

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICAS Y AMBIENTALES

PROYECTO DE GRADUACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

“MAGÍSTER EN CIENCIAS AMBIENTALES”

TEMA

**EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN LAS AGUAS Y EL
SEDIMENTO DEL RÍO BABAHOYO, EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LAS
LOCALIDADES DE BABAHOYO Y SAMBORONDÓN**

AUTORA

JENNY MARIA VENEGAS GALLO

Guayaquil - Ecuador

AÑO

2016

Dedicatoria

A Dios y a cada una de esas personas que me han acompañado en este caminar por la vida; que han estado junto a mí en los buenos y malos momentos, y que supieron valorar mi amistad, mi esfuerzo y mi trabajo.

Agradecimientos

A Dios por darme la vida.

A mis padres, mi familia y amigos que me han apoyado en el cumplimiento de mis metas.

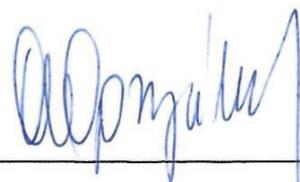
A todo el equipo de trabajo: Olguita, Karen, Laila, Tyrone y Gabriel, quienes fueron claves en el desarrollo de este proyecto.

A ESPOL, sus directivos y docentes, quienes me brindaron la posibilidad de aprender cada día más.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Oswaldo Valle Sánchez, MSc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



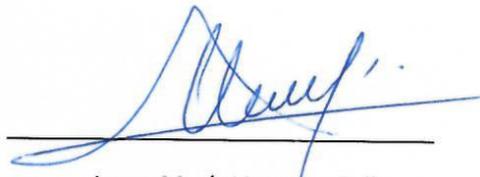
Olga González Sánchez, PhD.
DIRECTORA DE PROYECTO



David Matamoros Camposano, PhD.
VOCAL DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jenny María Venegas Gallo', is written over a horizontal line.

Jenny María Venegas Gallo

RESUMEN

Este proyecto evaluó la presencia de metales pesados en el agua y el sedimento del río Babahoyo, en el tramo comprendido entre las localidades de Babahoyo y Samborondón, en una extensión aproximada de 45 Km a lo largo del río, estableciéndose una distancia de 5 Km entre cada punto muestreado.

Los metales evaluados son cadmio, cromo, cobre, níquel y plomo, elementos metálicos considerados peligrosos y con tendencia a la toxicidad. Además se determinaron parámetros físico-químicos en agua a través de equipos multiparamétricos, como temperatura, pH, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, total de sólidos disueltos y turbidez. En sedimentos se determinó además la granulometría de las muestras con resultados que muestran una mayor proporción en arena fina entre 51 y 74%, en menor proporción la arcilla entre 4 y 32% y limo entre 1 y 15%.

Los resultados obtenidos muestran que los parámetros determinados en aguas no tienen mayores variaciones y se encuentran en los límites permisibles de acuerdo a la referencia de la Tabla 5 del TULSMA, sobre criterios de calidad de agua para la preservación de la vida acuática y silvestre. La excepción en este caso fue el Cd el cual supera en los puntos 4, 6 y 8, los límites permisibles.

En lo que se refiere a metales pesados en sedimentos, sí se observan variaciones importantes en la concentración de los metales pesados, sobre todo en los puntos 2, 3, 7 y 8, que se elevan comparado con los demás puntos muestreados. En el caso del cobre, las concentraciones superan todos los límites establecidos en normas nacionales e internacionales en todos los puntos muestreados, con concentraciones por encima de las 28 ppm.

INDICE

<i>Dedicatoria</i>	II
<i>Agradecimientos</i>	III
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
RESUMEN	VI
ABREVIATURAS	IX
INDICE DE TABLAS.....	XI
INDICE DE FIGURAS.....	XII
INTRODUCCION.....	XIII
OBJETIVO GENERAL	XVIII
OBJETIVOS ESPECIFICOS	XVIII
CAPITULO 1	1
MARCO TEORICO	1
1.1. RÍO BABAHOYO Y ZONA DE INFLUENCIA	2
1.2. METALES EN EL AMBIENTE	4
1.3. METALES PESADOS.....	5
1.3.1. CADMIO	6
1.3.2. CROMO	7
1.3.3. COBRE	8
1.3.4. NIQUEL.....	8
1.3.5. PLOMO.....	9
1.4. METALES EN MEDIO ACUATICO.....	10
1.5. METALES EN SEDIMENTOS.....	12
1.6. EFECTOS AMBIENTALES	12
1.7. NORMATIVA DE METALES EN AGUA Y SEDIMENTOS	13
1.7.1. NORMATIVA APLICADA EN AGUA.....	13
1.7.2. NORMATIVA APLICADA EN SEDIMENTOS.....	15
CAPITULO 2	18
MATERIALES Y MÉTODOS	18
2. MATERIALES Y METODOS	19
2.1. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS	19
2.2. METODOLOGIA.....	20

2.2.1.	DELIMITACION DEL AREA DE ESTUDIO	20
2.2.2.	TOMA DE MUESTRAS	28
2.2.3.	DETERMINACION DE PARAMETROS IN SITU	31
2.2.4.	ANÁLISIS EN LABORATORIO	32
CAPITULO 3		37
RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS		37
3.1.	RESULTADOS EN AGUA	38
3.1.1.	PARAMETROS FISICO QUIMICOS	38
3.1.2.	METALES	43
3.1.3.	METALES PESADOS	46
3.2.	RESULTADOS EN SEDIMENTOS	49
3.2.1.	GRANULOMETRÍA:	49
3.2.2.	METALES PESADOS	50
3.3.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	55
CAPITULO 4		58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		58
4.1.	CONCLUSIONES	59
4.2.	RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA.....		63

ABREVIATURAS

μg	microgramo
μS	micro siemens
Ag	Plata
As	Arsénico
Bi	Bismuto
Ca	Calcio
CCME	Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente
Cd	Cadmio
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DCQA	Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales
EC-TEL	Nivel de efecto medio recomendable en sedimentos
ERL	Nivel de efecto umbral
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FCNM	Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
Hg,	Mercurio
INEC	Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos
ISQG	Guía provisional de calidad de sedimento
K	Potasio
Kg.	Kilogramo
LEL	Nivel de efecto más bajo
MET	Umbral de mínimo efecto
Mg	Magnesio
Na	Sodio
Ni	Níquel
NTU nefelométrica)	Unidad de medición para la turbidez (Unidad de turbidez nefelométrica)

Pb	Plomo
Pd	Paladio
PEL	Nivel de efecto probable
pH	Potencial de hidrógeno
Ppm	partes por millón
Pt	Platino
SAR	Tasa de absorción específica
Sb	Antimonio
Se	Selenio
Sn	Estaño
Te	Teluro
Ti	Titanio
TSD	Total de sólidos disueltos
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria
Zn	Zinc

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficie sembrada por cultivo (Pozo W., 2011).....	XIV
Tabla 2. Cuadro comparativo de concentraciones de metales en humedales de arroz. (Pozo W., 2011).....	XVI
Tabla 3. Umbrales de concentración de metales (mg.Kg-1) (Galán & Romero, 2008)	XVII
Tabla 4. Composición básica del suelo	12
Tabla 5. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios	14
Tabla 6. Referencias para diferentes usos de agua. (Canadian Council of Ministers of the Environment).....	15
Tabla 7. Criterios de Calidad de Suelo (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2015)	16
Tabla 8. Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life Freshwater (Canadian Council of Ministers of the Environment)	16
Tabla 9. Guía efecto de calidad de metales pesados en sedimentos (The Japanese Society of Limnology, 2002).....	17
Tabla 10. Equipos utilizados.....	19
Tabla 11. Reactivos utilizados.....	19
Tabla 12. Estaciones de muestreo en el río Babahoyo, en el tramo comprendido entre Babahoyo y Samborondón	21
Tabla 13. Parámetros determinados en laboratorio	32
Tabla 14. Procedimientos aplicados en laboratorio en muestras de agua	32
Tabla 15. Procedimientos aplicados en laboratorio en muestras de sedimento.....	32
Tabla 16. Determinación de metales en agua	33
Tabla 17. Determinación de metales en sedimentos	35
Tabla 18. Tipo de sedimento por tamaño de malla.....	36
Tabla 19. Parámetros físico químicos promedio en el agua del río Babahoyo	38
Tabla 20. Resultados del Análisis granulométrico en Sedimento del río	49
Tabla 21. Metales pesados en sedimentos.....	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Subcuencas hidrográficas de la Cuenca del Guayas	2
Figura 2. Mapa de la división geográfica de la cuenca del río Babahoyo (Guaranda & Muñoz, 2008).....	3
Figura 3. Alrededores de punto 1	22
Figura 4. Alrededores de Punto 1	22
Figura 5. Alrededores de punto 2	22
Figura 6. Alrededores de punto 2	22
Figura 7. Alrededores de punto 3	23
Figura 8. Alrededores de punto 3	23
Figura 9. Alrededores de punto 4	23
Figura 10. Alrededores de punto 4	23
Figura 11. Alrededores de punto 5	24
Figura 12. Alrededores de punto 5	24
Figura 13. Alrededores de punto 6	24
Figura 14. Alrededores de punto 6	24
Figura 15. Alrededores de punto 7	25
Figura 16. Alrededores de punto 7	25
Figura 17. Alrededores de punto 7	25
Figura 18. Alrededores de punto 7	25
Figura 19. Alrededores de punto 8	26
Figura 20. Alrededores de punto 8	26
Figura 21. Alrededores de punto 8	26
Figura 22. Alrededores de punto 9	27
Figura 23. Alrededores de punto 9	27
Figura 24. Alrededores de punto 9	27

INTRODUCCION

El Ecuador es un país eminentemente agrícola, que ha basado gran parte de su economía en esta actividad. La zona de mayor potencial se encuentra en el litoral o costa, siendo una de las zonas de mayor producción la cuenca del río Guayas que cuenta con un área geográfica aproximada de 34.000 Km² (Montaño & Sanfeliu, 2008), y que se caracteriza por tener una buena calidad de suelo además de la interacción con el mar en la zona estuarina que permite realizar una amplia variedad de actividades como la agrícola, ganadera, forestal, pesquera, acuícola, industrial, entre otras, que la convierten en la zona con mayor producción agropecuaria del país (Tapia J. , 2012).

La cuenca del río Guayas forma la red fluvial más densa del litoral y es una de las más útiles tanto para la actividad agropecuaria como para la navegación, lo que ha permitido una buena interacción entre las poblaciones que se conectan por esta red, en aspectos políticos, culturales y en gran medida, económicos. Toda la red fluvial ha favorecido no sólo a la provincia del Guayas, sino que ha permitido el intercambio con otras provincias como Los Ríos, Manabí y Santo Domingo. En el caso particular del río Babahoyo, tradicionalmente ha sido muy importante porque constituye el nexo comercial y de transporte entre las regiones de la costa y la sierra (Layana, 2013). Aún se puede observar estaciones en las poblaciones de Babahoyo y Samborondón, donde se ofrece el servicio de transporte fluvial entre las diferentes localidades de la zona, dando lugar a un apreciable movimiento comercial.

El río Guayas se forma por la confluencia de dos importantes ríos que son el Daule y el Babahoyo. Este último, objeto del presente estudio, nace cerca del cantón del mismo nombre, por la confluencia del río Clementina con el río Catarama y el río San Pablo, y corre hacia el suroeste del país atravesando parte de la provincia de Los Ríos y de la provincia del Guayas hasta unirse con el río Daule.

El río Babahoyo tiene una extensión aproximada de 78.6 km y el ancho de su cauce varía entre 150 y 2980 m. (Guaranda & Muñoz, 2008). De acuerdo a este estudio se determinó que tiene un caudal superior al del río Daule en una proporción del 60% en verano y 66% en invierno; caudal que en ciertas épocas genera problemas de inundaciones a lo largo de las riberas del río.

Al río Babahoyo tributan por el margen derecho, los ríos Pueblo Viejo, río Nuevo, Junquillo, Vinces y Los Tintos. En esta zona se encuentran poblaciones pertenecientes a la provincia de Los Ríos y Guayas, como Ventanas, Catarama, Babahoyo, Vinces, Samborondón, Yaguachi, además de pequeños asentamientos cuya principal actividad económica es la agricultura y la ganadería; que además son las principales fuentes de ingresos de una población que alcanza los 501.430 habitantes distribuidos en zonas urbanas y rurales, según la proyección al 2015 del INEC.

Gran parte de esta zona de la cuenca del río Guayas está dedicada a la agricultura y actividad pecuaria, cuyos principales cultivos y extensión se aprecian en al Tabla 1; con una distribución de cultivos permanentes del 34%, cultivos transitorios 36%, pastos cultivados 11%, pastos naturales 5% y para otros usos 14% (Ministerio de Coordinación de la Producción, 2011)

Tabla 1. Superficie sembrada por cultivo (Pozo W., 2011)

Cultivo	Superficie (ha)
Cacao	434.418
Arroz	350.000
Banano	320.911
Plátano, maíz, soya, palma africana, plantas frutales	355.000

Por otro lado, cabe mencionar que en la zona existen empresas dedicadas a la industrialización y almacenamiento del arroz y otros frutos, además de que en los últimos años, también se ha visto el desarrollo de otro tipo de industrias alimenticias y de otros rubros diferentes como el papel, artesanías, actividades comerciales y una actividad que ha ido en aumento que es la hotelería y Turismo que encabeza la actividad comercial (Ministerio de Coordinación de la Producción, 2011). Todo esto determina el uso del agua para regadíos, limpieza y desinfección de ganado, de la infraestructura hotelera y de diversión, uso en áreas industriales y otras actividades domésticas.

El río tiene su origen en la Cordillera de Los Andes y corre hacia el suroeste del litoral arrastrando todo tipo de sustancias provenientes de procesos tanto naturales como antropogénicos. Los procesos naturales como la erosión de las rocas, la solubilidad de las capas superficiales de suelo, el aporte de materiales solubilizados por las lluvias, e inclusive se ha detectado una posible influencia de cenizas volcánicas provenientes de las erupciones del volcán Tungurahua, con concentraciones de plomo en suelo de entre $2 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ y $35 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ (Pozo W., 2011). Por otro lado las actividades antropogénicas han generado una gran cantidad de residuos desde los de tipo doméstico e industriales descargados al río sin o muy poco tratamiento, los provenientes de la incineración de residuos, del uso indiscriminado de agroquímicos (Montaño & Sanfeliu, 2008), tal es el caso de los fertilizantes como los superfosfatos en que el plomo está en concentraciones de hasta $7,2 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$, cadmio en $20,8 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$, cromo en $224 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$, cobre en $21,4 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$, níquel en $31,3 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ y zinc en $380 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ (Carrasco, León , & Acevedo, 2014). La suma de todas estas contribuciones ha generado en las aguas de este río algún grado de contaminación ya sea física, química o bacteriológica (Icaza, 1990).

En el presente estudio se evalúa la probable contaminación por metales pesados en el río, aunque los metales en general, son importantes para todos los seres vivos y

los ecosistemas en los que habitan; algunos como el sodio, potasio, calcio y magnesio, se encuentran en mayor proporción disueltos en forma de iones en las aguas superficiales, mientras que los considerados metales pesados como el Cd, Cr o Pb, se encuentran a nivel de trazas, (Mero, 2010) siendo la mayoría, útiles para un buen desarrollo de los seres vivos. La variación de sus concentraciones se debe a las distintas actividades geogénicas o antrópicas, pudiendo el aumento de estas concentraciones, generar un problema tóxico para los seres vivos incluyendo los seres humanos (Jiménez, 2012). Se conoce que hay 17 elementos traza que se consideran tóxicos y que se han encontrado en suelos en concentraciones que superan los límites de toxicidad, ellos son Ag, As, Bi, Cd, Ci, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Pt, Sb, Se, Sn, Te, Ti y Zn. De estos, las actividades antrópicas movilizan 10 que son Ag, As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn y Ti (Galán & Romero, 2008).

Una vez que estos metales son descargados a los cuerpos de agua, no pueden biodegradarse y se acumulan, adsorben y co-precipitan, quedando sólo una pequeña cantidad en el agua, mezclándose posteriormente con el sedimento, principalmente limos y arcillas (Santana, 2014). La solubilidad de los metales tiene relación con el pH, la temperatura, la presencia de sólidos disueltos así como la presencia de limo, arcilla o arena.

En el Ecuador, el mayor consumo del agua de los ríos, aproximadamente el 80%, es destinado para el riego de los diferentes cultivos (Narváez & Guzmán, 2010), siendo el cultivo de arroz el más extendido en las zonas aledañas al tramo de río estudiado, por lo que es importante que el agua que se utiliza mantenga ciertas características esenciales tanto físicas, químicas, biológicas y microbiológicas, para que el desarrollo de las plantas no se vea afectado.

El estudio de humedales de Pozo, 2011, muestra la presencia de plomo y cadmio en las distintas partes de la planta de arroz y aunque no se encontraron en niveles tóxicos, si nos dan una pauta de la presencia de estos metales pesados en las plantas, lo que por bioacumulación se puede almacenar en los seres vivos de la cadena trófica asociada a este alimento y la posibilidad de convertirse en concentraciones tóxicas para estos organismos.

Estudios realizados en los últimos años, sobre la calidad del agua del río Babahoyo (Universidad Agraria del Ecuador, 2012) muestran que el río, por la descarga de sus afluentes, presenta variaciones de rango en el pH, en la concentración de sólidos disueltos totales en base a la influencia de los ríos afluentes; y con concentraciones de oxígeno dentro de los rangos dispuestos por la norma nacional, pero con altas concentraciones de fósforo y nitrógeno total, que se presume son producto del uso de fertilizantes en la zona agrícola y que en ciertas zonas como Catarama, Babahoyo y Vinces, podrían darse problemas de eutrofización.

Estudios sobre metales pesados han considerado que los de mayor peligrosidad toxicológica en ecosistemas acuáticos son el mercurio, arsénico, cromo, plomo, cadmio, níquel y zinc, ya que concentraciones arriba de la concentración umbral puede ser pernicioso (Jiménez, 2012).

En el estudio realizado en los humedales de arroz en la cuenca baja del río Guayas, (Pozo W., 2011) en una zona de aproximadamente 100 Km² alrededor de la orilla del río Babahoyo, se determinaron concentraciones promedio de metales en suelo, que se muestran en la tabla 2 y que comparados con la normativa vigente para suelos tomado de la Tabla 1 del TULSMA, se puede observar que la mayoría está dentro de los límites establecidos con excepción del cobre.

Tabla 2. Cuadro comparativo de concentraciones de metales en humedales de arroz.
(Pozo W., 2011)

Metal	Valor determinado (mg·Kg-1)	Criterio de calidad de suelos TULSMA (mg·Kg-1)
Cobre	48,8	25
Hierro	8,734	No definido
Manganeso	343	No definido
Zinc	34	60
Cadmio	0,15	0,5
Plomo	4,4	19
Mercurio	No detectado	0,1

Metales como el cadmio no tienen una función biológica importante, su presencia en el ambiente no afecta significativamente, pero su presencia en animales y plantas puede causar algún grado de toxicidad (Jiménez, 2012) en concentraciones superiores a 0,005 ppm, en exposiciones prolongadas de tiempo, se acumula en riñones y puede causar cáncer de próstata y pulmones (Castañeda, 2015). Su equilibrio en el suelo depende mucho del pH, de su naturaleza química, de su estabilidad bajo la forma de compuestos y su competencia con otros metales, por el contrario, el plomo es un metal potencialmente tóxico que puede afectar el rendimiento de los sembríos y provocar el deterioro de su calidad (Pozo W., 2011), además que concentraciones superiores de 0,01 ppm en el agua puede afectar el sistema respiratorio, nervioso y cardiovascular, además de afectar riñones, provocar anemia hasta retardo en niños (Castañeda, 2015). Probablemente el grado de toxicidad tiene que ver con la afinidad que tienen los metales pesados por los residuos de la cisteína de las proteínas, aunque esto tiene efectos diferentes, dependiendo del metal (Jiménez, 2012).

Normativas internacionales definen umbrales que se consideran excesivos de acuerdo a diversos estudios, algunos ejemplos se observan en la tabla 3.

Tabla 3. Umbrales de concentración de metales (mg.Kg-1) (Galán & Romero, 2008)

Metal	Holanda (1)	Nivel C Holanda (2)	España (3)
Cromo	100	800	-----
Níquel	50	500	75
Cobre	50	500	140
Zinc	200	3000	300
Cadmio	1	20	3
Mercurio	0,5	10	1,5

(1) Nivel por encima del cual hay contaminación demostrable

(2) Si se supera este valor el suelo debe ser saneado

(3) Límite máximo en suelos agrícolas

En el Ecuador, la norma ambiental no tiene parámetros de referencia para los metales pesados en sedimentos, pero diversos estudios muestran niveles que si pudieran afectar, pues hay que considerar que los efectos tóxicos de los metales pesados no son visibles a corto plazo (Jiménez, 2012) pero van generando diferentes grados de toxicidad dependiendo de las concentraciones en el medio y el tiempo de exposición (Senior Galindo, 2014).

Todos estos factores nos muestran que las aguas del río son muy importantes para el desarrollo de la zona y el país, pero que las distintas actividades alrededor de él han ido alterando su comportamiento.

Con el objetivo de evaluar la condición en la que se encuentra el río Babahoyo, se plantea este proyecto cuyo objetivo es cuantificar la presencia de metales pesados, particularmente cadmio, cobre, níquel, cromo y plomo, haciendo muestreos de agua y sedimentos, entre las localidades de Babahoyo y Samborondón, en época seca del año, además de la determinación de parámetros físico-químicos que permitirán evaluar la calidad del agua y los sedimentos del río.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el contenido de metales pesados, particularmente cadmio, cobre, cromo, níquel y plomo, en las aguas y sedimentos del río Babahoyo en el tramo comprendido entre las localidades de Babahoyo y Samborondón.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un muestreo de agua y sedimento en 9 puntos a lo largo del río Babahoyo entre las localidades de Babahoyo y Samborondón.
- Determinar concentraciones de parámetros físico-químicos in situ, en las muestras de agua recolectadas.
- Determinar concentraciones de metales y metales pesados en laboratorio, en las muestras de agua recolectadas.
- Determinar concentraciones de metales pesados en laboratorio, en las muestras de sedimentos recolectados.
- Evaluar las concentraciones determinadas en función de normas nacionales e internacionales.
- Analizar la posibilidad de problemas ambientales generados en el río Babahoyo.

CAPITULO 1
MARCO TEORICO

1. MARCO TEORICO

1.1. RÍO BABAHOYO Y ZONA DE INFLUENCIA

El río Babahoyo forma parte de la cuenca Guayas, Figura 1, del litoral ecuatoriano, que nace cerca del cantón Babahoyo, por la confluencia del río Clementina con el río Catarama que a poca distancia se une con el río San Pablo, y corre hacia el sur-oeste del país atravesando parte de la provincia de Los Ríos y de la provincia del Guayas hasta su confluencia con el río Daule, para formar el río Guayas.

Figura 1. Subcuencas hidrográficas de la Cuenca del Guayas

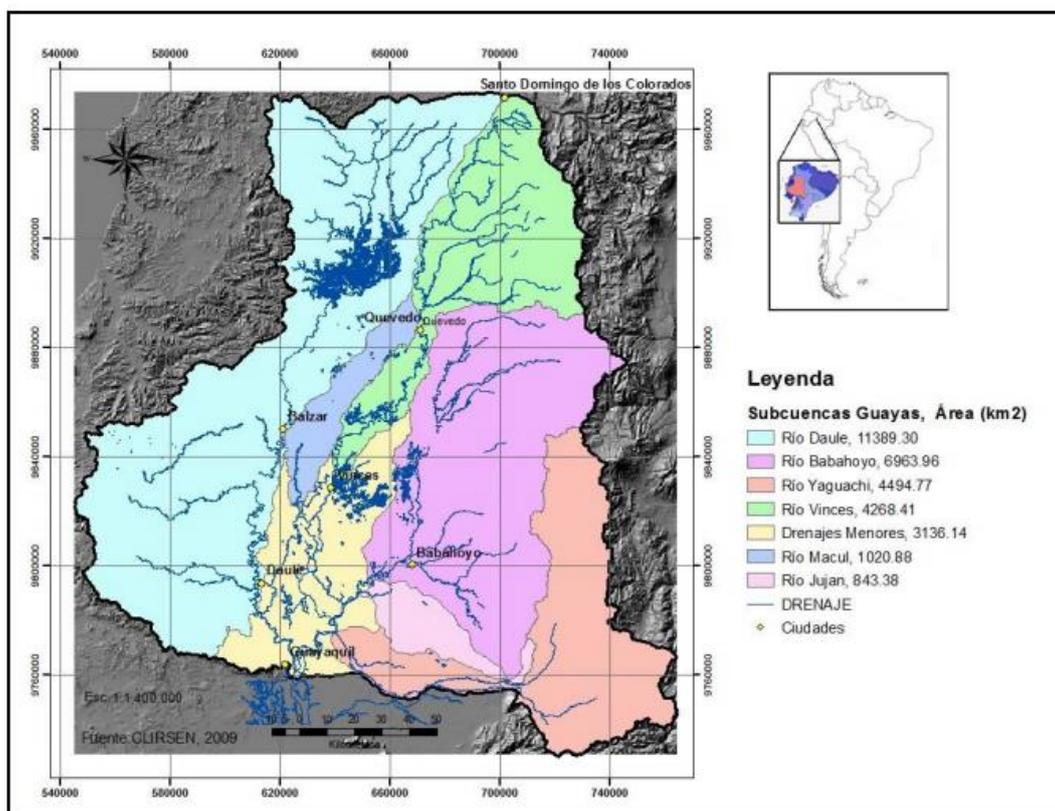


Figura 1. Subcuencas hidrográficas de la Cuenca del Guayas

(Tapia J. C., 2012)

A lo largo del río Babahoyo se encuentran poblaciones pertenecientes a la provincia de Los Ríos y Guayas, como Ventanas, Catarama, Babahoyo, Vinces, Samborondón y Yaguachi, además de pequeños asentamientos a lo largo de las riberas del río. (INEC).

La zona comprendida entre Los Ríos y Guayas destina gran parte de su superficie a la actividad agropecuaria con aproximadamente 2.333.144 ha entre cultivos permanentes, temporales, pastos cultivados, naturales entre otros usos. (Ministerio de Coordinación de la Producción, 2011). A lo largo del río se pueden observar plantaciones de diversos tipos, principalmente de arroz, que es lo más tradicional, además de caña de azúcar, cacao, café, banano, palma africana, entre otros (Pozo W., 2011); con volúmenes de producción de aproximadamente 827 mil toneladas métricas. Parte de esta producción se industrializa en la misma zona como es el caso de las piladoras de arroz, que descascaran, limpian, almacenan y comercializan el arroz. (Ministerio de Coordinación de la Producción, 2011).

La población perteneciente a estas localidades cercanas al río y sus alrededores la constituyen aproximadamente 501.430 habitantes (INEC), quienes basan su economía principalmente en las actividades agroindustriales dado que su producción aporta al consumo interno nacional con el 93% de la producción de arroz, el 95% de soya, el 74% de caña de azúcar, 35% de maíz y 15% de palma africana. (Tapia J. C., 2012).

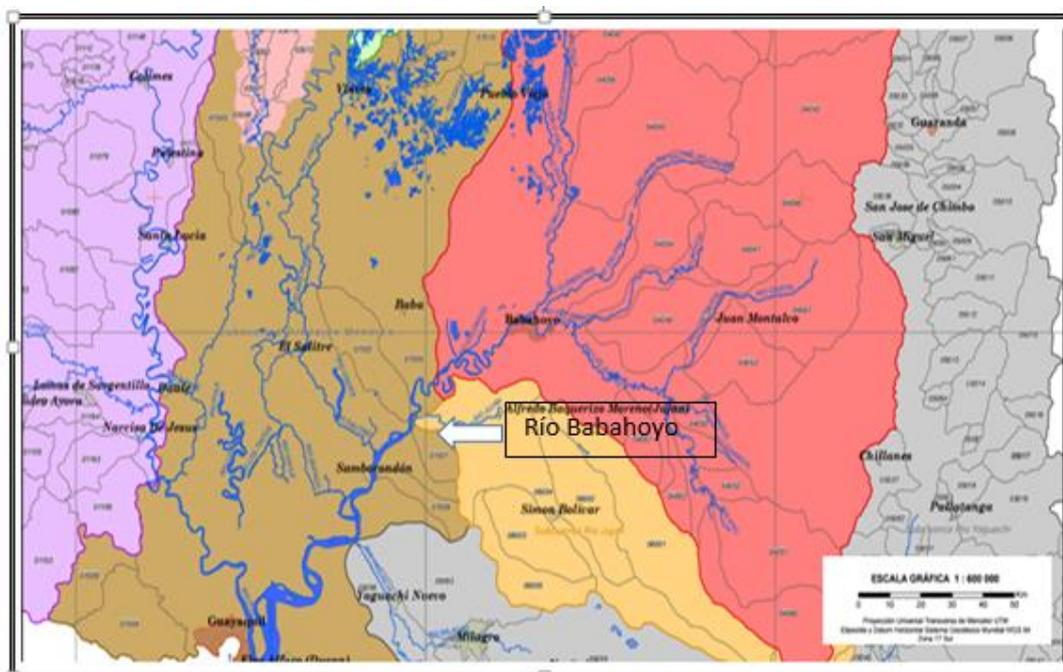


Figura 2. Mapa de la división geográfica de la cuenca del río Babahoyo (Guaranda & Muñoz, 2008)

De acuerdo a estudios realizados en esta área, sobre metales pesados, se han encontrado problemas de tipo ambiental, que pueden ser de naturaleza geogénica, por la meteorización de las rocas provenientes de la Cordillera de los Andes (Pozo W., 2011), además de la acumulación de residuos de tipo doméstico provenientes de un deficiente sistema de evacuación de desechos, del uso constante de agroquímicos como los fertilizantes, los plaguicidas, herbicidas, etc (Montaño & Sanfeliu, 2008); por la incineración de desechos, así como de otros residuos de actividades antropogénicas.

1.2. METALES EN EL AMBIENTE

La contaminación ambiental se manifiesta principalmente en el agua y en el aire, por lo que es lo que más se ha estudiado, pero no hay que descartar el suelo, que tanto seco como húmedo en el fondo de los cuerpos de agua, reciben y acumulan los desechos que se trasladan por estas dos principales vías, aire y agua.

Los contaminantes a través de estos medios llegan a los organismos vivos provocando daños con frecuencias de medio a alto siendo medio para los animales y alto para las plantas. (Bautista, 1999). En el caso de los metales pesados, su presencia en los organismos vivos puede provocar problemas de toxicidad, dependiendo de las concentraciones en que se encuentran, reaccionando, por ejemplo con el azufre de las proteínas produciendo una desactivación enzimática con efectos que pueden ser carcinógenos, mutagénicos ó teratogénicos. (Bautista, 1999).

Los metales pesados presentes en el suelo están en cantidades fijas de orden geológico y bajo ciertas condiciones químicas, son muy poco solubles en el agua, por lo que no representan un peligro para la biota. Sin embargo, las diversas actividades antrópicas producen una gran cantidad de desechos principalmente de tipo agrícola e industrial, lo que ha hecho que se acumulen compuestos de estos metales en formas y cantidades solubles, provocando la contaminación de acuíferos, causando efectos tóxicos, alterando la red trófica y el equilibrio natural, en fin, causando el deterioro ambiental.

La presencia de estos metales pesados ha sido poco evidente en el agua, sedimentos, aire y suelo y hasta cierto punto, ignorados por los estudios ambientales, pero se sabe que su acumulación en los organismos vivos puede causar efectos adversos para la humanidad, por lo que se hace cada vez más necesario su análisis y cuantificación de sus niveles en los diferentes ambientes naturales, de manera que la información ayude a tomar medidas que eviten la destrucción de nuestro hábitat natural.

1.3. METALES PESADOS

No existe una definición clara sobre los metales pesados, pero se han propuesto algunas que se plantean considerando su densidad, el peso atómico, sus propiedades químicas e incluso por la toxicidad que pueden provocar.

Una definición arbitraria los define como aquellos que tienen una densidad por lo menos cinco veces mayor que la del agua (PNUMA, 1980) y en ese grupo se encuentra la mayoría de los metales que tienen importancia económica.

Existen en la naturaleza en diferentes concentraciones y si se encuentran en cantidades mínimas suelen ser indispensables y beneficiosos para los seres vivos siempre que éstas no superen el 0,01% de la masa total del organismo (Jiménez, 2012). Ejemplos de estos metales son el hierro, cobre, manganeso, molibdeno, cobalto, vanadio, estroncio y zinc, siendo el hierro esencial para la formación de la hemoglobina de la sangre.

Cabe indicar que lo que hace que un metal sea o no tóxico, no son precisamente sus características esenciales, sino las elevadas concentraciones en que suelen encontrarse o las especies químicas que pueden formar en un determinado medio, en determinadas condiciones. Los metales pesados tóxicos más conocidos son el mercurio, plomo, cadmio, cromo, níquel y arsénico, aunque a veces se incluyen en la lista a metales menos pesados como el aluminio y berilio.

Una de las características que convierte a los metales pesados en un problema de contaminación tóxica es que no son biodegradables y pueden mantenerse en el ambiente por cientos de años. La exposición o ingesta prolongada a estos metales por

los seres vivos suele producir efectos tóxicos, generalmente por la unión de ciertos metales a macromoléculas importantes como los grupos proteicos de enzimas, pudiendo alterar su función biológica (22Mas y Arola, 1993).

1.3.1. CADMIO

El cadmio es un metal relativamente raro en la naturaleza, no se encuentra libre y generalmente se lo encuentra asociado al zinc. Su número atómico es el 48, masa atómica 112,40 y densidad relativa de 8,65 a 20°C.

Su uso suele estar limitado a la protección por electrodeposición del hierro o acero, las baterías de níquel-cadmio, como pigmento y en reactivos químicos estabilizadores para la fabricación del plástico PVC.

El cadmio entra al ambiente por la erosión de rocas de donde fácilmente llega a los ríos, aire y suelos. También se libera al ambiente por actividades antrópicas como son los residuos que se generan en la producción del zinc, por la quema de combustibles fósiles, la bioindustria del estiércol, por la producción de fertilizantes y en algunos casos por vertidos residuales domésticos e industriales.

El cadmio ingresa a los seres vivos a través de los alimentos ricos en éste como son los mariscos, los champiñones, las algas, el cacao y por productos industrializados como el paté y otros embutidos. Su ingesta no afecta a los seres vivos a menos que se esté expuesto a niveles relativamente altos de este metal como en el caso del tabaco.

Las plantas lo absorben del suelo y en presencia de un ambiente ácido pueden incrementar su absorción. Los gusanos, lombrices y otros animales esenciales para la tierra lo toman del suelo y las plantas siendo muy sensibles, pudiendo alterar los procesos naturales del suelo. En medios acuáticos pueden bioacumularse en ostras, mejillones, langostas y peces, aunque los organismos de agua salada suelen ser más resistentes al envenenamiento por cadmio que los de agua dulce. Su acumulación puede producir daños en el hígado, riñones

además del sistema nervioso y sanguíneo. (Propiedades químicas del Cadmio, s.f.)

1.3.2. CROMO

El cromo es un metal de color blanco plateado de número atómico 24, masa atómica 51,996 y una densidad relativa de 7,140. Se conocen 4 isótopos en la naturaleza que son el Cr-50, Cr-52, Cr-53 y Cr-54 y se presenta comúnmente bajo la forma de óxidos y cromatos.

En la industria se lo utiliza principalmente como protección antioxidante en los procesos metalúrgicos de galvanizado, en pigmentos y colorantes de pinturas, como catalizador en la síntesis del amoníaco, en el curtido de cueros, etc. En la salud es utilizado para regular el metabolismo del azúcar en la sangre ya que cumple el papel de la distribución de la glucosa en las células. (Tecnolowikia, s.f.), su deficiencia puede causar problemas del corazón.

El cromo se encuentra en el ambiente principalmente como cromo (III) y cromo (VI) siendo diferentes los efectos que se pueden dar en el aire, agua y suelo así como en los organismos, dependiendo del isótopo que se encuentre, siendo el cromo (VI) el que provoca mayores efectos adversos para los organismos vivos. Los cultivos regulan el cromo, pero concentraciones altas y ph ácido incrementan la absorción.

Naturalmente el cromo (III) se absorbe a través de los alimentos como Cromo (III) en vegetales, granos, frutas, carnes y levaduras. Su exceso puede causar problemas como afecciones cutáneas, pero su falta puede causar problemas de diabetes y del corazón. El cromo (VI) causa efectos adversos a quienes están expuestos a éste como en la industria textil y metalúrgica así como cuando se consume a través del tabaco, causando problemas en vías respiratorias, alergias, debilitamiento del sistema inmune, hasta cáncer de pulmón (Propiedades químicas del Cromo, s.f.)

1.3.3. COBRE

El cobre es un elemento metálico abundante en la naturaleza, de número atómico 29, de masa atómica 63,546 y densidad relativa de 8,96 a 20°C. Se conocen dos isótopos naturales el Cu-63 y Cu-65.

Se usa industrialmente para la acuñación de monedas, para la fabricación de alambres, en la galvanoplastia y como pigmentos para pinturas. En la agricultura, se usa ampliamente en la fabricación de fungicidas, herbicidas y fertilizantes fosfatados.

El cobre se libera al ambiente tanto por actividades antrópicas como las actividades mineras así como por procesos naturales, como es la descomposición de los vegetales, los incendios forestales, las tormentas de polvo, etc.

Su déficit en los seres humanos puede provocar anemia, osteoporosis, despigmentación de la piel y alteraciones del sistema nervioso central

Su presencia en exceso en el suelo inhibe el crecimiento de plantas, la actividad de microorganismos y lombrices y el proceso de descomposición de la materia orgánica. Esto altera los procesos naturales de vida vegetal y animal causando envenenamiento en todos los seres vivos. Es común el aumento de las concentraciones de cobre cuando se descargan aguas provenientes de la agricultura.

Exposiciones prolongadas al cobre puede causar daños al hígado y riñones. Elevadas concentraciones puede disminuir la inteligencia de los jóvenes. (Propiedades químicas del Cobre, s.f.)

1.3.4. NIQUEL

El níquel es un elemento metálico abundante en la naturaleza, de número atómico 28, masa atómica de 58,71 y una densidad relativa de 8,9 a 20°C. Se

conocen en la naturaleza cinco isótopos naturales el Ni-58, Ni-60, Ni-61, Ni-62 y Ni-64.

Se utiliza principalmente en metalurgia en la fabricación del acero inoxidable y otras aleaciones que necesiten tener una alta resistencia a la corrosión. Se usa también en la acuñación de monedas, como catalizador en procesos de hidrogenación y como colorante en la fabricación del vidrio y de la cerámica.

El níquel bajo la forma de compuestos se encuentra en los suelos naturales y entra al aire por procesos naturales como las erupciones volcánicas y al agua por las lluvias y escorrentías. Por actividades antrópicas, el níquel se descarga en aguas residuales tanto domésticas como industriales y sus compuestos serán absorbidos por los sedimentos, además que un suelo ácido puede movilizar el níquel y ayudarlo a alcanzar el agua subterránea.

Es un metal esencial para el metabolismo de los organismos vivos, en pequeñas cantidades, y se sabe que no se acumula en plantas o animales, de manera que no provocará biomagnificación en la cadena trófica.

También se sabe que altas concentraciones de níquel en el agua superficial puede inhibir el crecimiento de las algas y su presencia en suelos arenosos puede causar daños en las plantas así como inhibir el crecimiento de microorganismos. (Propiedades químicas del Níquel, s.f.)

1.3.5. PLOMO

El plomo es un metal pesado de número atómico 82, una masa atómica de 207,19 y una densidad relativa de 11,4 a 16°C. Rara vez se encuentra en estado elemental siendo los compuestos más comunes los óxidos de plomo y el tetraetilo de plomo.

Se utiliza industrialmente bajo la forma de aleaciones principalmente con el estaño, cobre, arsénico, cadmio, entre otros; en la fabricación de baterías, pigmentos, municiones, cables de electricidad, etc.

Su presencia en forma elemental como de sus compuestos en la industria, ha generado problemas tóxicos, envenenando a trabajadores por el inadecuado uso de estas sustancias. Actualmente, se ha buscado mejores usos al plomo y se han desarrollado diferentes compuestos orgánicos con el objetivo de proteger cosas como la madera contra hongos, el algodón contra la descomposición, los cascos de los barcos contra moluscos, etc.

Aunque el plomo puede encontrarse en forma natural en el ambiente, su presencia generalmente es producto de actividades antrópicas, como la combustión de combustibles fósiles en los vehículos y motores industriales, lo que ha generado grandes problemas de contaminación ambiental en los últimos tiempos.

El plomo no es un elemento esencial para el metabolismo de los organismos vivos, pero una vez ingerido si puede acumularse en los organismos de seres tanto de agua como del suelo, teniendo efectos adversos en pequeñas concentraciones, inhibiendo el crecimiento y alterando el metabolismo desde el fitoplancton hasta grandes plantas y animales.

Su ingesta en exceso puede causar problemas en la síntesis de la hemoglobina, provocando anemia; daño en los riñones, alteración del sistema nervioso, disminución de la fertilidad, entre otros efectos. (Propiedades químicas del Plomo, s.f.)

1.4. METALES EN MEDIO ACUATICO

Generalmente los metales que se encuentran en un medio acuático, deben su presencia a diferentes motivos, tanto naturales como a actividades antropogénicas.

Entre los procesos naturales, la erosión de las rocas, ya sea por el viento o por las lluvias y escorrentías, constituyen los mayores aportes de origen natural de metales a los medios acuáticos, como son los ríos, esteros, entre otros.

Entre las actividades antropogénicas que llevan a los metales a los medios acuáticos pueden ser por tres medios, aéreo, terrestre o de forma directa.

- En el caso aéreo puede ser por la emisión y asentamiento de material particulado como el proveniente de motores de combustión e industrias.
- Terrestre cuando se producen por la lixiviación y vertido proveniente de zonas contaminadas como el lixiviado de residuos sólidos domésticos, productos del lavado en zonas mineras, fertilización de suelos, entre otras.
- Directo en el caso de las descargas directas de aguas domésticas y de tipo industrial.

Los metales pesados suelen encontrarse en el agua como sólidos en suspensión o coloides, principalmente bajo la forma de hidróxidos, o también disueltos formando cationes o iones complejos. Además es posible que las fases disueltas sean atrapadas por adsorción o absorción en arcillas o hidróxidos, y en otros casos por compuestos orgánicos, formando complejos extremadamente tóxicos, siendo un ejemplo el metilmercurio (CH_3Hg).

Es importante anotar que los efectos tóxicos son regulados por diferentes factores siendo los principales, la salinidad, el pH y su potencial redox. (Higuera, 2010)

Las formas en que los metales pesados pueden pasar a los organismos acuáticos son (Higuera, 2010)

- Absorción de cationes metálicos libres a través de las vías respiratorias
- Adsorción de cationes metálicos libres
- Ingesta de metales a través de otros organismos como peces o bivalvos

1.5. METALES EN SEDIMENTOS

Los sedimentos de los ríos son lugares en los que se van depositando los materiales pesados arrastrados por la corriente, mismos que pueden ser el resultado de la erosión de las rocas, la precipitación de sustancias disueltas en el agua, la acumulación de materia orgánica, etc., y que se depositan cuando disminuye la energía del fluido que lo transporta como es el agua o el viento. (Molina & Rodríguez, 2010). Está formado por diferentes estratos, los mismos que van cambiando poco a poco con el caudal del río y la época del año en la que se encuentre.

En esta parte es donde se produce una gran parte de procesos físico-químicos como son la movilización y el depósito de los metales provenientes de los diferentes efluentes que pueden ser de tipo natural como el agua de otros ríos y riachuelos, o pueden ser de tipo antropogénico como son las descargas domésticas o industriales tanto sólidas como líquidas o gaseosas.

Se compone de una parte Inorgánica y otra parte orgánica, como se detalla en la tabla siguiente

Tabla 4. Composición básica del suelo

Inorgánico	Orgánico
<ul style="list-style-type: none">- Minerales- Rocas- Piedras,- grava,- arena,- limo- arcillas- sales de calcio, magnesio, sodio y potasio, entre otras.	<ul style="list-style-type: none">- Algas- bacterias- protozoarios,- hongos,- invertebrados- Vertebrados

Fuente: Venegas J, 2016

1.6. EFECTOS AMBIENTALES

La presencia de metales pesados tanto en el agua como en el sedimento de los ríos puede generar muchas afecciones en el medio ambiente, dado que de estas aguas

depende la vida de muchos seres vivos que va desde los seres humanos que viven en las cercanías de los ríos, así como de animales, plantas y toda serie de microorganismos u organismos que forman parte de la cadena trófica.

Pequeñas concentraciones de estos metales pesados pueden no causar la muerte de estos organismos, pero son altas las probabilidades de desarrollar problemas fisiológicos y metabólicos como alteraciones de los tejidos, del crecimiento, de las actividades enzimáticas y químicas de la sangre, de la reproducción y por consiguiente del comportamiento natural (Higueras, 2010)

Algunos animales como los peces y crustáceos pueden excretar el exceso de metales esenciales como el hierro, cobre o zinc, pero se les dificulta excretar metales no esenciales como el cadmio y el mercurio. Por otro lado, ciertas plantas acuáticas como las algas y los bivalvos como los mejillones y ostras, no son capaces de regular los metales pesados, ocasionando problemas como la disminución de la capacidad de fotosíntesis en las plantas y acumulación en los bivalvos, pudiendo pasar estos últimos a los seres humanos cuando los ingieren.

1.7. NORMATIVA DE METALES EN AGUA Y SEDIMENTOS

1.7.1. NORMATIVA APLICADA EN AGUA

Para la preservación de la calidad del agua ambiental, es necesario considerar la gestión de los recursos hídricos desde diferentes puntos de vista como son la gestión biológica, la sanitaria, la ecológica y la tecnológica. Para ello se hace necesario hacer una revisión de referencias nacionales e internacionales que permitan tener criterios más amplios para los análisis respectivos.

La normativa vigente en la legislación nacional, la establece el Ministerio del Ambiente a través del Texto unificado de legislación secundaria (TULSMA). Para este estudio se ha tomado de referencia el nivel de metales en agua, considerado en la Tabla 2: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, de la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (Anexo 1, libro VI). Tabla 5.

Tabla 5. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuario
Aluminio ⁽¹⁾	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoníaco Total ⁽²⁾	NH ₃	mg/l	-	0,4
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	1,5
Bifenilos Policlorados	Concentración de PCBs totales	µg/l	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cianuros	CN ⁻	mg/l	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl ₂	mg/l	0,01	0,01
Clorofenoles ⁽³⁾		mg/l	0,05	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,005	0,005
Cromo total	Cr	mg/l	0,032	0,05
Estaño	Sn	mg/l		2,00
Fenoles monohidricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1
Materia flotante de origen antrópico	visible		Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,1
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	> 80	> 60
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05
Plaguicidas organoclorados totales	Organoclorados totales	µg/l	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/l	0,001	0,001
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6,5 – 9	6,5 – 9,5
Selenio	Se	mg/l	0,001	0,001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5
Nitritos	NO ₂ ⁻	mg/l	0,2	
Nitratos	NO ₃ ⁻	mg/l	13	200
DQO	DQO	mg/l	40	-
DBO5	DBO ₅	mg/l	20	-
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	max incremento de 10% de la condicion natural	-

⁽¹⁾ Aluminio: Si el pH es menor a 6,5 el criterio de calidad será 0,005 mg/l

⁽²⁾ Aplicar la Tabla 2a como criterio de calidad para agua dulce

Fuente: (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2015)

Instituciones internacionales tienen criterios similares pero en algunos casos más exigentes como es el caso de la Guías de calidad de sedimentos en aguas

frescas de la Canadian Council of Ministers of the Environment. En la tabla 6 se resume la exigencia para los metales motivo de esta investigación, para el agua desde la perspectiva de sus diferentes usos.

Tabla 6. Referencias para diferentes usos de agua. (Canadian Council of Ministers of the Environment)

Parámetro	Unidad	Límite de uso I	Limite de uso II	Limite de uso III	Límite de uso IV	Límite de uso V	Límite de uso VI
pH	UpH	ne	ne	ne	ne	ne	ne
DBO	mg.L ⁻¹	5	5	15	10	10	10
Cd	mg.L ⁻¹	0,01	0,01	0,05	ne	0,0002	0,004
Cr	mg.L ⁻¹	0,05	0,05	1	ne	0,05	0,05
Pb	mg.L ⁻¹	0,05	0,05	0,1	ne	0,01	0,03
Hg	mg.L ⁻¹	0,002	0,002	0,01	ne	0,0001	0,0002
Ni	mg.L ⁻¹	0,002	0,002	0,002	ne	0,002	---
Zn	mg.L ⁻¹	5	5	25	ne	0,002	----

II. Agua de abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentos, filtración y cloración aprobados por el Ministerio de Salud

III. Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales

IV. Agua de zonas recreativas de contacto primario(baños y similares)

V. Agua de zona de pesca de mariscos y bivalvos

VI. Agua de zona de preservación de fauna acuática y zona recreativa o comercial. Uso más adecuado para su comparación

ne. No se especifica valor

1.7.2. NORMATIVA APLICADA EN SEDIMENTOS

Para el sedimento, la legislación nacional no tiene criterios para la verificación de metales pesados en cuerpos de agua, por lo que usualmente se considera como referencia la Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, del anexo 2 del TULSMA, TABLA 1. En la tabla 7 se puede observar un extracto de la tabla 1, en lo que concierne al presente estudio.

Tabla 7. Criterios de Calidad de Suelo (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2015)

Parámetro	Unidades*	Valor
Parámetros Generales		
Conductividad	uS/cm	200
pH		6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)		4*
Parámetros inorgánicos		
Arsénico	mg/kg	12
Azufre (elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	25
Cromo Total	mg/kg	54
Cromo VI	mg/kg	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9
Estaño	mg/kg	5
Fluoruros	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0.1
Molibdeno	mg/kg	5
Níquel	mg/kg	19
Plomo	mg/kg	19
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	76
Zinc	mg/kg	60

En la siguiente tabla se resumen los niveles exigidos por la Canadian Council of Ministers of the Environment en los que se considera concentraciones máximas y en que podrían causar efectos adversos.

Tabla 8. Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life Freshwater (Canadian Council of Ministers of the Environment)

Parámetro	Concentration (µg/kg dry weight)	Concentration (µg/kg dry weight)	Date
	ISQG	PEL	
Cadmium	600	3500	1997
Chromium	37300	90000	1998
Copper	35700	197000	1998
Lead	35000	91300	1998
Níquel	18000	-----	1999

PEL: Probable effect level: dry weight (Smith, et all, 1996)

Otra referencia para sedimentos podría encontrarse en las guías de calidad que se resumen en la tabla 9 tomado de la Japanese Society of Limnology.

Tabla 9. Guía efecto de calidad de metales pesados en sedimentos (The Japanese Society of Limnology, 2002)

Guía de calidad de sedimentos	Metales Pesados (mg.Kg ⁻¹)					
	Cadmio	Cromo	Cobre	Plomo	Niquel	Cinc
TEL ¹	0.6	37.3	35.7	35	18	123
ERL	5	80	70	35	30	120
LEL ²	0.6	26	16	31	16	120
MET ³	0.9	55	28	42	35	150
EC-TEL ⁴	0.68	52.3	18.7	30.2	15.9	124
NOAA ERL ⁵	1.2	81	34	46.7	20.9	150
ANZECC ERL ⁵	1.2	81	34	47	21	200
ANZECC ISQG-low ⁵	1.5	80	65	50	21	200
Hong Kong ISQG-low ⁶	1.5	80	65	75	40	200
Hong Kong ISQV-low ⁶	1.5	80	65	75	40	200
Slightly Elevated Stream Sediments ⁷	0.5	16	38	28	—	80

TEL: Nivel de efecto umbral, ERL: Nivel de bajo rango, LEL: Nivel de efecto más bajo, MET: Umbral de mínimo efecto, NOAA: Administración nacional oceánica y atmosférica. Criterio equivalente: ² Niveles guía del Ministerio Ambiental de Ontario (GIMAO), ³ Nivel de efecto medio recomendable en sedimentos, ⁴ Departamento de protección ambiental de Florida y Guía de calidad de sedimentos marinos Canadienses, ⁵ Administración nacional atmosférica y oceánica, y Consejo para la conservación ambiental de Australia y Nueva Zelanda (CCAANZ), ⁶ Guía de valores efecto recomendables y guía de calidad ambiental interina en Hong Kong, ⁷ Valores referenciales de la guía empleada en la captación de sedimentos en Illinois.

CAPITULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

Los materiales, equipos y reactivos utilizados durante el muestreo y en los análisis de laboratorio, se resumen en las tablas a continuación

Tabla 10. Equipos utilizados

EQUIPO	MARCA	MODELO
Multiparamétrico	HANNA	HI9828
Turbidímetro portátil	HACH	2100Q
Espectrofotómetro de absorción atómica y sistemas complementarios	THERMO SCIENTIFIC	ICE 3000
Digestor de microondas	MILESTONE	

Fuente: Venegas J, 2016

Tabla 11. Reactivos utilizados

REACTIVO	CALIDAD/PUREZA/CONCENTRACION
AIRE/ACETILENO	comercial standard
Agua regia (Relación 3HNO ₃ :HCl)	Grado reactivo
PATRONES METALES: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb	Especificadas en cada método

Fuente: Venegas J, 2016 1



Ilustración 1. Espectrofotómetro de absorción atómica

Fuente: Venegas J. 2016

2.2. METODOLOGIA

La metodología a seguir incluye los siguientes pasos:

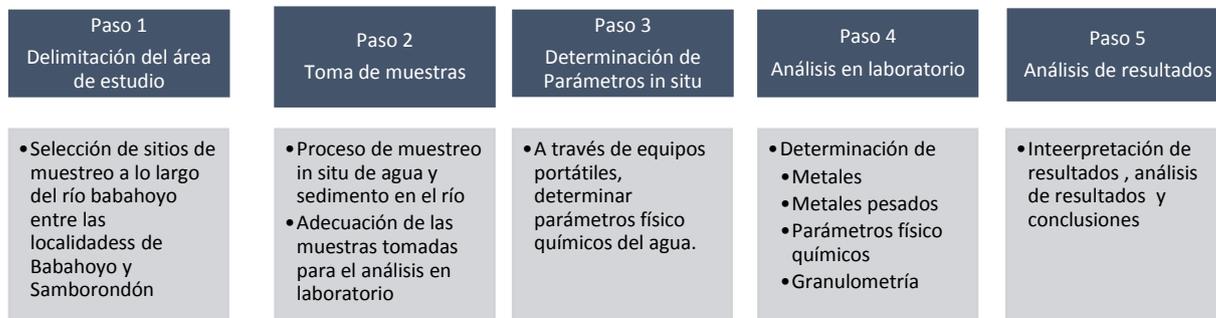


Ilustración 2. Descripción de la metodología general

2.2.1. DELIMITACION DEL AREA DE ESTUDIO

Mediante un estudio de la zona se delimitó el área en la que se llevaría a cabo el muestreo, la misma que fue establecida a lo largo del río Babahoyo entre las localidades de Babahoyo y Samborondón, cubriendo aproximadamente 45 Km a lo largo del río.

Utilizando una canoa a motor, se hizo un primer reconocimiento del río, estableciéndose la posibilidad de los puntos de muestreo y se hicieron observaciones de la zona en los alrededores del río, con el fin de detectar probables fuentes de contaminación.

Se tomó como punto de partida la conjunción del río Catarama con el río San Pablo para la formación del río Babahoyo, estableciéndose el primer punto, a aproximadamente 20 m del puente peatonal al norte de la localidad de Babahoyo.

Partiendo del punto 1, se navegó río abajo, haciéndose muestreos cada 5 km de distancia aproximadamente, determinados con un equipo de GPS, hasta llegar a la entrada de la localidad de Samborondón. En total se establecieron 9 puntos de muestreo.

Tabla 12. Estaciones de muestreo en el río Babahoyo, en el tramo comprendido entre Babahoyo y Samborondón

ID PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS (Zona: 17, Hemisferio: Sur)	
	Latitud Sur	Longitud Oeste
Punto N°1	01°47.584'	079°31.874'
Punto N°2	01°49.412'	079°33.678'
Punto N°3	01°50.722'	079°34.488'
Punto N°4	01°50.220'	079°36.464'
Punto N°5	01°51.872'	079°37.459'
Punto N°6	01°51.469'	079°39.449'
Punto N°7	01°53.489'	079°39.529'
Punto N°8	01°55.170'	079°40.895'
Punto N°9	01°56.692'	079°42.798'

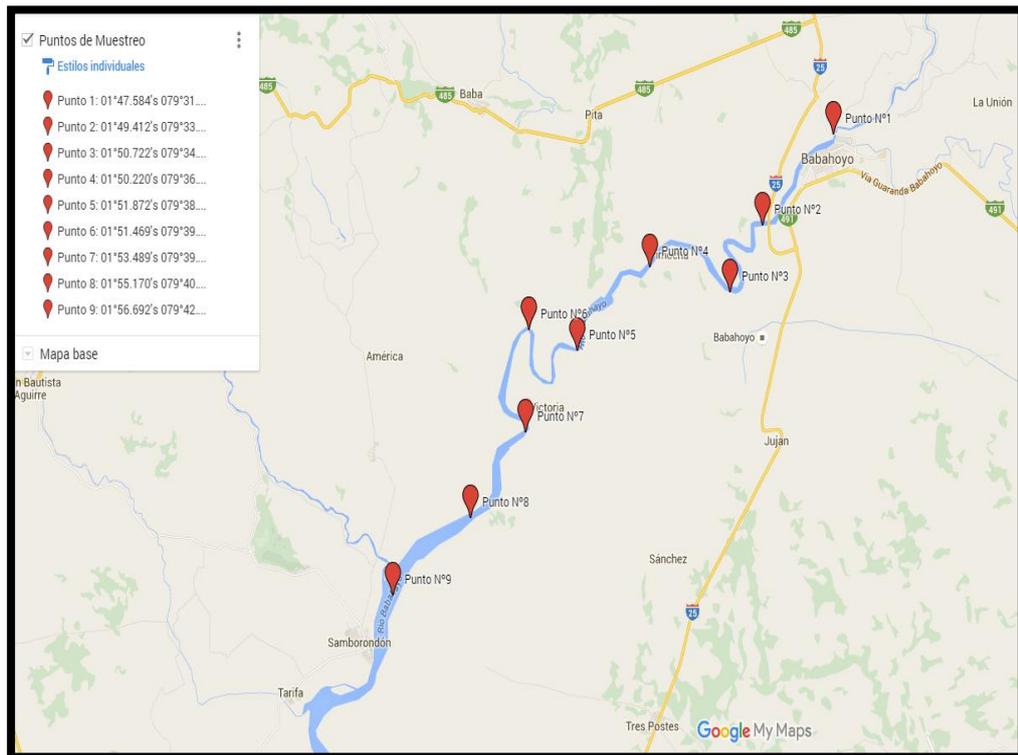


Ilustración 3. Puntos de muestreo: Río Babahoyo entre Babahoyo y Samborondón

Autor: Venegas J. 2016

2.2.1.1. IDENTIFICACION DE LA ZONA

Para tener una idea de las características de la zona en cada punto de muestreo a lo largo del río, se muestran las siguientes fotos tomadas el mismo día en que se llevó a cabo el muestreo. Cabe indicar que el muestreo se llevó a cabo en un día nublado

PUNTO 1



Figura 3. Alrededores de punto 1-
Fuente: Venegas J. 2016



Figura 4. Alrededores de Punto 1.
Fuente: Venegas J. 2016

PUNTO 2



Figura 5. Alrededores de punto 2.
Fuente: Venegas J. 2016



Figura 6. Alrededores de punto 2.
Fuente: Venegas J. 2016

PUNTO 3



*Figura 7. Alrededores de punto 3 –
Fuente: Venegas J. 2016*



*Figura 8. Alrededores de punto 3.
Fuente: Venegas J. 2016*

PUNTO 4



*Figura 9. Alrededores de punto 4.
Fuente: Venegas J. 2016*



*Figura 10. Alrededores de punto 4
Fuente: Venegas J. 2016*

PUNTO 5



Figura 11. Alrededores de punto 5.
Fuente: Venegas J. 2016



Figura 12. Alrededores de punto 5.
Fuente: Venegas J. 2016

PUNTO 6



Figura 13. Alrededores de punto 6.
Fuente: Venegas J. 2016



Figura 14. Alrededores de punto 6..
Fuente: Venegas J. 2016

PUNTO 7



Figura 15. Alrededores de punto 7.

Fuente: Venegas J. 2016



Figura 17. Alrededores de punto 7.

Fuente: Venegas J. 2016



Figura 16. Alrededores de punto 7.

Fuente: Venegas J. 2016



Figura 18. Alrededores de punto 7.

Fuente: Venegas J. 2016

PUNTO 8



*Figura 19. Alrededores de punto 8.
Fuente: Venegas J. 2016*



*Figura 21. Alrededores de punto 8
Fuente: Venegas J. 2016*



*Figura 20. Alrededores de punto 8.
Fuente: Venegas J. 2016*

PUNTO 9



Figura 22. Alrededores de punto 9.

Fuente: Venegas J. 2016



Figura 24. Alrededores de punto 9.

Fuente: Venegas J. 2016



Figura 23. Alrededores de punto 9.

Fuente: Venegas J. 2016

2.2.2. TOMA DE MUESTRAS

Para el muestreo del río se conformó un equipo de cinco personas, organizadas para trabajar de la siguiente forma:

- 1 persona para la toma de muestras de agua
- 2 personas para la toma de muestras de sedimento
- 1 persona en la parte digital para definición de coordenadas y manejo de los equipos de análisis in situ.
- 1 persona para la toma de datos y fotos

Para la toma de muestras se utilizaron:

- Un balde de 20 litros de capacidad para el agua
- Una Draga de tipo Van Veen de 0,1 m², de acero inoxidable para el sedimento.

Se definieron 9 puntos, cubriendo aproximadamente 45 km a lo largo del río Babahoyo. Se utilizó el muestreo simple y en cada punto se tomaron 3 muestras de agua superficial y 3 muestras de sedimento. Las 3 muestras se tomaron 1 en el centro y 1 cerca de cada ribera del río. En total se obtuvieron 27 muestras de agua y 27 de sedimentos.

Por cada punto definido, se hicieron muestras compuestas con las 3 muestras obtenidas tanto en agua como en sedimento,

Para el agua se guardaron 2 muestras compuestas por cada punto, en botellas de polietileno de alta densidad de 1 litro de capacidad, y se refrigeraron inmediatamente en hieleras entre 0 y 4°C.

Para el sedimento se guardaron 2 muestras compuestas por cada punto, en fundas herméticas con sello de seguridad de 1 litro de capacidad y se refrigeraron inmediatamente en hieleras entre 0 y 4°C.

Todas las muestras fueron trasladadas en las hieleras hasta los laboratorios del Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales de ESPOL para su próximo análisis y evaluación.



*Figura 25. Equipo para muestreo del río.
Fuente: Venegas J. 2016*



*Figura 26. Botellas de PEAD para muestreo de agua.
Fuente: Venegas J. 2016*



Figura 27. Muestreo de sedimento con draga Van Veen. Fuente: Venegas J. 2016



Figura 28. Muestreo de sedimento. Fuente: Venegas J. 2016



Figura 29. Funda con sedimento muestreado. Fuente: Venegas J. 2016

2.2.3. DETERMINACION DE PARAMETROS IN SITU

Se hicieron mediciones in situ con un equipo multiparamétrico, MARCA HANNA, MODELO HI9828, cuya sonda se dejó hundir en el agua entre 1 y 2 m de profundidad.

El equipo permitió obtener datos de temperatura, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto, % de oxígeno disuelto saturado, total de sólidos disueltos, pH, presión y turbidez. En cada muestra compuesta de agua se determinó turbidez con un equipo HACH 2100Q

Para el sedimento se determinaron los datos de profundidad a la que se tomaron cada una de las muestras.



Figura 30. Equipos multiparamétricos usados en el muestreo del río Babahoyo

Fuente: Venegas J. 2016

2.2.4. ANÁLISIS EN LABORATORIO

El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de espectrofotometría y el laboratorio de Orgánica del Departamento de Química y Ciencias Ambientales (DCQA) de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas (FCNM) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).

Las determinaciones que se hicieron se listan en la tabla 13. Y los procedimientos aplicados en la tabla 14.

Tabla 13. Parámetros determinados en laboratorio

Metales:	calcio, magnesio, sodio y potasio:
Metales pesados	plomo, níquel, cromo, cadmio y cobre
Parámetros físico químicos:	materia orgánica, cenizas, sólidos totales, sólidos suspendidos
Granulometría	Composición de grava, arena, limo, arcilla

Tabla 14. Procedimientos aplicados en laboratorio en muestras de agua

Parámetro	Procedimiento/Norma
Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Ca, Na, K, Mg	SM 3111B "Absorción Atómica"

Tabla 15. Procedimientos aplicados en laboratorio en muestras de sedimento

Tabla 13.Parámetro	Procedimiento/Norma
Cd, Cr, Cu, Ni, Pb	SM 3111B "Absorción Atómica"
Análisis Granulométrico	ISO 11277:1998
Materia Orgánica	LOI/Combustión seca de C

2.2.4.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS

Se realizó con el método SM 3111B de Absorción Atómica, el cual consiste en la nebulización de la muestra, la que se apunta con un rayo luminoso producto de la llama de una mezcla de aire-acetileno y con la ayuda de un detector se mide la luz absorbida por el metal. Dado que cada metal absorbe una longitud de onda diferente, el equipo mide la concentración del elemento en función de la energía absorbida a una determinada longitud de onda. (Guarco, 2015)

El equipo utilizado fue un Espectrómetro de absorción atómica (ICE 3000 - Thermo Scientific) y sus equipos y materiales complementarios.

2.2.4.1.1. DETERMINACIÓN EN AGUAS

El detalle de las determinaciones de cada metal se resume en la tabla a continuación:

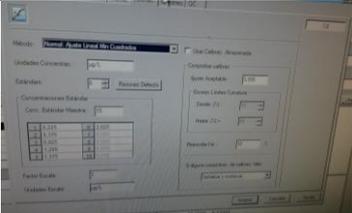
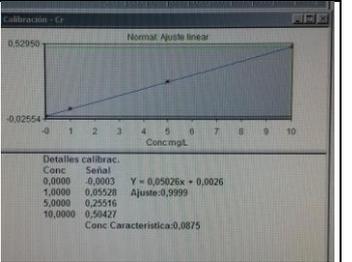
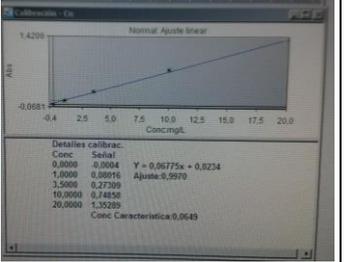
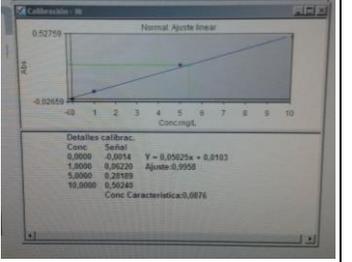
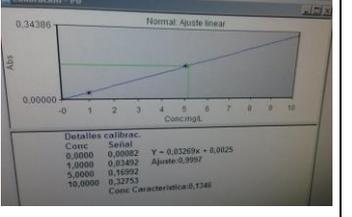
Tabla 16. Determinación de metales en agua

	Tipo de llama	Espectrómetro		Detalles de calibración
		Modo Medida	Longitud de onda (nm)	
Calcio	Óxido nitroso-Acetileno	Absorción	422,7	
Sodio	Aire-Acetileno	Absorción	580,0	

Magnesio	Aire-Acetileno	Absorción	285,2	<p>Normal Ajuste lineal</p> <p>Y = 0.16560x + 0.0026</p> <p>Ajuste: 0.9999</p> <p>Conc Característica: 0.0266</p>
Potasio	Aire-Acetileno	Absorción	766,5	<p>Normal Ajuste lineal</p> <p>Y = 0.12260x + 0.0156</p> <p>Ajuste: 0.9953</p> <p>Conc Característica: 0.0359</p>
Cadmio	Aire-Acetileno	Absorción	228,8	
Cobre	Aire-Acetileno	Absorción	324,8	
Níquel	Aire-Acetileno	Absorción	232,0	
Plomo	Aire-Acetileno	Absorción	217,0	

Fuente: Venegas J. 2016

Tabla 17. Determinación de metales en sedimentos

	Tipo de llama	Espectrómetro		Detalles de calibración
		Modo Medida	Longitud de onda (nm)	
Cadmio	Aire	Absorción	228,8	
Cromo	Óxido nitroso-Acetileno	Absorción	357,9	
Cobre	Aire-Acetileno	Absorción	324,8	
Níquel	Aire-Acetileno	Absorción	232,0	
Plomo	Aire-Acetileno	Absorción	217,0	

Fuente: Venegas J. 2016

2.2.4.2. Análisis granulométrico

Se trabajó con la norma ISO 11277:1998, procedimiento de tamizado en seco con un tamizador mecánico y un juego de tamices A.S.T.M. N°10, 35, 230 y 400. La clasificación según el diámetro se especifica de la tabla 14.

Tabla 18. Tipo de sedimento por tamaño de malla

TAMIZADOR	DESCRIPCION
> 2 mm (# 10)	GRAVA
> 500 μm (# 35)	ARENA GRUESA
> 63 μm (# 230)	ARENA FINA
> 38 μm (# 400)	ARCILLA
< 38 μm (BASE)	LIMO

Fuente: Venegas J. 2016

CAPITULO 3

RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

3.1. RESULTADOS EN AGUA

Los resultados obtenidos en el análisis del agua muestreada en los 9 puntos se clasifica en dos tipos: parámetros físico químicos y metales pesados y se detallan en las tablas y gráficos a continuación.

3.1.1. PARAMETROS FISICO QUIMICOS

Los resultados de los parámetros físicos químicos determinados in situ, se muestran en la tabla 3.1. Cabe indicar que se hicieron tres determinaciones en cada punto y se promediaron para dar un solo resultado, con excepción de la turbidez que se realizó en la muestra compuesta.

Tabla 19. Parámetros físico químicos promedio en el agua del río Babahoyo

PUNTO	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (µS/cm)	Salinidad (ppt)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Oxígeno Saturado (%)	TSD (mg/L)	Turbidez (NTU)
1	26,8	7,1	131,67	0,060	7,49	91,85	66,0	13,8
2	27,1	7,3	141,33	0,067	6,30	78,40	70,7	15
3	27,3	7,3	172,33	0,083	6,69	84,10	86,0	24,4
4	27,4	7,3	141,33	0,070	6,43	80,77	70,7	23,7
5	27,6	7,5	142,00	0,070	6,57	83,10	71,0	27,8
6	27,6	7,4	142,67	0,070	6,73	85,83	71,0	41,3
7	27,6	7,3	143,33	0,070	6,59	83,50	71,7	47,6
8	27,9	7,4	155,00	0,070	6,12	78,30	77,3	57,1
9	28,3	7,4	141,33	0,067	5,90	78,33	74,3	209

Autor: Venegas J. 2016

Los resultados de temperatura fueron variando desde el punto 1 hasta el punto 9 en orden ascendente, desde 26,8°C hasta 28,3°C, manteniéndose estable entre el punto 5 y el punto 9.

El pH se mantiene entre 7,1 en el punto 1 y 7,5 en el punto 5, manteniéndose constante en los puntos 2, 3, 4 y 7 con 7,3 y en los puntos 6, 8 y 9 con 7,4.

La conductividad varió desde 131,67 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ en el punto 1 hasta 172,33 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ en el punto 3. En general los valores tuvieron poca variación.

La salinidad se mantiene relativamente constante con excepción del punto 3 en el que se observa una concentración de 0,083 ppt.

El oxígeno disuelto va de mayor a menor desde el punto 1 donde se observa una concentración de 7,49 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ hasta el punto 9 con 5,9 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Cabe destacar que todos los puntos están por encima del mínimo que especifica la norma que es de 5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

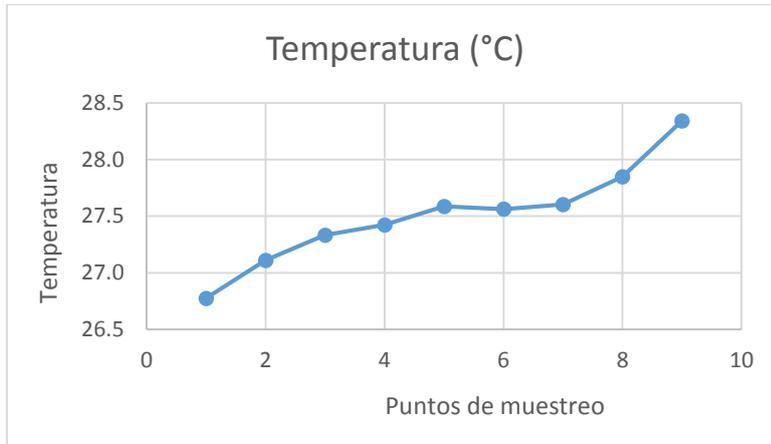
Se observa una saturación de oxígeno del 92% en el punto 1 y variaciones a lo largo del río las concentraciones más bajas en los puntos 2, 8 y 9 con 78,4%, 78,3% y 78,33% respectivamente, estos tres por debajo de norma que establece un porcentaje de saturación mayor a 80%.

Los sólidos disueltos van desde 76 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en el punto 1 hasta 86 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en el punto 3 y se observa un ligero crecimiento en el punto 8 con una concentración de 77 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

La gráfica de turbidez nos permite apreciar que tiene pequeñas variaciones a lo largo del río desde una concentración de 13,8 NTU en el punto 1 hasta el punto 8 con 87,1 NTU, pero se observa un crecimiento desproporcionado en el punto 9 con una concentración de 209 NTU.

Puede notarse que las concentraciones de conductividad, salinidad y sólidos disueltos tienen valores subidos en el punto 2.

Gráfico 1. Temperatura en agua



Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 2. pH en agua



Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 3. Conductividad en agua



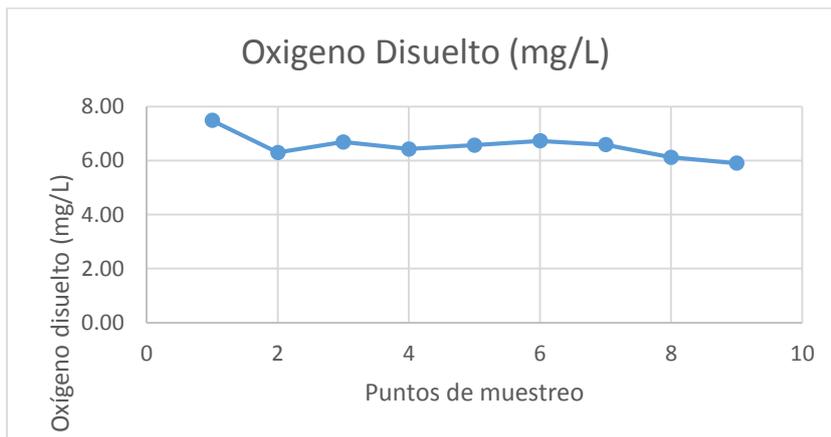
Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 4. Salinidad en agua



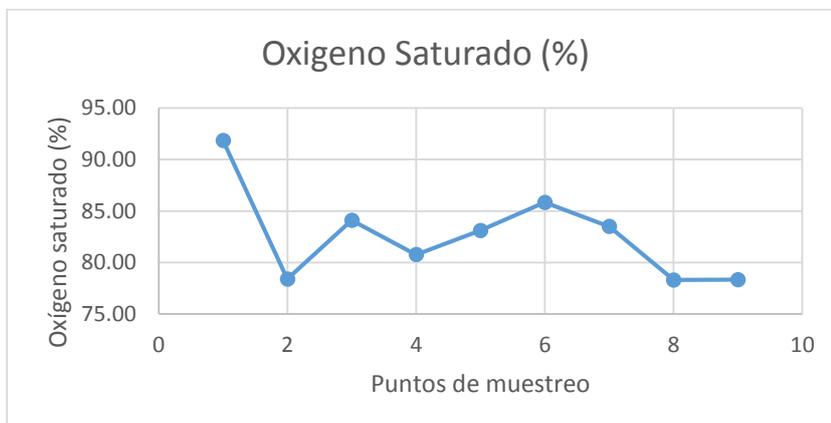
Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 5. Oxígeno disuelto en agua



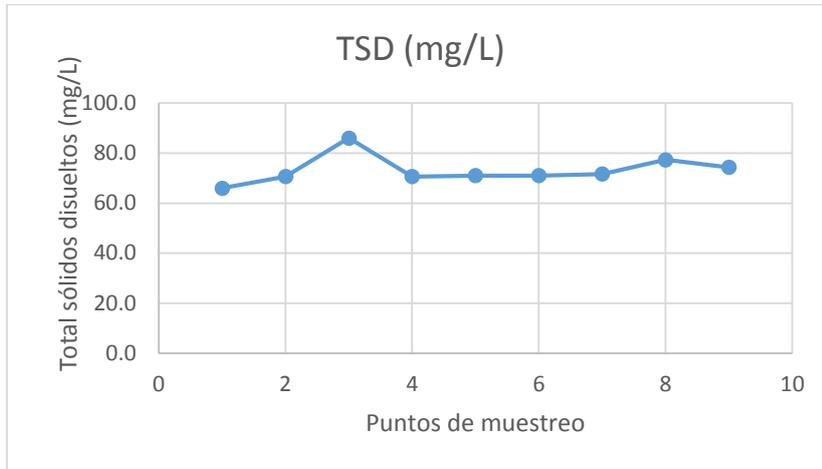
Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 6. Oxígeno saturado en agua



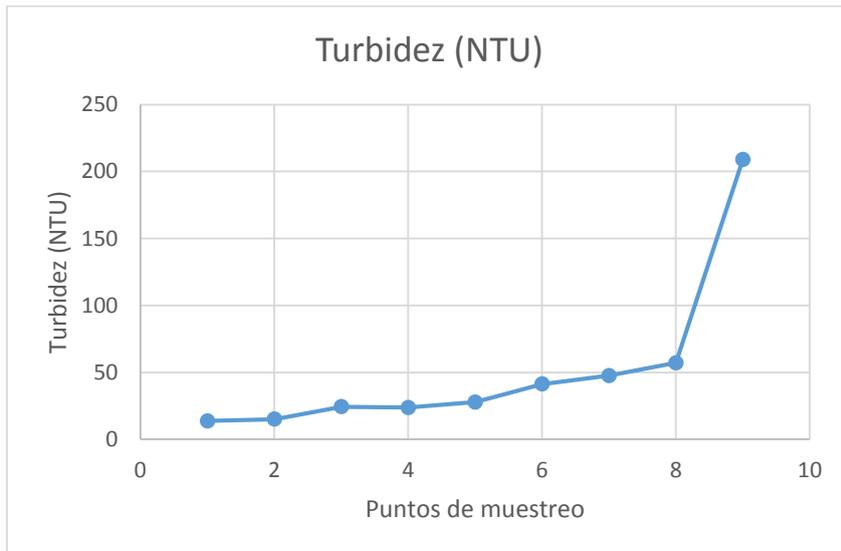
Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 7. Total de sólidos disueltos



Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 8. Turbidez en agua



Autor: Venegas J. 2016

3.1.2. METALES

El análisis de metales comunes propios del agua dio como resultados los que se observan en la tabla 21.

Tabla 21. Metales en agua del río

PUNTOS	METALES			
	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)
1	12,9800	4,160	7,4500	1,6816
2	13,3524	4,812	7,7470	1,7041
3	12,2464	4,672	7,7550	1,8444
4	11,5312	4,630	7,8670	1,6859
5	12,3540	4,756	8,1200	1,8568
6	11,8712	4,753	8,3950	1,8700
7	13,1096	4,864	8,4340	1,8740
8	11,9916	5,462	8,6880	1,9575
9	9,6008	5,424	7,7236	2,3579

Autor: Venegas J. 2016

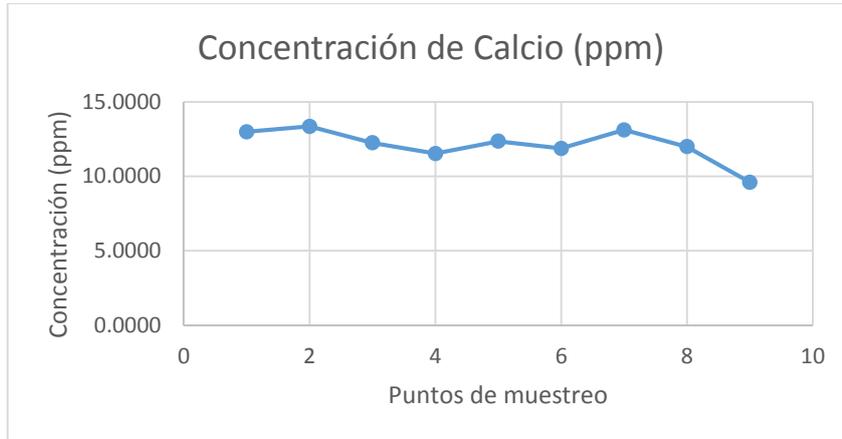
Se observan concentraciones de calcio con variaciones entre 9,6008 ppm en el punto 9 y 13,3524 ppm en el punto 2, sin ningún patrón en particular.

La concentración de magnesio va en aumento desde el punto 1 con 4,160 ppm hasta el punto 8 con 5,462 ppm, con pequeñas variaciones a lo largo de los puntos de muestreo y descenso en el punto 9 con 5,424 ppm.

Con el sodio se observan aumentos progresivos desde 7,45 ppm en el punto 1 hasta 8,688 ppm en el punto 8 con un ligero descenso en el punto 9 con 7,7236 ppm.

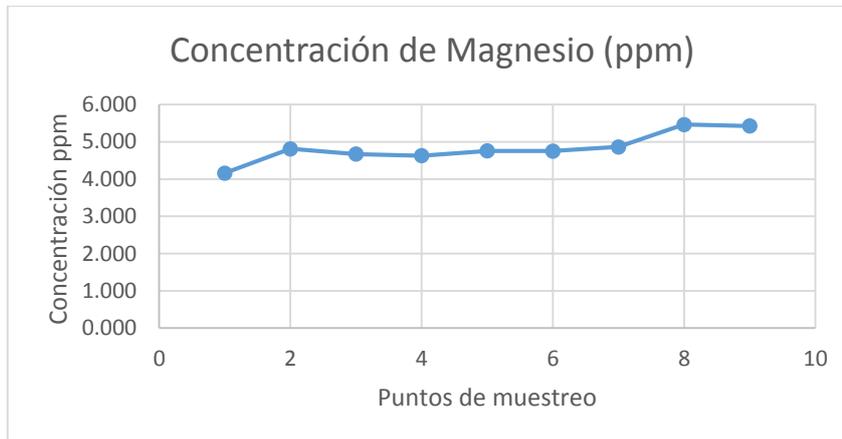
El potasio tiene pequeñas variaciones con concentraciones que van desde 1,6816 ppm hasta 2,3579 con una pequeña disminución en el punto 4 con una concentración de 1,6859 ppm.

Gráfico 14. Calcio en agua del río



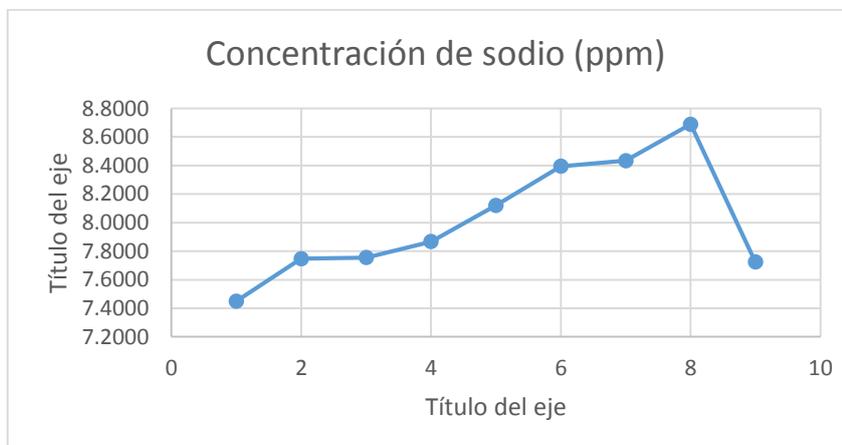
Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 15. Magnesio en agua del río



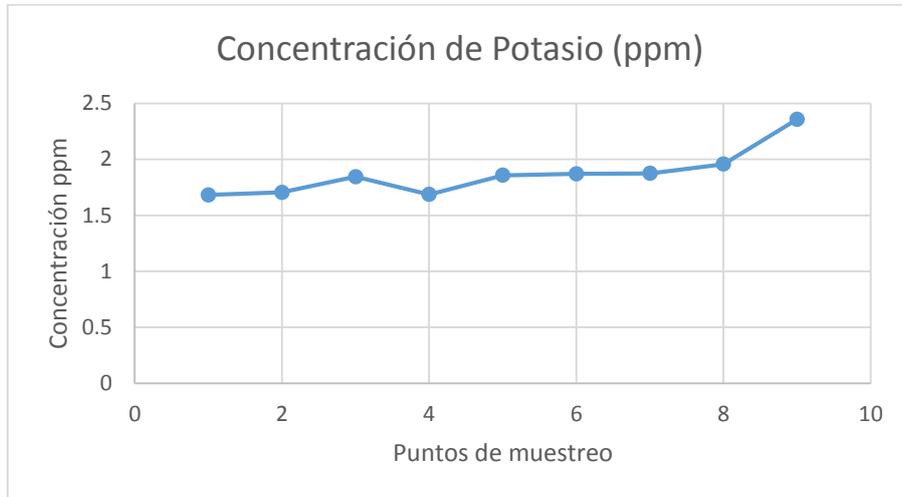
Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 16. Sodio en agua del río Babahoyo



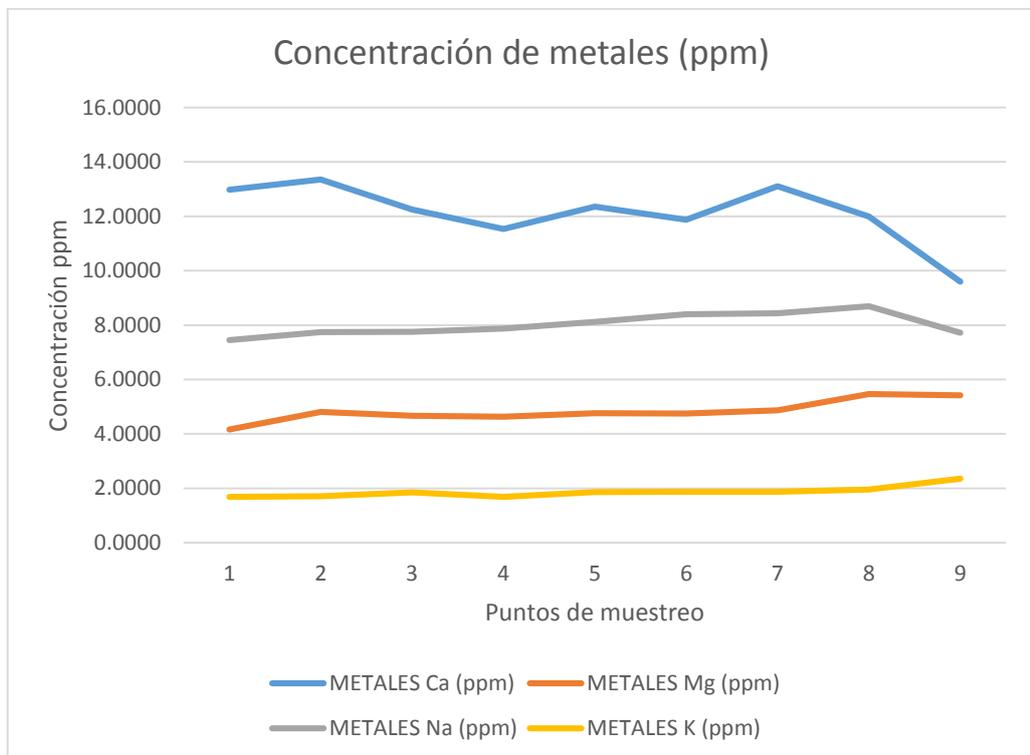
Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 17. Potasio en agua del río Babahoyo



Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 18. Metales en agua del río Babahoyo



Autor: Venegas J. 2016

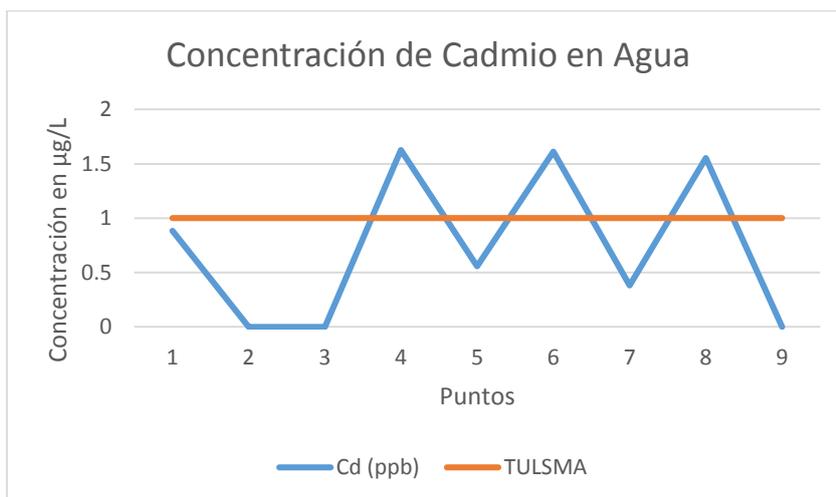
3.1.3. METALES PESADOS

Como resultado del análisis de metales pesados en el agua, se observa que el cadmio tiene concentraciones variadas que van desde menos de $0,25 \mu\text{g.L}^{-1}$ en los puntos 2, 3 y 9 hasta $1,6277 \mu\text{g.L}^{-1}$ en el punto 4. Además se pueden observar valores fluctuantes entre uno y otro punto. Para el níquel los valores varían desde el de menor concentración en el punto 2 con $0,0260 \mu\text{g.L}^{-1}$ y el de mayor concentración el punto 1 $0,2989 \mu\text{g.L}^{-1}$

En el caso del cobre, las concentraciones son muy variadas siendo el punto más bajo el 2 con $1,0657 \mu\text{g.L}^{-1}$ y los más altos los puntos 1, 5 y 9 con concentraciones de $5,9469 \mu\text{g.L}^{-1}$, $5,6455 \mu\text{g.L}^{-1}$, $5,5595 \mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente. Con los valores de plomo se observa que las concentraciones son tan bajas que no alcanzan el nivel de detección del equipo con valores inferiores a $0,25 \mu\text{g.L}^{-1}$

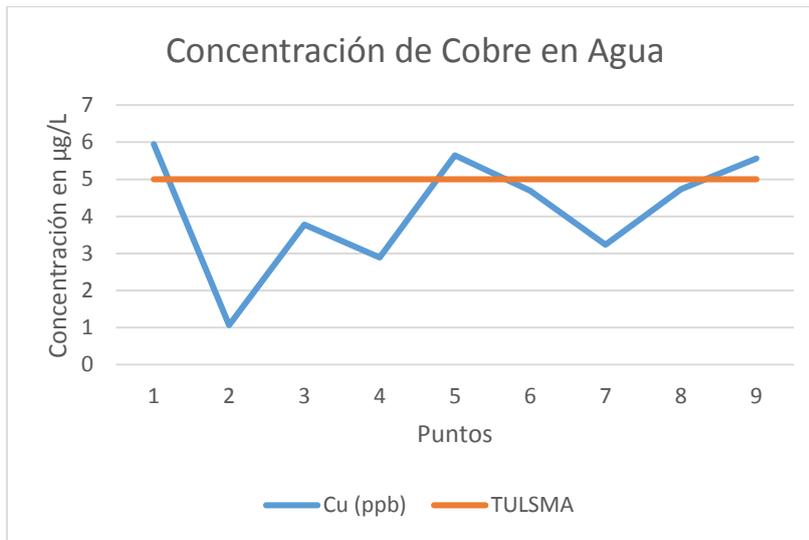
En el caso del cromo y plomo, las concentraciones se encuentran bajas con respecto a la norma de referencia, pues en algunos casos, están en niveles por debajo de los detectados por el equipo de espectrofotometría.

Gráfico 9. Cadmio en agua



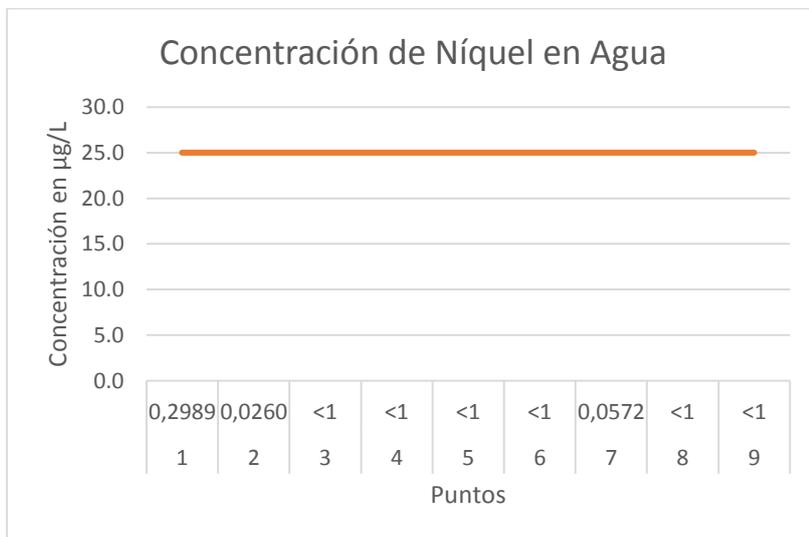
Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 10. Cobre en agua



Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 11. Níquel en agua



Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 12. Cromo en agua

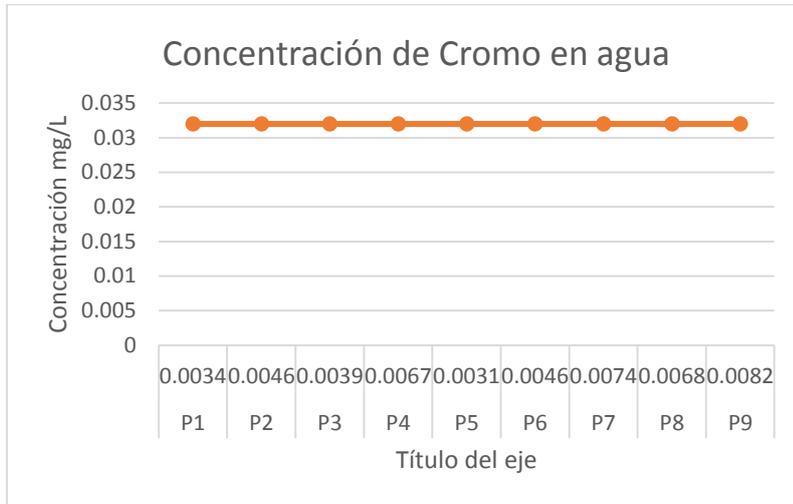
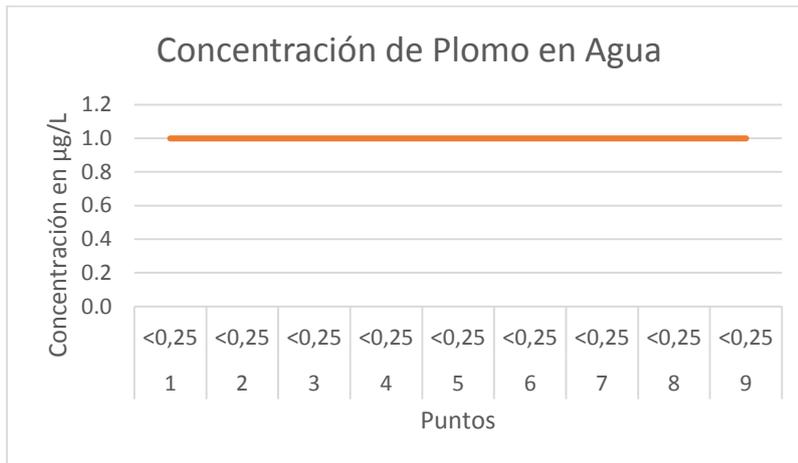


Gráfico 13. Plomo en agua



Autor: Venegas J. 2016

3.2. RESULTADOS EN SEDIMENTOS

Se analizaron los sedimentos muestreados en los 9 puntos seleccionados, haciendo las determinaciones en muestras compuestas.

3.2.1. GRANULOMETRÍA:

Se encontró que la arena fina es la de mayor proporción en todos los puntos muestreados, la que va desde el 50.95% en el Punto-7 hasta 89.9% en el punto-9.

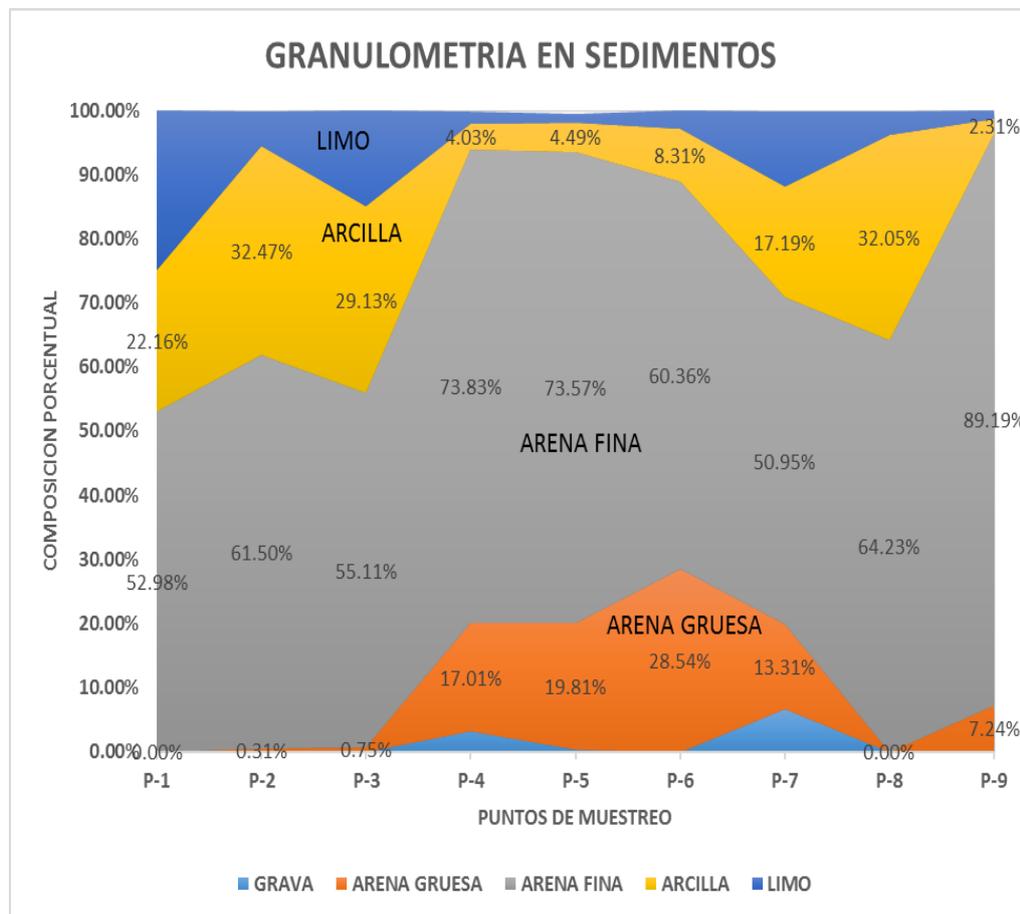
Le sigue en proporción la arcilla, siendo la más alta en el punto-2 con 32.47% y el punto-8 con 32.05%. En el caso del limo se observa una alta proporción en el punto 1 con 24,84%, le sigue el punto 3 con el 14,98% y como más bajo se encontró el punto 9 con 1,25%

Tabla 20. Resultados del Análisis granulométrico en Sedimento del río

DEFINICIÓN	PUNTOS DE MUESTREO								
	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9
GRAVA	0.00%	0.13%	0.00%	3.12%	0.22%	0.00%	6.58%	0.00%	0.00%
ARENA GRUESA	0.00%	0.31%	0.75%	17.01%	19.81%	28.54%	13.31%	0.00%	7.24%
ARENA FINA	52.98%	61.50%	55.11%	73.83%	73.57%	60.36%	50.95%	64.23%	89.19%
ARCILLA	22.16%	32.47%	29.13%	4.03%	4.49%	8.31%	17.19%	32.05%	2.31%
LIMO	24.84%	5.49%	14.98%	1.88%	1.43%	2.78%	11.85%	3.56%	1.25%
PERDIDAS	0.02%	0.10%	0.02%	0.13%	0.49%	0.01%	0.11%	0.16%	0.02%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 14. Análisis granulométrico en sedimento del río



Autor: Venegas J. 2016

3.2.2. METALES PESADOS

En la siguiente tabla se muestra la concentración de los metales Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Níquel (Ni), y Plomo (Pb) en cada punto muestreado, luego se muestran gráficos de cada metal y al final un gráfico comparativo de todos los puntos y concentraciones obtenidas. Se considera como referencia la TABLA 1. Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, del anexo 2 del TULSMA.

Tabla 21. Metales pesados en sedimentos

PUNTO	METALES PESADOS				
	Pb (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	Cr total (mg/Kg)	Cd (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)
1	4,207	11,463	29,720	0,230	87,537
2	27,451	14,211	38,762	0,437	101,626
3	20,441	9,093	20,074	0,149	61,654
4	1,857	7,367	16,311	0,172	48,689
5	3,968	10,291	15,947	0,114	34,502
6	4,842	8,386	14,041	0,377	31,226
7	6,064	11,114	20,718	0,295	81,064
8	24,413	18,613	30,063	0,601	71,950
9	4,089	9,938	10,567	<0,01	28,990

Fuente: Venegas J. 2016

Se observa que las concentraciones de Plomo en los puntos 2, 3 y 8 son de 27,451 mg.Kg⁻¹, 20,441 mg.Kg⁻¹, y 24,413 mg.Kg⁻¹ respectivamente, los mismos que superan los criterios establecidos como referencia.

En lo que se refiere al Cromo total, las concentraciones son variadas y van desde 10,567 mg.Kg⁻¹ en el punto 9 hasta 38,762 mg.Kg⁻¹ en el punto 2, aunque todos están muy por debajo del criterio establecido como referencia.

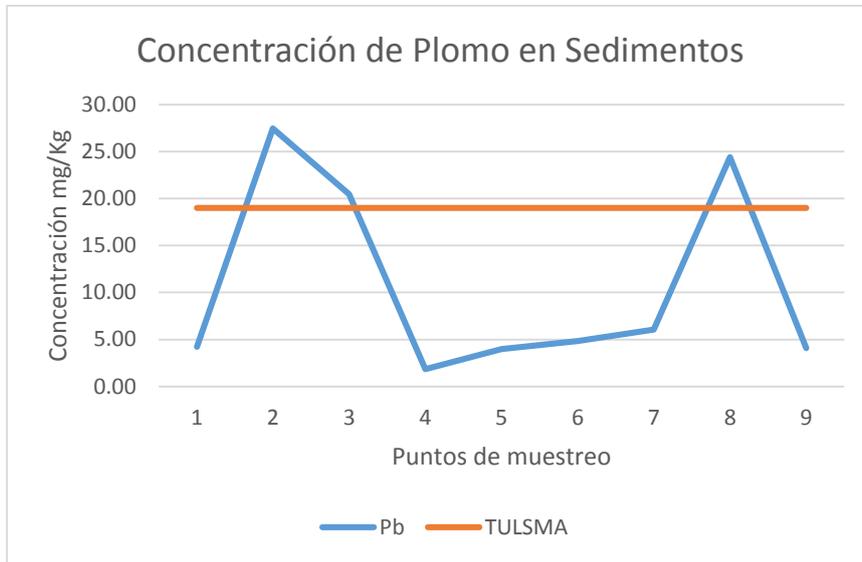
Para el níquel, las concentraciones van desde 7,367 mg.Kg⁻¹ en el punto 4 hasta 18,613 mg.Kg⁻¹ en el punto 8 aunque las concentraciones están por debajo de los criterios establecidos como referencia.

Para el caso del cadmio, las concentraciones son variadas, con valores elevados en los puntos 2, 6, 7 y 8, con concentraciones de 0,437 mg.Kg⁻¹, 0,377 mg.Kg⁻¹, 0,295 mg.Kg⁻¹ y 0,601 mg.Kg⁻¹ siendo el punto 8 el único valor que sobrepasa el criterio establecido como referencia.

Para el níquel las concentraciones varían en los diferentes puntos desde 28,990 mg.Kg⁻¹ hasta 101,626 mg.Kg⁻¹, con valores mayores en los puntos 2, 7 y

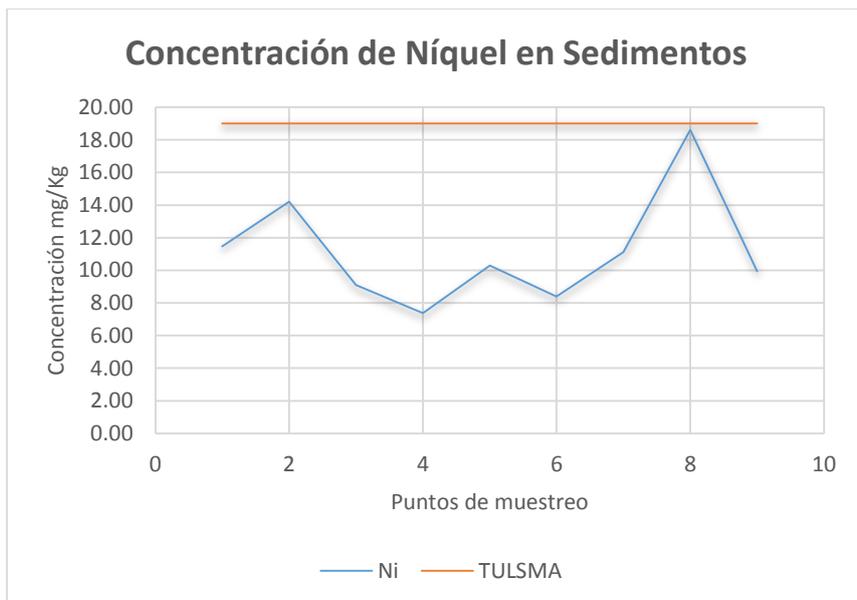
8, aunque todos los valores determinados superan la concentración establecida de referencia.

Gráfico 19. Plomo en los sedimentos del río Babahoyo



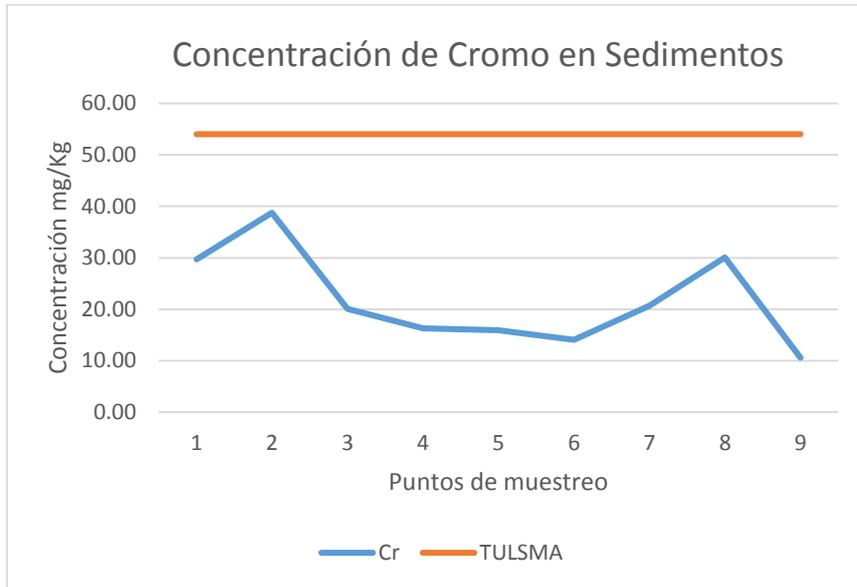
Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 20. Níquel en los sedimentos del río Babahoyo



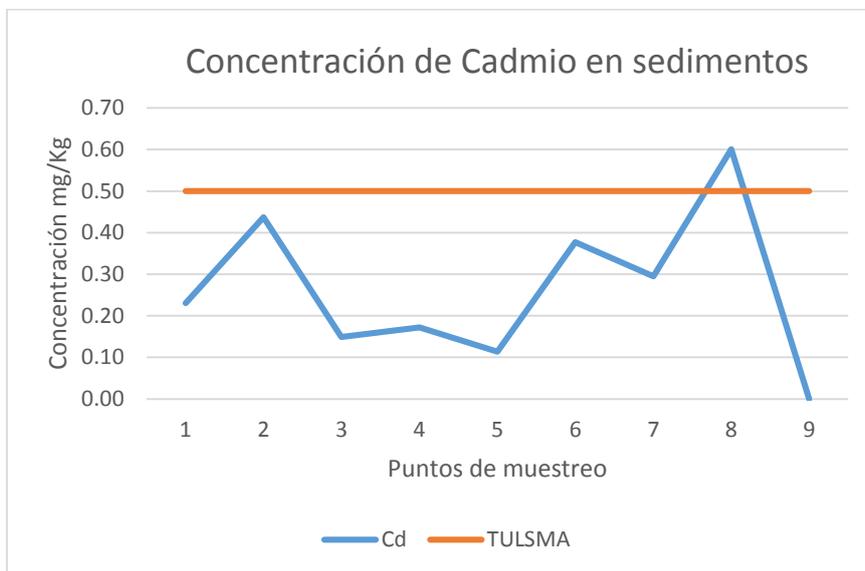
Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 21. Cromo en los sedimentos del río Babahoyo



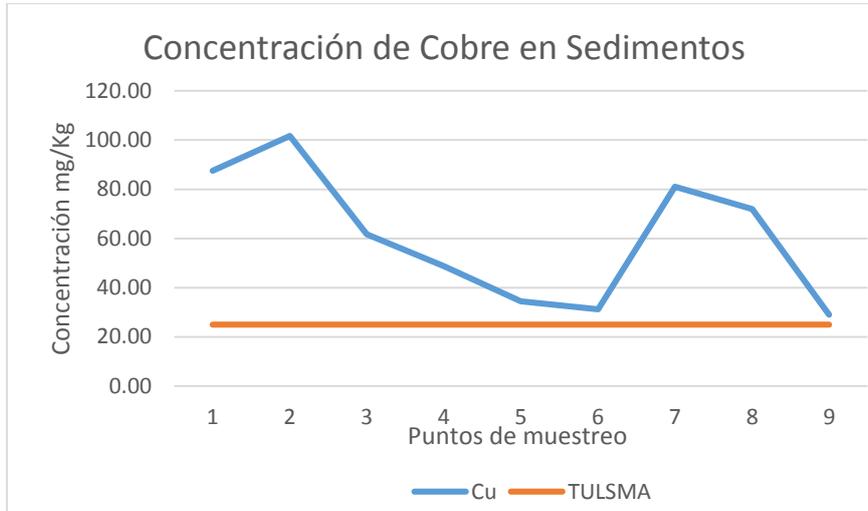
Autor: Venegas J. 2016

Gráfico 22. Cadmio en los sedimentos del río Babahoyo



Autor: Venegas J. 2016

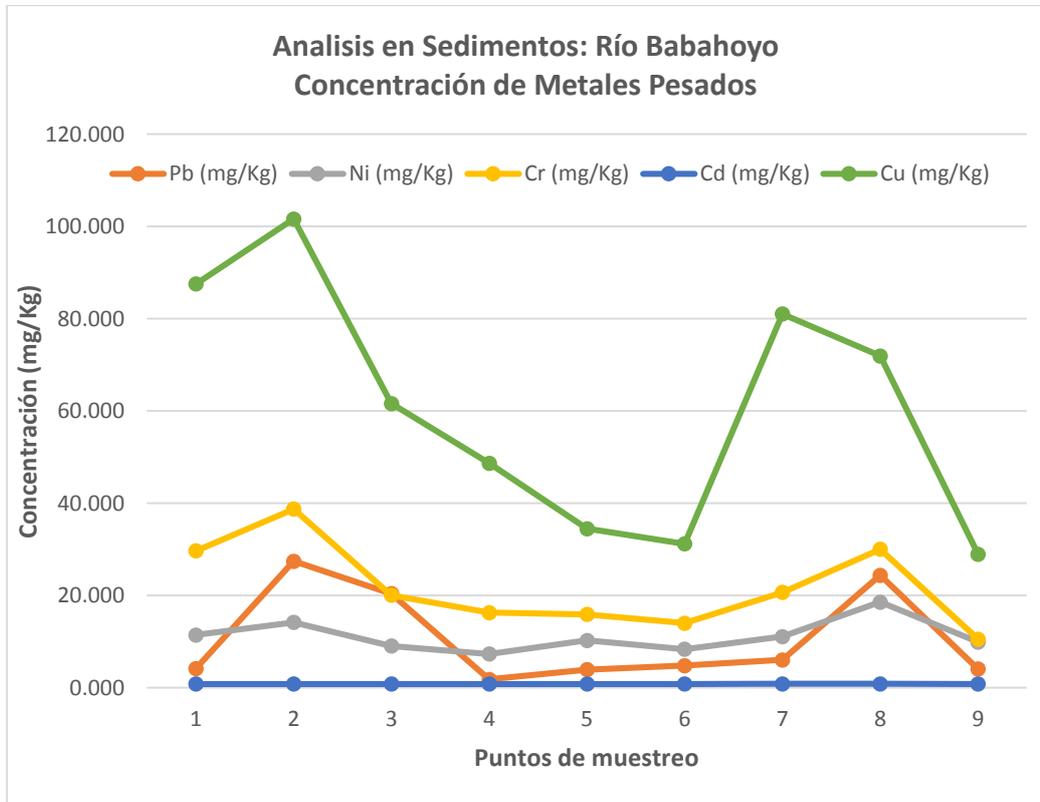
Gráfico 23. Cobre en los sedimentos del río Babahoyo



Autor: Venegas J. 2016

En la siguiente figura se observan las concentraciones de todos los metales analizados, en todos los puntos muestreados.

Gráfico 24. Metales pesados en los sedimentos del río Babahoyo



Autor: Venegas J. 2016

La gráfica permite observar variaciones puntuales que indican mayor concentración de todos los metales en el punto 2 y el punto 8, con excepción del cobre en el punto 7 que aumenta significativamente con respecto al punto 8.

En cuanto a lo que se pudo observar en la zona, cabe mencionar que en el punto 1 se observó mucha basura en las riberas del río y mucha espuma nadando en el río; en el punto 2 se encontró un sedimento muy compacto, y las riberas del río con mucha naturaleza muerta. Del punto 3 al 6 no presentan mayor diferencia y se logra ver en tierra plantaciones de baja altura como arrozales, sólo llama la atención, en el punto 4 que fue frente al pueblo de Pimocha, mucha descarga de aguas residuales al río. A partir del punto 7 se observa un ensanchamiento del río y la presencia de plantaciones de arroz y Piladoras. En el punto 9 se ven muchos bancos de arena, vegetación nadando en el río y aves alimentándose en los islotes de arena formados.

3.3. ANALISIS DE RESULTADOS

En la determinación de parámetros físico químicos en el agua se observa un pequeño incremento de la temperatura del agua desde el punto 1 con 26,8°C hasta 28,3°C, de forma progresiva, lo que se debe al aumento de temperatura normal ya que el muestreo comenzó aproximadamente las 10h00 y se extendió hasta las 17h00 aproximadamente, manteniendo constante la temperatura desde el mediodía, y por otro lado no hay aumento importante de temperatura ya que el día estuvo nublado.

El pH no tiene mayores variaciones a lo largo de los puntos, con valores dentro de la norma que establece valores entre 6 y 9 de pH.

La saturación de oxígeno se ve disminuída en los puntos 2, 4 y 8, por debajo de los criterios de la norma que establece un nivel de saturación por arriba del 80%. Esto nos da indicios de problemas que pueden ser en el punto 2 que es a la salida de Babahoyo, aguas abajo, porque hay un cierto nivel de contaminación proveniente de los desechos de la ciudad que son descargados al río.

En los puntos 4 y 8, se estima que se debe a que el río recibe descargas tanto de desechos industriales y producto de la agricultura como fertilizantes e insecticidas y en el caso del punto 4 se debe a la presencia de desechos domésticos producto de las descargas del pueblo de Pimocha.

En el punto 3 se observa un incremento de algunos parámetros como son conductividad, salinidad y sólidos totales disueltos en el agua, lo que nos indica claramente que hay un problema puntual que afecta la condición del río en este punto. En este caso no se ha podido determinar la fuente.

Los metales pesados detectados en el agua del río han sido bastante variados, aunque concentraciones mayores en el caso del níquel y cadmio se encuentran en el punto 1. En general las concentraciones se encuentran dentro de los límites permisibles de referencia, con excepción del cadmio que en los puntos 4, 6 y 8 alcanza valores que superan la referencia.

En lo que se refiere a las concentraciones de los metales pesados analizados en el sedimento, se puede observar que los puntos en los que las concentraciones de los metales pesados analizados salen de los patrones normales del río, son principalmente los puntos 2, 3, 7 y 8.

El punto 2 se encuentra a la salida de la localidad de Babahoyo aguas abajo y las concentraciones de los metales pesados se aumentan considerablemente. Cabe indicar que la toma de sedimentos en este punto fue bastante difícil, ya que el suelo se sentía muy duro y la toma de muestra se volvió complicada.

Se detectó que a aproximadamente 500 m del punto 2 existe una planta recicladora de papel, que lava todo tipo de papel, por lo que se presume que las concentraciones elevadas de todos los metales, principalmente cobre, cromo y plomo, en los puntos 2 y 3, obedecen a descargas que se pueden estar haciendo desde ese lugar.

Se puede observar que en el punto 7 inicia un ensanchamiento del río que hace que la velocidad del río disminuya, lo que puede provocar que las partículas suspendidas se depositen en el lecho, (Yúnez, 2015) y es lógico que los metales se comiencen a depositar en los sedimentos siendo el punto 7 y el punto 8 de alta concentración de metales en la última zona muestreada.

La proporción entre la fracción arenosa y la arcillosa se explica por la topografía del terreno que al ir el río en descenso va generando procesos erosivos y sedimentarios en su lecho, además porque al haberse muestreado en época seca del año, hay poco aporte de materiales de las riberas del río, y la arena fina tiende a sedimentarse sobre la gruesa y es arrastrada más fácilmente por la corriente.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

El muestreo del agua y el sedimento del río Babahoyo, en nueve puntos definidos a lo largo del río entre las localidades de Babahoyo y Samborondón, permitió tener, en primera instancia, una visión más amplia de las condiciones del río y de las posibles problemáticas ambientales que se pueden estar generando en éste, además que se pudieron detectar probables fuentes de contaminación.

A lo largo del río en la zona recorrida, se pudo observar que en los alrededores, las tierras están dedicadas a la agricultura, principalmente sembríos de arroz. Se realizó una pequeña investigación con personas de la zona y se obtuvo información de que en los arrozales se utilizan compuestos de plomo de manera informal, por ejemplo, para darle mayor densidad al muriato de potasio utilizado como fertilizante de suelos; compuestos de cromo utilizados en herbicidas, compuestos de cadmio en fertilizantes, compuestos de mercurio para ahuyentar el caracol y sulfato de cobre en agroquímicos, entre otros compuestos y usos. Además que se pudo observar que existen muchas tuberías de desagüe, no sólo de las ciudades y pueblos asentados en las riberas del río, sino también de las Piladoras de arroz que están cerca, así como también de las plantaciones que se extienden por la zona.

Como es evidente, el uso de algunas de estas sustancias está causando contaminación del agua del río y esto se puede apreciar en las concentraciones de cadmio que son muy variadas y con valores que superan la norma nacional en los puntos 4, 6 y 8 que corresponden a zonas con una alta dedicación a los cultivos de arroz. Así también se puede observar que en el agua, las concentraciones de cobre son ligeramente altas, por arriba de la norma, en los puntos 1, 5 y 9.

En general, los resultados de los análisis en agua no presentan grandes variaciones, aunque si es evidente que el punto 2 presenta problemas con los niveles de sólidos disueltos, conductividad y salinidad en el agua. A estas observaciones se puede sumar el aumento de las concentraciones en sedimentos de todos los metales, que aumentan considerablemente en comparación a los demás puntos. También pudo detectarse que en este punto, el suelo del río está muy duro y compacto, lo que hizo complicado la extracción de sedimento durante el muestreo y por otro lado se observó naturaleza muerta en las riberas del río.

Al relacionar los datos del análisis granulométrico con los metales pesados, podemos darnos cuenta que la concentración de arcilla es mayor precisamente en los puntos 2 y 8, lo que nos indica que la presencia de este material está relacionado con la alta concentración de metales pesados en estos puntos.

Esto nos muestra un claro problema que se está dando a la salida de la ciudad de Babahoyo, que puede darse por la descarga de aguas residuales domésticas e industriales y al que aparentemente está contribuyendo una fábrica de reciclado de papel que se encuentra a unos 500 m de la zona muestreada.

El análisis de los metales pesados en sedimentos permite detectar que las concentraciones de algunos de éstos, superan las normas nacionales e internacionales, como es el caso del plomo que de acuerdo a normas internacionales, está en el límite aceptable en sedimentos que es de 28 mg. Kg⁻¹, de la guía de Illinois.

En el caso del cobre en sedimentos, se encuentra en altos niveles que no sólo superan la norma de referencia en los puntos críticos como el 2 y el 8, sino también en los demás puntos muestreado, con concentraciones que van desde 28,990 mg. Kg⁻¹ en el punto 9, hasta 101,626 mg. Kg⁻¹ en el punto 2; este último muy por encima de cualquier norma nacional e internacional.

El punto 8 es otro que también presenta condiciones elevadas, particularmente de metales pesados, y es que el cauce del río se mantiene relativamente constante hasta el punto 7 a partir del cual comienza a ensancharse, por lo que probablemente la disminución de la velocidad del río a partir de este punto, generará una precipitación de sólidos disueltos con la consiguiente acumulación de sustancias como es el caso de los metales y particularmente de los metales pesados, lo que se hace evidente en el aumento de las concentraciones a partir del punto 7 pero que disminuye considerablemente en el punto 9. Cabe indicar que la sedimentación de sustancias en considerable, de hecho se pueden observar islotes formados con gran cantidad de arena en ciertas áreas del río.

Cabe indicar que a simple vista no se percibe mayor grado de contaminación, pues por el caudal constante del río, no se evidencian problemas en los alrededores, sólo en algunos casos, como producto de las descargas domésticas en las poblaciones aledañas al río. Pero los resultados obtenidos en este muestreo simple, nos dan

evidencias que si se está alterando la calidad natural del río y que si no tomamos medidas al respecto, se puede volver un problema ambiental.

El problema puede ser más grande si consideramos que el agua del río es utilizada para muchas actividades, principalmente el riego agrícola, y altas concentraciones de metales pueden afectar el desarrollo normal de las plantas, además que pueden darse problemas de bioacumulación alterando la cadena trófica de los seres vivos que son parte de esta zona.

Es importante reflexionar sobre los problemas ambientales que se pueden estar generando en el río Babahoyo y sus alrededores, lo que se puede deber a muchos factores que van desde el desconocimiento de las normas ambientales, la falta de tecnología apropiada para el trabajo agrícola e industrial, o simplemente por negligencia de autoridades, empresarios y demás actores en estos procesos.

4.2. RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en este muestreo simple me permiten recomendar la realización de una investigación más amplia, para confirmar los resultados obtenidos y para analizarlos con otros factores que podrían estar contribuyendo a un problema ambiental. Para ellos hay que considerar la necesidad de:

- Realizar muestreos a lo largo de todo el río, considerando toda la extensión de éste, desde su formación hasta su confluencia con el río Daule, es decir toda la cuenca del río y así obtener mayor información sobre los posibles aportes de contaminantes antes de la formación de éste.
- Considerar hacer muestreos constantes en las diferentes estaciones del año, ya sea seca o lluviosa para analizar de forma más amplia la condición en que se encuentra el río, su comportamiento y sus posibles afectaciones.
- Hacer determinaciones de parámetros de tipo orgánico, para evaluar de manera integral la condición en que se encuentra el río y la posibilidad de establecer una mejor interacción de los metales pesados con otras variables del sistema.
- Investigar de forma más minuciosa los puntos en que se han detectado los mayores problemas.

BIBLIOGRAFÍA

- Bautista, F. (1999). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*. Mérida, Yucatán, México: Universidad Autónoma de Yucatán. Recuperado el 2016
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (s.f.). *Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. Canada.
- Carrasco, A., León, O., & Acevedo, E. (14 de diciembre de 2014). Metales pesados y Biodisponibilidad. *Artículo científico*. Santiago de Chile, Chile.
- Castañeda, R. (24 de marzo de 2015). *Los metales pesados y sus efectos ambientales*. Obtenido de SlideShare: <http://es.slideshare.net/raulcc1950/los-metales-pesados-y-sus-efectos-ambientales>
- Galán, E., & Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Contaminación de suelos por metales pesados*. Sevilla.
- Guaranda, K. J., & Muñoz, M. (2008). *Estudio geomorfológico mediante teledetección de los cursos fluviales activos y abandonados de la cuenca hidrográfica aluvial del río Guayas para la determinación de la evolución holocena de la red de drenaje*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Guarco, K. (2015). TRATAMIENTO DEL SEDIMENTO MARINO DEL RAMAL B DEL ESTERO SALADO DE GUAYAQUIL, POR EL MÉTODO "SOIL-WASHING", PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS. Guayaquil.
- Higueras. (2010). <http://www.uclm.es>. Obtenido de http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema08/Minerales_salud_1_4.htm
- Icaza, P. G. (1990). *Contaminación de las cuencas hidrográficas de la Provincia de Los Ríos*. Convenio CONUEP- UTB.
- INEC, I. N. (s.f.). www.ecuadorencifras.com. Recuperado el 2 de enero de 2016, de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/Proyecciones_Poblacionales/presentacion.pdf
- Jiménez, D. (2012). Cuantificación de metales pesados (cadmio, cromo, níquel y plomo) en agua superficial, sedimentos y organismos (*Crassostrea columbiensis*) ostión de Mangle en el puente Portete del estero Salado (Guayaquil). Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Layana, E. (2013). Estudio de la Calidad del agua del río Babahoyo y sus afluentes: Índice Saprobio. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Lenntech. (s.f.). Recuperado el 20 de 12 de 2015, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ni.htm>
- Lenntech. (s.f.). Recuperado el 22 de 12 de 2016, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm>

- Lenntech. (s.f.). Recuperado el 22 de 12 de 2015, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm>
- Lenntech. (s.f.). Recuperado el 18 de 12 de 2015, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm>
- Mero, M. (2010). Determinación de metales pesados (Cd y Pb) en moluscos bivalvos de interés comercial de cuatro esteros del Golfo de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Miliarium.com, *Ingeniería Civil y Medio Ambiente*. (s.f.). Obtenido de <http://www.miliarium.com/Proyectos/SuelosContaminados/Manuales/Contmetalespesados.asp>
- Ministerio de Coordinación de la Producción, E. y. (2011). *Agendas para la transformación productiva territorial: Provincia de Los Ríos*. Agendas para la Transformación Productiva Territorial: Los Ríos, Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad. Recuperado el abril de 2016, de <http://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/02/AGENDA-TERRITORIAL-LOS-RIOS.pdf>
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. (enero de 2015). NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA. ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA). Ecuador.
- Ministerio de Coordinación de la Producción, E. y. (2011). Agenda para la Transformación Productiva Territorial: Los Ríos. Recuperado el abril de 2016
- Molina, X., & Rodríguez, X. (2010). *ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LOS SEDIMENTOS FLUVIALES Y SU RELACION CON LA DISPONIBILIDAD DE METALES EN AGUA*. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, Santiago de Chile. Recuperado el 27 de marzo de 2016, de <http://documentos.dga.cl/CQA5191v2.pdf>
- Montaño, M., & Sanfeliu, T. (octubre de 2008). Ecosistema Guayas (Ecuador), Medio Ambiente y Sostenibilidad. *Revista tecnológica ESPOL*, 21(1), 1-6.
- Narváez, R., & Guzmán, V. (2010). *Línea base para el monitoreo de la calidad de agua en concesiones de riego mayores a 50 L/s* Línea base para el monitoreo de la calidad de agua de riego en la demarcación hidrográfica del Guayas. Técnico, Secretaría Nacional del Agua, Quito. Recuperado el 10 de abril de 2016, de <http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/LineaBaseDHG.pdf>
- Pozo W., S. T. (11 de agosto de 2011). Metales pesados en humedales de arroz en la cuenca baja del río Guayas. *Maskana*, 2(1). Recuperado el 20 de 12 de 2015
- Propiedades químicas del Cadmio*. (s.f.). Recuperado el 20 de 12 de 2015, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>
- Santana, L. (2014). Caracterización físico, química y ecotoxicológica de sedimentos provenientes de cuatro sitios del río Daule. Guayaquil, Ecuador.

- Senior Galindo, W. (2014). *Diagnóstico y evaluación de la contaminación por metales pesados en los sedimentos superficiales del Estero Santa Rosa, Provincia de El Oro, Ecuador*. Informe actividades Prometeo, Universidad Técnica de Machala. Recuperado el marzo de 2016
- Universidad Agraria del Ecuador. (2012). *Calidad del agua del río Babahoyo, Ecuador. Período del 2011 a junio 2012*. Técnico, Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil. Recuperado el 01 de 2016
- Universidad Agraria del Ecuador, (2011). *Calidad del agua y su contaminación de origen agrícola, en los ríos Babahoyo y Yaguachi en la cuenca del río Guayas-Ecuador*. Guayaquil. Recuperado el 11 de 2015
- Tapia, J. (2012). Modelización Hidrológica de un área experimental en la Cuenca del Rio Guayas. Guayaquil, Ecuador.
- Tapia, J. C. (marzo de 2012). Modelización hidrológica de un área experimental en la cuenca del río Guayas en la producción de caudales y sedimentos. La Plata, Argentina. Recuperado el abril de 2016
- Tecnolowikia*. (s.f.). Recuperado el 22 de marzo de 2016, de <https://tecnolowikia.wikispaces.com/Aplicaciones+del+Cromo>
- The Japanese Society of Limnology. (2002). Guía efecto de calidad de metales pesados en sedimentos. Obtenido de <http://www.jslim.jp/>
- Yúnez, J. (2015). *Ficha ambiental y Plan de manejo ambiental para la construcción de la Planta de potabilización de agua en la Parroquia Tarifa, Cantón Samborondón, Provincia del Guayas*. ficha ambiental, Samborondón. Recuperado el abril de 2016, de <http://www.samborondon.gob.ec/pdf/EIA/F-A-ConstruccionPlantaPotabilizacionDeAguaParrquiaTarifa.pdf>