

# Diagnóstico y Propuesta de Fitorremediación para el Tratamiento de Aguas Residuales, Sector Tierra Negra

Diagnosis and phytoremediation proposal for wastewater treatment, black earth sector

Proposta de diagnóstico e fito remediação para tratamento de águas residuárias, setor de “Tierra Negra”

**Iván Darío Araque N.**

Estudiante de pregrado. Facultad de Ingeniería Civil.  
Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja.  
Correo electrónico: [ivan.araque@usantoto.edu.co](mailto:ivan.araque@usantoto.edu.co). Tunja – Colombia.

**Mónica Carolina Britto A.**

Estudiante de pregrado. Facultad de Ingeniería Civil.  
Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja.  
Correo electrónico: [monica.britto@usantoto.edu.co](mailto:monica.britto@usantoto.edu.co). Tunja – Colombia.

**Néstor Rafael Perico G.**

Ingeniero Civil. Ph.D y M.Sc en Ciencias de la Educación.  
Docente Investigador. Facultad de Ingeniería Civil.  
Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja.  
Correo electrónico: [nestor.perico@usantoto.edu.co](mailto:nestor.perico@usantoto.edu.co). Tunja – Colombia.

**Luz Ángela Cuellar R.**

Licenciada en Biología y Educación Ambiental.  
Universidad del Quindío. Ph.D en Ciencias. Universidad de La Plata.  
Docente Investigadora. Facultad de Ingeniería Ambiental.  
Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja.  
Correo electrónico: [luz.cuellar@usantoto.edu.co](mailto:luz.cuellar@usantoto.edu.co). Tunja – Colombia.

**Resumen**

El proyecto nace de la necesidad de la utilización de agua de la quebrada La Pinocha para el uso de regadío de cultivos y pastos, dado que la quebrada se encuentra contaminada por vertimientos provenientes de los habitantes de la vereda Puente de Boyacá, específicamente el Sector Tierra Negra. Al respecto, la falta de control en los vertimientos de aguas contaminadas a cuerpos de agua superficiales en Colombia es uno de los problemas que afecta al medio ambiente, debido a que no establece los valores límites máximos permisibles, por esta razón desde el 17 de marzo de 2015 en Colombia se estableció la resolución 0631 la cual constituye los valores límites máximos por parte de los vertimientos de aguas contaminadas a los cuerpos de agua superficiales. En efecto, en Boyacá se presenta la contaminación de los ríos y quebradas del departamento, así se tiene la quebrada La Pinocha la cual está siendo contaminada por vertimientos de aguas residuales domésticas, industriales e institucionales que proviene del sector Tierra Negra, del municipio de Ventaquemada. De igual manera, el uso que está recibiendo esta agua de la quebrada La Pinocha no es el correcto ya que se está utilizando este caudal para el riego de cultivos, pastos y lavado de productos agrícolas.

**Palabras clave:** Vertimientos, cuerpos de agua, contaminación, medio ambiente, caudal.

**Abstract:**

The project was born from the need to use water from the La Pinocha creek for the use of irrigated crops and pastures, and it is also broken down by dumping by the Puente de Boyacá path, specifically the Tierra Negra Sector, the lack Control in the dumping of contaminated water to surface water bodies in Colombia is one of the problems that affects the environment due to the fact that it does not establish the maximum permissible limit values, for this reason since March 17, 2015 in Colombia it was established Resolution 0631 which constitutes the maximum limit values for the discharges of contaminated water to surface water bodies. Indeed in Boyacá there is pollution of the rivers and streams of the department, for example the Pinocha stream which is being contaminated by discharges of domestic, industrial and institutional wastewater that comes from the black earth sector of the municipality of Ventaquemada, also the use that this water is receiving from the La Pinocha stream are not the correct ones since this flow is being used to irrigate crops, pastures and wash agricultural products.

**Keywords:** Shedding, water bodies, contamination, environment, flow

**Resumo**

**Palavras chave:**

Para citar este artículo: Araque, I.D., Britto, MC., Perico, N.R. & Cuellar, L.A. "Diagnóstico y propuesta de fitorremediación para el tratamiento de aguas residuales, sector tierra negra.". In *L'Esprit Ingénieux*. Vol. 9, p.p 132-140

**INTRODUCCIÓN**

**E**n Boyacá, los vertimientos de aguas residuales, industriales e institucionales van a los ríos y arroyos del departamento y alteran los ecosistemas propios de cada región. El ecosistema es la unidad básica en ecología, puesto que incluye a los organismos y al medio abiótico, cada uno de los cuales influye sobre las propiedades del otro y que en conjunto son necesarios para el mantenimiento de la vida (Odum, 1986). El agua es considerada como uno de los recursos más importantes que existen en el planeta. Sin embargo, un 97.5 % de agua es salada y 2.5 % es agua dulce. Esta última es usada para el consumo humano, así como en la gran mayoría de las actividades humanas (Fyndecol, S.f).

Existen diversos factores que ocasionan la contaminación en cuerpos de agua, dentro de estos se encuentran los pesticidas, detergentes, metales pesados, aguas residuales de casa habitación e industrias, entre otros (Raúl, 2002).

Uno de los principales problemas es la contaminación de agua dulce con los vertimientos líquidos provenientes de las actividades propias del ser humano, lo que complica el uso del mismo debido a que la cantidad de agua dulce es muy baja en comparación con la presencia de agua salada en el planeta. Igualmente, se disminuye la cantidad de agua dulce por la reducción de cobertura vegetal, especialmente en los páramos (Perico, Garavito, & Suárez, 2014). Lo preocupante es la dependencia de todos los seres vivos al agua dulce, a causa de la contaminación que están recibiendo los cuerpos de agua. Los usos que están recibiendo los ríos y quebradas del departamento incluyendo los contaminados no son los más recomendables, ya que son utilizados para el riego de cultivos, pastos y el lavado de papa y hortalizas como la zanahoria entre otras. En el sector tierra Negra se está utilizando el agua de la quebrada La Pinocha para los usos mencionados específicamente los tubérculos que son propios de la región, como la papa y la zanahoria que son los más abundantes allí.

El objetivo de esta investigación fue la implementación de un proceso de remoción de microorganismos patógenos presentes en el agua residual, por medio de buchones de agua como un proceso de fitorremediación microbiana. Las plantas acuáticas asimilan nutrientes y crean condiciones favorables para la descomposición microbiana de la materia orgánica, por esta razón son conocidas como autodepuradoras de ambientes acuáticos y son utilizadas en el tratamiento de aguas servidas (Iturbide, 2008).

El método de investigación utilizado fue de tipo experimental, como lo expresan (Perico, Garavito, & Suárez, 2014). Estos procesos de fitorremediación no son comunes en Boyacá.

Asimismo, la adaptación de las plantas en el proyecto fue un proceso eficiente debido a que el buchón de agua es una planta que se adapta muy rápido al medio acuático que se lleve. Sin embargo, se requiere un flujo muy lento para obtener la biorremediación de los mismos. En estas aguas se encuentra la presencia de metales pesados, que absorben como nutrientes las plantas. La utilización de plantas acuáticas ha sido desarrollada como un tratamiento secundario o terciario alternativo de aguas residuales, y ha demostrado ser eficiente en la remoción de una amplia gama de sustancias, orgánicas, así como nutrientes y metales pesados (Morales, 2007).

Los procesos de tratamiento de aguas residuales primarios son muy costosos, lo que hace que las veredas del departamento de Boyacá no cuenten con algún sistema de tratamiento de agua residual. Al respecto, con la implementación de estos procesos secundarios se busca en primer lugar el beneficio de más de 250 personas del sector Tierra Negra, quienes se están viendo afectados por los malos olores que emite la quebrada La Pinocha y aguas abajo del sector Tierra Negra se beneficiarán pueblos por donde hace el recorrido la quebrada, hasta llegar al río Teatinos. Allí las aguas se utilizan para el regadío de cultivos y pastos. Con la descontaminación de este afluente se podrá garantizar el manejo de este fluido para el uso de abrevadero para el ganado y se evitan consecuencias en la salud humana. Igualmente, en el departamento se beneficia la población que consume los productos agrícolas que se están produciendo en este sector y aguas abajo de la quebrada.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El factor principal que presiona el medio ambiente y ocasiona el cambio climático son las actividades humanas como la innovación tecnológica, el crecimiento de la economía y la industria y el aumento constante de la población (Unesco, 2009). Del mismo modo, el crecimiento de la población en Colombia

afecta negativamente la parte ambiental, sobre todo el área de recursos hídricos. Al respecto, a causa de la falta de sistemas de alcantarillados en las veredas del departamento de Boyacá, específicamente en el sector Tierra Negra se ha venido desarrollando una problemática ambiental en cuanto a los vertimientos de aguas contaminadas hacia la quebrada La Pinocha.

Igualmente, dentro de las actividades antrópicas que, a nivel mundial, han contribuido al cambio climático, está la deforestación. Según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, (PICC, (2007), ciertamente la deforestación en los páramos es un componente que contribuye de manera negativa al cambio climático el cual afecta el recurso hídrico de manera directa, puesto que el ciclo del agua en los páramos por falta de cobertura vegetal genera un periodo de retención hídrica muy bajo, lo cual hace que el recorrido del agua sea muy rápido en llegar a los ríos y quebradas. En tiempos de verano estas mantienen una lámina de agua muy pequeña, que se vierte en aguas residuales domésticas donde la remoción de sedimentos es nula y se intensifican los olores de las quebradas, como es el caso de la quebrada La Pinocha.

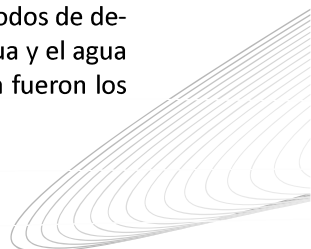
La gestión integral del recurso hídrico tiene en cuenta, no solo aprovechamiento del agua, sino del suelo y los recursos naturales, que se encuentren relacionados (Gwp, 2008). Se cuenta que una parte del problema del Sector Tierra Negra inicia con la deforestación y variación de la cobertura vegetal en los páramos de Boyacá para regular el caudal y la densificación de las aguas residuales como lo establece la investigación de Pedagogía y diagnóstico sobre la variación de la cobertura vegetal, 1985-2011, para Boyacá (Perico, Garavito, & Suárez, 2014). Entre los principales resultados encontrados en esta investigación fueron la determinación de nueve (9) tipos de cobertura, en analizar donde se encuentra la cobertura de cultivos transitorios, los cuales son los más abundantes en la zona de estudio del proyecto del proceso de fitorremediación,

donde la humedad en este tipo de coberturas es baja en comparación con las coberturas de zona de páramos donde la humedad es alta.

Igualmente, los páramos son ecosistemas exclusivos de las zonas altas de la cordillera de Los Andes, existiendo únicamente en Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú como lo explica (Luteyn, (1992), a pesar de la riqueza natural de estos páramos en Boyacá, se han encontrado impactos negativos como lo establece la investigación páramo de Siscunsi, en la cuenca alta de La Martinera (Perico, Caro, Acosta, & Bohórquez, 2015). Entre los estudios realizados en este páramo de Boyacá corrobora que se ha encontrado un alto impacto antropogénico que incluye la siembra de cultivos, pastos y la tala de árboles afectando de manera negativa los ecosistemas y presentado variaciones en el nivel freático de los mismos. Por el tipo de cobertura vegetal presente en el sector Tierra Negra, el uso del agua de la quebrada La Pinocha se hace de forma incorrecta, debido a que está siendo utilizada para el riego de cultivos, pastos y el lavado de productos agrícolas, que son propios del sector de Tierra Negra, como la papa y la zanahoria, la cual es comercializada en los principales parques agroalimentarios del departamento de Boyacá.

## MÉTODOS DE DETERMINACIÓN

El método de determinación de las características físico - químicas y microbiológicas del agua residual se hallaron y compararon mediante los parámetros establecidos por la resolución 0631 de 2015, expedida por el Ministerio de Ambiente de Colombia, allí establece los valores máximos permisibles aceptables del vertimiento de aguas residuales a cuerpos de agua. Igualmente, en el buchón de agua se determinaron el tipo de metales que están presentes y que han tomado de la quebrada La Pinocha. Se desarrolló una caracterización biológica del mismo y la clasificación taxonómica del buchón de agua. Los métodos de determinación para el buchón de agua y el agua residual de la quebrada la Pinocha fueron los siguientes:



**Oxígeno Disuelto:** el oxígeno disuelto es una de las características químicas, vital en el agua para la existencia de las mayorías de los organismos acuáticos, presentes en los diferentes cuerpos de agua. Además, la insuficiencia de oxígeno disuelto en el agua puede causar muerte, reducción en el crecimiento de especies, propagación de larvas, entre otros. El oxígeno disuelto establece la concentración actual en (mg O<sub>2</sub>/L), donde la unidad representa miligramos de oxígeno por litro; el método de determinación de este parámetro químico en el proyecto fue el SM 4500 –O C (waterboards, S.F).

**DQO Total (A):** la demanda química de oxígeno total corresponde a la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. La unidad representa miligramos de oxígeno por litro (mg O<sub>2</sub>/L); el método de determinación de este parámetro químico en el proyecto fue el SM 5220 D (Ideam, 2010).

**DQO Soluble:** la demanda química de oxígeno soluble indica la cantidad de materia que los microorganismos no están consumiendo. La unidad representa miligramos de oxígeno por litro (mg O<sub>2</sub>/L); el método de determinación de este parámetro químico en el proyecto fue el SM 5220 D (Aguamarket, 2014).

**DBO5 Total (A):** demanda bioquímica de oxígeno, por vía biológica sin nitrificación el tiempo de incubación de 5 días para que comience el proceso de nitrificación, y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O<sub>2</sub>/L); el método de determinación de este parámetro químico en el proyecto fue el SM 5210 B, 4500- O C (Dapena, 2008).

**DBO5 Soluble:** demanda bioquímica de oxígeno soluble, indica la cantidad de materia orgánica que se encuentra en forma disuelta, para determinar la DBO5 Soluble la muestra se pasa a través de un papel filtro, con ello se elimina la materia orgánica insoluble. La unidad representa miligramos de oxígeno por litro (mg O<sub>2</sub>/L); el método de determinación

de este parámetro químico en el proyecto fue el SM 5210 B, 4500- O G (Ansola, 2003).

**Sólidos Suspendidos Totales (A):** los Sólidos Suspendidos Totales (SST) hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual. La unidad representa miligramos por litro (mg/L); el método de determinación de este parámetro químico en el proyecto fue el SM 2540 D (Dane, 2007).

**Nitrógeno Total (A):** los Nitrógenos Totales corresponden a la suma de los valores de nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal que se encuentran en una muestra de agua. El nitrógeno es un nutriente necesario para el crecimiento de plantas acuáticas y algas. La unidad representa miligramos por litro (mg/L); el método de determinación de este parámetro químico en el proyecto fue el SM 4500-Norg C (Dane, 2007).

**Fosforo Particulado:** el fosforo está presente en el agua residual en forma de orto fosfato, polifosfato y formas orgánicas de fosforo. Por medio biológico se determina este parámetro. La unidad representa miligramos por litro (mg/L); el método de determinación de este parámetro químico en el proyecto fue Digestión/Espectrofotometría (Badillo German, 2008).

**pH:** el pH es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H<sup>+</sup>) en una sustancia. El resultado de una medición de pH viene determinado por una consideración entre el número de protones (iones H<sup>+</sup>) y el número de iones hidroxilo (OH<sup>-</sup>). Cuando el número de protones iguala al número de iones hidroxilo, el agua es neutra. Tendrá entonces un pH alrededor de 7. El pH del agua puede variar entre 0 y 14. Cuando el pH de una sustancia es mayor de 7, es una sustancia básica. Cuando el pH de una sustancia está por debajo de 7, es una sustancia ácida. El método de determinación de este parámetro químico en el proyecto fue el SM 4500-H+ B (Lenntech, 2002).

**Acidez Total (A):** es la cantidad de iones hidronio ( $H_3O^+$ ) en la muestra acuosa y se determina como la capacidad cuantitativa de una muestra de agua para reaccionar con una base fuerte hasta un pH de 8,3. La unidad representa miligramos  $CaCO_3$  por litro (mg/L); el método de determinación de este parámetro químico en el proyecto fue el SM 2310 B (Romo, 2001).

**Alcalinidad Total (A):** dado que la alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas. La unidad representa miligramos  $CaCO_3$  por litro (mg/L); el método de determinación de este parámetro químico fue el SM 2320 B (Barbaro, 2012).

**Conductividad (A):** la conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición. La unidad representa Microsiemens por centímetro ( $\mu S/cm$ ); el método de determinación de este parámetro físico fue el SM 2510 B (Ideam, 2010).

**Turbiedad (A):** la turbiedad en el agua es causada por materia suspendida y coloidal tal como arcilla, sedimento, materia orgánica e inorgánica dividida finamente, plancton y otros microorganismos microscópicos. La unidad representa Unidades de Turbiedad Nefelométrías (UNT); el método de determinación de este parámetro físico fue el SM 2130 B (Ideam, 2010).

**Plomo (AA):** las aguas naturales contienen solamente trazas de plomo. La mayor fuente de plomo en el agua puede ser de origen industrial, minero y de descargas de hornos de fundición o de cañerías viejas de plomo. Los alimentos son otra fuente de plomo. Los cultivos, particularmente tubérculos y raíces comestibles (papa, rábano, camote, zanahoria) pueden contener cantidades importantes de

plomo. Estas cantidades se incrementan en los alimentos debido al uso de agua contaminada y utensilios que contienen plomo (Clair, 2000).

**Arsénico (AA):** el arsénico llega al agua a través de la disolución de minerales, desde efluentes industriales y vía deposición atmosférica. En aguas superficiales bien oxigenadas, el arsénico (V) es generalmente la especie más común; bajo condiciones de reducción tales como las que se presentan en sedimentos de lagos profundos o aguas subterráneas, la forma más predominante es el arsénico (III). Un incremento del pH puede incrementar la concentración de arsénico disuelto en el agua (Eddy, 2001).

## METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Ventaquemada en la vereda Puente Boyacá, sector Tierra Negra (Colombia) y el proceso como se desarrolló esta investigación se divide en dos grandes fases:

Fase De Campo:

### Área de estudio

El departamento de Boyacá se encuentra ubicado en la cordillera oriental de los Andes y forma parte de la región Andina colombiana. Cuenta con un área superficial de 23.189  $km^2$  que corresponde al 2.03 % del país y se compone de 123 municipios en 13 provincias (Igac, 2005). En esta fase se hizo diagnóstico y reconocimiento del sector de estudio Vereda Puente Boyacá, sector Tierra Negra, jurisdicción del municipio de Ventaquemada donde se logró identificar las formaciones geológicas existentes en el área del casco urbano y sus alrededores. Está cubierta cartográficamente a escala 1:100.000 por el mapa geológico de los cuadrángulos: Zipaquirá (K-11), Tunja (J-12) y Chiquinquirá (J-11) de INGEOMINAS (Igac, 2008). Igualmente, se llevó a cabo la inspección de los diferentes tipos de agua residual que son vertidos a la fuente hídrica de la quebrada La Pinocha. Así mismo,

se hizo la búsqueda del buchón de agua en toda el área de estudio y en las provincias de Tundama y Centro del departamento de Boyacá.

### Periodo de estudio, diseños y toma de datos

Se delimitó el periodo de estudio del año 2017 - II hasta el 2018 - I donde se trabajó en el área de estudio seleccionada como principal fuente de información para elaborar el diagnóstico sobre la quebrada La Pinocha. Igualmente, se elaboraron los planos para llevar a cabo el proceso de fitoremediación en el área de estudio, y se abrieron los cuatro pozos de flujo horizontal y se hizo el recubrimiento de los mismos con plástico para evitar la infiltración al suelo. Luego se hizo la canalización y desvío de una parte del caudal de la quebrada La Pinocha hacia el proceso de fitoremediación, y finalmente se elaboró el cerramiento y siembra de los buchones en los pozos. Se llevó a cabo la formulación de encuestas a la población servida. Al respecto, esta encuesta se conformó de 11 preguntas de repuesta cerrada, y su respectiva tabulación de datos con el fin de conocer los datos reales en cuanto al número de familias del sector esto con el fin de confrontar la información obtenida con la información del plan de ordenamiento territorial del municipio de Ventaquemada, vereda Puente de Boyacá, sector Tierra Negra.

Por otra parte, se hizo el monitoreo del proceso de fitoremediación y adaptación de los mismos al lugar, toma de datos físicos pH, turbiedad y conductividad del agua del proceso de fitoremediación tres veces por semana a diferente hora con el fin de conocer las horas pico con mayor aumento de estos parámetros como lo menciona el Reglamento Técnico Del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico Título a Aspectos Generales de los Sistemas de Agua Potable y Saneamiento Básico (Ras 2000).

#### Fase de Laboratorio:

El mantenimiento preventivo y correctivo del proceso de fitoremediación y el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, así como de algunos metales, a tra-

vés de laboratorios del Instituto para la Investigación e Innovación en Ciencia y Tecnología de Materiales (INCITEMA). Se elaboró una caracterización microbiológica Norma Técnica Colombiana (NTC 4491 – 2) del agua antes y después del proceso de fitoremediación y determinó la carga contaminante del agua proveniente del sector Tierra Negra. Igualmente, se elaboraron los médiums, cultivos y la tinción Gram de las muestras de agua residual por tres semanas. Finalmente, se hizo la identificación de metales pesados y aquellos que han sido almacenados por el buchón de agua antes y después del proceso.

## CONCLUSIONES

- Al tratar el agua residual con un sistema de pozos contiguos, con lechos de un sistema de flujo horizontal con buchón de agua (*E. crassipes*) se incrementaron las tasas de remoción de materia orgánica, nutrientes y patógenos, obteniéndose un efluente de mejor calidad.
- La falta de sistemas de alcantarillado en la vereda Puente de Boyacá, sector Tierra Negra es el principal problema que está afectando el caudal de la quebrada La Pinocha donde se está reemplazando el caudal del lecho natural por un caudal contaminado.
- El uso inadecuado del recurso hídrico de la quebrada La Pinocha en la práctica de las actividades agropecuarias del sector, son razón más importante de la implementación de procesos de descontaminación. En el periodo analizado, la quebrada presentó mayor cantidad de microorganismos patógenos presentes en el agua, con coliformes totales UFC/100, presencia de huevos de helminto positiva y presencia de salmonella positiva.
- El proceso de fitoremediación que se desarrolló es un tratamiento secundario que es muy económico y efectivo en la descontaminación de aguas residuales, industriales e institucionales. Además, el proceso no es contaminante y reduce el consumo recursos naturales en comparación con los tratamientos convencionales

existentes en la actualidad (como cemento, arena, grava, acero, entre otros).

- Se requiere una política de gobierno que fomente, de forma muy importante, la construcción de sistemas de alcantarillado con disposición final hacia sistemas de tratamientos primarios secundarios o terciarios, donde se descontamine estos vertimientos con fin de darle la disposición final hacia un cuerpo de agua donde este termine su proceso de descontaminación en su recorrido y aguas abajo pueda ser utilizado este caudal para el uso agrícola. Sin embargo, se recomienda que se sigan estudiando nuevos procesos naturales para disminuir la contaminación química.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la Universidad Santo Tomás por permitir la ejecución de este proyecto de investigación; a los laboratorios de la misma por la colaboración en la ejecución de los ensayos y a la ingeniera Mónica Helena Rodríguez Mesa por su acompañamiento durante la investigación.

## REFERENCIAS

Aguamarket. (2014). *Aguamarket*. Obtenido de <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=2414>

Ansola, G. (2003). Utilización de humedales artificiales en la depuración de aguas residuales. 17.

Arcos Ramos Raúl, D. R. (2002). Macrofitas acuáticas: ¿contaminantes o soluciones de la contaminación por metales pesados. *AIDIS*, 8.

Badillo German, J. F. (2008). *Curso básico de toxicología ambiental*. México, D. F.: Limusa.

Barbaro, G. (2012). Una técnica sencilla y natural para depurar aguas residuales. *profesional de distribución en horticultura ornamental y jardinería*, 20.

Clair, S. P. (2000). *Química para Ingeniería Ambiental*.

Dane. (2007). *Total de sólidos en suspensión (Sólidos Suspendedos Totales)*.

Dapena, E. R. (2008). Medida de la Contaminación Orgánica. 7.

DAvidson, P. W., Myers, G. J., & Wiess, B. (2004). *Mercury Exposure and Child Development Outcomes*. Atlanta USA.

Eddy, M. &. (2001). *Ingeniería de Aguas Residuales*.

Fyndecol. (S.f de S.f de S.f). *Blog Fibras y Normas de Colombia S.A.S*. Recuperado el 13 de JULIO de 2018, de Blog Fibras y Normas de Colombia S.A.S: <https://tratamientodeagua.co/aguas-residuales/las-aguas-residuales-colombia-tratamiento-diferentes-ventajas/>

Gwp. (2008). Principios de gestión integrada de los recursos hídricos; bases para el desarrollo de planes nacionales. *Global Water*.

Ideam. (2010). Recuperado el 13 de JULIO de 2018, de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%A9+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

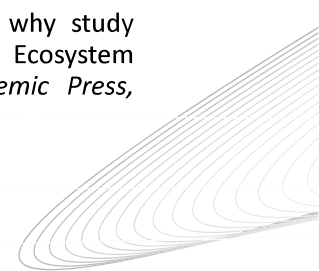
Igac. (2005). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Boyacá*.

Igac. (2008). Esquema de ordenamiento territorial.

Iturbide, D. K. (2008). *Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación*. Guatemala: Disponible en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Universidad de San Carlos.

Lenntech. (2002). *Medida de calidad de agua: el pH*.

Luteyn, J. L. ((1992). Páramos: why study them?. En: Páramo: An Andean Ecosystem under Human Influence. *Academic Press, Londres, UK*, 14.





Morales, C. J. (2007). Estudio para la remoción de metales pesados en los lixiviados de rellenos sanitarios. En C. J. MORALES, *Estudio para la remoción de metales pesados en los lixiviados de rellenos sanitarios*. (pág. 96). Manizales.

Odum, E. (1986). *Fundamentos de ecología*. México D. F: Nueva Editorial Interamericana.

Perico, N. R., Caro, C., Acosta, P. M., & Bohórquez, J. (2015). Páramo de Siscunsi, en la cuenca alta de la Martinera. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería (ACOFI)* (pág. 8). Cartagena de Indias: ACOFI.

Perico, N. R., Garavito, L. N., & Suárez, P. A. (2014). Pedagogía y diagnóstico sobre la variación de la cobertura vegetal, 1985-2011, para Boyacá. 14.

PICC. ((2007). *Cambio climático 2007: informe de síntesis. Contribución de los grupos de*

*trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático*. Ginebra, Suiza.

Raúl, A. R. (2002). Macrofitas acuáticas: contaminantes o soluciones de la contaminación por metales pesados. *AIDIS*, 8.

Romo, M. A. (2001). *Análisis de agua - determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas*. MEXICO.

Unesco. (2009). Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídrico. El agua en un mundo en constante cambio. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura Turquía. .

waterboards. (S.F). *waterboards*. Obtenido de [https://www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf](https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf)