

## EVALUACIÓN AMBIENTAL DE AGUAS RESIDUALES: ESTERO Y MANGLAR EL MACHO DE LA CIUDAD DE MACHALA

Zhindón, R.; Cartuche, D.; España, P.; Maldonado, M.

Universidad Técnica de Machala

[rzhindon@utmachala.edu.ec](mailto:rzhindon@utmachala.edu.ec)

### RESUMEN

Se presenta una evaluación del impacto ambiental de las descargas de aguas servidas sin tratamiento sobre el estero y el manglar “El Macho”, sector norte de la ciudad de Machala, provincia de El Oro. El objetivo general de este trabajo fue de determinar el impacto ambiental del actual sistema de descarga de aguas servidas sobre el ecosistema del estero y el manglar “El Macho”. Se realizaron análisis de agua en sitios de diferentes sectores del estero y manglar para evaluar el nivel de contaminación de las aguas servidas a través de la evaluación de los parámetros organolépticos, físicos, químicos y biológicos. Dichas muestras fueron enviadas a laboratorios especializados y certificados de la ciudad de Quito, y Guayaquil para su posterior descripción analítica. La evaluación del impacto ambiental por las descargas de aguas servidas sin tratamiento sobre el estero y el manglar El Macho, reveló un grado de contaminación entre el 24 y el 45% en dos años diferentes por lo que se evidencia un grado de contaminación leve y medio. De todos los elementos analizados los más importantes fueron: sólidos suspendidos totales, sulfuros, nitrógeno total, fósforo total, plomo, carbonato de calcio, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales ya que estos mostraron un nivel más alto de lo permitido por la norma (límite máximo permisible), lo que nos demuestra su contaminación.

**Palabras clave:** Aguas residuales, contaminación, valoración, impacto ambiental.

### ABSTRACT

An environmental impact assessment of untreated sewage discharges on the estuary and mangrove area of "El Macho", northern area of the city of Machala, El Oro province is presented hereto. The general objective of this research work was to determine the environmental impact of the current wastewater discharge system on "El Macho" estuary and mangrove ecosystem. Water analysis were carried out in different sectors of the estuary and mangrove to evaluate the level of wastewater contamination through the assessment of organoleptic, physical, chemical and biological parameters. Those samples were sent to specialized and certified laboratories in the cities of Quito and Guayaquil for further analytical description. The assessment of the environmental impact of untreated wastewater discharges on El Macho estuary and mangrove revealed a degree of contamination ranging from 24 to 45% in two different years, proving therefore slight and intermediate levels of contamination. Among all the analyzed elements, the most relevant were: total suspended solids, sulfides, total nitrogen, total phosphorus, lead, calcium carbonate, biochemical oxygen demand and

fecal coliforms, since these showed a level higher than the level allowed by the standard (maximum permissible limit), that demonstrates its contamination.

**Keywords:** Wastewater, pollution, environmental, impact assessment.

## INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental se define como “la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza” (Semarnat, 2015). Las acciones de los hombres sobre el medio ambiente siempre provocarán efectos colaterales sobre este. Existe una gran preocupación a nivel ambiental, como la contaminación de los mares con petróleo, los desechos de la energía radioactiva, la contaminación acústica, descarga de aguas residuales, entre otros.

Gómez (2014) señala a las aguas residuales como el conjunto de aguas que llevan elementos extraños, bien por causas naturales, o bien provocadas de forma directa o indirecta por la actividad humana. Están compuestas por una combinación de líquidos de desagüe de viviendas, comercios, edificios de oficinas e instituciones, líquidos efluentes de establecimientos industriales, líquidos efluentes de instalaciones agrícolas y ganaderas, aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que circulan por calles, espacios libres, tejados y azoteas de edificios que pueden ser admitidas y conducidas por las alcantarillas.

Las aguas residuales están formadas por 99% de agua y 1% de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos. Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos y, algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo. Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados (Hidalgo, 2008).

Uno de los principales cuerpos de agua que son afectados de manera inmediata por las aguas residuales son los esteros. Los esteros son extensiones pantanosas de gran tamaño que suele llenarse de agua por la lluvia (anegación) o por desborde de un río o laguna durante las crecientes (inundación). El término estero se utiliza en varios contextos ecológicos y geográficos para designar condiciones de pantano generalmente en zonas planas con drenaje imperfecto.

Las zonas costeras son de tremenda importancia para la vida en la tierra. Sin embargo, tienen ecosistemas frágiles y son susceptibles a la contaminación tal como la descarga incontrolada de aguas residuales. Durante siglos, las bajas densidades poblacionales en las economías rurales prevalecientes, tenían como resultado niveles modestos de consumo de agua y la contaminación por aguas residuales era localizada.

Adicionalmente, el medio ambiente natural era capaz de absorber esta pequeña carga de contaminación y por lo tanto las zonas costeras no estaban contaminadas. Hoy en día, a menudo la naturaleza ya no puede manejar dichas presiones y las bases de varias actividades económicas se ven amenazadas. Solamente en las últimas tres

décadas, la población mundial se ha duplicado a seis billones de personas, la economía mundial se ha más que duplicado y el nivel de urbanización se ha incrementado, especialmente en países en vías de desarrollo. Las aguas residuales municipales que son descargadas al medio ambiente se han incrementado paralelamente.

Dentro del perfil costero nacional se encuentra la ciudad de Machala, capital de la provincia de El Oro, la misma que está en proceso expansivo urbanístico por lo que resulta de particular importancia el cumplimiento de las leyes, normas y regulaciones ambientales que garantizan el “buen vivir” de sus moradores.

La liberación de las aguas servidas es un problema serio en la ciudad por cuanto estas son vertidas en los esteros, manglares y mar de forma directa, sin tratamiento previo, por lo que constituyen no solo una agresión ambiental con su influencia negativa sobre los ecosistemas, sino también un peligro potencial directo a la salud de sus habitantes.

En el país son escasos los estudios sobre el impacto ambiental negativo que provocan las aguas residuales en los ecosistemas de manglares a nivel biológico y ecológico por lo que se considera relevante la valorización del mismo en los diferentes taxones y componentes del hábitat que ocupan dicha zona.

Es necesario dicho estudio sobre las aguas servidas en los ecosistemas locales de vertimiento para demostrar el efecto negativo de esta forma de “eliminación” y sugerir de manera inmediata un sistema de tratamiento o depuración de las mismas con todos los beneficios que este conllevaría para el “buen vivir” de los habitantes de la ciudad.

La situación actual de los manglares o “bosques de agua salada” a nivel mundial, incluidos los de nuestro país en general y los de la costa machaleña en particular, muestran un grave peligro para su extraordinaria diversidad biológica debido a su degradación/fragmentación que afecta dramáticamente al hábitat de los ecosistemas producto a la contaminación en todas sus variantes como los efectos negativos por los monocultivos agrícolas (producción de banano) o acuícolas (acuicultura), la contaminación por petróleo, la contaminación por productos químicos y desechos de las poblaciones humanas y la minería, entre otros no menos importantes que están causando un serio deterioro y desaparición de estos ecosistemas costeros con la correspondiente repercusión negativa sobre sus componentes del ecosistema.

Este estudio propone evaluar en un contorno netamente general el ecosistema, a nivel biológico para caracterizar la influencia de las descargas de las aguas residuales sobre la biota propia del sector y también ecológico con el objeto de estimar el impacto al nicho, todo esto producto de las descargas de las aguas servidas.

El trabajo de investigación tiene como meta determinar el grado de contaminación del Canal El Macho mediante la toma de muestras de agua del canal en diversos sitios con el fin de analizar la afectación a la flora, a la fauna y a la salud de la población del área de influencia del Canal. Así mismo se analizará las concentraciones de los metales pesados cadmio y plomo presentes en el canal mediante toma de muestras.

La pregunta de investigación que surge de lo antes expuesto es: ¿Qué acciones se pueden emprender para mitigar la contaminación provocada por las aguas servidas sin tratamiento y por los metales pesados en el Canal El Macho?

Las hipótesis planteadas son: Las descargas sin tratamiento de las aguas residuales, y la presencia de agroquímicos que desembocan en el sector norte del manglar “El Macho” de la ciudad de Machala, provincia de El Oro, contaminan el Estuario y afectan la flora y fauna del sector.

Las variables independientes son los metales pesados: cadmio, plomo, la materia orgánica presente en la descarga sin tratamiento de las aguas servidas y el número de familias que viven en los sectores contiguos al Canal El Macho.

La variable dependiente es el grado de contaminación que experimenta el Canal El Macho.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La modalidad del trabajo fue de Investigación de campo; se tomaron muestras de agua y organismos para detectar los impactos de la liberación de las aguas residuales sobre el Estero El Macho. Se levantó una línea base de los parámetros físico-químicos y biológicos del Estero El Macho, en la que se tomaron muestras y se determinaron parámetros físicos in situ y la mayoría de las muestras fueron procesadas en laboratorio.

La presente investigación es para la toma de decisiones, ya que se evidenció el impacto de la contaminación de las aguas residuales sobre la calidad de agua y su efecto sobre los manglares y gasterópodos, en el Estero y el manglar “El Macho”, en el norte de la ciudad de Machala ( $3^{\circ}16'0''S$ ;  $79^{\circ}58'0''O$ ), El Oro.

El criterio para la toma de muestras fue monitorear las zonas donde se descargan las aguas servidas del sector norte de la ciudad sin ningún tipo de tratamiento depurativo. Se tomaron 15 puntos de muestreo donde se tomaron los aforos:

- En su origen en donde recibe aguas servidas procedentes de la parroquia El Cambio y principalmente de bananeras con alto contenido contaminante de fertilizantes y plaguicidas.
- A mitad del recorrido de las aguas por el estero en donde ya tienen incorporados volúmenes importantes de aguas servidas de la ciudad.
- Al final del estero, donde las aguas están contaminadas con aquellas servidas procedentes de todo el sector norte de la ciudad de Machala.
- Dos puntos ubicados en el manglar en zonas próxima (100 m) e intermedia (200 m) de la desembocadura del estero que permiten valorar el efecto de recambio producto de las mareas.

Los puntos de muestreo se detallan en figura 2 y tabla 1 donde se detalla con coordenadas geográficas, la dirección del sitio, además se hace una breve descripción del mismo.

**Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo del área de estudio donde se observa que las localidades de trabajo están ubicados en la parte superior del mapa**



Fuente: Google earth (2015).

**Tabla 1. Descripción del área de estudio donde se realizaron la toma de muestras. Descripción del Área de Estudio**

SIGLA	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
P1	614202	9641354
P2	614693	9641261
P3	615117	9641503
P4	616034	9641145
P5	616494	9641343
P6	616877	9641110
P7	611281	9642114
P8	611259	9642031
P9	611432	9641842
P10	612785	9642118
P11	617537	9640360
P12	617019	9640958
P13	618960	9639892
P14	619783	9639365
P15	617256	9640670

### **Toma de muestras para determinar indicadores de calidad de agua**

Los recipientes para la toma de las muestras fueron enjuagados dos veces con agua destilada antes de su empleo. Se colectaron muestras de agua, 2 veces en el mismo día coincidiendo con los momentos de las mareas alta y baja por 6 meses consecutivos. Esta proyección del muestreo permitió valorar el “efecto concentrador” durante la marea baja y el “efecto lavador” de la marea alta cambiando, en cierto modo, las características de las aguas del estero.

El indicador temperatura se obtuvo en el momento de tomar la muestra. Las muestras de agua se tomaron según la norma NTE INEN 2 169:98 1998-11 y los parámetros

organolépticos, físicos y químicos se evaluaron en los laboratorios Havoc y LabMos, quienes nos proporcionaron los envases para las diferentes muestras.

### **Parámetros físico-químicos**

Para los análisis físico-químicos se colectaron 3 litros del agua en recipiente plástico, a excepción del análisis de alcalinidad total en que se tomó por separado (un litro de muestra siempre en recipiente de plástico); este análisis de alcalinidad determina la cantidad de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) que por su efecto buffer pueden retener los protones ( $\text{H}^+$ ) generados por la degradación de la materia orgánica ya que la disminución de la alcalinidad ocasiona una caída acelerada de pH que afecta la fisiología de las especies de moluscos y peces.

Para la toma de muestras se sujetó el frasco por el fondo en posición invertida, sumergiéndolo completamente y dándole la vuelta en sentido contrario a la corriente o desplazándolo horizontalmente en la dirección de la boca del frasco. En todos los casos la muestra de agua no llenó totalmente el frasco, siendo necesario dejar un espacio libre a fin de facilitar su homogenización en el momento de iniciar los análisis.

Todas las muestras después de realizar los análisis de campo se colocaron en hieleras y se transportaron hasta el laboratorio para su posterior análisis, tomando las precauciones necesarias para evitar una ulterior contaminación. Al momento de llegar las muestras al laboratorio se refrigeraron y conservaron a  $4^\circ\text{C}$ . En el momento de realizar los análisis, las muestras se trabajaron a temperatura ambiente.

### **Parámetros biológicos**

Para el análisis microbiológico, se obtuvo una muestra simple en cada momento de muestreo considerándose que más adecuados para este fin fueron los frascos de vidrio neutro con tapón esmerilado o roscado, limpio y esterilizado en autoclave a  $120^\circ\text{C}$  con una capacidad mínima de 250 ml. Cabe resaltar que los estudios de cada uno de los parámetros citados, se enviaron a que sean realizados por laboratorios especializados y certificados por las autoridades respectivas, en la ciudad de Guayaquil (Instituto de Investigaciones y Recursos Naturales de la Universidad de Guayaquil, y Laboratorio Mosquera).

Las muestras biológicas del Fitoplancton se analizaron cualitativamente y cuantitativamente siguiendo la técnica de conteo celular en cámara de Sedgwick – Rafter Wihpple, (Methods, 2005). Para estimar la abundancia relativa de los organismos encontrados se utilizó la metodología de (Avaria & et al., 2002). La identificación de los grupos taxonómicos se efectuó con claves y libros especializados. Los datos obtenidos fueron expresados cel/ml.

### **Organismos bioindicadores**

Se estudió una especie de planta y una especie de gasterópodo reportadas como bioacumuladoras de metales pesados en otro estero de Ecuador: *Rhizophora mangle* y *Littorina* sp. (Pernía, y otros, 2015). Para el procesamiento de las muestras de

organismo, se lavaron con agua destilada, para ser colocada en cápsula de porcelana en una estufa de 80°C hasta obtener un peso constante 48 horas aproximadamente, las muestras se pulverizaron en morteros, los tejidos fueron sometidos a digestión acida, adicionando HNO<sub>3</sub> y 3 ml de HCL, a 1 g del tejido seco pulverizando en un vaso de precipitación tapado con un vidrio de reloj, por 24 horas, la muestras fueron colocadas en calor hasta completar su digestión, el extracto se filtró en papel whatman No.40 en un balón aforado se completó el volumen a 50 ml con agua destilada para luego realizar la lectura en el espectrofotómetro Perkin-Elmer Analyst 100 del IIRN de Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Naturales.

### **Pruebas estadísticas**

Las muestras fueron tomadas aleatoriamente, en la que se determinó la media, coeficiente de variación (cv), máximos y mínimos. Para verificar relación entre las variables planteadas se realizó una correlación de Pearson. Los resultados se analizaron utilizando en programa Minitab versión 17.0.

### **Cálculo del volumen de las aguas residuales**

Para determinar el volumen de material que se sedimenta en el canal se calculó el volumen de las aguas residuales que llegan al canal, así:

### **Cálculo de las aguas residuales de uso doméstico**

La ciudad de Machala tiene una población aproximada de 248248 mil habitantes (Plan de ordenamiento territorial del cantón Machala, 2015). Sus aguas residuales son captadas a través de la red de alcantarillado y depositadas de manera directa a:

- Estero “El Macho” (descarga norte)
- Estero Pilo (descarga Sur)
- Estero Huayla (descarga Sur-oeste)
- Estero Santa Rosa (Puerto Bolívar)

**Figura 2. Descargas de aguas residuales de la ciudad de Machala**



Fuente: Google (2015).

El estero “El Macho” recibe la descarga de aproximadamente 120 mil habitantes. Esto significa que, considerando una dotación de 200lt/hab/día (Dato proporcionado por la empresa TRIPLEORO CEM), el estero recibe un caudal de AR domesticas igual a 347.22 lt/s; es decir, el 48% del total de aguas servidas generadas por la ciudad.

### **Cálculo de las aguas de desagüe de las bananeras**

Tomando en cuenta que el canal “El Macho” en su parte alta sirve de drenaje a las bananeras asentadas en su margen de aproximadamente 800 Ha (dato proporcionado por el Ministerio de Agricultura de El Oro), que la cantidad de agua que se utiliza para regar este cultivo es de 22 mil m<sup>3</sup>/ha/año, y que el porcentaje que fluye hacia los drenajes es de 0.25 tenemos que el caudal de agua de desagüe es de 139.52 lt/s.

### **Cálculo de las aguas de desagüe de las bananeras**

Precipitación de la lluvia – estación antiguo Aeropuerto de Machala

$I = 105.1 \text{ mm/H}$

Método de cálculo:  $A =$  área de la cuenca

$U =$  No. de habitantes = 120000 hab. (30000 casas)

$A =$  Superficie de drenaje: 6 Km<sup>2</sup> Aplicar cálculo de caudal por Método Racional

Superficie de Machala: 24 Km<sup>2</sup>

$C =$  Coeficiente de Escorrentía = 0.70 Calles con pavimento de hormigón

$N = 0.125$  Cauces sinuosos con malezas (Coef. de rugosidad de Manning)

$$Q_{ALL} = \frac{C.I.A}{360} = \frac{0.70 \times 105.40 \times 6}{360} = 1.22 \text{ m}^3/\text{s} \quad (1)$$

$$Q_{ALL} = 1220 \text{ lt/s} \quad (2)$$

## Cálculo de Sedimentación

La cantidad de lodo que se formaría por descarga de las aguas domesticas es de:

Población servida máxima = 120 mil personas

Peso Promedio de sólidos producidos por persona/día = 0.4 Kg

(Ingeniería de Aguas residuales, George Tchobanoglous, Metcall & Eddy, INC, México, 1999)

Peso máximo de lodos producidos población/día = 48 000 Kg/día

Consideramos que el 60% de estos lodos son biodegradables (MO=Materia Orgánica)

Luego:

Considerando que 1lt de lodo es igual a 2 Kg se tiene que el volumen de lodos es de 9.60 m<sup>3</sup>/día.

Se considera que la estación invernal dura aproximadamente 5 meses.

Por material particulado <0.02 (determinado por ensayo) contenido en aguas de desagüe (riego) + agua de lluvia:

Gradiente promedio del cauce:  $S = 0.2 \text{ o/oo} = 0.0002$

Perfil del Cauce (Tipo):

$$AH = 14 \text{ m}^2$$

$$PM = 12 \text{ m}$$

$$RH = 1.16 \text{ m}$$

Velocidad del agua en el cauce:

$$V = R^{2/3} S^{1/2} / n \quad (1)$$

$$V = (1.16)^{2/3} (0.0002)^{1/2} / 0.125 \quad (2)$$

$$V = 0.12 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (3)$$

La velocidad mínima para arrastrar solidos es  $V = 0.07 \text{ m/s} < V \text{ cauce}$ . Las velocidades de arrastre de diversos materiales se dan en la tabla 2. De acuerdo a estos cálculos, en el Estero "El Macho", existe velocidad de arrastre de partículas, sin embargo este arrastre de partículas se ve perturbado por la presencia de vegetación "lechuguines", viviendas "construcciones" y presencia de refluo (entrada del mar); lo que frena o acelera la velocidad del agua generando que el material particulado (lodos y arenas) se depositen en forma transversal, es decir a los lados del Estero.

## Cálculo del volumen depositado de sedimentos en época de invierno

$$QT = 1.36 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (QT = Q \text{ agua lluvias} + Q \text{ agua de riego})$$

Velocidad de Sedimentación:

$$g = 980 \text{ cm/s}^2$$

$P_a$  = Densidad de arena de fondo = 1.8 T/m<sup>3</sup>

$P$  = Densidad de agua residual = 1.4 T/m<sup>3</sup>

Viscosidad cinemática del agua = 0.01172 cm<sup>2</sup>/s

Diámetro de matrícula = 0.02 cm

$$V_s = \frac{g}{18} \left( \frac{P_a - P}{u} \right) \cdot d^2 \quad (1)$$

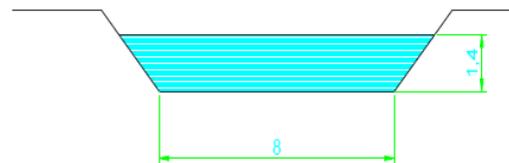
$$V_s = \frac{980}{18} \left( \frac{1.8 - 1.4}{0.01172} \right) \cdot (0.02)^2 = 0.046 \frac{m}{s} \approx 0.04 \frac{m}{s} \quad (2)$$

## Validación

El proceso para la obtención de la muestra y análisis posterior de la misma para la determinación de los parámetros que indican la contaminación del agua del estero y manglar “El Macho” fueron debatidos con la Dra. Beatriz Pernía, profesional con amplia experiencia en la toma de muestras y análisis de laboratorio para este tipo de problemas, en la actualidad participa del PROGRAMA PROMETEO en el Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil; Para la determinación de las especies bioindicadores se tuvo la participación del Biólogo Rodrigo Ramón, actualmente se desempeña como funcionario del Ministerio de Casa de Pesca; para la determinación de los sedimentos se contó con la colaboración del Ing. Civil Carlos Ochoa experto en el área. Todo este trabajo siempre estuvo dirigido y supervisado por mi tutor el Biólogo Marcos Calle Moran.

Todos los procesos de toma de muestras se hicieron de acuerdo a normas tal cual se detalla en el punto 2.1

**Tabla 2. Velocidades de sedimentación**



MATERIAL	VELOCIDAD m/s
Arcilla fina	0.07
Arena fina	0.15
Grava 12.7 mm	0.3
Grava 25.4 mm	0.6

Fuente: Hidráulica fluvial (SAE) Sociedad Argentina de Estudios

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El color en el agua es un indicativo de contaminación con materia orgánica, sustancias inorgánicas, desechos industriales o a un exceso de algas (Guevara, 1996). También puede deberse a la presencia de metales como cobre, hierro, manganeso o cromo. Luego de analizar in situ los parámetros organolépticos, se determinó que solo los puntos P11 y P12 presentaron color (tabla 3). Según la Norma Ecuatoriana TULAS, las aguas deben presentar ausencia de color y olor.

Los olores en el agua están asociados con la presencia de materia orgánica en descomposición, presencia de microorganismos, sales inorgánicas y residuos industriales (Guevara, 1996), es por ello que en las normas internacionales (OMS, 2010) y nacionales (TULSMA, 2008) el olor es un indicador de contaminación del agua. En cuanto al olor, la mayoría de los puntos presentó olor agresivo, indicativo de contaminación. Solo en los puntos P2, P7, P9, P10 y P14 hubo ausencia de olores (tabla 3).

**Tabla 3. Parámetros organolépticos para los 15 puntos estudiados en el Estero “El Macho”**

Localidad	Color Und. PtCo.	Olor
P1	< 10	Agresivo
P2	< 10	Agresivo
P3	< 10	Agresivo
P4	< 10	Agresivo
P5	< 10	Agresivo
P6	< 10	Agresivo
P7	< 10	Agresivo
P8	< 10	Agresivo
P9	< 10	Agresivo
P10	< 10	Leve olor agresivo
P11	< 12	Agresivo
P12	< 15	Agresivo
P13	< 10	Agresivo
P14	< 10	Agresivo
P15	< 10	Agresivo

## Parámetros físico-químicos

De acuerdo a los análisis realizados se puede inferir que algunos parámetros físicos y químicos se encuentran más elevado de lo permitido por la norma TULAS (límite máximo permisible LMP) en la mayoría de los puntos de muestreo. La temperatura y el pH se encontraron dentro de límites permisibles. Además, la conductividad

específica de un agua es la medida de la habilidad para transportar una corriente eléctrica, varía con el tipo y cantidad de iones que contenga. Los altos valores de conductividad demuestran la carga de sal en el agua, que podría provenir de residuos industriales, escurrimiento de abonos y sales.

En concordancia con este hecho, los cloruros se encontraron 22,4 veces por encima de la norma y se determinó un contenido de sales y por ende en la conductividad eléctrica del agua. Es importante destacar que las aguas costeras, presentan altos contenidos de cloruro por la intrusión de aguas saladas. Otras fuentes posibles de cloruros son las descargas de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales (Torres & Acevedo, 2008).

**Tabla 4. Valores promedios para los parámetros físico-químicos en el Estero “El Macho”**

Parámetro	Unidad	Media
<b>Parámetros físico-químicos</b>		
Temperatura	°C	24
pH		6,8
Conductividad	mácronhos/ cm	16860
Dureza total		696
DBO5	mg/L	71,1
DQO	mg/L	119,1
Turbidez	NTU	20
<b>Composición química</b>		
Calcio Ca <sup>++</sup>	mg/L	64
Magnesio Mg <sup>++</sup>	mg/L	126
Sodio Na <sup>++</sup>	mg/L	3468
Potasio K <sup>++</sup>	mg/L	156
Hierro Fe <sup>++</sup>	mg/L	0,2
Amonio NH <sub>4</sub>	mg/L	0
Carbonatos CaCO <sub>3</sub>	mg/L	0
Bicarbonatos	mg/L	168
Sulfatos SO <sub>4</sub>	mg/L	212
Cloruros Cl <sup>-</sup>	mg/L	5600
Nitritos NO <sub>2</sub>	mg/L	0
Nitratos NO <sub>3</sub>	mg/L	0
Nitrógeno total	mg/L	31,58
Fosfatos PO <sub>4</sub>	mg/L	0
Fósforo total	mg/L	2,872
<b>Sales disueltas:</b>		
Cloruro de potasio	mg/L	298
Cloruro de sodio	mg/L	8833,5
Cloruro de calcio	mg/L	176
Cloruro de Magnesio	mg/L	84,6
Bicarbonato de sodio	mg/L	0
Bicarbonato de calcio	mg/L	0
Bicarbonato de Magnesio	mg/L	277,4
Sales totales	mg/L	9933,5

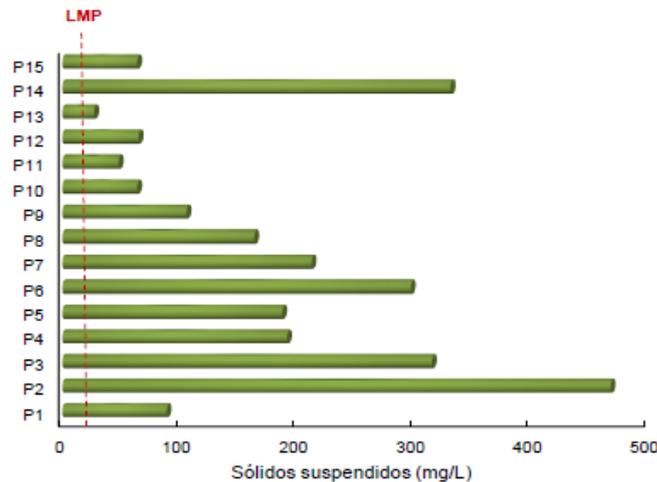
El contenido de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) expresado como Carbonato de Calcio (CaCO<sub>3</sub>) se conoce como Dureza total del agua. En el presente trabajo se halló una elevada dureza de 696, aproximadamente 1,4 veces por encima del LMP y se conoce que valores superiores a 400 ppm, generan al agua un sabor desagradable y puede ocasionar diarreas en algunos casos (tabla 4).

La turbidez es un factor ambiental importante en las aguas naturales, y afecta al ecosistema ya que la actividad fotosintética depende en gran medida de la penetración de la luz, por lo que las aguas turbias tienen una actividad fotosintética más débil, lo que afecta a la producción de fitoplancton y también a la dinámica del sistema (Mejía, 2001). La turbidez en el presente estudio estuvo 4 veces por encima de la Norma (tabla 4). La presencia de materia suspendida en el agua puede indicar un cambio en su calidad y/o la presencia de sustancias inorgánicas finamente divididas o de materiales orgánicos.

La materia en suspensión comprende a todas aquellas sustancias que están suspendidas en el seno del agua y no decantan de forma natural. El valor promedio

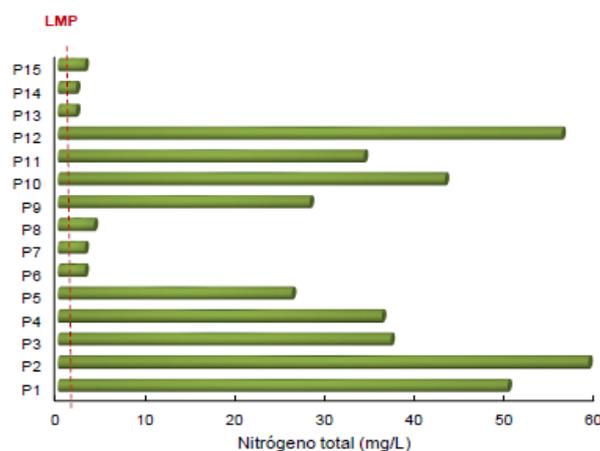
en el canal fue de 184 mg/L cuando la norma indica que máximo debería presentar 100 mg/L. Cabe destacar que solo 6 de los 15 puntos muestreados presentaron valores por debajo de la norma, siendo el punto P2 el de mayor concentración de sólidos suspendidos 468 mg/L, 4,68 veces por encima de la norma (figura 4).

**Figura 4. Sólidos suspendidos (mg/L)**



De igual forma, se halló una elevada concentración promedio de nitrógeno total en el canal de 31,58 mg/L cuando lo permitido en la norma es sólo 1 mg/L (Figura 5). En la Figura 5 se observa que en todos los puntos muestreados los valores de nitrógeno superan a los LMP, en especial en el P2, donde alcanza valores de 59 mg/L, característico de aguas turbias. Un exceso de nitrógeno podría traer como consecuencia un sobre crecimiento de las microalgas y eutroficación de las aguas.

**Figura 5. Nitrógeno Total (mg/L)**



Por otro lado, la demanda química de oxígeno DQO Es la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en el agua sin la intervención de los organismos vivos. En el estudio se encontraron altas concentraciones promedio de 119,1 (cv=36,05%) mg/L, 11,9 veces por encima del LMP y valores máximos de 173

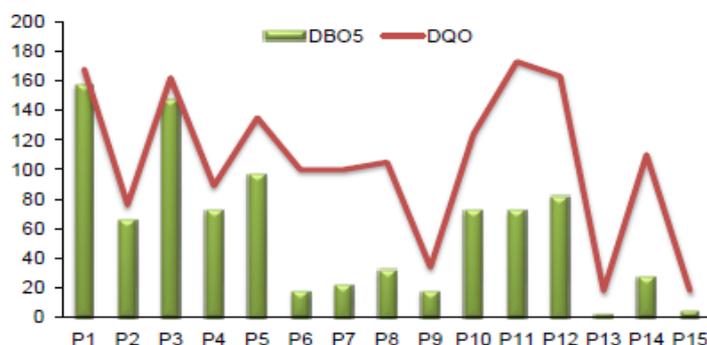
mg/L en el punto P11 (figura 6). Se observó una correlación positiva entre este parámetro y el contenido de sulfuros ( $r^2=0,708$ ,  $p=0,010$ ).

La Demanda bioquímica de oxígeno DBO5 es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica presente, por la acción bioquímica aerobia. El LMP para este parámetro es 2 mg/L y se hallaron valores promedio de 71,1 ( $cv=65,37\%$ ) con un máximo de 157 mg/L en P11 (figura 6). Se encontró una correlación positiva entre DBO5 y DQO ( $r^2=0,716$ ,  $p=0,019$ ).

De igual forma, se observó correlación positiva entre DBO5 y el contenido de nitrógeno total ( $r^2=0,614$ ,  $p=0,034$ ) y fósforo total ( $r^2=0,611$ ,  $p=0,035$ ), por lo que probablemente el exceso de nutrientes está generando un crecimiento de los microorganismos y como consecuencia una mayor demanda de oxígeno.

La relación DBO5/DQO para la degradabilidad (tabla 5) evidencia que en los puntos P6 y P13-P15, existe contaminación por residuos inorgánicos no biodegradables ya que su relación es menor a 0,2 y el resto de los puntos tienen la presencia de residuos orgánicos biodegradables, lo cual podría deberse a la mayor intervención antropogénica en el sector.

**Figura 6. Demanda bioquímica de oxígeno DBO5 y demanda química de oxígeno por estación de muestreo**



**Tabla 5. Relación DBO / VDQO**

Localidad	DBO5/DQO	Interpretación
P1	0,935	Contaminación orgánica
P2	0,111	Contaminación inorgánica
P3	0,868	Contaminación orgánica
P4	0,907	Contaminación orgánica
P5	0,809	Contaminación orgánica
P6	0,719	Contaminación orgánica
P7	0,170	Contaminación inorgánica
P8	0.245	Contaminación inorgánica
P9	0.220	Contaminación orgánica
P10	0.305	Contaminación orgánica
P11	0.500	Contaminación orgánica
P12	0.581	Contaminación orgánica
P13	0.416	Contaminación orgánica
P14	0.222	Contaminación inorgánica
P15	0.503	Contaminación inorgánica

## Diagnóstico

A continuación se describe el diagnóstico por localidad estudiada:

**P1:** Tiene un Índice de Biodegradabilidad de 0,93 lo que la hace altamente biodegradable, con olor agresivo, y baja concentración de residuo. El resultado de la muestra analizada NO CUMPLE con el requisito establecido de acuerdo a la Norma Técnica de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes.

En lo que se refiere a Nitrógeno (Figura 5). Requiere de Tratamiento Biológico que le permitirá minimizar la Carga contaminante, el IBD, reducir el nitrógeno y el olor agresivo.

**P2:** Tiene un Índice de Biodegradabilidad (IBD) de 0,10 lo que la hace no biodegradable, no tiene olor agresivo, con concentración de residuo baja y los demás parámetros determinados cumplen la Norma Técnica de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes.

**P3:** Presentó un IBD 0.87 lo que la hace altamente biodegradable, con olor agresivo, y baja concentración de residuo. El resultado de la muestra analizada no cumplió con el requisito establecido de acuerdo a la Norma Técnica de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes.

En lo que se refiere a los Sólidos Suspendidos Totales y al Nitrógeno (Fig. 4 – Fig. 5) no cumple norma, se requiere de tratamiento biológico que le permitirá minimizar la carga contaminante, el IBD, reducir el nitrógeno, disminuir la carga de sólidos suspendidos totales y el olor agresivo.

**P4:** Tiene un Índice de Biodegradabilidad de 0,91 lo que la hace altamente biodegradable, con olor agresivo, y baja concentración de residuo. El resultado de la muestra analizada NO CUMPLE con el requisito establecido de acuerdo a la Norma Técnica de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes, en lo que se refiere a Sulfuros y Sólidos Suspendidos Totales. Requiere de Tratamiento Biológico que le permitirá minimizar la Carga contaminante, el IBD, reducir los sulfuros y el nitrógeno, disminuir la carga de Sólidos Suspendidos Totales y el olor agresivo.

**P5:** Presento un IBD de 0.81 lo que la convertía en altamente biodegradable, con olor agresivo, y baja concentración de residuo. El resultado de la muestra analizada no cumplía con el requisito establecido de acuerdo a la Norma Técnica de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes, en lo que se refiere a sólidos suspendidos totales. Se requiere de tratamiento biológico que le permitirá minimizar la carga contaminante, el IBD, reducir los sulfuros y el nitrógeno que se pudiera generar, disminuir la carga de sólidos suspendidos totales y el olor agresivo.

**P6:** Tiene un Índice de Biodegradabilidad de 0,72 lo que la hace altamente biodegradable, con olor agresivo, y baja concentración de residuo. El resultado de la muestra analizada NO CUMPLE con el requisito establecido de acuerdo a la Norma Técnica de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes, en lo que se refiere a Sólidos Suspendidos Totales y Pb. Requiere de Tratamiento Biológico que le permitirá minimizar la Carga contaminante, el IBD, disminuir la carga de Sólidos Suspendidos Totales y el olor agresivo.

**P7:** Tiene un Índice de Biodegradabilidad de 0,17 lo que la hace no biodegradable, no tiene olor agresivo, con concentración de residuo baja y los demás parámetros determinados cumplen la Norma Técnica de Calidad Ambiental y de descarga.

**P8:** Mostró un IBD de 0.25 lo que la hace biodegradable, no tiene leve olor agresivo, concentración de residuo baja, pero en cuanto a sólidos suspendidos totales no cumplía con la Norma Técnica de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes.

**P9:** Tiene un Índice de Biodegradabilidad de 0,22 lo que la hace biodegradable, no tiene olor agresivo, concentración de residuo baja. Pero en cuanto a Sólidos Suspendidos Totales No Cumple la Norma Técnica de Calidad Ambiental y de descarga.

**P10:** Reveló un IBD de 0.30 lo que la hace biodegradable, con leve olor agresivo, concentración de residuo baja. Con relación a los sólidos suspendidos totales no cumplió con la Norma Técnica de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes. Se

requiere de tratamiento físico, que puede ser realizado antes de la descarga de aguas residuales.

**P11:** Tiene un Índice de Biodegradabilidad de 0,50 lo que la hace altamente biodegradable, con olor agresivo, y baja concentración de residuo. El resultado de la muestra analizada NO CUMPLE con el requisito establecido de acuerdo a la Norma Técnica de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes, en lo que se refiere a Sulfuros y Sólidos Suspendidos Totales. Requiere de Tratamiento Biológico que le permitirá minimizar la Carga contaminante, el IBD, reducir los sulfuros, disminuir la carga de Sólidos Suspendidos Totales y el olor agresivo.

**P12:** Tuvo un IBD 0.58 lo que lo hacía altamente biodegradable, con olor agresivo, y baja concentración de residuo. El resultado de la muestra analizada no cumplía con el requisito establecido de acuerdo a la Norma Técnica de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes, en lo que se refiere a Nitrógeno y Sulfuros. Se requiere de tratamiento biológico que le permitirá minimizar la carga contaminante, el IBD, reducir los sulfuros, nitrógeno y el olor agresivo.

**P13:** Tiene un Índice de Biodegradabilidad de 0,42 lo que la hace altamente biodegradable, con olor agresivo, y baja concentración de residuo. El resultado de la muestra analizada NO CUMPLE con el requisito establecido de acuerdo a la Norma Técnica de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes, en lo que se refiere a Sulfuros. Requiere de Tratamiento Biológico que le permitirá minimizar la Carga contaminante, el IBD, reducir los sulfuros y el nitrógeno que se pudiera generar y el olor agresivo.

**P14:** Tiene un Índice de Biodegradabilidad de 0,20 lo que la hace biodegradable, olor inobjetable, concentración de residuo baja y junto a los demás parámetros determinados Cumple la Norma Técnica de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes. Sin embargo, supera los límites para Pb.

**P15:** Tiene un Índice de Biodegradabilidad de 0,50 lo que la hace altamente biodegradable, con olor agresivo, y baja concentración de residuo, el resultado de la muestra analizada NO CUMPLE con el requisito establecido de acuerdo a la Norma Técnica de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes, en lo que se refiere a Nitrógeno y Sulfuros. Requiere de Tratamiento Biológico que le permitirá minimizar la Carga contaminante, el IBD, reducir los sulfuros, nitrógeno y el olor agresivo.

## CONCLUSIONES

- Se analizó la calidad de agua del Estero “El Macho” mediante el estudio de parámetros organolépticos, donde se determinaron problemas de mal olor y en dos localidades presencia de color en el agua, los parámetros físico-químicos conductividad, dureza, turbidez, sólidos suspendidos, DBO5 y DQO se encontraron sobre los límites máximos permisibles según el TULAS.
- No se detectó en el Estero “El Macho” la presencia de Hidrocarburos (aceites y grasas, hidrocarburos totales de petróleo), Tensioactivos y Pesticidas fuera

de norma, sin embargo dentro del grupo de los metaloides se encontró plomo fuera de norma en tres puntos de los quince estudiados.

- La cantidad de sedimento que llega al canal en promedio diariamente ocasiona que este pierda 0.14 mm de calado (al año 50.83mm). Por otra parte, el fenómeno de sedimentación de las inspecciones de campo, no se da en forma continua debido a que el cauce está interrumpido por el crecimiento de maleza, arrastre de lechuguines, construcciones y por refluo que origina la marea.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams, R., Alvarez, A. & Morales, F. (2007). *Criterios de restauración para suelo contaminado con hidrocarburos altamente intemperizados en base riesgo y producción primaria*. Tamaulipas: Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Albert, L. (1995). Contaminación ambiental. Origen, clases, fuentes y efectos. En *La contaminación y sus efectos en la salud y el ambiente*. México: Ecología y desarrollo.

Allen, W., Hook, P. & Biederman, J. (2002). Temperature and wetland plant species effects on wastewater treatment and root zone oxidation. *Journal of Environmental Quality*, 1010-1016.

Andrades, E. (2010). *Tratamientos de agua-impacto ambiental. Soluciones integrales en sistemas de agua potable*, 18-22.

Anot, J. & Gobas, F. (2006). A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organical chemicals in aquatic organisms. *Environmental Reviews*, 14(4), 257-297.

Araújo, C. et al. (2013). Bioremediation of Waters Contaminated with Heavy Metals Using Moringa oleifera Seeds as Biosorbent. *INTECH*.

Avaria, E. et al. (2002). Variación Temporal del fitoplancton entre 1993 y 1998 en una estación fija del Seno Aysén Chile (45°26'S73°00'W). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 33-65.

Azevedo, C. (2007). El desarrollo sostenible y los retos de la deforestación en la amazonía brasileña: lo bueno, lo feo y lo malo. *Unasyva*, 12-16.

Bahena, E. (2009). *Mangle Blanco*. México D.F.

Bellman, H. et al. (1994). *Invertebrados y Organismo Unicelulares*. Barcelona: Blume.

Benítez, E. (2002). *Consevación de Manglares*. México: Universidad Autónoma de Sinaloa.

- Benítez-Pardo, D., Verdugo, F. & Hernández, J. (2002). Reproducción vegetativa de dos especies arbóreas en un manglar de la costa norte del Pacífico mexicano. *Mad y Bosq*, 8(2), 57-71.
- Blome, D. (1999). Analysis of the small-scale spatial patterns of free-living marine nematodes from tidal flats in the East Frisian Wadden Sea. *Marine Biology*, 133(4), 717-726.
- Bravo, E. (2014). *La industria camaronera en Ecuador. Globalización y agricultura*. Barcelona: Edualter.
- Carmona, G., Ávila, C. & Mendoza, C. (2012). Propagación vegetativa. *Polibotánica*, 193-195.
- Carmona, S. (2012). Propagación vegetativa de manglares. *Polibotánica*, 193.
- C-CONDEM. (2014) ¿Qué es el ecosistema manglar?
- Changuan, D. (2009). *Métodos de prevención y control de derrames de hidrocarburos*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Cobo, M. (2004). *Compromiso de conservación aplicado al caso de los manglares en Ecuador*. Quito: Universidad Católica Pontificia del Ecuador.
- Cortes, F., Betancourt, F. & Medrano, J. (2010). Control Inicial en la Descarga de Aguas Residuales Industriales y Comerciales. *Conciencia Tecnológica*, 43-49.
- Eganathan, P. et al. (2000). Vegetative propagation of three mangrove tree species by cuttings and air layering. *Wet. Ecol. and Man*, 8, 281-286.
- Flores, H. et al. (2009). Aportes de nitrógeno y fósforo de tres sistemas agrícolas de la cuenca hidrográfica " El Jihuite", en Jalisco, México. *Agrociencia*, 659-669.
- Foroughbakhch, R. et al. (2004). Aspectos ecológicos de los manglares y su potencial como fitorremediadores en el Golfo de México. *Ciencia UANL*, VII(2), 203.
- Gómez, H. (2014). *Fiscalización ambiental para el cambio*. Perú.
- Gómez, L. (2013). *Característica del Manglar*. México.
- Gucker, B., Brauns, M. & Pusch, M. (2006). Effects of wastewater treatment plant discharge on ecosystem structure and function of lowland streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 313-329.
- Guevara, A. (1996). Análisis de las normas de control de calidad del las aguas.

- Guillén, S. & González, M. (2013). *Contaminación Ambiental*. Tucumán: Repositorio Tucumán.
- Hardenb, R. & Edward, B. (2009). *Tratamiento de aguas residuales*. México: Continental.
- Hartmann, H., Kester, D. & Davies, F. (1990). *Plant Propagation. Principles and practice*. New Jersey: Prentice Hall.
- Hidalgo, R. (2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales.
- Kim, S. & Aga, D. (2007). Potential ecological and human health impacts of antibiotics and antibiotic-resistant bacteria from wastewater treatment plants. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 559-573.
- Lassiter, M. et al. (2015). Cross-species coherence in effects and modes of action in support of causality determinations in the U.S. Environmental Protection Agency's integrated science assessment for lead. *Toxicology*.
- López, R. (2011). *Tratamientos de Aguas Residuales*. Panamá.
- Manglares. (2012). *Biodiversidad*. México.
- Martin, S. & Griswold, W. (2009). Human Health Effects of Heavy Metals. *Environmental Science and Technology*.
- Maystre, J. (2007). Control de la contaminación ambiental. *El medio ambiente*, 55-56.
- Mejía, M. (2001). Producción primaria del fitoplancton y atenuación de la luz en el lago Cocibolca. *Scielo*.
- Monserate, L., Medina, J. & Calle, P. (2011). *Estudio de condiciones físicas, químicas y biológicas en la zona intermareal de dos sectores del estero salado con diferente desarrollo urbano*. Guayaquil: Espol
- Montoya, S. (2014). *Recursos Biológicos*. Antioquia: Repositorio EIA.
- Nelson, B. & Cronin, L. (1981). Estuarine and nutrients. *Humana Press*, 111-138.
- Odum, W. & Heald, E. (1975). Mangrove. En *Mangrove Forest and Aquatic Productivity*. Nueva York: Springer.
- Paguay, D. (2011). *Descripción del sistema de control de derrames en el centro de facilidades de producción (CPF) de la empresa Agip Oil Ecuador bloque 10 mediante la verificación en el sitio para evaluar el estado actual del mismo*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.

Palmer, J. & Fairhall, G. (1992). Properties of cement systems containing intermediate level wastes. *Cement and Concrete Research*, 325-330.

Palmer, M. (1962). *Algas en abstramiento de agua*. México: Interamericanas SA.

Paris, J. (2010). Aguas residuales. *Educación ambiental*, 42-43.

Pernía, B. et al. (2015). Propuesta de Biomonitorio de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Puente Portete, Guayaquil. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 5-11.

Pinfold, J. (1990). Faecal contamination of water and fingertrips-rinses as a method for evaluating the effect of low cost water supply and sanitation activities on faeco oral disease transmission. *Epidemiol. Infect.*, 363-375.

Pnuma. (2012). *Proyecto manglares*. Pnuma.

Pnuma & Schomakar, M. (2009). Lineamientos sobre Aguas Residuales Municipales.

Ramírez, S. (2008). Tratamientos para las aguas de desechos. México.

Reese, R. (2014). Restauración Ecológica de los manglares en la Costa del Ecuador. *Restauración Ecológica*, 14.

Sánchez-Páez, H. et al. (1998). *Conservación y uso sostenible de los manglares del Caribe Colombiano*. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente.

Santos, M. (2001). *Decreto Ejecutivo 1215. Registro oficial 265*. Quito: Legislación Ambiental Ecuatoriana.

Seduma (2010). *Yucatán es nuestra ecología*. México: Seduma.

Semarnat (2015). *Impacto ambiental y tipos*. México.

Torres, A. & Acevedo, E. (2008). El problema de salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile. *SciELO*, 31-44.

Walker, H. (2009). *Principales contaminantes de aguas residuales*. Lima.