

# Caracterización Físico-Química del agua y su relación con el uso del suelo en el Río Teaone, Cantón Esmeraldas

YARELYS FERRER  
ANDY JAFET RAMÍREZ CASTILLO



# Caracterización Físico-Química del agua y su relación con el uso del suelo en el Río Teaone, Cantón Esmeraldas

# Caracterización Físico-Química del agua y su relación con el uso del suelo en el Río Teaone, Cantón Esmeraldas

YARELYS FERRER  
ANDY JAFET RAMÍREZ CASTILLO



Caracterización Físico-Química del agua y su relación con  
el uso del suelo en el Río Teaone, Cantón Esmeraldas

©

YARELYS FERRER  
ANDY JAFET RAMÍREZ CASTILLO  
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

2021,  
Publicado por acuerdo con los autores.  
© 2021, Editorial Grupo Compás  
Guayaquil-Ecuador

Grupo Compás apoya la protección del copyright, cada uno de sus textos han sido sometido a un proceso de evaluación por pares externos con base en la normativa del editorial.

El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Editado en Guayaquil - Ecuador  
Primera edición

ISBN: 978-9942-33-487-9



Cita.

Ferrer, Y., Ramírez, A. (2021) Caracterización Físico-Química del agua y su relación con el uso del suelo en el Río Teaone, Cantón Esmeraldas. Editorial Grupo Compás.

## **Prólogo**

La importancia de esta investigación se fundamenta porque constituye un nuevo aporte a la suma de voluntades para conservar una buena calidad del agua del río Teaone, aunque en la práctica sean poco visibles los resultados de las acciones en este sentido, por los niveles de afectación que se pueden percibir en las riberas del río, especialmente en las áreas urbanas afectadas por los asentamientos humanos y actividades antrópicas como la ganadería y el turismo. Siendo así, los resultados y conclusiones de la **CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA Y SU RELACIÓN CON EL USO DEL SUELO EN EL RÍO TEAONE, CANTÓN ESMERALDAS, AÑO 2019**, que relacionan los datos obtenidos en esta investigación con los niveles permisibles propuestos en las normativas nacionales e internacionales, también deben ser considerados por las entidades parroquiales y cantonales cuando se planifiquen estrategias, acciones o actividades que busquen mejorar la conciencia ambiental de la comunidad y así garantizar una buena calidad y cantidad de agua, para las poblaciones y asentamientos de las riveras y área de influencia del río Teaone, ubicadas principalmente en las parroquias Carlos Concha, Tabiazo y Vuelta Larga con una población de 44,788 habitantes, que requieren permanente información sobre temas ambientales que contribuyan a mejorar su calidad de vida y garantizar el

funcionamiento de los procesos ecológicos esenciales en  
éste importante río de la provincia de Esmeraldas, Ecuador.

---

Ing. For. Guillermo Prado Erazo

FUNCIONARIO DE LA OFICINA DE RIESGOS EN LA  
PROVINCIA ESMERALDAS

## **Introducción**

La historia del desarrollo de las sociedades humanas está determinada por la transformación del medio. Cada momento histórico se ha caracterizado por determinadas formas de relación entre la sociedad y el ambiente natural, que se ha cristalizado en la generación de una estructura territorial que se manifiesta en el paisaje visible. La transformación del paisaje, asociada a dinámicas territoriales, contribuye a la expansión de los espacios agrícolas y/o urbanos, en detrimento de las áreas naturales, e involucran cambios en los parámetros ambientales. Con la reducción de los paisajes naturales se produce una mayor escorrentía superficial, un descenso en la recarga de los acuíferos, una disminución de la calidad del agua y una mayor frecuencia de avenidas extremas.

Desde la perspectiva ecológica, las consecuencias de la transformación del paisaje se centran en la reducción o desaparición de los hábitats naturales. Antiguos paisajes boscosos o agroforestales de extensión y continuidad notables son parcelados y subdivididos en fragmentos de pequeñas dimensiones a causa de la progresiva y desorganizada ocupación del territorio (Morera *et al.*, 2007). La transformación del paisaje en las cuencas hídricas conlleva la presencia de diferentes formas de uso del suelo, entre los que se incluyen la ganadería, sistemas agroforestales, urbanidad, remanentes de bosques, entre otros.

Es ampliamente conocido que la calidad del agua en las cuencas hídricas depende de varios factores, que incluyen la geología y el suelo, el uso del suelo y las características de la cobertura del suelo (Hosseini *et al.*, 2017; Chamara y Liyanage, 2017). Claramente, existen fuertes relaciones entre las características del uso del suelo y la calidad del agua en términos de nutrientes, sedimentos y cualquier otro contaminante (Haidary *et al.*, 2013). A medida que el agua drena de diferentes tipos de uso del suelo, arrastra diferentes tipos de contaminantes, especialmente bajo el primer fenómeno de descarga, y crea un origen importante de contaminación de fuente no puntual. Las cantidades y tipos de contaminantes difieren en cada tipo de uso de suelo como agricultura, urbano, vial y forestal. Por lo tanto, comprender la descripción de los parámetros de calidad del agua por el gradiente del uso del suelo es un factor clave en el desarrollo sostenible, la evaluación y gestión del riesgo ambiental dentro de las cuencas hídricas (Shen *et al.*, 2015).

La transformación del paisaje hacia monocultivos agrícolas y ganaderos en las cuencas hídricas ha causado problemas de degradación del suelo, pérdida de diversidad y disminución de la calidad y cantidad de agua. La deforestación, la expansión de la agricultura y las pasturas, han contribuido a la desprotección total o parcial de las fuentes de agua y con ello han aumentado los problemas de

erosión y contaminación en los ambientes acuáticos (Chará *et al.*, 2011, Citado por Giraldo *et al.*, 2014). En las pasturas es frecuente que se permita el acceso del ganado a las quebradas para beber agua, con lo cual se sedimentan los cauces. Además, las heces y la orina que son depositadas directamente en el agua y en el área de captación afectan el agua (Chará, 2004, Citado por Giraldo *et al.*, 2014). Estos factores, junto con la disminución de caudales, el aumento de temperatura en el agua y la pérdida de estructura del hábitat, son efectos negativos comunes asociados a las actividades agropecuarias sobre las corrientes de agua (Allan, 2004, Citado por Giraldo *et al.*, 2014).

La vegetación ribereña tiene una capacidad para interactuar con el agua subterránea, porque el manto freático en estas áreas está muy cerca de la superficie del suelo, lo cual permite la interacción de las raíces y los microorganismos con los contaminantes transportados por el agua subterránea. La presencia de los árboles en la orilla de los ríos puede tener efectos sustanciales en la temperatura del agua corriente (Ciencia, 2003). En el caso de los sistemas agroforestales, la protección de los árboles juega un papel importante por los beneficios que ofrece, como la protección del agua y del suelo, disminuyendo la escorrentía por su asociación con la vegetación pequeña, considerados como filtros que atrapan sedimentos y nutrientes, evitando que la calidad del agua y el ecosistema

acuático sea alterado (Bremmer, 1989, citado por Auquilla, 2005).

Según Flores (2016), el agua es un recurso que debe ser canalizado para las necesidades de la industria, de la agricultura y el abastecimiento de las localidades humanas, y que una vez utilizado y contaminado debe ser desalojado. Esto ha derivado en una crisis ambiental en detrimento de los ecosistemas riparios de los ríos, por las descargas residuales fuera de norma y un uso desmedido del recurso. Además del abastecimiento de agua para las necesidades cotidianas, estos espacios, tradicionalmente, han sido frecuentados como espacios recreativos por sus bondades sensoriales y paisajísticas (Hernández-Tapia, 2017).

De forma general, un alto porcentaje de los ríos en Ecuador reciben la deposición de desechos de las poblaciones humanas, así también los efectos de actividades económicas que se sustentan en diferentes usos del suelo, que tienen su impacto negativo en los niveles de los parámetros físico-químicos del agua, lo cual es preocupante considerando la dependencia que de este recurso tienen las comunidades rivereñas. Particularmente, el río Teaone destaca por la incidencia de numerosas y extensas actividades antropogénicas a lo largo de su recorrido por una parte de la provincia Esmeraldas. Esto genera problemas ambientales que para mitigarlos requieren el

aporte de investigaciones que sustenten científicamente el efecto negativo de tales actividades y de la pérdida de cobertura vegetal sobre la calidad físico-química del agua.

A pesar de la pérdida de vegetación, cambio de uso del suelo y contaminación de las aguas, las relaciones dependientes entre estas variables siguen siendo poco conocidas. Explorar las asociaciones entre las métricas de uso de suelo y la calidad del agua proporcionaría información útil para una planificación efectiva del uso de la tierra y para la seguridad de la calidad del agua. Las métricas del paisaje pueden predecir mejor la calidad del agua que los tipos de uso de suelo (Shi *et al.*, 2017). Por ejemplo, Lee *et al.* (2009) revelaron que el alto valor de métricas del paisaje como las densidades de parches y bordes están estrechamente asociadas con la degradación de la calidad del agua; Bu *et al.* (2014) y Sun *et al.* (2013) informaron que la agregación y diversidad del paisaje se correlacionaron significativamente con la calidad del agua de un arroyo. Ding *et al.* (2016) y Shi *et al.* (2017) mostraron que la densidad del parche, el índice de parche más grande y el índice de forma del paisaje estaban fuertemente vinculados con la calidad del agua fluvial. Con todos estos elementos en cuenta, el presente estudio pretende evaluar la influencia de los diferentes usos del suelo y la fragmentación del paisaje en las características físico-químicas del agua del Río Teaone, Ecuador para de esta manera generar

información valiosa para el desarrollo de estrategias de recuperación de estos sistemas hídricos.

El estudio se conformará de los siguientes capítulos:

Sección I-Marco contextual de la investigación, integrado por: ubicación y contextualización de la problemática, problema general y derivados, delimitación del problema, objetivos y justificación.

Sección II-Marco teórico de la investigación, describe: fundamentos conceptuales y teóricos relativos al estudio y los sustentos legales.

Sección III-Metodología de la investigación, dentro de este apartado se especifica: tipo y métodos de investigación, diseños experimentales y muestra, fuentes de recopilación de información, instrumento de investigación, procesamiento y análisis de la información.

Sección IV-Marco administrativo, se encuentra constituido por el cronograma de actividades y el presupuesto económico del estudio.

### **Ubicación y contextualización de la problemática**

Este libro se realizó a lo largo de la cuenca media y baja del río Teaone, que es afluente del gran río Esmeraldas. En su recorrido se ubican poblaciones como las parroquias Carlos Concha, Tabiazo y Vuelta Larga, pertenecientes al cantón Esmeraldas, provincia Esmeraldas.

Los sitios que se investigaron se ubicaron a lo largo del río considerando los principales usos del suelo, tales como ganadería, sistemas agroforestales, remanentes de bosque y zonas urbanas, mismos que fueron considerados para el registro de las muestras de agua. La población de las parroquias Carlos Concha, Tabiazo y Vuelta Larga es de 44,788 habitantes, la más poblada es la parroquia Vuelta Larga ubicada en la parte baja de la cuenca con 40,187 habitantes. Ecológicamente esta zona se clasifica como bosque húmedo Tropical (bh-T).

Datos climáticos

Temperatura media anual  $25,6^{\circ} C$

Temperatura del agua  $27^{\circ} C$

Velocidad del viento  $8,9-12,4 km/h$

Precipitación media anual  $738 mm$

A lo largo del río Teaone, son numerosos los núcleos poblados que se abastecen del agua de su cauce para el consumo diario. Sin embargo, históricamente ha constituido un importante foco de contaminación debido a las acciones del hombre, puesto que en su cauce se han producido impactos de diferente naturaleza, como derrames de petróleo, combustibles, descargas de aguas negras y aguas residuales industriales (López, 2011, citado por (Prado, 2015)).

Existen otras actividades económicas tales como el turismo en áreas pobladas, la ganadería y la agricultura que han venido fragmentando el paisaje con la consecuente disminución de la extensión de los bosques de la cuenca hidrográfica; aunque la presencia de bosques secundarios remanentes y sistemas agroforestales podrían contribuir a mitigar esta problemática. Es lógico suponer que los usos del suelo analizados anteriormente, la fragmentación del paisaje derivada de estos usos, además del incremento de la población, producen impactos negativos en los parámetros físico-químicos del agua de este importante río de la provincia Esmeraldas.

Esta situación es preocupante para los organismos de control y fundamentalmente para la población, ya que esta se abastece de agua para consumo humano y utiliza pequeñas áreas como balnearios para pasar en familia. Las afectaciones antes anotadas necesitan evaluarse, y esclarecerse para así comparar sus resultados con los niveles permisibles existentes en las diferentes normas y leyes ambientales, además de identificar los usos de suelo y el nivel de fragmentación del paisaje que tiene mayor influencia sobre la calidad físico-química del agua.

Los recursos naturales ofrecen al hombre beneficios que pueden ser tangibles o intangibles. Entre los tangibles se encuentran aquellos cuya presencia es evidente, tales como

los bosques, la biodiversidad terrestre y marina, las cuencas hídricas, los minerales, los cultivos, entre otros. El hombre para poder satisfacer sus necesidades de sobrevivencia, requiere aprovecharlos, para lo cual aplica métodos que dependen de las características de los mismos.

Estos métodos en algunos casos se ejecutan aplicando procedimientos que garantizan su uso sustentable, mitigando o reduciendo el impacto de su aprovechamiento. En otros casos, el aprovechamiento no es precisamente racional, y es atentatorio contra su permanencia, generando impactos ambientales negativos que afectan al hombre y a la biodiversidad en general.

En el Ecuador se están produciendo afectaciones a los ecosistemas. La principal causa para la extinción de especies es la fragmentación de los ecosistemas, producidos principalmente por la deforestación, el crecimiento urbano y otras actividades antrópicas, lo que reduce la capacidad de acogida de los fragmentos de vegetación en dependencia de su tamaño y los requerimientos de las especies.

La ganadería y la agricultura generan contaminación ambiental, en especial a las fuentes de agua, aunque la presencia de bosques secundarios remanentes y sistemas agroforestales podrían contribuir a mitigar esta problemática. Así mismo, los asentamientos humanos en

dependencia de su magnitud causan contaminación al agua de las cuencas hídricas que pueden llegar a niveles de afectación preocupante, produciendo problemas sanitarios a quienes consumen este líquido vital. Este es el caso del río Teaone, donde los usos del suelo analizados anteriormente, además del incremento de la población, producen impactos negativos en los parámetros físico-químicos del agua de este importante río de la provincia Esmeraldas.

En vista de lo anterior se propuso esta investigación que buscó evaluar la influencia de los diferentes usos del suelo y la fragmentación del paisaje en las características físico-químicas del agua del río Teaone. Se proporciona información valiosa sobre la influencia que cada uso del suelo tiene sobre el agua del río y recomendar acciones que mitiguen el impacto que producen estas actividades ligadas a la sobrevivencia de la población, contribuyendo así al cumplimiento de la legislación vigente.

### **Cuenca hidrográfica**

Se define a la cuenca hidrográfica, como una unidad territorial formada por un río principal (troncal) con sus afluentes (corrientes consecuentes) y por un área colectora de aguas cuya cima es un parte aguas, donde están contenidos los recursos naturales básicos para las múltiples actividades humanas, donde todos estos recursos mantienen continua y particular interacción con el

aprovechamiento y desarrollo productivo del hombre. Una cuenca está conformada por componentes físicos, biológicos y antropocéntricos que interactúan entre sí, cuyo recurso naturales son renovables. Los reservorios de agua (lagos, lagunas, ríos) albergan ecosistemas acuáticos que tienen valor de existencia y que, por lo tanto, deben ser valorados en forma directa no comercial (Campos, 1987, citado por Vela Díaz, 2008).

### **El agua**

El agua cubre más del 70 % de la superficie del planeta, se la encuentra en océanos, lagos, ríos, en el aire, en el suelo. Es la fuente y el sustento de la vida, contribuye a regular el clima del mundo y con su fuerza formidable modela la tierra. Posee propiedades únicas que la hacen esencial para la vida. Es un material flexible: un solvente extraordinario, un reactivo ideal en muchos procesos metabólicos; tiene una gran capacidad calorífica y tiene la propiedad de expandirse cuando se congela. Con su movimiento puede modelar el paisaje y afectar el clima (Fernández, 2012).

### **Propiedades físicas del agua**

Las propiedades físicas del agua se atribuyen principalmente a los enlaces por puente de hidrógeno, los cuales se presentan en mayor número en el agua sólida, en la red cristalina cada átomo de la molécula de agua está rodeado tetraédricamente por cuatro átomos de hidrógeno

de otras tantas moléculas de agua y así sucesivamente es como se conforma su estructura (Paramio, s.f).

Como las propiedades más relevantes se tiene:

1. Estado físico: sólida, líquida y gaseosa.
2. Color: incolora
3. Sabor: insípida
4. Olor: inodoro
5. Densidad: 1 g./c.c a 4°C
6. Punto de congelación: 0 °C
7. Punto de ebullición: 100 °C
8. Presión crítica: 217,5 atm
9. Temperatura crítica: 374 °C

### **Propiedades químicas del agua**

El agua químicamente pura es un compuesto de fórmula molecular  $H_2O$ . Como el átomo de oxígeno tiene sólo 2 electrones no apareados, para explicar la formación de la molécula  $H_2O$  se considera que de la hibridación de los orbitales atómicos 2s y 2p resulta la formación de 2 orbitales híbridos  $sp^3$ . El traslape de cada uno de los 2 orbitales atómicos híbridos con el orbital  $1s^1$  de un átomo de hidrógeno se forman dos enlaces covalentes que generan la formación de la molécula  $H_2O$ , y se orientan los 2 orbitales  $sp^3$  hacia los vértices de un tetraedro triangular regular y los otros vértices son ocupados por los pares de electrones no compartidos del oxígeno (Paramio, s.f).

Como propiedades más relevantes están:

1. Reacciona con los óxidos ácidos
2. Reacciona con los óxidos básicos
3. Reacciona con los metales
4. Reacciona con los no metales
5. Se une en las sales formando hidratos

- a) Los anhídros u óxidos ácidos reaccionan con el agua y forman ácidos oxácidos.
- b) Los óxidos de los metales u óxidos básicos reaccionan con el agua para formar hidróxidos.
- c) Algunos metales descomponen el agua en frío y otros lo hacían a temperatura elevada.
- d) El agua reacciona con los no metales
- e) El agua forma combinaciones complejas con algunas sales, denominándose hidratos.

### **Agricultura y medio ambiente**

La agricultura es la actividad agraria que comprende todo un conjunto de acciones humanas que transforma el medio ambiente natural, con el fin de hacerlo más apto para el crecimiento de las siembras. Es el arte de cultivar la tierra, refiriéndose a los diferentes trabajos de tratamiento del suelo y cultivo de vegetales, normalmente con fines alimenticios, o a los trabajos de explotación del suelo o de los recursos que este origina en forma natural o por la acción del hombre: cereales, frutas, hortalizas, asto, forrajes y otros variados alimentos vegetales. Es una actividad de gran importancia estratégica como base fundamental para el desarrollo autosuficiente y de la riqueza de las naciones (Sáez, 2010).

La agricultura tiene un gran impacto en el medio ambiente. En los últimos años, algunos aspectos de la agricultura intensiva a nivel industrial han sido cada vez más polémicos. La creciente influencia de las grandes compañías productoras de semillas, productos químicos y

procesadoras de comida preocupa cada vez más tanto a los agricultores como al público en general. El efecto desastroso sobre el entorno de la agricultura intensiva ha causado que vastas áreas anteriormente fértiles hayan dejado de serlo por completo, como ocurrió en tiempos con Oriente medio, antaño la tierra de cultivo más fértil del mundo y ahora un desierto (Sáez, 2010).

Algunos de los problemas actuales son:

- Contaminación por nitrógeno, fosforo y magnesio en ríos, lagos y aguas subterráneas.
- Erosión del terreno
- Agotamiento de minerales del suelo
- Salinización del suelo en zonas secas

Muchos de estos problemas van agotando y desertizando el suelo, obligando a abandonar unos terrenos para arar otros nuevos que, a su vez, se agotan, creando un círculo vicioso que va destruyendo el entorno (Sáez, 2010).

### **Ganadería**

El término ganadería se define como una actividad económica que consiste en la crianza de animales para el consumo humano, esta actividad se encuentra dentro de las actividades del sector primario. La ganadería en conjunto con la agricultura son actividades que el hombre ha venido ejerciendo desde hace mucho tiempo. En un principio eran realizadas con fines de supervivencia, para cubrir sus necesidades de alimentación y vestido, entre otras cosas, luego cuando se comenzó con la domesticación de animales, se hizo posible utilizarlos para el transporte de cargas, y

trabajos agropecuarios. La contaminación del agua por patógenos y sustancias químicas activas derivados de residuos animales afectan a la salud animal y humana por diferentes vías. Los contaminantes pueden entrar al ambiente a través del percolado desde depósitos de estiércol mal construidos y desde lagunas, o durante grandes lluvias que causan el desborde de lagunas o el escurrimiento desde suelos agrícolas luego de la aplicación de abono. O pueden precipitarse en forma de depósitos atmosféricos secos o húmedos (FAO, 2018).

### **Sistemas agroforestales**

Los sistemas agroforestales (SAF) se define n como el conjunto de técnicas de uso de la tierra que implica la combinación o asociación deliberada de un componente leñoso (forestal o frutal) con ganadería y/o cultivos en el mismo terreno, con interacciones significativas ecológicas y/o económicas entre sus componentes. Estas contaminaciones pueden ser simultáneas o escalonadas en el tiempo y en el espacio, su objetivo es optimizar la producción del sistema y procurar un rendimiento sostenido (Combe y Budowski, 1979). Esta definición reúne los principales elementos propuestos por los autores citados pero existen varias definiciones. Entre ellas que “Un SAF es un agroecosistema con un componente arbóreo” y que “Agroforestería es un conjunto de técnica

silviculturales aplicadas a la producción agrícola o ganadera” (Russo, 2004).

Según Holdridge (1979) existen tres usos productivos de la tierra: agrícola, ganadero y forestal; y si bien otras actividades humanas ocupan tierra, no utilizan directamente el recurso suelo como lo hacen los tres usos principales mencionados. La actividad agroforestal al permitir combinar especies con requerimientos diferentes, también permite aumentar la intercepción de la radiación por estratificación vertical de los componentes y una mejor utilización del espacio horizontal (Russo, 2004).

### **El monitoreo y muestreo del agua**

Cuando se recolectan muestras directamente de un río, quebrada, lago, reservorio o manantial debe tenerse presente que el objetivo es obtener una muestra representativa del agua a analizar, de manera que no es conveniente recolectar muestras en puntos demasiado próximos a la orilla, muy distantes del punto de captación, del sedimento cerca del fondo o de lugares donde el agua se encuentra estancada. Se selecciona un punto en un tramo homogéneo del río, quebrada o manantial para recolectar la muestra, es decir, una parte donde haya mezcla. La botella se sumerge en el agua con el cuello hacia abajo, hasta una profundidad de 15 a 30 cm, con el fin de evitar los desechos flotantes, e inmediatamente se endereza colocando el cuello hacia arriba y la boca contra la dirección de la corriente, con

el propósito de evitar que el agua toque la mano antes de entrar en la botella. Cuando no existe corriente, la botella se empuja horizontalmente a través del agua siguiendo las instrucciones anteriores (AyA, 2007).

Al seleccionar los puntos de muestreo, cada sitio debe ser considerado individualmente. Sin embargo, en la mayoría de los casos pueden aplicarse ciertos criterios generales, los puntos de muestreo deben: ser seleccionados de manera tal que, las muestras sean representativas de las diferentes fuentes que abastecen al sistema; estar distribuidos uniformemente a lo largo del sistema; y escogerse, generalmente, de manera que las muestras sean representativas del sistema en su conjunto, en este caso una microcuenca, y de sus principales componentes (AyA, 2007).

### **Calidad de agua**

La calidad del agua se define en función de unos conjuntos de características físico- químicos o microbiológicos, así como de sus valores de aceptación o de rechazo. La calidad físico-química del agua se basa en la determinación de sustancias químicas específicas que pueden afectar a la salud (OMS, 2006). Mientras que, la microbiológica se basa en la determinación de aquellos microorganismos que pueden afectar directamente al ser humano o que, por su

presencia puedan señalar la posible existencia de otros (Eaton *et al.* 2005).

El uso del agua impone numerosas modificaciones a la morfología de los ríos, tales como la construcción de presas y canales de riego. El uso del suelo en las cuencas influye en la calidad del agua, debido a que la agricultura, la industria, la urbanización y la deforestación representan las principales fuentes de contaminación puntual y difusa. Así, se afecta el almacenamiento en acuíferos y la calidad del agua subterránea. De hecho, muchas actividades en la superficie de las cuencas repercuten en el agua subterránea. La falta de una gestión eficiente del agua y la sobreexplotación pesquera, tanto comercial como deportiva, al igual que la introducción de especies exóticas, perturban los ecosistemas acuáticos (Aguilar, 2010).

El agua para consumo humano se deriva de dos fuentes: aguas superficiales, como los ríos y reservorios, y subterráneas (Fawell y Nieuwenhuijsen, 2003). Las primeras son aquellas que fluyen sobre la superficie de la Tierra, incluyen las que precipitan de las lluvias y las que brotan de los manantiales. Las segundas son las que están situadas bajo el nivel freático y saturando completamente los poros y fisuras del terreno; fluyen a la superficie del suelo de forma natural a través de manantiales y pozos

artesanales, o por medio de sistemas de bombeo (CIRA-UAEM, 2005).

### **Deterioro de la calidad de agua**

Deterioro de la calidad del agua El deterioro de la calidad del agua es un gran problema que va en aumento, y es considerado uno de los principales problemas ambientales principales causas, tanto para el agua dulce como la salada, son los vertidos incontrolados de las aguas residuales urbanas e industriales, muchas veces sin tratamiento, así como las prácticas agrícolas deficientes. La contaminación atmosférica, la acumulación de sustancias químicas en suelos y sedimentos, el exceso de bombeo de aguas subterráneas, la minería y otras industrias de extracción, la destrucción de zonas pantanosas, también contribuyen a su deterioro (Fernández, 2012).

Los principales efectos que produce el agua contaminada en el medio ambiente son: contaminación microbiológica del agua, con la transmisión hídrica de enfermedades; pérdida de los ecosistemas acuáticos; riesgo de infecciones crónicas en el hombre, asociadas a la contaminación química; pérdida de la capacidad productiva en suelos regados, a causa de procesos de salinización, pérdida de la reserva de proteínas de los peces; pérdida de suelos por erosión (Fernández, 2012).

Hay que considerar que no todos los problemas de calidad de agua son únicamente consecuencia del impacto del hombre. Las características geoquímicas naturales pueden aportar cantidades elevadas de hierro reducido, flúor, arsénico y sales a las aguas subterráneas, reduciendo su uso como agua de bebida. Las erupciones volcánicas y sus consiguientes torrentes de lava, las inundaciones y sequías pueden provocar un deterioro local y regional del ambiente acuático. No obstante, cualquiera de estos eventos, impacta menos que cualquier actividad desarrollada por el hombre (Pepper *et al.*, 1996).

### **Parámetros físicos de la calidad del agua**

Los parámetros físicos permiten determinar cualitativamente el estado del agua, entre estos están.

#### **Temperatura (T)**

La temperatura es un parámetro físico que permite medir las sensaciones de calor y frío. Desde el punto de vista microscópico, la temperatura se considera representación de la energía cinética interna media de las moléculas que integran el cuerpo estudiado, en este caso el agua. Esta energía cinética se manifiesta en forma de agitación térmica, que resulta de la colisión entre las moléculas que forman el agua. Los animales las plantas acuáticas son sensibles a los cambios de temperatura del agua y requieren que esta se mantenga dentro de un intervalo determinado

para poder sobrevivir y reproducirse. Si la temperatura del agua permanece fuera de este intervalo durante mucho tiempo, los organismos quedarán expuestos a condiciones inadecuadas (Europapress, 2014).

La temperatura afecta a la cantidad de oxígeno que puede transportar el agua. El agua a menor temperatura transporta más oxígeno y todos los animales acuáticos necesitan este para sobrevivir. También influye en la fotosíntesis de plantas y algas, y la sensibilidad de los organismos frente a los residuos tóxicos. El aumento de la temperatura en nuestros ríos se puede deber a vertidos de agua caliente de plantas industriales, especialmente de agua de refrigeración. También se puede deber a la escasez de árboles en la orilla del río, provocando que no haya mucha sombra. También a aguas de escorrentía urbanas (Europapress, 2014).

### **Sólidos disueltos totales**

Sólidos totales disueltos Es un parámetro que se lo puede medir “in situ” va estar condicionado por la temperatura que se encuentra el medio acuoso, evalúa el contenido de materia suspendida y disuelta, mide el total de los residuos sólidos filtrables presente en el agua; los resultados fuera del rango de aceptabilidad afectan a los efluentes en cualquier forma y la calidad de la misma, provocando daños fisiológicos en el organismo del consumidor y una baja palatabilidad (Tenelema. 2017).

### **Turbidez (MRUV)**

La turbidez tiene una gran importancia sanitaria, ya que refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación (Espigares García y Fernández Crehuet, 1999). La causa de la turbidez del agua de bebida puede deberse a un tratamiento insuficiente en la planta de potabilización o a que el sedimento ha vuelto a quedar en suspensión en el sistema de distribución, así como a la existencia de conexiones cruzadas en el mismo. Elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro. En muchos casos no se logra destruir los patógenos y las bacterias fecales, aglomerados o absorbidos por partículas (Marcó, 2004).

La turbidez del agua se genera por la presencia de partículas en suspensión. La velocidad de sedimentación de las partículas pequeñas (menores al micrón de diámetro) es muy baja, por lo que requieren tratamiento para lograrla en tiempos útiles. Las mayores a un micrón sedimentan espontáneamente. Mientras algunas son de naturaleza inorgánica (arcillas, fangos y óxidos minerales), que provienen de la erosión del suelo, otras son de naturaleza orgánica (bacterias, parásitos, algas, zooplancton, ácidos fúlvicos y coloides húmicos) (Marcó, 2004).

### **Parámetros químicos de la calidad del agua**

La calidad química está determinada por las sustancias presentes en el agua recolectada en un punto específico y en un momento dado, se pueden citar.

#### **Oxígeno disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de OD indica agua de mejor calidad. Si los niveles de OD son muy bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir (Peña, 2007).

Además, la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua depende de la temperatura también. El agua fría puede guardar más oxígeno en ella que el agua más caliente. Los niveles de OD típicamente pueden variar de 0-18 partes por millón (ppm) aunque la mayoría de ríos y riachuelos requieren de un mínimo de 5-6 ppm para soportar una diversidad acuática (Peña, 2007).

#### **Potencial de Hidrógeno (pH)**

El pH es una medida de la acidez o de la alcalinidad de una sustancia. Ésta medida es necesaria porque muchas veces

no es suficiente decir que el agua está caliente, o en ocasiones, no es suficiente decir que el jugo de limón es ácido, al saber que su pH es 2.3 nos dice el grado exacto de acidez. Necesitamos ser específicos. El agua (molécula de  $H_2O$ ), tiene iones libres de Hidrógeno (H). Ese conjunto de iones tiene un peso, ese peso define el valor del pH. El pH es una medida de la acidez o de la alcalinidad de una sustancia (Gonzales, 2011).

### **Conductividad eléctrica**

Mide la capacidad que tiene el agua para conducir corriente eléctrica, esto se debe a la cantidad de iones disueltos va a depender de la concentración absoluta y relativa, movilidad y su valencia, viscosidad de la solución y a que temperatura se encuentre estas sustancias. Este parámetro se lo utiliza para obtener un valor estimado de sólidos disueltos que se encuentran en la muestra de agua (Tenelema, 2017).

### **Salinidad del agua**

Es el contenido de sal disuelta en un cuerpo de agua. Dicho de otra manera, es válida la expresión salinidad para referirse al contenido salino en suelos o en agua. El sabor salado del agua se debe a que contiene cloruro de sodio. El porcentaje medio que existe en los océanos es de 10,9 % (35 gramos por cada litro de agua). Además esta salinidad varía según la intensidad de la evaporación o el aporte de agua dulce de los ríos aumenten en relación a la cantidad de

agua. La acción y efecto de variar la salinidad se denomina saladura (Tenelema, 2017).

### **Índices de vegetación**

Los índices de vegetación basados en datos remotos se han utilizado cada vez con más frecuencia como indicadores cuantitativos del funcionamiento de los ecosistemas. Esto es debido a su diseño conceptual y estructural de que, a partir de datos indirectos, se infiera el monto de energía absorbida, reflejada o irradiada por los objetos según sus propiedades ópticas al entrar en contacto con su superficie. Consuetudinariamente se han utilizado para realizar estudios espaciales y multitemporales por la caracterización de ecosistemas, escalando observaciones locales y también para evidenciar la respuesta de la vegetación a las variaciones en los flujos radiante e hídrico.

El índice más empleado es el índice de la vegetación de diferencia normalizada (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI), un cociente que representa las características funcionales de la planta activa y que contrasta la reflectancia de las bandas infrarrojo cercano (Near Infrared-NIR) y rojo (Red-R). Utilizando las mismas bandas, el índice de vegetación con ajuste de suelo (Soil Adjusted Vegetation Index-SAVI) también representa el vigor y la estructura del dosel, pero además incorpora un ajuste arbitrario para la cobertura incompleta del terreno.

El índice transformado con ajuste de suelo (Transformed Soil Adjusted Index-TSAVI) mejora este ajuste arbitrario mediante la incorporación de una "línea de suelo", calculada a partir de la comparación de todos los píxeles en los dominios NIR y R para obtener indicadores de la cantidad y el color de suelo expuesto (Gosamo-Gosa, 2009). Otra alternativa entre los índices, aunque no ampliamente utilizado, es el Índice infrarrojo de diferencia normalizada (Normalized Difference Infrared Index-NDII), que representa el contenido de agua de la cubierta del suelo, utiliza las longitudes de onda NIR e infrarrojo de onda corta (Short Wave Infrared-SWIR) y puede ser un indicador útil para diferenciar especies de hoja caduca (caducifolios) de especies de plantas suculentas.

El índice NDVI se ha utilizado para la estimación de parámetros importantes del flujo de energía (Asrar *et al.*, 1989; Myneni *et al.*, 1997). Pero, SAVI parece ser menos afectado por las variaciones en el brillo del suelo y por lo tanto sus valores para una cubierta vegetal dada son más bien independientes al reflejo del suelo (Gilabert *et al.*, 2002). Una comparación cuantitativa entre NDVI y SAVI indicó una tendencia sistemática de producir valores altos de NDVI en suelos más oscuros que en ligeros (Gilabert *et al.*, 2002). Según Huete (1988) La influencia del suelo en el valor de los índices se espera que sea frecuente

especialmente en áreas de ecosistemas abiertos con cobertura escasa (Rodríguez, 2013).

### **Paisaje**

El concepto de paisaje emergió, a lo largo del siglo XIX, en el seno de la escuela de geografía alemana, vinculado al establecimiento de una taxonomía de áreas para la faz de la tierra. El paisaje era entendido como el conjunto de formas (relieve, vegetación, red hidrográfica, usos del suelo, asentamientos humanos, etc.) que caracterizan un sector determinado de la superficie terrestre. Las aportaciones realizadas desde entonces por distintas escuelas e investigadores han conducido a la formulación de un concepto poliédrico de paisaje (Chassot, 2007).

### **Fragmentación del paisaje**

El proceso de fragmentación se refleja en la estructura del paisaje, en la cual ocurren cambios que van desde la reducción y la pérdida total de tipos de hábitats naturales, hasta el incremento cada vez mayor de las distancias que separan físicamente los fragmentos o hábitats remanentes, siendo estos cada vez más pequeños y aislados, lo cual afecta la conectividad física y funcional de las especies, y en particular su biodiversidad. Cuanto más pequeños son los fragmentos, sea de bosque u otro ecosistema remanente, menor será la densidad de las poblaciones y mayor el riesgo de extinción de especies. Particularmente porque la fragmentación en muchos de los ambientes produce un

aislamiento geográfico de los ecosistemas y por tanto de las especies de flora y fauna (Chassot, 2007).

Se realizaron observaciones exploratorias para constatar la presencia y características de los usos del suelo a estudiar; tales como ganadería, sistemas agroforestales/remanentes de bosques y asentamientos poblacionales. La investigación fue evaluativa porque en base a las muestras de agua recolectadas se determinaron los parámetros físicos y químicos los que fueron relacionados con los tipos de uso del suelo mediante los índices de vegetación correspondientes y los análisis espaciales de fragmentación del paisaje.

Las muestras de agua recolectadas se determinaron el estado de los parámetros físico-químicos del agua afectada por los usos del suelo considerados. Con la finalidad de conseguir los objetivos propuestos se cumplió con los tipos de investigación siguientes.

Se tomaron muestras de agua por cada uso del suelo a evaluar, ocho puntos de muestreo por cada uno, esto es ganadería, sistemas agroforestales, remanentes de boques y zonas urbanas, a lo largo de la cuenca media y baja del río Teaone, provincia Esmeraldas, durante la época seca del 2019. Se seleccionaron sitios accesibles para cada uso. La distancia entre los puntos fue de mínimo 1 km. En cada sitio de muestreo se registraron datos del tipo de vegetación y el uso del suelo o actividad, coordenada geográfica, altitud (msnm), ancho aproximado del caudal (m), sustrato del río, profundidad del agua (m) (Anexo 1), de manera tal que se

pudo corroborar o validar con la información derivada del análisis espacial que se obtuvo a partir de la cartografía digital disponible de la zona.

Los parámetros físicos, temperatura, turbiedad, sólidos disueltos totales (SDT,  $\text{mg l}^{-1}$ ), y los químicos, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE,  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), oxígeno disuelto (OD,  $\text{mg l}^{-1}$ ) y salinidad total se determinaron *in situ* por cada punto de muestreo, siguiendo el protocolo del equipo multiparamétrico marca HANNA (Anexo 2).

Se realizaron observaciones en el terreno para identificar y describir las principales actividades antrópicas que definen el uso del suelo en el área de estudio, las que en mayor o menor medida inciden en los niveles de los parámetros físico-químicos del agua en el río.

### **Información espacial y espectral**

En cada una de las estaciones de muestreo de las variables del agua se creó una parcela digital circular de 500 m de diámetro (área de aproximadamente 20 ha y perímetro externo de 1570 m), en las cuales se extrajeron una serie de indicadores relacionados con la estructura de los hábitats y su fragmentación. Estos indicadores fueron el número de usos de suelo por parcela, el número de fragmentos, la suma de bordes totales y las áreas por categorías principales: bosques naturales, zonas arbóreas antrópicas, pastizales,

espejo de agua, zonas de cultivos varios y zonas urbanas. Con estos valores se calcularon las variables derivadas del Índice de bordes, la Dominancia y el Índice de fragmentación.

El número de fragmentos se refirió a los segmentos aislados de tipos de usos de suelo, diferenciándose de los fragmentos aparentes que son aquellos que se crean por los bordes de la parcela. La suma de bordes totales (expresada en metros) utilizando todas las categorías de uso, es una variable intermedia empleada para el cálculo del índice de bordes. Esta variable, en su forma cruda está sobreestimada ya que cada borde se toma dos veces (uno por cada categoría adyacente). En el índice de bordes, que es un indicador resultante de relativizar la cantidad de bordes internos por el borde externo de las parcelas (que es constante), se utilizó la mitad de la suma total de bordes y para relativizar entre 0 y 1 se emplea el borde externo como numerador. De esta forma el índice tiende a cero a medida que hay más bordes internos (lo que indica más fragmentación).

El área de boques naturales se diferenció de las zonas arboladas antrópicas que incluyó el área sumada de las categorías agropecuarias con presencia de árboles como aquellas dedicadas a frutales y plantaciones forestales. El resto de las zonas de cultivos incluyeron los mosaicos agropecuarios, usos misceláneos indiferenciados y las

tierras agropecuarias, tanto las de cultivo semi-permanente como los de ciclo corto.

Como índice de Dominancia se empleó el índice de Simpson, aplicado al área de cada categoría (es decir, utilizando unidades de área en lugar del tradicional número de especies o individuos que se emplea cuando el índice se usa en análisis de comunidades biológicas). Este índice sirve para indicar el grado en que un tipo de uso domina sobre el paisaje o no, dentro de esa parcela. Su fórmula es:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^s n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

... donde S es el número de categorías de uso, N es el total de categorías presentes en la parcela y n es el número de fragmentos por cada categoría.

Como Índice de fragmentación (IF) se utilizó la siguiente fórmula:

$$IF = \frac{\left( \frac{\text{No. fragmentos} * \text{No. de categorías de uso}}{\text{No. max. de categorías de uso}} \right)}{5}$$

El número máximo de categorías de uso fue 10, en este caso, y el divisor 5 sirve para llevar la tasa anterior a valores menores de 1. Este índice brinda un valor que se incrementa mientras aumenta o bien el número de fragmentos o bien la diversidad de estos.

Finalmente, se emplearon como variables para la descripción espectral del área de cada parcela los índices de reflectancia en las longitudes de onda del rojo (RED), el azul (BLUE), el infrarrojo cercano (NIR) por tener intervalos de longitudes de onda en los cuales la reflectancia de la vegetación tiene los mayores valores porcentuales según las firmas espectrales definidas (NASA, 2013). También se usaron dos índices de vegetación: el índice de diferencia normalizada (NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*) y el índice de vegetación mejorado (EVI: *Enhanced Vegetation Index*) que se calculan a partir de matemática de bandas. Los datos se extrajeron de las imágenes del producto MODIS13A1 obtenido por los satélites Terra y Aqua (resolución 500m), del escenario h10v08. Al tener una resolución temporal de 16 días se lograron dos valores mensuales entre 01/01/15 y 01/01/21 (total 4448 registros). Se utilizaron solo los datos de mayor confiabilidad (píxeles marcados como “*Good data, use with confidence*” y “*Marginal data, useful*” en la capa de *Pixel reliability*, y se excluyeron todos aquellos donde se detectaban nubes, sombras de nubes y niveles de aerosoles elevados. Con lo que se redujo la muestra a 810 valores. Dado que las variaciones mensuales no eran de interés se obtuvieron los promedios por cada punto de muestreo. Los datos fueron tomados a través de la plataforma AppEEARS (Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples) del

servicio USGS de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey, <https://www.usgs.gov/>).

Las fuentes primarias de esta investigación fueron las constataciones que sobre el terreno se realizaron sobre la presencia de las formas de uso del suelo estudiadas. De la misma manera, los protocolos que cumplieron para recolectar las muestras, realizar los análisis de agua con el equipo multiparamétrico marca HANNA y se establecieron las parcelas digitales que permitan relacionar los parámetros físico-químicos del agua con el uso del suelo mediante los índices de espectrales de vegetación.

Con el fin de fundamentar los requerimientos bibliográficos para la consecución de los objetivos planteados, se realizaron revisiones de trabajos relacionados con el tema de investigación, tales como reportes, artículos científicos, libros, entre otros.

Las fichas de campo se utilizaron para el registro de la información sobre datos de los parámetros físico-químicos, las características del lugar, sustrato del río, código del punto de muestreo, coordenadas geográficas, tipo de vegetación, uso del suelo o actividad, fuente de contaminación, ancho de canal, entre otros (Anexo 1).

Los datos fueron descritos a partir de los valores medios y su error estándar, además de la dispersión global evaluada por la desviación estándar. A pesar de que la mayoría no mostró diferencias marcadas de la normalidad (prueba de Kolmogorov-Smirnov) se prefirió emplear comparaciones no paramétricas debido al relativamente pequeño tamaño de muestra y a la existencia de una evidente falta de independencia espacial, que puede alterar los niveles de significación de las pruebas paramétricas.

Además de las comparaciones univariadas, se hicieron ordenamientos globales con Análisis de Componentes Principales, con todas las variables relacionadas con cada tipo de información: relacionadas con la calidad del agua, con la respuesta espectral de la localidad y con las variables de fragmentación. Estos análisis se hicieron en el programa Statistica, versión 9.0 (Statsoft, 2018). Las figuras de las comparaciones se hicieron en el Extended Boxplot Graphics (disponible en: <https://vmra.shinyapps.io/univariados/>) (Denis y Ramírez 2020). La magnitud de las relaciones entre las variables de cada categoría, tanto internamente entre ellas como entre categorías, se evaluó por medio de correlaciones de Pearson, en el programa R (R Development Core Team 2017). Para el análisis de la asociación global entre tipos de variables se realizó una prueba de Mantel, con matrices de distancia euclídeana y

10 000 aleatorizaciones en el programa PopTools v.3.2 (add-in del MSExcel).

### **Caracterización de los parámetros físico-químicos del agua del río Teaone bajo la influencia de diferentes usos del suelo**

Las variables geográficas medidas en los puntos de muestreo indicaron que estos estuvieron ubicados a una altitud promedio de  $44,9 \pm 4,8$  m, localizándose algunos puntos en zonas tan bajas como los 4 m y otros hasta 87 m. Con relación al modelo digital de elevación, lo que indicó el mismo fue un promedio de  $51,6 \pm 5,27$  m.s.n.m. en los puntos de muestreo, superior a lo registrado *in situ* con el GPS. El ancho del caudal del río Teaone en las estaciones de muestreo varió entre 6 y 52 m, con un promedio de ancho de caudal de  $25 \pm 2,4$  m. Los datos del ancho del caudal corresponden a la temporada seca, estos valores son mucho mayores durante la temporada lluviosa, en la que se incrementa, ya que la parte alta de la cuenca hídrica recibe las aportaciones de pendientes considerables ubicadas en la reserva ecológica Mache-Chindul, ubicada entre las provincias Esmeraldas y Manabí.

La profundidad en dichas estaciones no fue alta, alcanzando un valor promedio de  $0,65 \pm 0,06$  m con un máximo de 2 m. La poca profundidad determinada en esta investigación se explica porque estos datos fueron registrados durante la

temporada seca del año 2019. Para todas estas variables el coeficiente de variación fue bastante alto, por encima del 50%, ya que el tamaño de muestra empleado fue relativamente bajo y la muestra es muy dispersa.

El substrato del fondo del río fue variado, sin embargo, el 30% de las estaciones de muestreo contenía piedra caliza. Otros substratos identificados en las estaciones de muestreo van desde sedimentos con roca caliza hasta solo arena, y arena con otros materiales: sedimentos, piedra y organismos como las algas.

### **Parámetros físico-químicos del agua del río Teaone bajo la influencia de diferentes usos del suelo**

El agua del río Teaone tuvo una turbiedad promedio de  $38,7 (1,61 \text{ UNT}) \pm 2,05$  en las estaciones de muestreo, este valor se encuentra dentro de los límites permisibles planteados por libro VI del Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente y la OMS (2018) con valores de 5 UNT. El pH en promedio fue básico  $8,1 \pm 0,04$ , pero hubo estaciones con tendencia al pH neutro como valores mínimo dentro de los datos. El valor promedio de pH del Río Teaone 8,1 se encuentra dentro del rango característico para el agua natural según Posada *et al.*, citados por Gómez (2007); coincidiendo con lo establecido en el libro VI del Texto unificado de legislación secundaria de medio

ambiente en el que los valores máximos permisibles se encuentran en el rango de 6-9, consumo humano y uso doméstico. Además, este valor de pH fue similar a los reportado por Asnake *et al.* (2021) en usos de suelo forestal de la cuenca del río Kebena en Etiopía, donde el pH se fue disminuyendo hacia uso de suelo agrícola y urbano en la época seca.

La conductividad eléctrica del agua varió entre 150 – 721  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un valor promedio de  $365,7 \pm 21,5 \mu\text{S}/\text{cm}$ , promedio que se encuentra dentro del rango de conductividad eléctrica determinado en los afluentes y efluentes del lago San Pablo, provincia Imbabura con valores de 279-339  $\mu\text{S}/\text{cm}$  según Yáñez (2017). En este caso la dispersión de los datos fue <50%, a diferencia de las variables geográficas descritas. El oxígeno disuelto en el agua y la temperatura tuvieron los coeficientes de variación más bajos (<10%), lo que indica poca dispersión de los datos, una muestra más compacta para estas variables. El valor medio de oxígeno disuelto en el agua fue de  $4,04 \pm 0,07 \text{ Mg}/\text{L}$ , este promedio fue inferior al límite mínimo permisible 5  $\text{Mg}/\text{L}$  para que la vida acuática aerobia se desarrolle según Marañón (2014) y la temperatura promedio de  $26,0 \pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ , promedio el cual se encuentra dentro del rango óptimo establecido para la vida acuática que es de  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  según Gualdrón (2016).

Los sólidos disueltos totales y la salinidad tuvieron valores altos del coeficiente de variación, pero aun así inferiores al 50%. En el caso de los sólidos disueltos hubo estaciones con valores mínimos de 129,1 Mg/L y otras con valores máximos de 351 Mg/, estando fuera de los límites permisibles establecidos para la calidad de agua referente al hábitat para peces cuyo valor es de 100 Mg/L según Gualdrón (2016). Esto se debe a altos valores determinados en puntos de muestreo del área urbana. De forma general, para estas variables físico-químicas del agua, la dispersión de los datos fue menor.

Las correlaciones internas entre estas variables físico-químicas del agua del río fueron en su mayoría significativas. La temperatura del agua tuvo relaciones positivas y con alto coeficiente de correlación con la conductividad eléctrica ( $r=0,93$ ), los sólidos disueltos ( $r=0,96$ ), y la salinidad ( $0,74$ ). O sea, valores más altos de temperatura correspondieron con valores más altos de las variables correlacionadas. La conductividad eléctrica estuvo correlacionada negativamente con el oxígeno disuelto ( $r=-0,74$ ); menores valores de conductividad corresponden con mayores valores de oxígeno disuelto. Así también, se correlacionó positivamente con los sólidos disueltos y la salinidad. Por el contrario, el oxígeno disuelto

se correlacionó negativamente, con los sólidos disueltos ( $r=-0,73$ ), el porcentaje de salinidad ( $r=-0,76$ ) y el pH ( $r=-0,35$ ), lo que indica que en los sitios con menor oxígeno disuelto se podrán encontrar valores altos de sólidos disueltos, salinidad y pH . Los sólidos disueltos totales también tuvieron una correlación positiva con la salinidad.

La comparación de las variables físico-químicas del agua entre los diferentes usos de suelo (remanentes de bosque nativo, sistemas agroforestales, ganadería y urbano) indicó diferencias significativas en todos los casos . Los mayores valores de temperatura del agua fueron registrados en la zona urbana y se diferencian del resto de los usos . La temperatura en la zona ganadera fue superior a la registrada en los bosques nativos y en los sistemas agroforestales. Sin embargo, entre estos últimos no existen diferencias. Para esta variable, la menor dispersión de datos se observó en los bosques nativos, el resto de usos tuvo mucha dispersión, aunque similar tamaño de muestra , relacionándose con lo mencionado por Gualdrón (2016) quien expresa que la temperatura es una de las variables más significativas en los cuerpos de agua ya que sirve como indicativo de la estabilidad ecológica.

Para la salinidad, los mayores valores fueron registrados en el área de poblados, al igual que la temperatura, en este caso

la dispersión de los datos fue mayor . Los valores registrados en la zona agroforestal y de bosque nativo fueron significativamente menores y con menor dispersión respecto a las zonas ganaderas y urbanas. El promedio de salinidad determinado para el río Teaone se encuentra bajo el límite máximo (0,5 Ups) establecido en el libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente para el agua dulce.

En el caso del pH, los mayores valores en promedio se registraron en el uso ganadería y difieren de los valores más bajos en promedio, registrados en el uso agroforestal . El promedio de potencial de hidrógeno (8,15) determinado, se encuentra en el rango para agua natural según Gómez (2007) que está entre 6,5 y 8,2. También se encuentra dentro de los límites permisibles planteados en el libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente para aguas de consumo humano, uso doméstico y agua para riego y coincide con valores registrados en zonas boscosas, en épocas secas de otras cuencas hidrográficas en Etiopía (Asnake *et al.*, 2021). Por el contrario, en el caso de la turbiedad, los valores más bajos se registraron en el uso ganadería y difiere del resto de los usos que tuvieron valores superiores en promedio .

Las variables oxígeno disuelto y conductividad eléctrica tuvieron un comportamiento inverso entre ellas. Los

mayores valores de oxígeno disuelto y menores valores de conductividad se obtuvieron en el área agroforestal y de bosques nativos . Las diferencias significativas se identificaron entre los valores promedio del oxígeno disuelto en el bosque nativo y área agroforestal respecto a la urbana, el promedio obtenido para este parámetro no cumple con lo mencionado por Ramos (2012), quien expresa que para que la vida acuática sea compatible con el sostenimiento del mismo, el oxígeno disuelto tiene que ser mayor a 5 mg/l. Estos valores podrían explicarse porque algunos puntos de muestreo ubicados en la cuenca baja del río, coinciden con áreas muy perturbadas por el urbanismo. De igual manera, el oxígeno disuelto se encuentra por debajo del valor mínimo (5mg/l y 6mg/l) que el libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente recomienda para los usos de consumo humano, doméstico, aguas dulces frías o cálidas, aguas para estuarios y marinas y aguas con fin de uso recreativo.

La conductividad difiere entre los grupos bosque nativo-agroforestal y ganadería-urbano, en la medida en que los puntos de muestreo se acercan a la zona urbana los valores de este parámetro aumentan, lo que coincide con lo expresado por Gómez (2007), que a medida que las aguas descienden, el contenido de compuestos disueltos aumenta, debido a la incorporación de materia orgánica que drena a las aguas. De igual forma, los sólidos disueltos totales

aumentan en zonas de cultivos, de ganadería y urbanos ya que la degradación de la tierra también es otro desafío importante que agrava la erosión del suelo, especialmente dentro plantaciones, dentro de zonas con descargas de aguas de alcantarillado, lo que explica la gran cantidad de sólidos disueltos totales en el agua del río Teaone. Lo mismo ha sido reportado en cuencas hídricas nacionales (e.g. cuenca del río Guayas, Damanik-Ambarita *et al.*, 2018) y de otros países, aún con predominio de vegetación boscosa (e.g. cuenca del río Kebena en Etiopía; Asnake *et al.*, 2021).

La agricultura y las áreas residenciales son fuentes potenciales de enriquecimiento de nutrientes en las aguas superficiales que pueden causar eutrofización (Robinson *et al.*, 2014). La agricultura también puede disminuir la concentración de oxígeno, modificar los canales y riberas de los ríos, cambiar el tipo de vegetación ribereña, aumentar la erosión y la entrada de sedimentos (Robinson *et al.*, 2014) y aumentar la turbidez (Turunen *et al.*, 2016). Además, Damanik-Ambarita *et al.* (2018) demostraron en la cuenca del Guayas, que el aumento de los asentamientos humanos y las actividades industriales tiene efectos negativos en la calidad del agua que conllevan a un aumento de variables físico-químicas como pH, temperatura, conductividad, nitratos y fósforo.

Las áreas de ganadería en la zona de estudio del río Teaone, generalmente tienen pastoreo intensivo y continuo. Este tipo de pastoreo ha mostrado impactos negativos en la calidad del agua (Raymond y Vondracek, 2011). Los animales que pastan pueden reducir la vegetación ribereña, modificar los canales y riberas de los ríos, aumentar la escorrentía, la erosión y la entrada de sedimentos (Trimble y Mendel, 1995) y transportar nutrientes al agua (Vondracek *et al.*, 2005).

De forma general en Ecuador, los ríos y las riberas se encuentran entre los recursos naturales que se ven afectados negativamente por la rápida urbanización de las cuencas. El cambio de uso del suelo y la deforestación han provocado un alto nivel de contaminación del agua de los ríos, que se ha convertido en una amenaza para la salud humana y la biodiversidad nativa, provocando la pérdida y fragmentación del hábitat (Bonilla-Beyoda *et al.*, 2014; Celi y Villamarín, 2020). Específicamente, la calidad del agua del río Teaone reveló una contaminación según algunos parámetros, hacia la zona agrícola, ganadera y urbana, lo que está muy respaldado por muchos estudios que concluyeron que la calidad del agua de los ríos que se encuentran en cuencas hidrográficas altamente urbanizadas está relacionada positivamente con varios parámetros de calidad del agua (Damanik-Ambarita *et al.*, 2018). La alta escorrentía en las cuencas hidrográficas

urbanas está directamente relacionada con la alta impermeabilidad de las cuencas (Asnake *et al.*, 2021).

La permanencia de los bosques nativos de la zona alta del río Teaone, es beneficiosa para mantener una temperatura del agua, pH, conductividad, turbidez y concentraciones de nutrientes más bajos, proporcionando alimento en forma de materia orgánica para los organismos acuáticos (Kasangaki *et al.*, 2008). Esto evita que los contaminantes lleguen al río y mejora el procesamiento de contaminantes en el mismo (Sweeney *et al.*, 2004). El avance de la deforestación de esta cuenca reducirá la calidad del agua y el funcionamiento del ecosistema como ha ocurrido de los bosques del sur de Ecuador (Tapia-Armijos *et al.*, 2015).

### **Influencia de la fragmentación del paisaje sobre los parámetros físico-químicos del agua del río Teaone, esmeraldas, Ecuador**

Para las variables relacionadas con las propiedades espectrales de las áreas de muestreo, la mayor dispersión de los datos se observó en la variable blue, que mide la reflectancia en la longitud de onda del azul, y la variable red, que mide la reflectancia en la longitud de onda del rojo. La menor variación se observó en el índice de reflectancia en la longitud de onda del infrarrojo cercano, en el índice de vegetación de diferencia normalizada y en el índice de vegetación mejorado, según el coeficiente de variación. Los

valores mínimos y máximos de ambos índices de vegetación van desde valores bajos (EVI=0,29; NDVI=0,39) relacionados con poca o nula vegetación, a valores altos (EVI=0,68; NDVI=0,89) que indican presencia de vegetación densa y saludable que pueden ser bosques y zonas de cultivos. De igual forma, la mejor representación de la reflectancia de la vegetación medida por las tres bandas analizadas, la dio el NIR (infrarrojo cercano) con un promedio de  $0,38 \pm 0,01 \mu\text{m}$ .

Las correlaciones internas entre estas variables fueron significativas en todos los casos. Como se esperaba, las relaciones positivas estuvieron dadas entre el índice mejorado de vegetación (EVI) con el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el infrarrojo cercano (NIR). Mayores valores del EVI se relacionan con mayores valores de NDVI y de reflectancia en el infrarrojo cercano. Por el contrario, la relación negativa fue con el Blue y el Red. El NDVI mantuvo el mismo comportamiento en las relaciones positivas y negativas con las mismas variables que el EVI. Los coeficientes de las correlaciones fueron altos en todos los casos y los mayores valores se obtuvieron en las relaciones NDVI-Red ( $r=-0,99$ ), NDVI-EVI ( $r=0,97$ ), NDVI-Blue ( $r=-0,97$ ), Blue-Red ( $r=0,97$ ).

Las características del paisaje alrededor de las estaciones de muestreo fueron descritas en función de la fragmentación

del mismo. En este sentido, de las 12 variables que se obtuvieron, todas mostraron un alto porcentaje de dispersión de los datos según indicó el coeficiente de variación 4). El número promedio de fragmentos dentro de las parcelas fue alto ( $4,88 \pm 0,35$ ), extendiéndose hasta un valor máximo de 8 fragmentos. De igual forma, el número de usos distintos dentro de una parcela tuvo un valor promedio de  $2,9 \pm 0,2$  usos, con un valor máximo de 6 usos distintos dentro de una parcela de 500 m de radio 4).

De las áreas de los distintos usos, el mayor valor promedio correspondió al área de pastos ( $12,1 \pm 1,2$ ), seguido del área de poblados ( $9,4 \pm 2,2$ ). El menor valor de área correspondió a la de cultivos ( $1,7 \pm 0,7$ ) y la de bosque nativo ( $6,7 \pm 0,99$ ). Sin embargo, estas últimas áreas tienen los mayores valores de dispersión de datos (coeficiente de variación). El índice de fragmentación que relaciona el número de fragmentos con el número de usos distintos tuvo un valor promedio de  $0,31 \pm 0,03$ ; valor intermedio tomando en consideración que este índice se incrementa mientras aumenta o bien el número de fragmentos o bien la diversidad de estos 4). Según el resultado del índice de dominancia ( $0,73 \pm 0,07$ ), próximo a 1, indica la existencia de un alto grado de dominancia de un tipo de uso sobre el paisaje.

Las correlaciones internas entre las variables relacionadas con la fragmentación del paisaje en las áreas de muestreo fueron significativas para 15 combinaciones de las 12

variables. El número de fragmentos fue la que mayor número de correlaciones significativas tuvo con el resto de las variables, relaciones positivas con el número de usos distintos ( $r=0,69$ ), con el área de cultivos mixtos ( $r=0,92$ ) y el índice de fragmentación ( $r=0,88$ ). Además, tuvo relaciones negativas con el área de poblados ( $r=-0,64$ ) y el índice de bordes ( $r=-0,71$ ), lo que indica que menores valores del número de fragmentos corresponden valores mayores del área de poblados y del índice de bordes .

La variable número de usos distintos tuvo una correlación negativa fuerte con el área de poblados y positiva con el índice de fragmentación . A mayor número de usos corresponden valores más altos del índice de fragmentación del paisaje y lo inverso para el área de poblados. El área de cultivos mixtos tuvo una correlación negativa fuerte con el índice de dominancia, lo que indica que mientras mayor dominancia exista, menor área de cultivos mixtos se corresponde en el paisaje . De igual forma la dominancia estuvo correlacionada negativamente con el índice de fragmentación, por lo que en sitios muy fragmentados la dominancia será menor.

Las variables espectrales medidas en las áreas de muestreo tuvieron diferencias significativas según las categorías del tipo de uso de suelo . Para la variable Red y Blue se observó la misma tendencia, los mayores valores de reflectancia en

el uso urbano, diferente del resto de categorías (entre el resto no hubo diferencias). Para NIR, EVI y NDVI se observó una tendencia contraria respecto a Red y Blue. Los mayores valores se identificaron en bosque nativo, agroforestal y ganadería y el menor valor promedio en la zona urbana como era de esperar según la cantidad de vegetación en estas zonas . Las diferencias fueron significativas entre el grupo bosque nativo-agroforestal con relación a urbano. La dispersión de los datos fue alta fundamentalmente en la categoría urbano para todas las variables.

El índice de fragmentación tuvo una fuerte relación positiva con las variables número de fragmentos y número de usos distintos, lo que indica que en la medida que aumente el número de fragmentos y la cantidad de usos en el paisaje, aumentará la fragmentación del mismo . Aunque el tamaño de muestra fue relativamente bajo, el 78% y 84% de la variación del índice de fragmentación es explicada por el número de fragmentos y el número de usos distintos en el paisaje respectivamente .

El análisis comparativo de las variables relacionadas con la fragmentación de los hábitats

Entre las categorías de uso del suelo indicó que las fragmentaciones, en sentido global, no fueron muy

diferentes entre los usos (una tendencia a mayor en zonas urbanas) , pero posiblemente sea solo por la muestra tan pequeña. Destacaron los bordes totales en los bosques nativos (muy fragmentados), pero de forma relativa, el índice de bordes fue mayor en los sistemas agroforestales . Para la dominancia, los mayores valores representaron a los bosques nativos y difieren de la zona ganadera y la urbana.

El Análisis de Componentes Principales realizado con las variables relacionadas con la calidad del agua del río indicó que los dos primeros componentes acumulan un 87% de la varianza 5). Las variables que más aportaron a las diferencias en el primer componente fueron Temperatura, Conductividad Eléctrica y Sólidos Disueltos Totales, mientras que al segundo componente se identificó a la Turbiedad y el pH como las de mayor aporte.

**resaltan en negrita y cursiva los mayores aportes de las variables en los dos primeros componentes.**

En el caso de las variables espectrales obtenidas en las parcelas de estudio en el río, el Análisis de Componentes Principales mostró alta redundancia entre las mismas (se condensa casi toda la varianza en dos ejes). El 99% de la varianza acumulada se alcanzó con el segundo componente 6). A las diferencias en el primer componente las variables que más aportaron fueron los dos índices de vegetación mientras que al segundo componente el NIR 6).

En el caso de las variables de fragmentación, el Análisis de Componentes Principales confirmó que

las mismas son muy dispersas (necesitan 7 componentes para describir el 95% de la varianza; 7). Esto indica la gran variabilidad de situaciones y combinaciones de variables que aparecen. Al primer componente quienes más aportaron fueron el índice de fragmentación, el No. de fragmentos y el No. de usos distintos (en sentido positivo) y el índice de bordes (en sentido negativo). Al segundo, quienes más aportaron fueron el área de pastos, seguido de la dominancia y el área de poblados (todos en sentido negativo) 7).

Del ordenamiento obtenido por los análisis de componentes principales con las variables relacionadas a las propiedades físico-químicas del agua , las variables espectrales de las áreas de muestreo obtenidas por sensores remotos y las variables relacionadas con la fragmentación del paisaje , se identificó una alta superposición de forma global. Los sistemas agroforestales y remanentes de bosques nativos tienen mayores variabilidades (dispersión mostrada por el área del polígono convexo mínimo). Los lugares con ganadería se separan más de los demás, excepto en las variables de fragmentación donde el uso urbano se diferencia totalmente.

La diferenciación de los usos de suelo no fue total con los ordenamientos realizados, por la naturaleza dispersa de las variables, quizás por el pequeño tamaño de la muestra y otros factores alineados al uso de una sola fuente de muestras (único río). Aun así, en este estudio se puede ilustrar la utilidad de las técnicas estadísticas multivariadas

para el análisis e interpretación de conjuntos de datos complejos y, en la evaluación de la calidad del agua, la identificación de fuentes/factores de contaminación y la comprensión de las variaciones espaciales en la calidad del agua para una gestión eficaz de la calidad del agua de los ríos. De igual forma, esta aplicación y utilidad de las técnicas ha sido demostrado en otros estudios de calidad del agua en diferentes cuencas hídricas a nivel mundial (e.g. Varol y Şen, 2009; Wang *et al.*, 2013; Muangthong y Shrestha, 2015).

Por otra parte, las correlaciones entre las variables relacionadas con la calidad del agua y las variables espectrales del paisaje indicaron asociaciones significativas negativas entre el EVI y la temperatura ( $r=-0,89$ ), la conductividad eléctrica ( $r=-0,85$ ), los sólidos disueltos totales ( $r=-0,87$ ) y la salinidad ( $r=-0,76$ ). Esto indica que mayores valores de EVI (más vegetación densa) se corresponden con menores valores de temperatura, conductividad, sólidos disueltos y salinidad (que indican poca o nula contaminación). El EVI también estuvo asociado positivamente con el oxígeno disuelto, lo que explica que mayores valores de este índice de vegetación se asocian a mayores valores de oxígeno disuelto. El NDVI y el NIR, como se esperaba, tuvieron el mismo comportamiento y tendencia que el EVI con las variables mencionadas. Las variables Blue y Red también estuvieron correlacionadas significativamente con la temperatura ( $r=0,8$ ;  $r=0,85$ ), la

conductividad eléctrica ( $r=0,79$ ;  $r=0,84$ ), los sólidos disueltos totales ( $r=0,83$ ;  $r=0,87$ ), la salinidad ( $r=0,75$ ;  $r=0,74$ ) y el oxígeno disuelto ( $r=-0,52$ ;  $r=-0,58$ ), pero la asociación fue inversa a lo descrito para EVI, NDVI y NIR .

Esta mejor asociación de las variables espectrales (NDVI, EVI, NIR) con las de calidad del agua ha sido indicada y demostrada previamente. El potencial de las métricas NDVI y derivadas del NDVI para el monitoreo de cuencas hidrográficas y los estudios de calidad del agua es importante para obtener una mayor comprensión de las relaciones paisaje-calidad del agua (Griffith, 2002; Bonansea *et al.*, 2021). Se ha demostrado que el NDVI es sensible a las características biofísicas de la vegetación, como el área foliar, la producción primaria neta y los niveles de actividad fotosintética (Rundquist *et al.*, 2000; Stoms y Hargrove, 2000). Debido a su capacidad para integrar la cobertura terrestre y las condiciones biofísicas, el NDVI es útil para evaluar las condiciones de las cuencas hidrográficas regionales que afectan la calidad del agua y las condiciones de los ríos (Griffith, 2002).

Jones *et al.* (1996) evaluaron el potencial teórico del NDVI para evaluar la salud de la cuenca y comentan que las pérdidas de productividad, aumento de la erosión y pérdidas de la capacidad de amortiguación a lo largo de los corredores ribereños podrían ser analizados con el NDVI.

Asimismo, Whistler (1996) exploró los valores del NDVI como sustituto de la biomasa, y planteó la hipótesis de que los valores del NDVI tendrían relaciones más fuertes con los parámetros de la química del agua que con las proporciones de cobertura terrestre derivadas de las mismas imágenes. Encontró relaciones significativas entre NDVI y parámetros seleccionados de calidad del agua que, de hecho, eran más fuertes que las relaciones con el uso y la cobertura del suelo en la mayoría de los casos, muy similar a lo encontrado en el presente estudio.

La razón por la que el NDVI, y los índices derivados, pueden tener ciertas ventajas sobre las proporciones simples de cobertura terrestre, es porque son integradores biofísicos de las condiciones en toda la cuenca (Griffith, 2000). El uso de NDVI y métricas derivadas también puede capturar cambios temporales, a diferencia del uso de suelo estático y los mapas de cobertura, que no capturan la variación dentro de la clase y que normalmente no se actualizan anualmente. Además, debido a que los valores del NDVI son datos de intervalo en oposición a las categorías nominales de uso y cobertura del suelo, pueden capturar la variabilidad dentro de la clase de un tipo de cobertura del suelo (Griffith, 2000).

Finalmente, el análisis de correlación entre las variables relacionadas con la calidad del agua y las variables relacionadas con la estructura y fragmentación del paisaje

indicó asociaciones significativas, pero más débiles que las obtenidas con las variables espectrales . La temperatura estuvo correlacionada negativamente con el área de bosque nativo ( $r=-0,56$ ), con la zona agroforestal ( $r=-0,46$ ) y con la dominancia ( $r=-0,53$ ). Altos valores de temperatura del agua (que aparecieron en áreas antropizadas) se asociaron a menor área de bosque nativo en el paisaje, menor área agroforestal y menor dominancia de un uso . La conductividad eléctrica estuvo asociada positivamente con el número de usos ( $r=0,36$ ), valores más altos de conductividad se asocian con mayor número de usos del suelo en el paisaje, que implica mayor fragmentación.

El oxígeno disuelto tuvo asociaciones positivas con el área agroforestal ( $r=0,62$ ), con el área de pastizal ( $r=0,26$ ) y con la dominancia ( $r=0,46$ ). La asociación más fuerte con el área agroforestal implica que mayores valores de oxígeno disuelto están asociados a mayor área agroforestal . Además, se correlacionó negativamente con el número de usos, que implican fragmentación del paisaje. Los sólidos disueltos estuvieron correlacionados negativamente con el área de bosques nativos ( $r=-0,55$ ) y agroforestal ( $r=-0,44$ ) y con la dominancia ( $r=-0,52$ ). Finalmente, la salinidad tuvo una correlación negativa fuerte con el área de cultivos mixtos ( $r=-0,99$ ), lo que significa que valores altos de salinidad están asociados a menor área de cultivos mixtos.

La calidad del agua es sensible a los cambios en los patrones del paisaje en una cuenca. Se ha documentado que cuanto mayor es el porcentaje de tipos de paisajes creados por el hombre (construcciones, cultivos, tierras de ganadería), peor es la calidad del agua en la cuenca (Xia *et al.*, 2012). Las asociaciones positivas o negativas encontradas entre algunas variables que indican fragmentación del paisaje y algunos parámetros físico-químicos del agua en este estudio, significa que un alto grado de fragmentación conduce a una peor calidad del agua debido a la creciente erosión del suelo y la acumulación de basura. Una mayor heterogeneidad espacial, número de fragmentos, de usos y un mayor grado de fragmentación, conducen a una peor calidad del agua ya que la destrucción del bosque conlleva a daños en las funciones de conservación y purificación del agua (Xia *et al.*, 2012), así como una mayor susceptibilidad a más contaminantes. La continua conversión de bosques a tierras agrícolas y urbanizadas podría ser la razón principal del deterioro de la calidad del agua.

Es importante destacar que este es el primer estudio que analiza la influencia del uso de suelo y la fragmentación del paisaje sobre parámetros físico-químicos del agua del río Teaone. Dado que el objetivo del estudio fue relacionar el uso actual del suelo y la fragmentación del paisaje con la calidad del agua a través de las variables físico-químicas, se consideró suficiente un muestreo por única vez para lograr

el objetivo. Por ello, la mejor época para realizar este estudio fue la seca debido a consideraciones logísticas. En el futuro, se recomienda un monitoreo integrado similar de la calidad del agua tanto en la estación seca como en la lluviosa para poder evaluar las posibles diferencias estacionales en la calidad del agua. Los datos recopilados en este estudio se pueden utilizar como línea base para la comparación.

La relación entre el patrón del paisaje y la calidad del agua es complicada y puede verse influida por numerosos factores, entre ellos el factor escala (Shen *et al.*, 2015). Desde la perspectiva del paisaje, el diseño de zonas de amortiguamiento no está simplemente relacionado con los tipos de uso del suelo, sino que también depende de la estructura espacial del paisaje. Para una exploración más profunda de estas relaciones, aun se debe realizar un trabajo significativo, por ejemplo, monitoreo de campo a largo plazo, mejora de la resolución de datos, análisis multiescala y el desarrollo de métodos de investigación. En particular, el desarrollo de métodos para investigar el efecto integral del patrón del paisaje y otros factores sobre la calidad del agua es esencial para el manejo de las cuencas (Shen *et al.*, 2015).

Los resultados de esta investigación contribuyen a la toma de decisiones para el cumplimiento de lo expresado en el

Art. 20 por SENAGUA en la Ley de aguas donde expresa que fin de lograr las mejores disponibilidades de las aguas, prevendrá, en lo posible, la disminución de ellas, protegiendo y desarrollando las cuencas hidrográficas y efectuando los estudios de investigación. También aporta al cumplimiento del Art. 411 de la Constitución de la República del Ecuador en el que manifiesta que “El estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico, se regulará toda actividad que pueda afectar a la calidad y cantidad del agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua”.

**Propuesta de educación ambiental que contribuya a conservar adecuadas condiciones físico-químicas del agua en el río Teaone**

Se plantea una propuesta de educación ambiental que contribuya a conservar una buena calidad del agua en el río Teaone, de la provincia Esmeraldas. Esta propuesta busca mejorar la conciencia ambiental para prevenir, reducir y mitigar los impactos negativos que producen las diferentes actividades de las comunidades asentadas en la rivera de la cuenca media y baja del río Teaone, siendo las principales parroquias: Vuelta Larga, Tabiazo, Carlos Concha y varios recintos o caseríos.

### **Propuesta de educación ambiental**

Cuando los recursos naturales, entre los que se encuentra el agua en las cuencas hídricas son afectados por factores naturales y en especial los antrópicos, se hace necesario la implementación de acciones para su corrección y mitigación; la educación ambiental constituye una de las formas en que la comunidad es informada y concientizada sobre el rol que deben cumplir para garantizar un ambiente sano que beneficia a la biodiversidad y al hombre como parte de los ecosistemas naturales, urbanos y periurbanos. A lo largo del cauce medio y bajo del río Teaone se dan procesos que afectan la calidad del agua tales como la deforestación, actividad ganadera, deposición de desechos urbanos y el turismo desarrollado en pequeñas playas de la ribera del río. Los efectos negativos de estas actividades son más notorios a medida que se avanza hacia la desembocadura del río, que es afluente del río Esmeraldas, donde los asentamientos humanos son mayores.

La consecución de los objetivos de la educación ambiental se viabilizarán mediante un acercamiento a la población con propuestas que despierten su interés, utilizando un lenguaje apropiado y fácil de entender, se organizarán talleres focalizados en los asentamientos humanos y la distribución de material divulgativo que también debe entregarse en los caseríos y viviendas aisladas a lo largo de las riveras.

La educación ambiental se elaboró tomando en cuenta la evidente contaminación que sufre el área de influencia y el cauce del río Teaone, enfatizando en las áreas donde se concentra la población y donde se desarrolla la actividad turística a lo largo del río, especialmente los fines de semanas y feriados. Esta propuesta que en si es una estrategia de acción, se basa en la ejecución de los programas siguientes: Conservación de los remanentes de bosques, reducción de impacto por ganadería y concientización ambiental en áreas urbanas y turísticas.

El cumplimiento de acciones en áreas específicas se justifica por la evidente deposición de desechos producto de las actividades ganaderas y la de los asentamientos humanos, estos desechos no son tratados y clasificados, existe también una deficiente recolección de desechos por parte de los organismos en los cuales recae esta responsabilidad. Lo dicho anteriormente justifica la ejecución de campañas de educación a la comunidad, por lo que se hace esta propuesta que se fundamenta en los resultados obtenidos en la evaluación de los parámetros físico-químicos que fueron analizados en esta investigación.

Proponer estrategias, programas, metas y actividades que fundamenten el plan de educación ambiental como una contribución a los esfuerzos que se realizan para mitigar los impactos negativos de la actividad humana y mejorar la calidad del agua del río Teaone, provincia Esmeraldas.

Para la consecución de los programas, metas y actividades de esta propuesta se hace necesario llegar a acuerdos con los actores involucrados en la problemática tales como campesinos que dependen de los remanentes del bosque, ganaderos y representantes de la comunidad tales como juntas parroquiales y otras organizaciones presentes en el sector.

Considerando observaciones de campo y visitas a centros poblados y turísticos, se evidencia afectaciones ambientales, por la evidente acumulación de desechos en la rivera, playas de agua dulce y el agua del río Teaone, debido a las diferentes actividades que se realizan. Los problemas ambientales abordados anteriormente son consecuencia de la falta de conciencia y educación ambiental en la comunidad, por la poca implementación de actividades de capacitación y concientización de organismos y asociaciones relacionadas con la temática.

La poca presencia de los organismos gubernamentales con acciones específicas para contribuir al fortalecimiento de las capacidades de líderes locales, juntas parroquiales e instituciones educativas, de tal forma que sirvan como agentes multiplicadores de principios ambientales.

Esta propuesta se fundamenta en la implementación de una estrategia que cumpla con objetivos, programas, metas y

actividades, como una forma de organización que conlleve a resultados prácticos y viable.

Como conclusión definimos lo siguiente:

Los promedios obtenidos en el río Teaone considerando todos los usos del suelo para los parámetros físico-químicos turbidez, pH, conductividad eléctrica, temperatura y salinidad se encuentran dentro de los límites permisibles planteados por las normativas nacionales e internacionales consultados para efectos comparativos.

Los promedios obtenidos en el río Teaone considerando todos los usos del suelo para oxígeno disuelto, sólidos disueltos estuvieron fuera de los límites permisibles propuestos por las normativas nacionales e internacionales consultadas en este proyecto.

Los mayores valores de temperatura, salinidad y pH del agua fueron registrados en las zonas urbanas y ganadería, mientras que en estas variables los valores más bajos fueron significativamente menores en los sistemas agroforestales y bosques nativos. Así mismo, los mayores valores de oxígeno disuelto y menores valores de conductividad se obtuvieron en el área agroforestal y de bosques nativos.

Los parámetros físicos-químicos considerados en esta investigación demuestran que en los sistemas agroforestales y bosques nativos se mantiene una buena calidad de agua mientras que en los usos de suelo de ganadería y urbanos la calidad del agua decrece.

En el paisaje los altos valores de temperatura del agua se asociaron a menor área de bosque nativo y área agroforestal; valores más altos de conductividad se asocian con mayor número de usos del suelo en el paisaje, lo que implica mayor fragmentación. El oxígeno disuelto tuvo asociaciones positivas con el área agroforestal, esto es que mayores valores de oxígeno disuelto están asociados a mayor área agroforestal. Los sólidos disueltos estuvieron correlacionados negativamente con el área de bosques nativos.

Se elaboró la propuesta de educación ambiental que contiene una estrategia conformada por los programas Importancia del bosque nativo y los sistemas agroforestales, Impactos de la actividad ganadera y Manejo de desechos con actividades, proyectos e indicadores específicos de acuerdo a los programas señalados.

## BIBLIOGRFÍA

- Aguilar, A. 2010. Calidad del agua: un enfoque multidisciplinario. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas. México. Pp. 308.
- Amiri, B. Nakane, K. (2009). Modeling the linkage between river water quality and landscape metrics in the Chugoku District of Japan. *Water Resour. Manage.* Chugoku, Japan. Pc. 931–956.
- Asnake, K. *et al.*, 2021. Assessing the impact of watershed land use on Kebena river water quality in Addis Ababa, Ethiopia. *Environmental Systems Research.* Pc 1-14.
- Aquilla, R. 2005. Uso del suelo y calidad de agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica. Escuela de Postgrado, Programa Educación para el Desarrollo y Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. Pp. 123.
- Aveiga, Ana. 2019. Variaciones físico-químicas de la calidad del agua del río Carrizal en Manabí. Universidad Tecnológica Equinoccial, vol. 10, núm. 3. Manabí, Ecuador. Pp. 30-41.
- AYA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados). (2007). Manual de Calidad.

Laboratorio Nacional de Aguas. Versión 3. San José, Costa Rica. Pp.36.

- Bonanseña, M. *et al.*, 2021. Assessing land use and land cover change in Los Molinos reservoir watershed and the effect on the reservoir water quality. *Journal of South American Earth Sciences*. Pp. 108.
- Bonilla-Bedoya, S. *et al.*, 2014. Fragmentation patterns and systematic transitions of the forested landscape in the upper Amazon region, Ecuador 1990–2008. *Journal of Forestry Research*. Pp. 301-309.
- Bu, H. 2014. Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin. *Ecol. Indic.* 41. China. Pp. 187–197.
- Celi, J. & Villamarín, F. 2020. Freshwater ecosystems of Mainland Ecuador: diversity, issues and perspectives. *Acta Limnologica Brasiliensia*. Pp. 32.
- Chamara, P. Liyanage, K. 2017. Impact of population growth on the Water quality of Natural Water bodies. *Sustainability* 9.
- Chassot O. y Morera C. 2007 *Corredores Biológicos: Acercamiento conceptual y experiencia en América*. Imprenta Nacional. San José, Costa Rica. Pp. 11-47.
- Ciencia, 2003. Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. En línea. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/262011282\\_Los\\_bosques\\_riberenos\\_y\\_la\\_restauracion\\_y\\_co](https://www.researchgate.net/publication/262011282_Los_bosques_riberenos_y_la_restauracion_y_co)

nservacion\_de\_las\_cuencas\_hidrograficas

Consultado: octubre de 2019).

CIRA-UAEM (Centro Interamericano de Recursos del Agua-Universidad Autónoma del Estado de México, MX). (2005). Recursos Hídricos. Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica. Ediciones Piriguazú. Pp. 747.

Damanik-Ambarita, M. *et al.*, (2018). Impact assessment of local land use on ecological water quality of the Guayas river basin (Ecuador). *Ecological Informatics* 48. Pp 226-237.

Ding, J. *et al.*, 2016 Influences of the land use pattern on water quality in low-order streams of the Dongjiang River basin, China: a multi-scale analysis. *Sci- Total Environ.* 551. Pp 205-216.

Didan, K. Barreto, A. Solano, R. & Huete, A. 2015. MODIS Vegetation Index User's Guide. Collection 6, NASA

Eaton, A; Clesceri, L; Rice, E; Greenberg, A. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Centennial Edition. Pp. 167.

Europapress. 2014. Temperatura de los ríos de la sierra nevada a aumentado por el cambio climático. En línea.

Disponible en:

[https://www.europapress.es/andalucia/noticia-](https://www.europapress.es/andalucia/noticia-temperatura-rios-sierra-nevada-aumentado-cambio-climatico-estudio-20141003122420.html)

[temperatura-rios-sierra-nevada-aumentado-cambio-](https://www.europapress.es/andalucia/noticia-temperatura-rios-sierra-nevada-aumentado-cambio-climatico-estudio-20141003122420.html)

[climatico-estudio-20141003122420.html](https://www.europapress.es/andalucia/noticia-temperatura-rios-sierra-nevada-aumentado-cambio-climatico-estudio-20141003122420.html) Consultado:

Octubre de 2019

- Fawell, J & Nieuwenhuijsen, M. 2003. Contaminants in Drinking water. *British Medical Bulletin* 68. Pp.199-208.
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. Buenos Aires, Argentina. *Química viva*. En línea. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- FAO, 2018. Transformando el sector ganadero a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, Roma, Italia. Pp. 222.
- Giraldo *et al.*, 2016. Impacto del uso del suelo agropecuario sobre macro invertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la cuenca del río La Vieja (Valle del Cauca, Colombia). En línea. Disponible en: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442014000600014](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442014000600014) Consultado: Octubre de 2019
- Gómez, Marín. 2007. Calidad del agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y el Salado (Girardota - Antioquia, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, vol. 60, núm. Medellín, Colombia. Pp. 3735-3749.
- Gonzales, C. 2011. Monitoreo de la calidad del agua. Servicio de extensión agrícola, Colegio de ciencias agrícolas. Mayagüez, Puerto Rico.

- Goyenola, G. 2007. Guía para la utilización de las Valijas Viajeras. Universidad de la Republica Uruguay. Montevideo, Uruguay. Pp. 25.
- Griffith, J. 2000. Interrelationships among landscapes, NDVI, and stream water quality in the U.S. Central Plains, Ph.D. Dissertation, Department of Geography, University of Kansas. Pp.222.
- Griffith, J. (2002). Geographic techniques and recent applications of remote sensing to landscape-water quality studies. *Water, Air, and Soil Pollution*, 138. Pc. 181-197.
- Gualdrón, L. 2016. Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros físico-químicos y biológicos. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. Pp. 20.
- Haidary, A. *et al.* 2013. Assessing the impacts of four land use types on the water quality of wetlands in Japan. *Water Resour. Manage.* 27. Pc. 2217–2229.
- Hernández-Tapia, G. (2017) Ríos urbanos. Análisis de la relación entre el desarrollo urbano y la pérdida de los ecosistemas fluviales. En Cortés-Lara, M. A. (coord) *Planeación y desarrollo de tecnología. Visiones sustentables de la vivienda y la transformación urbana.* Tlaquepaque, Jalisco: ITESO. En línea. Disponible en <https://rei.iteso.mx/handle/11117/5426>). Consultado: Septiembre de 2019

- Hosseini, N. Johnston, J. Lindenschmidt, K. 2017. Impacts of climate change on the Water quality of a regulated Prairie River. *Water* 9, 199. En línea. Disponible en <https://doi.org/10.3390/>.
- JARS, 1993. Remote Sensing Note. Japan Association on Remote Sensing. En línea. Disponible en [http://www.jars1974.net/pdf/rsnote\\_e.html](http://www.jars1974.net/pdf/rsnote_e.html)
- Jones, K. *et al.* 1996, 'Indicators of Landscape Integrity', in J. Walker and D. Reuter (eds), *Indicators of Catchment Health*, CSIRO Publishing, Melbourne, Australia. pp. 155–168.
- Kasangaki, A. *et al.*, 2008. Land use and the ecology of benthic macroinvertebrate assemblages of high-altitude rainforest streams in Uganda. *Freshw. Biol.* 53, 681-697. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2007.01925.x.
- Lee, S. *et al.*, 2009. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. *Landsc. Urban Plan* 92. Pp. 80–89.
- Marcó, L. 2004. La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Entre Ríos. Concepción, Uruguay. Pp. 82.

- Marañón, Alina. 2014. Evaluación temporal de la calidad de las aguas del río Los Guaos de Santiago de Cuba. Revista Cubana de Química, vol. XXVI, núm. 2. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba. Pp. 115-125.
- Morell, Alina. 2015. Valoración de los parámetros físico-químicos de las aguas del Río San Juan en los períodos húmedo y seco de 2014. Ciencia en su PC, núm. 1. Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba. Santiago de Cuba, Cuba. Pp. 1-12.
- Muangthong, S. & Shrestha, S. (2015). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: case study of the Nampong River and Songkhram River, Thailand. Environmental monitoring and assessment, 187(9). Pp. 1-12.
- NASA, 2013. Landsat 7 Science Data User's Handbook. En línea. Disponible en <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>
- OMS (Organización Mundial de la Salud, US). (2006). Agua, saneamiento y salud: Enfermedades relacionadas con el agua (en línea). Disponible en [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/diseasefact/es/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasefact/es/index.html) Consultado: Agosto de 2019
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2018) Guías para la calidad del agua de consumo humano (en línea). Disponible en

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>

Ortega, M. S.f. Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO. Buenos Aires, Argentina. Pp. 26.

Prado, E. 2015. Estado de la calidad del agua del río Teaone (cuena baja) entre la termoeléctrica y la desembocadura del río Esmeraldas, sector de la propicia 1. Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador. Pp. 90.

Paramio, J. (s.f). Propiedades físicas y químicas del agua. Recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos14/propiedades-agua/propiedades-agua.shtml> Consultado: Septiembre de 2019

Peña, E. 2007. Oxígeno disuelto. Escuela superior Politécnica del litoral Guayaquil, Ecuador. Pp. 6.

Pepper, I. Gerba, Ch. y Brusseau, M. (1996). Pollution Science, Academic Press, UK.

R Development Core, T. (2017). A language and environment for statistical computing.

Ramírez-Arrieta V. M. 2020. Extended Boxplot Graphics. En línea. Disponible en <https://vmra.shinyapps.io/univariados/>. Consultado : Marzo de 2021.

Ramírez, I. 2008. Demanda química de oxígeno de muestras acuosas. Programa de Ingeniería Química

Ambiental y de Química Ambiental (PIQAYQA)  
Facultad de Química, Universidad Nacional  
Autónoma de México. México D.F, México. Pp. 157.

Ramos, S. 2012. Tendencia de la calidad del agua en ríos de  
Tabasco, México. Ingeniería, vol. 16, núm. 3.  
Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México.  
Pp. 207-217

Raymond, K. Vondracek, B. 2011. Relationships among  
rotational and conventional grazing systems, stream  
channels, and macroinvertebrates. *Hydrobiologia*  
669, 105-117. DOI: 10.1007/s10750-011-0653-0.

Robinson, C. Schuwirth, N. Baumgartner, S. Stamm, C.  
2014. Spatial relationships between land use, habitat,  
water quality and lotic macroinvertebrates in two  
Swiss catchments. *Aquat. Sci.* 76(3), 375-392. DOI:  
10.1007/s00027-014-0341-z.

Rodríguez-Moreno, V & Bullock, S. 2007. Comparación  
espacial y temporal de índices de la vegetación para  
verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el  
Desierto Sonorense. El línea. Disponible en:  
Comparación espacial y temporal de índices de la  
vegetación para verdor y humedad y aplicación para  
estimar LAI en el Desierto Sonorense Consultado:  
Abril de 2021

Rundquist, B. Harrington, J & Goodin, D. (2000).  
Mesoscale satellite bioclimatology. *The Professional  
Geographer*, 52. Pp. 331-344.

- Russo, R. 2004. Notas del Curso de Agroforestería. En línea. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/218606524/Definicion-y-Clasificacion-de-Los-Sistemas-Agroforestales>  
Consultado: Septiembre de 2019
- Sáez, A. 2010. La agricultura y su evolución a la agroecología. Obrapropia Editorial, S.L. Valencia, España. Pp. 66.
- Shen, Z. *et al.*, 2015. Impact of landscape pattern at multiple spatial scales on water quality: a case study in a typical urbanised watershed in China. *Ecol. Indic.* 48, 417e427.
- Shrestha, S. Kazama, F. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of the Fuji river basin, Japan. *Environ. Modell. Softw.* 22. Pp. 464–475
- Shi, P. *et al.*, 2017. Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. *Catena* 151, 182e190.
- StatSoft, I. (2018). *Electronic Statistics Textbook*; 2013. En línea. Disponible en <http://www.statsoft.com/textbook>.
- Stoms, D. & Hargrove, W. (2000). Potential NDVI as a baseline for monitoring ecosystem functioning. *International Journal of Remote Sensing*, 21 .Pp. 401-407.

- Sun, R. *et al.*, 2013. Effect of land-use patterns on total nitrogen concentration in the upstream regions of the Haihe river basin, China. *Environ. Manag.* 51. Pp 45-58.
- Sweeney, B. *et al.*, 2004. Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 101(39), 14132-14137. DOI: 10.1073/pnas.0405895101.
- Tapia-Armijos, M. *et al.* 2015. Deforestation and Forest Fragmentation in South Ecuador since the 1970s-Losing a Hotspot of Biodiversity. *Plos One* 10(9). DOI: ARTN e0133701 10.1371/journal.pone.0133701.
- Tenelema, D. 2017. Evaluación físico, químico y microbiológico del agua de la junta de agua potable de la parroquia san miguelito, cantón Pillaro, Provincia de Tungurahua. Riobamba, Ecuador. Pp. 151.
- Trimble, S. Mendel, A. 1995. The Cow as a Geomorphic Agent - a Critical Review. *Geomorphol.* 13(1-4), 233-253. DOI: 10.1016/0169-555x(95)00028-4.
- Turunen, J. *et al.* 2016. Disentangling the responses of boreal stream assemblages to low stressor levels of diffuse pollution and altered channel morphology. *Sci. Total Environ.* 544, 954-962. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.031.
- Varol, M. & Şen, B. (2009). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of Behrimaz Stream,

Turkey. Environmental monitoring and assessment, 159. Pp.543-553.

Vela Díaz Mario. (2008). Impacto ambiental provocado por la contaminación de los ríos que cruzan el casco urbano de las cuatro cabeceras municipales del departamento de Santa Rosa ubicadas en la región sur del departamento de Santa Rosa. En línea. Disponible en: [www.digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/rapidosp2008/INF-2008-003.pdf](http://www.digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/rapidosp2008/INF-2008-003.pdf) Consultado: Octubre de 2019.

Vondracek, B., Blann, K.L., Cox, C.B., Nerbonne, J.F., Mumford, K.F., Nerbonne, B.A., Sovell, L.A., Zimmerman, J.K.H., 2005. Land use, spatial scale, and stream systems: Lessons from an agricultural region. *Environ. Manag.* 36(6), 775-791. DOI: 10.1007/s00267-005-0039-z.

Wang, Y. *et al.* (2013). Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: a case study of the Songhua River Harbin region, China. *Journal of Hydro-Environment Research*, 7. Pp. 30-40.

Whistler, J. 1996. A phenological approach to land cover characterization using Landsat MSS data for analysis of nonpoint source pollution, KARS Report No. 96-1, Kansas Applied Remote Sensing Program, University of Kansas, Lawrence, KS. Pp. 51.

Xia, L. Liu, R. & Zao, Y. (2012). Correlation analysis of landscape pattern and water quality in Baiyangdian watershed. *Procedia Environmental Sciences*, 13. Pp. 2188-2196.

Yáñez, S. 2017. Evaluación de la contaminación del agua mediante parámetros físico químicos en las desembocaduras de los principales afluentes y efluente del lago San Pablo, provincia de Imbabura. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. Pp.

# Descubre tu próxima lectura

Si quieres formar parte de nuestra comunidad,  
regístrate en <https://www.grupocompas.org/suscribirse>  
y recibirás recomendaciones y capacitación



   @grupocompas.ec  
compasacademico@icloud.com

compAs  
Grupo de capacitación e investigación pedagógica

   @grupocompas.ec  
compasacademico@icloud.com

ISBN: 978-9942-33-487-9



@grupocompas.ec  
compasacademico@icloud.com

compas  
Grupo de capacitación e investigación pedagógica