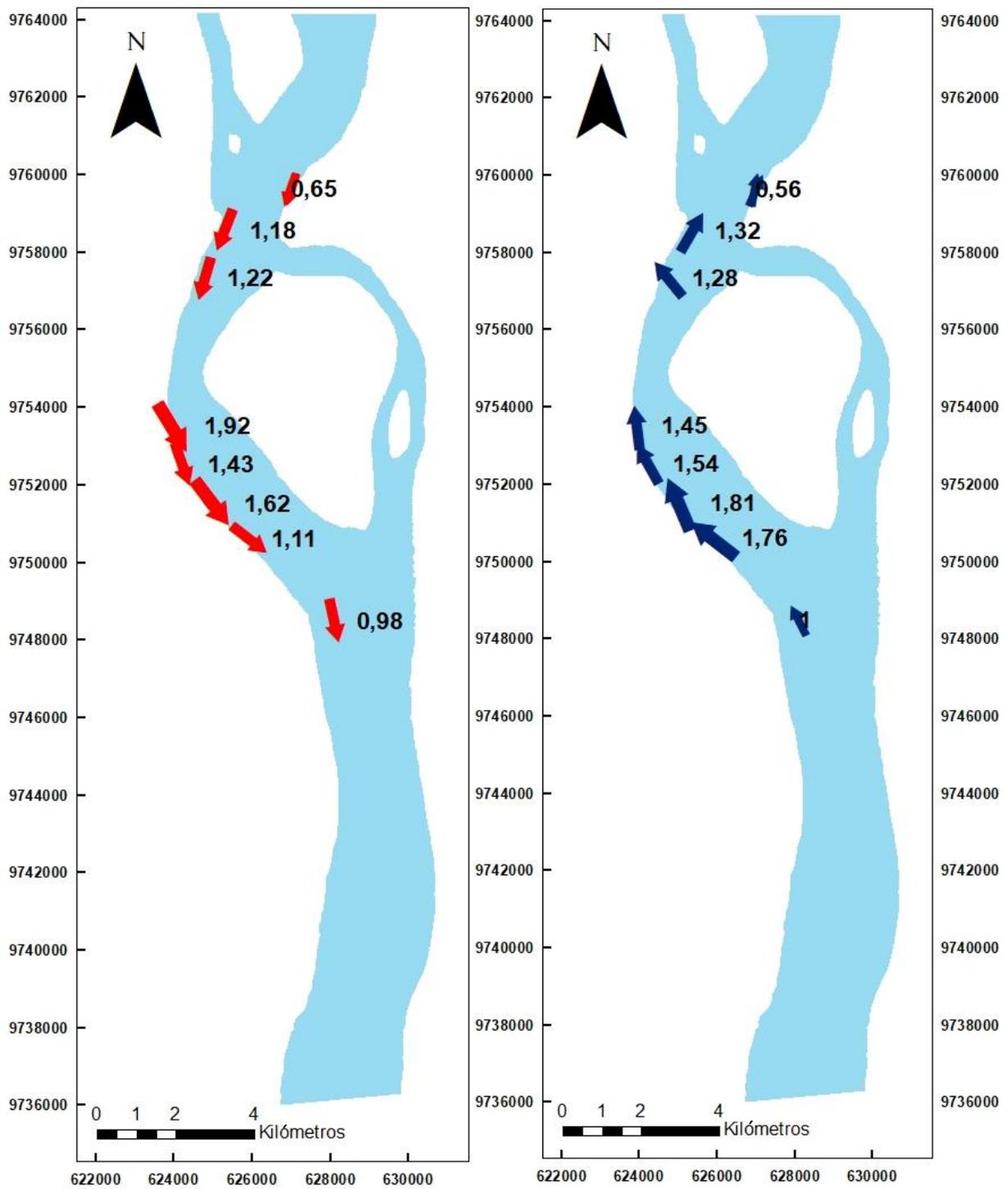
Corriente de flujo y reflujos a 1 m de prof. correspondiente al año 1997.



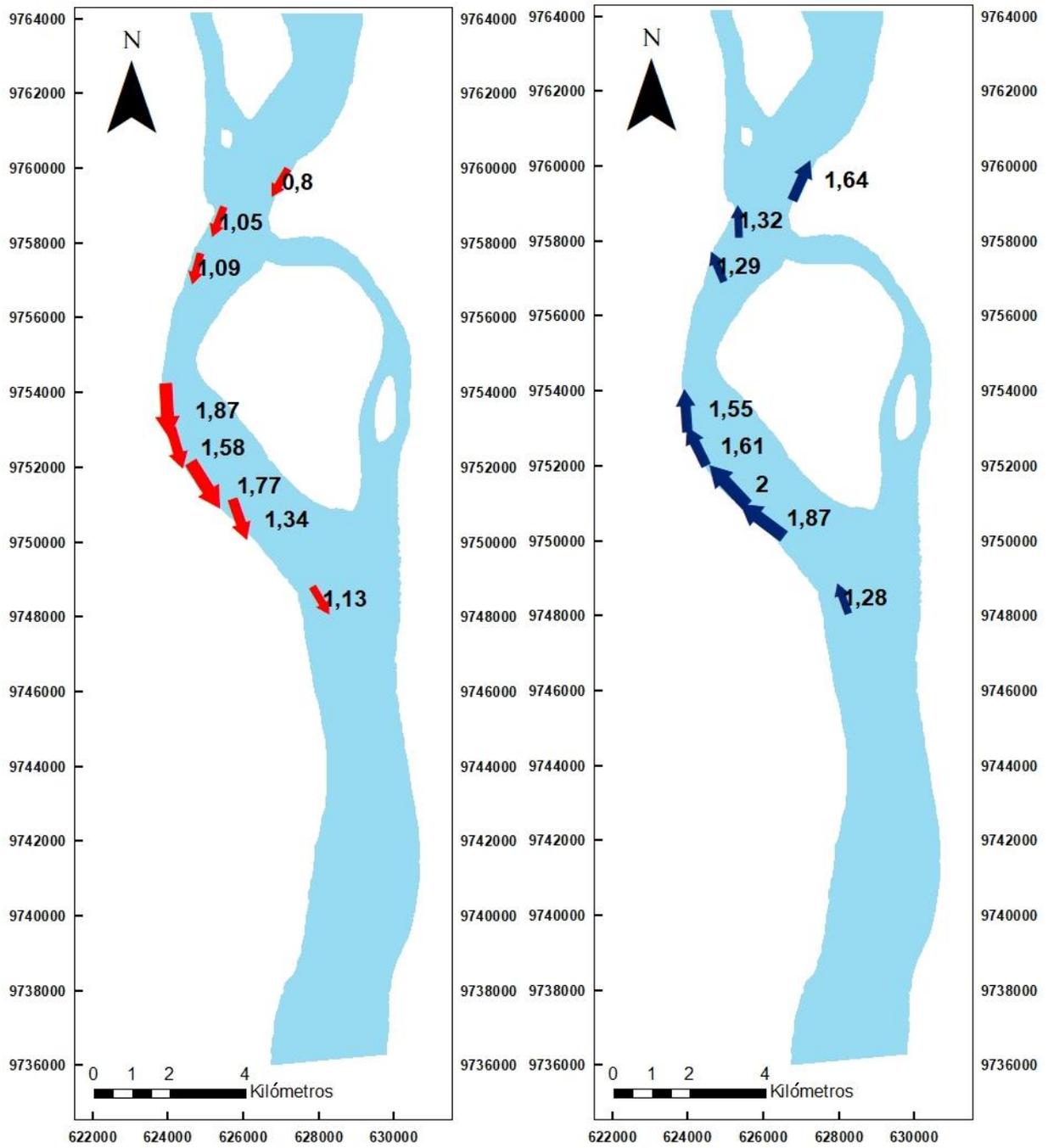
Corriente de flujo y reflujos a 3 m de prof. correspondiente al año 1997.



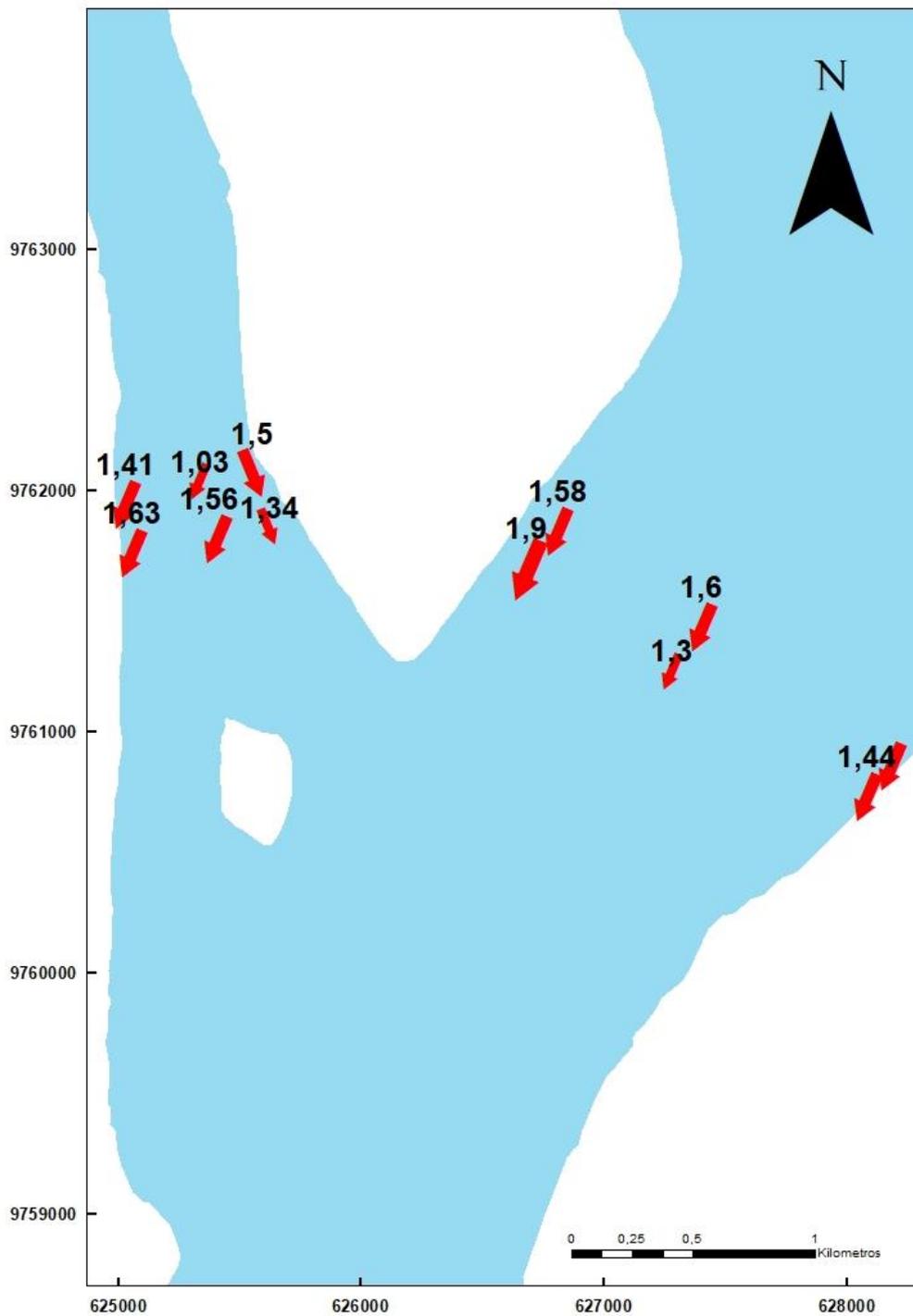
Corriente de flujo y refluxo de 6 a 12 m de profundidad correspondiente al año 2000.



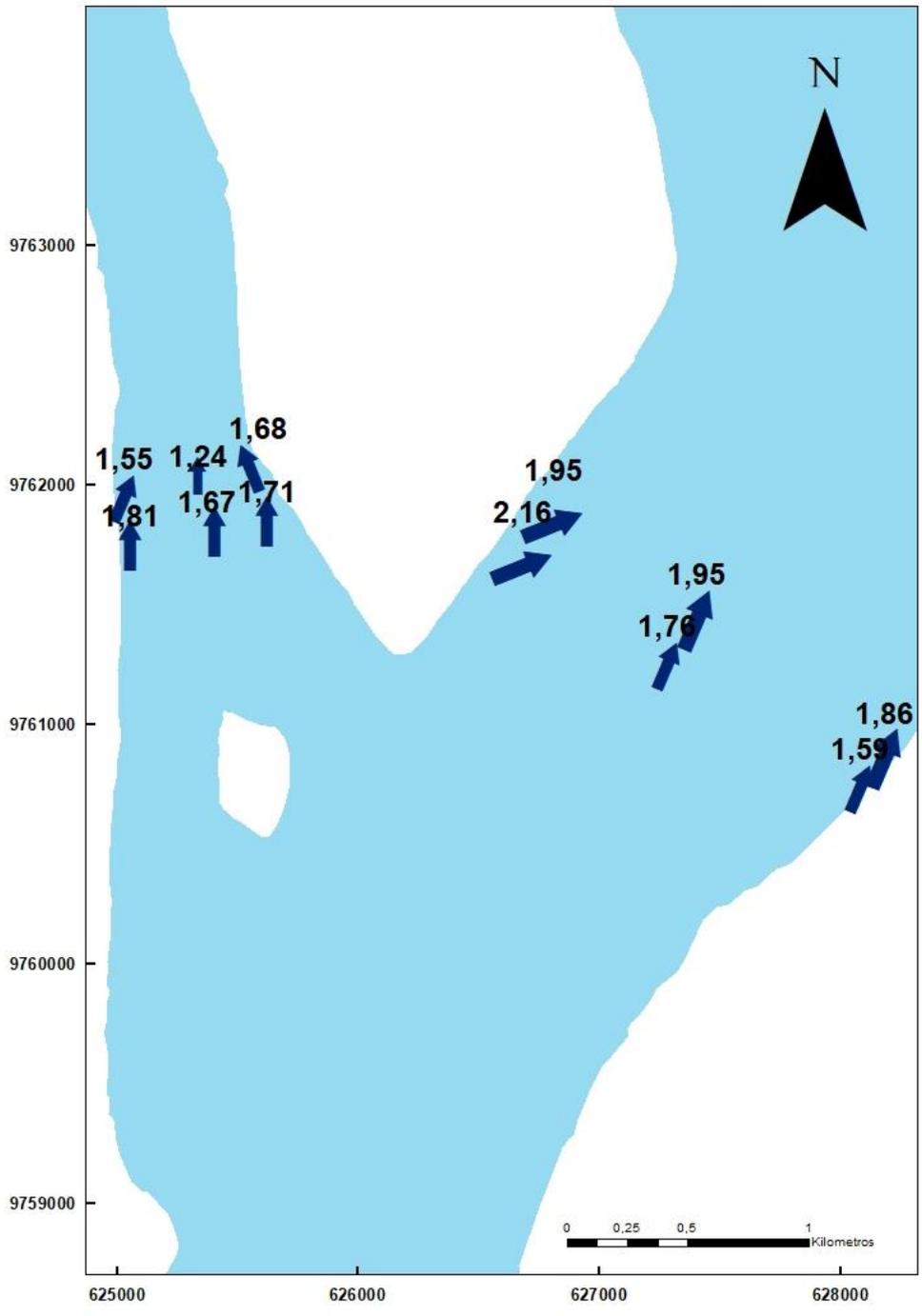
Corriente de flujo y reflujo de 4 a 6 m de profundidad correspondiente al año 2000.



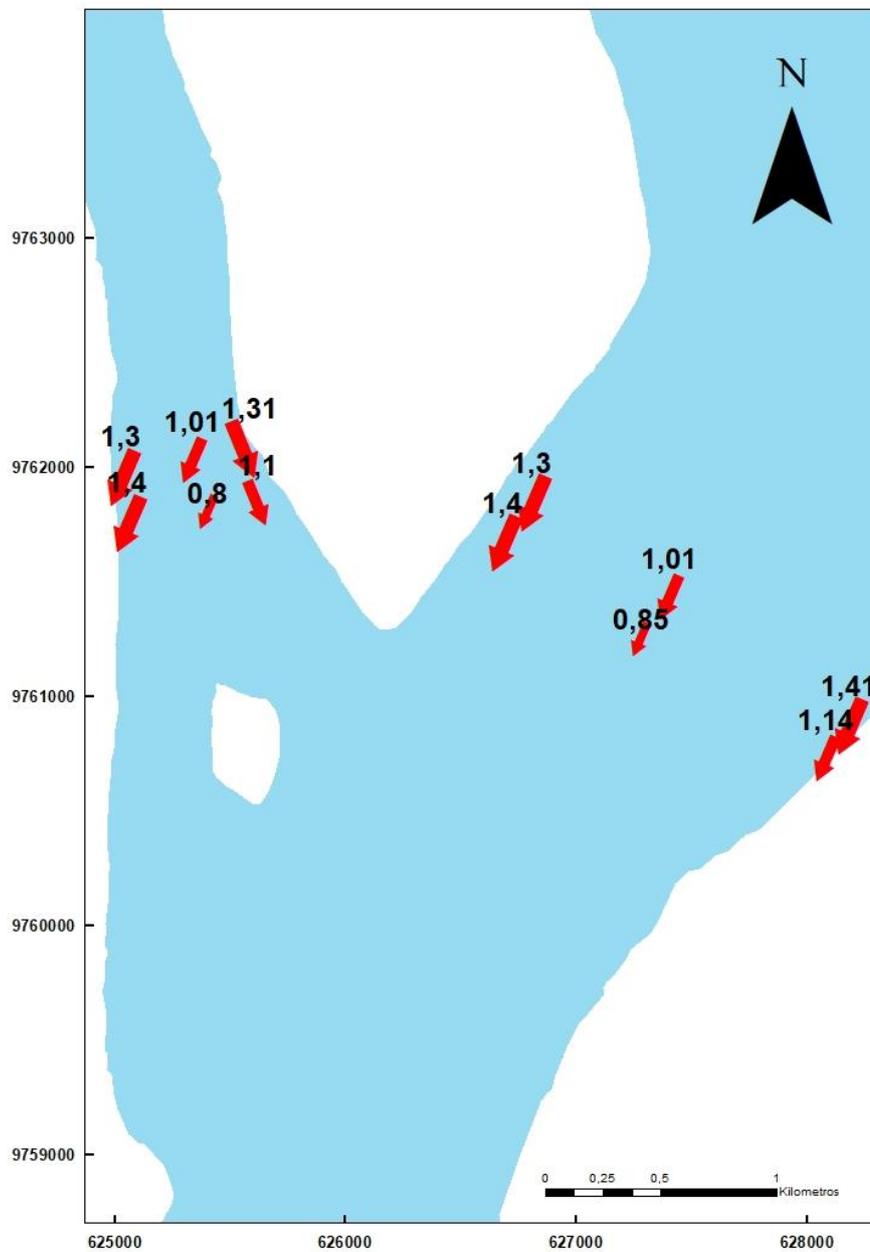
Corriente de flujo y reflujos a 3 m de profundidad correspondiente al año 2000.



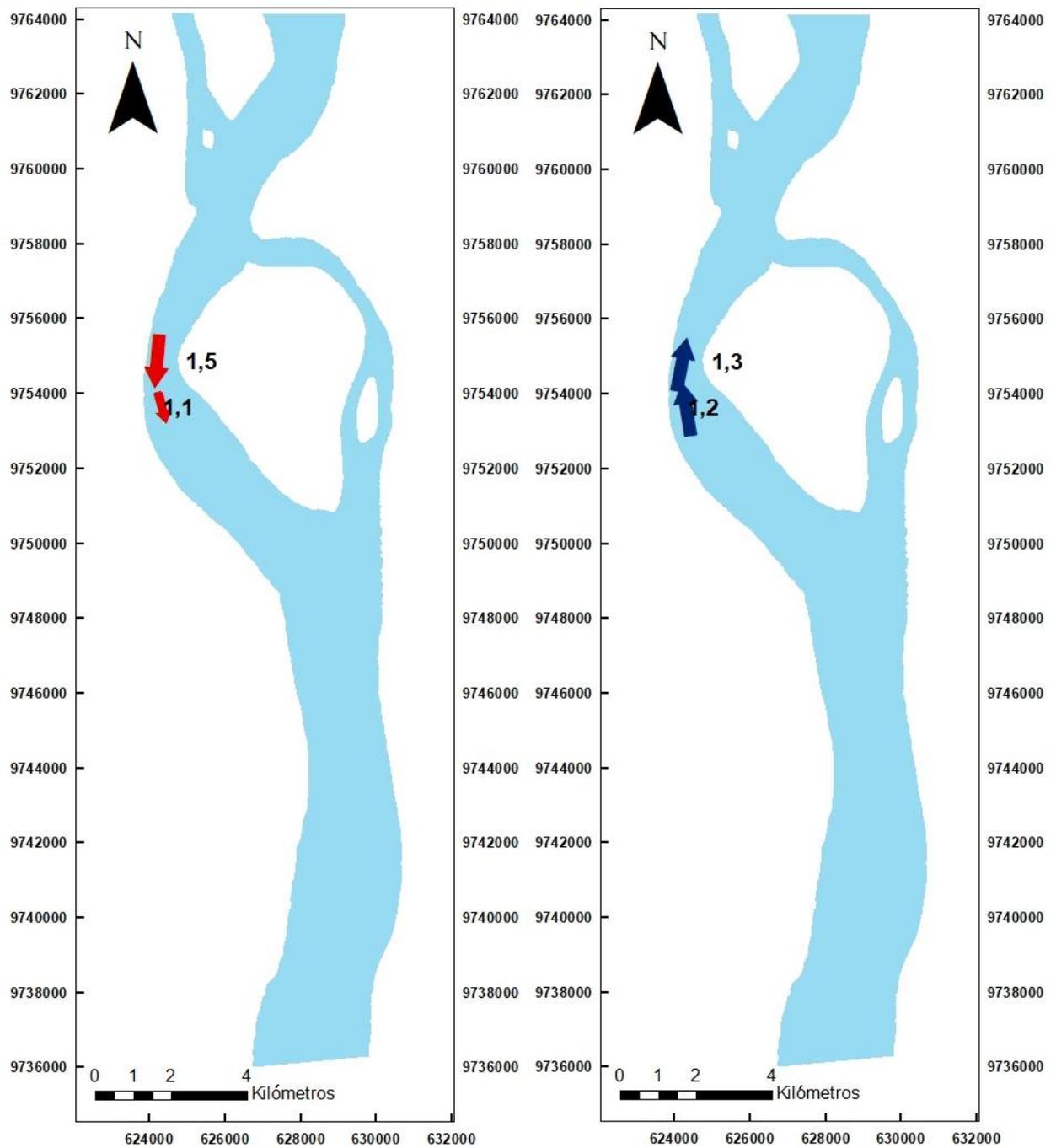
Corriente de flujo de 1.5 m de profundidad correspondiente al año 2001 en la desembocadura de los afluentes.



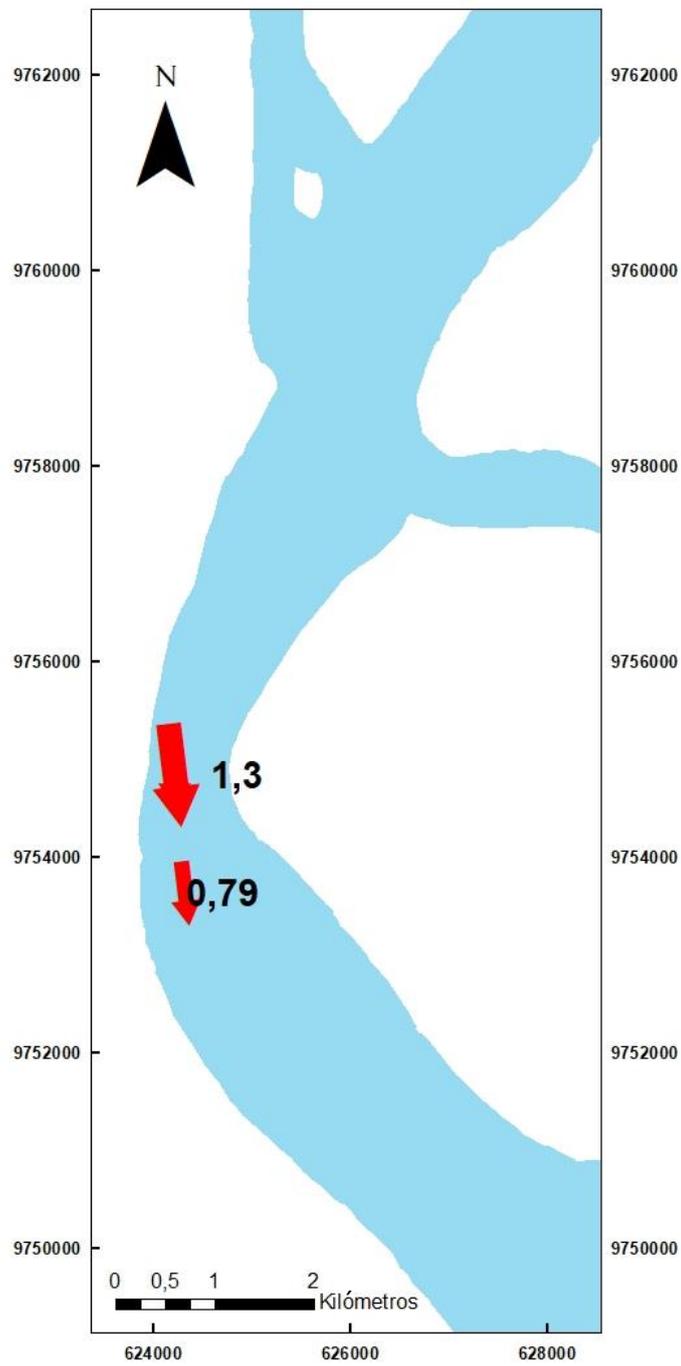
Corriente de refluo de 1.5 m de profundidad correspondiente al año 2001 en la desembocadura de los afluentes.



Corriente de flujo mayor a 1.5 m de profundidad correspondiente al año 2001 en la desembocadura de los afluentes



Corriente de flujo y reflujo de 1 a 4 m de profundidad correspondiente al año 2014.



Corriente de flujo de 7 a 12 m de profundidad correspondiente al año 2014.