

# Fitorremediación en aguas residuales sin tratamiento previo. Caso: Tierra Negra, Boyacá

Phytoremediation in wastewater without previous treatment, Case: Tierra Negra Boyacá.

A. Niño Iván Darío, B. Aponte Monica Carolina, C. Rodríguez Luz Ángela, Perico-Granados Néstor Rafael.

## Resumen

**L**a investigación se llevó a través de un proceso de fitorremediación, empleando buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), en el tratamiento de aguas residuales de tipo domésticas, industriales e institucionales, generadas por la población del sector Tierra Negra, jurisdicción del municipio de Ventaquemada, vertidas a la quebrada La Pinocha. Se diseñó el proceso de fitorremediación, con cuatro piscinas de flujo horizontal, recubiertas con plástico negro para evitar la infiltración y contaminación del suelo.

Las plantas macrófitas flotantes, buchones de agua (*Eichhornia crassipes*), empleadas en el proceso, se extrajeron de las piscinas de enfriamiento de la Termoeléctrica de Paipa. La investigación fue cuantitativa, descriptiva, experimental y explicativa. En la primera fase se establecieron los tipos de metales presentes en la planta, la materia orgánica y se hizo la caracterización física y química. Igualmente, se llevó a cabo la caracterización biológica de microorganismos patógenos que están presentes en el agua residual, antes y después del proceso de fitorremediación. Al respecto, se llevaron a cabo los ensayos de laboratorio de absorción atómica de metales pesados, tanto en el agua residual

## Abstract

**T**he present investigation was carried out through a process of phytoremediation using water buzzard (*Eichhornia crassipes*) in the treatment of domestic, industrial and institutional wastewater generated by the population of the Tierra Negra sector, jurisdiction of the municipality of Ventaquemada, in the brook La Pinocha, the design of the phytoremediation process was executed, which consisted of four pools of horizontal flow, with a black plastic coating in order to avoid the infiltration and contamination of the soil.

The floating macrophyte plants of water hyacinths (*Eichhornia crassipes*) used in the process were extracted from the cooling pools of the Paipa Thermoelectric Plant. The research had a descriptive, experimental, quantitative and explanatory scope. As a first phase, the type of metals present in the plant and the organic matter were established. In turn, the biological characterization of pathogenic microorganisms that are present in the wastewater before and after the phytoremediation process was carried out. Laboratory tests of atomic absorption of heavy metals were carried out both in the wastewater and

Recibido / Received: 02 de abril de 2018 Aprobado / Aproved: 13 de marzo de 2018

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación Científica y Tecnológica terminada.

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Universidad Santo Tomas

Autor para comunicaciones / Author communications: Ivan.araque@usantoto.edu.cox

El autor declara que no tiene conflicto de interés.

*como en la planta buchón de agua. Así mismo, se hizo un monitoreo in situ los días lunes, miércoles y viernes durante cinco semanas para medir los parámetros físicos como Pb, conductividad y turbidez del agua en las cuatro piscinas.*

*Con base en los resultados obtenidos en los análisis respectivos se concluyó que la eficiencia del proceso de fitorremediación, usando la planta denominada buchón de agua, en el tratamiento de aguas residuales, fue de más del 71% en las poblaciones de unidades formadoras de colonias (UFC). De la misma manera, sustentado con éste y los otros análisis se concluye que los humedales artificiales son útiles para sitios en donde no existen plantas de tratamiento de aguas residuales o para complementar dicho proceso.*

**Palabras Clave:** Agua residual, Carga contaminante, Fitorremediación, Vertimientos.

in the buchon water plant. In addition, an on-site monitoring was made on Monday, Wednesday and Friday for six weeks to measure physical parameters such as pH, conductivity and turbidity of the water in the four pools.

According to the results obtained in the analysis, it is concluded that the efficiency of the phytoremediation process using the buchon water plant in the treatment of wastewater was 71.19% in the colony forming units (CFU) populations. According to the above, artificial wetlands are useful where there are no wastewater treatment plants or to supplement said process.

**Keywords:** residual water, polluting load, phytoremediation, vertimientos.

## Introducción

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 un 2.5% es agua dulce [1]. En Latinoamérica menos del 5% de las aguas residuales reciben tratamiento y el 95% de dichas aguas son vertidas a los cuerpos superficiales generando riesgos para la salud humana y el ecosistema [2]. Esto constituye un problema ambiental, producto de actividades industriales, domésticas y por el crecimiento poblacional [3]. En Latinoamérica las condiciones socioeconómicas, ambientales y tecnológicas reducen el acceso a procesos mínimos de tratamiento para la depuración de los efluentes residuales, especialmente en las zonas rurales [4].

De otro lado, las aguas residuales son una combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua proveniente de diferentes actividades domésticas, industriales, comerciales y agrícolas, entre otras [5]. Estas aguas al mezclarse con los cuerpos de agua normales incrementan las concentraciones de materia orgánica, compuestos tóxicos, microorganismos inestables y nutrientes [6]. Existen tratamientos no convencionales, como alternativas para disminuir la carga contaminante, por medio de sistemas biológicos, como la implementación de lagunas de estabilización o humedales artificiales y se hacen de flujo horizontal o vertical [7].

En estos sistemas no convencionales la remoción se hace por medio de microorganismos, lombrices o el uso de plantas acuáticas [8]. Igualmente, existen otros métodos como el tratamiento con rayos ultravioleta que son también efectivos [9].

Uno de los tratamientos convencionales más importantes y con una relevancia ambiental son los humedales artificiales. Es una técnica que permite la remoción de metales pesados de la hiper-acumulación de sustancias tóxicas, así como la transformación de compuestos bajo parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST) [10]. Cabe resaltar que los humedales artificiales se pueden implementar en aguas con un tratamiento primario o sin ningún tratamiento. Además, estos sistemas utilizan plantas ya sean flotantes o sumergidas. En este caso se evaluó la planta flotante denominada buchón de agua (*Eichhornia crassipes*).

Al respecto, el buchón de agua es una planta que se encuentra sobre el agua, manteniendo sus raíces sumergidas, sin estar fijadas a un soporte y juegan un papel fundamental en los humedales artificiales como airear, absorber nutrientes y eliminar contaminantes [11]. Igualmente, cuando se utiliza el buchón de agua cumple un proceso de depuración en el agua contaminada, dado

que absorbe, concentra y transforma los metales a través de su sistema radicular [12].

De acuerdo a la necesidad de los 250 habitantes del sector Tierra Negra se evaluó el proceso de fitorremediación empleando buchón de agua con base en la remoción de microorganismos y metales presentes en el agua.

## Metodología

Se evaluaron varios sitios posibles de estudio y entre ellos se visitó la capital de la provincia de Valderrama, Socha Boyacá, donde se realizaron los estudios previos para desarrollar el proyecto. Allí se identificaron los puntos de vertido final de las aguas residuales, provenientes del casco urbano del municipio, ya que el sector rural no cuenta con la cobertura del sistema de alcantarillado. De la misma manera, se midieron los parámetros físicos y químicos del agua vertida en las dos quebradas del municipio de Socha, que se denominan quebrada Santa Lucía – Florida y la quebrada Chiniscua.

Se observó que con estas aguas residuales se están regando pastos y cultivos propios de la región como la papa, maíz y pimiento picante, entre otros productos. Se identificó el terreno para la elaboración del humedal artificial, pero con base en las condiciones geológicas del sector no se logró ejecutar el proyecto. Sin embargo, se evaluaron varias alternativas de terrenos con condiciones geológicas accesibles a la zona de estudio en las provincias de Tundama y Centro del departamento de Boyacá.

Finalmente, el lugar elegido fue el sector Tierra Negra de la vereda Puente de Boyacá, ubicada en el km 21 vía Tunja Bogotá. Este centro poblado cuenta con 58 viviendas y 250 habitantes aproximadamente. Su área es atravesada por vía central del Norte la cual ha generado dicho asentamiento [13]. Sin embargo, se evidencia que el número de viviendas es mucho mayor al estipulado por el esquema de ordenamiento territorial (EOT) de Ventaquemada. El clima de Ventaquemada se presenta en un piso térmico frío y piso bioclimático páramo con un comportamiento unimodal de precipitación [13]. Se tomó como guía para la elaboración del proceso “El Proyecto para la investigación formativa” [14].

Por otra parte, las actividades económicas de dicho lugar se concentran en el pastoreo de ganado, cultivos,

fabricación y comercialización de arepas, almojábanas, carnicerías, procesadora de lácteos, estaciones de servicios de combustible, talleres mecánicos, entre otros [13]. Sin embargo, el centro poblado de Tierra Negra no cuenta con un sistema de alcantarillado y por tal motivo las aguas residuales de diferentes actividades son vertidas a la quebrada La Pinocha. Según datos suministrados por el Esquema De Ordenamiento Territorial (EOT) dos usuarios no cuentan con sanitario, quince poseen pozos sépticos y treinta y ocho vierten las aguas directamente a la quebrada [13].

En la investigación se llevó a cabo:

- a. Diagnóstico de la calidad del agua de la quebrada. Para ello los parámetros se determinaron de acuerdo a la resolución 0631 de 2015.
- b. Montaje del proceso de fitorremediación. Para la puesta en marcha de la prueba se hizo la apertura de 4 pozos perpendiculares al cauce de la quebrada, con una desviación parcial de su caudal. Los pozos se recubrieron con un plástico negro para evitar la infiltración al suelo. Se hizo la canalización del agua de la quebrada, así como la siembra de los buchones. Este proceso estuvo expuesto a factores climáticos como la precipitación y la luz solar.
- c. Medición de parámetros físicos in situ como el pH, turbidez y conductividad alrededor de cinco semanas, así como ensayos in vitro de absorción atómica y caracterización microbiológica del agua.

## Resultados y discusión

### Calidad físico química del agua residual

Los parámetros del agua residual de la quebrada La Pinocha no están cumpliendo con lo especificado por la resolución 0631 del 2015 en cuanto pH, DQO, DBO<sub>5</sub> y SST debido a que la carga contaminante que presenta este afluente es muy alta. En el resumen de la tabla 1 se consignan los datos, con base en los resultados de un laboratorio acreditado en Norma ISO 17025:2005 por el IDEAM y certificado por las normas Icontec en Norma ISO 9001:2008.

**Tabla 1.** Parámetros de la quebrada La Pinocha.

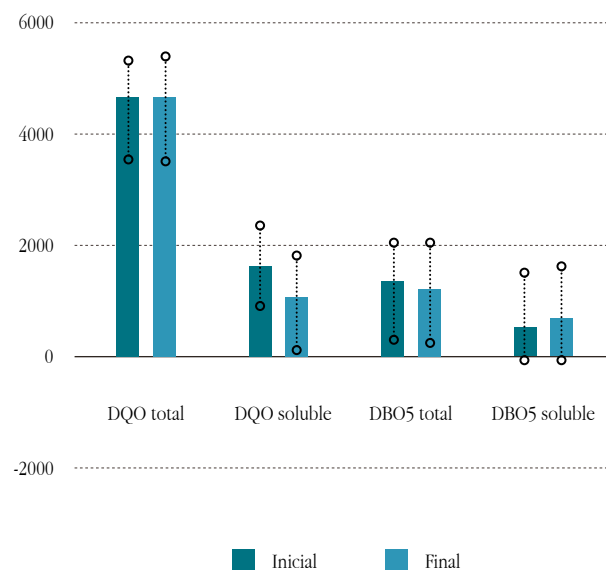
Parámetro	Unidad	Resultado inicial	Resultado Final	Valor norma
Oxígeno disuelto	mg o2/l	< 0,04	< 0,08	N.E
DQO total	mg o2/l	5515	4515	180
DQO soluble	mg o2/l	1748	990	N.E
DBO5 total	mg o2/l	1235	1175	90
DBO5 soluble	mg o2/l	960	814	N.E
Solidos suspendidos totales	mg sst/l	5090	6050	90
Nitrógeno total	mg n/l	115	105	N.E
Fósforo particulado	mg/l	9,115	8,13	N.E
pH	unidades de pH	4,9	5,1	6.0-9.0
Acidez total	mg CaCO3/l	26,7	27,79	N.E
Alcalinidad total	mg CaCO3/l	81,9	82,94	N.E
Conductividad	microsiemens/cm	1850	1748	N.E
Turbidez	UNT	1050	947	N.E

Fuente. Resultados laboratorio Analizar Ltda, 17 de marzo del 2018.

En la tabla 1 se pueden identificar los valores físico-químicos iniciales y finales. Los iniciales corresponden a los datos obtenidos antes de iniciar la fitorremediación, es decir la muestra fue tomada antes de que inicie el contacto con el buchón de agua. En estos resultados se puede evidenciar una pequeña disminución en cuanto a valores de DBO y DQO.

El valor de DBO consigue una reducción a 1175 mg O2/L lo que registra una eficiencia del 6,24 %, resultado que no es incluido dentro de los límites máximos permisibles. Entonces, el agua tratada no registra buenas condiciones de salubridad. DQO consigue una reducción a 4515 mg O2/L lo que registra una eficiencia del 10 %, resultado que muestra que el agua tratada para este parámetro no se encuentra en buena condición. Sin embargo, las raíces de las plantas y la translocación de los contaminantes adentro de ellas ha permitido mejorar la calidad de las mismas con respecto a la muestra inicial. Ver figura 1.

**Figura 1.** Comportamiento de parámetros de DBO y DQO.



El pH del agua se debe sobre todo al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos [15]. Además, el pH en aguas superficiales presenta valores más cercanos a neutro, lo contrario sucede con aguas profundas donde la oxigenación es casi nula lo que permite que los valores de pH tiendan a ser ácidos.

Las aguas corrientes superficiales no polucionadas suelen estar bien oxigenadas, e incluso sobresaturadas ( $>7.8\text{mg/l}$  de  $\text{O}_2$ ). La oxigenación del agua natural es mayor durante el día que en la noche, ya que en ausencia de iluminación la fotosíntesis cesa, mientras el consumo de  $\text{O}_2$  en funciones respiratorias se mantiene [16]. Al respecto, el proceso de fitorremediación cuenta con muy poco oxígeno disuelto, debido a condiciones topográficas del terreno razón por la cual este se tiene que mejorar con la implementación de un sistema de aireación mecánica. Igualmente, la población de las plantas buchones de agua se deben controlar, para mantener el espejo de agua y permitir la entrada de luz y así desarrollar el proceso de fotosíntesis en el proceso de fitorremediación. El valor máximo de oxígeno disuelto (OD) es un parámetro muy relacionado con la temperatura del agua y disminuye con ella. La concentración máxima de oxígeno disuelto (OD), en el intervalo normal de temperaturas es de aproximadamente  $9\text{ mg/L}$ , considerándose que cuando la concentración baja de  $4\text{ mg/L}$ , el agua no es apta para desarrollar vida en su seno [17]. En consecuencia, respecto al oxígeno disuelto presente en la quebrada La Pinocha la probabilidad que allí se desarrolle vida es nula debido a que el valor obtenido en cuanto a este parámetro fue  $< 0,08\text{ mg O}_2/\text{L}$ , aunque cabe resaltar que esta normativa que expresa Jiménez es española [16].

La DQO o Demanda Química de Oxígeno es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual. Es por tanto una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente. Éste es un parámetro para controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que da una idea muy real del grado de toxicidad del vertido [18]. Además, siempre el valor de DQO debe ser mayor que el de DBO<sub>5</sub>, pues no toda la materia oxidable químicamente (condiciones energéticas) ha de ser bio-oxidable (condiciones suaves). En general, se puede decir que cuando  $\text{DBO}_5/\text{DQO} < 0,5$  se está ante un efluente fácilmente biodegradable, mientras que si este cociente es inferior a  $0,2$  será escasamente biodegradable [17].

$$\frac{\text{DBO}_5}{\text{DQO}} = \frac{1175}{4515} = 0,26$$

Al respecto, DQO es mayor que la DBO<sub>5</sub> en la quebrada La Pinocha y al aplicar la ecuación expresada se obtuvo un efluente fácilmente biodegradable con un valor de  $0,26$ . La DBO da información de la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en una muestra, sin aportar información sobre la naturaleza de la misma. Hay que tener presente, que un bajo valor de DBO no tiene por qué ser indicativo de un bajo nivel de contaminación orgánica, dado que existen sustancias difícilmente biodegradables (sustancias refractarias) o que incluso inhiben el proceso biológico (tóxicos) [17].

Los sólidos suspendidos son principalmente de naturaleza orgánica. La mayor parte de los sólidos suspendidos son desechos humanos, desperdicios de alimentos, papel, trapos y células biológicas que forman una masa de sólidos suspendidos en el agua [19].

Se evaluó la carga contaminante para el agua residual de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{carga contaminante} = (\text{caudal}) * (\text{concentración})$$

Las evaluaciones se concentran fundamentalmente en la determinación de los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST).

$$\text{Carga DQO} = 4515 \frac{\text{mg} * \text{O}_2}{\text{l}} * 70,94 \left(\frac{\text{l}}{\text{s}}\right) * \frac{86400\text{s}}{1.000.000\text{mg}}$$

$$\text{Carga DBO} = 1175 \frac{\text{mg} * \text{O}_2}{\text{l}} * 70,94 \left(\frac{\text{l}}{\text{s}}\right) * \frac{86400\text{s}}{1.000.000\text{mg}}$$

$$\text{Carga SST} = 6050 \frac{\text{mg} * \text{O}_2}{\text{l}} * 70,94 \left(\frac{\text{l}}{\text{s}}\right) * \frac{86400\text{s}}{1.000.000\text{mg}}$$

$$= 37081,7568 \left(\frac{\text{KgO}^2}{\text{día}}\right)$$

$$= 13534,84 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Carga Total = 27673,4103 + 7201,8288 + 37081,7568

$$= 71956.9959 \left( \frac{KgO_2}{\text{día}} \right)$$

De acuerdo a lo anterior, en relación con la carga contaminante de sólidos suspendidos totales del río Bogotá es de 26.415,51 ton/año [20]. Asimismo, en la quebrada La Pinocha esta carga esta alrededor de 13.534 ton/año, siendo una cifra muy significativa ya que todas las aguas son vertidas al afluente sin discriminación alguna.

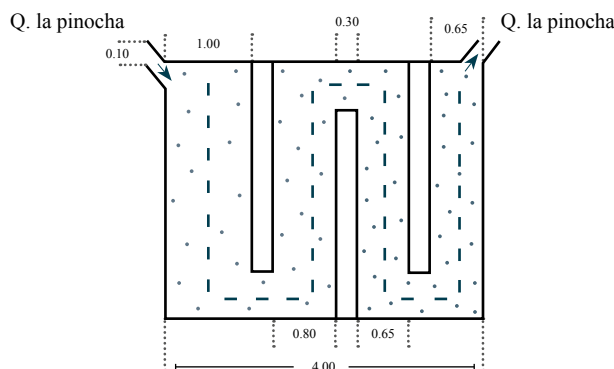
### Dimensiones del proceso de fitorremediación

Las dimensiones de las piscinas empleadas fueron modificadas ya que por las condiciones topográficas del terreno no permitió otro diseño. En este sentido, se llevaron a cabo diseños del sistema, pero ninguno cumplió con las normas, de acuerdo a las condiciones del sitio y por ese motivo se hizo la variación al proceso. Al respecto, el caudal promedio de la quebrada La Pinocha es de 70,94 l/s y para el proyecto se tomó un caudal de 7,17 l/s. Entonces, se hizo un diseño específico para las condiciones del terreno así:

Tabla 2. Especificaciones.

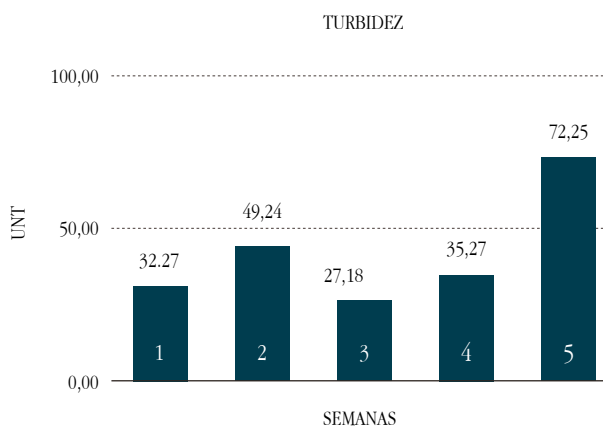
Dimensión largo	m	2,50	2,50	2,50	2,50
Dimensión ancho	m	1,00	0,80	0,65	0,65
Profundidad	m	0,85	0,90	0,95	1,00
Altura lamina agua	m	0,10	0,15	0,20	0,20
Caudal de entrada	l/s	7,17			
Caudal de salida	l/s	2,53			

Ilustración 1. Vista en planta del proceso de fitorremediación.



### Parámetros físicos del agua

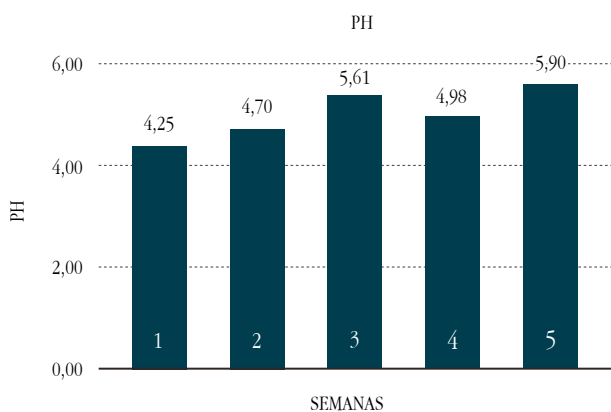
Figura 2. Comportamiento de la turbidez durante 5 semanas.



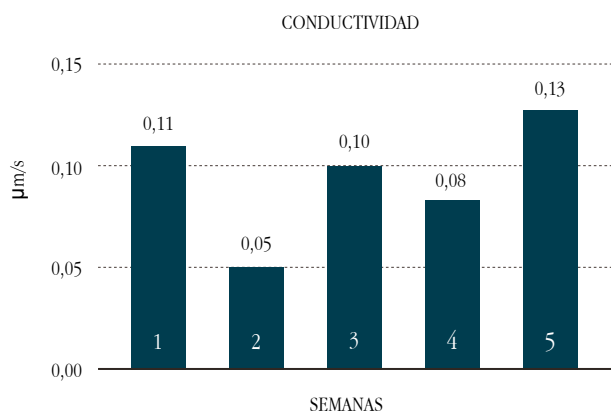
Se observa que la turbidez en la semana 2 y 5 aumentó debido a las precipitaciones que se presentaron en los días que se ejecutaron los sondeos. Por esta razón con base en el arrate de material hay mayor turbidez. De otro lado, en las semanas 1, 3 y 4 la turbidez fue estable. Sin embargo, cuando se presentaron precipitaciones en la zona de estudio, todos los parámetros se vieron afectados. De acuerdo a la resolución 0330 del 08 de junio del 2017 el valor permisible de turbidez para consumo humano es de 2 UNT lo que indica que la quebrada presenta un agua muy turbia. Al respecto, la presencia de materias diversas en suspensión, arcilla, limos, coloides orgánicos, plancton y otros organismos microscópicos da lugar a la turbidez en un agua [21].

En este sentido, la turbidez en el proceso de fitorremediación se vio afectada por la erosión del suelo en la parte alta de la quebrada lo que aumentó los sólidos suspendidos en el proceso de fitorremediación. Además, los aportes de aguas turbias de escorrentía en época de lluvias ricas en materias minerales causan aumentos de turbidez en aguas de ríos y embalses [22]. Desde el punto de vista del agua potable de consumo público, se suelen correlacionar valores altos de turbidez asociados a la aparición de bacterias y virus. Por otro lado, los compuestos orgánicos productores de turbidez poseen un notable efecto adsorbente sobre los posibles plaguicidas existentes en el agua dificultando así su eliminación, además de formar quelatos con metales produciendo el efecto anterior [23].

**Figura 3.** Comportamiento del Ph durante 5 semanas.



**Figura 4.** Comportamiento de la conductividad durante 5 semanas.



El Ph se incrementa de 4,25 a 5,90 coincidiendo que los días de mayor Ph fue donde hubo presencia de lluvia. Obsérvese que paralelamente en las semanas de mucha precipitación se mejoraba el Ph puesto que en el sistema de fitorremediación no se implementó un sistema de oxigenación y al momento de la lluvia se oxigenaron las piscinas, con disminución de la acidez del agua. Al respecto, como lo expresa la resolución 1076 de 2015, para el uso agrícola el Ph del agua debe ser de 4,5 a 9 unidades de Ph.

Por otra parte, la conductividad se mantuvo similar en las semanas 1, 3 y 5. Mientras que en la semana 2 y 4 fueron los niveles más bajos. De acuerdo a la resolución 0330 del 08 de junio del 2017 el valor permisible de conductividad para consumo humano es de 100 m/s lo que indica que la conductividad en la quebrada es baja.

La conductividad de un agua natural está mediatizada por el terreno que atraviesa y por la posibilidad de disolución de rocas y materiales, el tipo de sales presentes, el tiempo de disolución, temperatura, gases disueltos, pH y toda la serie de factores que puedan afectar la solubilidad de un soluto en agua [24]. En este sentido, el terreno en la geología de la zona de estudio no es muy ácido, razón por la cual la conductividad es baja en la quebrada La Pinocha. A título informativo, las conductividades de las aguas de la zona mediterránea de la península Ibérica (terrenos fundamentalmente calizos) suelen ser estadísticamente superiores a las que presentan las aguas [25].

## Absorción atómica de metales pesados

En el título E del Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico (RAS) expresa que “se deben medir metales pesados, ya que en altas concentraciones son tóxicos para los organismos degradadores y para el cuerpo de agua receptor. Estos son cromo (Cr), plomo (Pb), níquel (Ni), arsénico (As), mercurio (Hg), cadmio (Cd), cobre (Cu) y zinc (Zn). Para el tratamiento biológico se considera tóxico una concentración total acumulada de metales pesados mayor de 2 mg/l” [26]. Sin embargo, a partir de los análisis ejecutados al agua y a la planta buchón de agua en las piscinas uno y cuatro se observa que la presencia de dichos metales en el ecosistema es bajo.

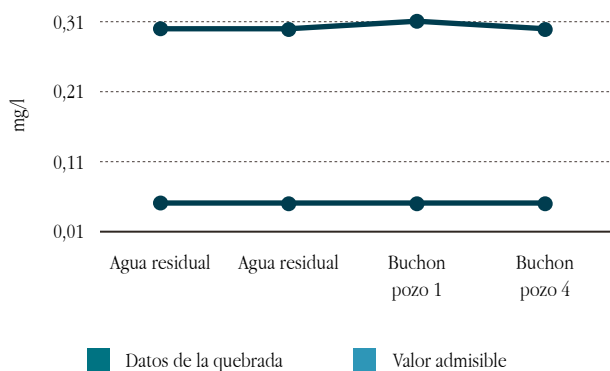
En este sentido, según el decreto 1076 del 2015 los valores aptos para el consumo humano de arsénico corresponde a 0,05 mg/l, cadmio de 0,01 mg/l, mercurio 0,002 mg/l y

plomo 0,05 mg/l [27]. Se muestran los valores respecto a la absorción de metales por los buchones de aguas y la presencia de estos en la quebrada La Pinocha.

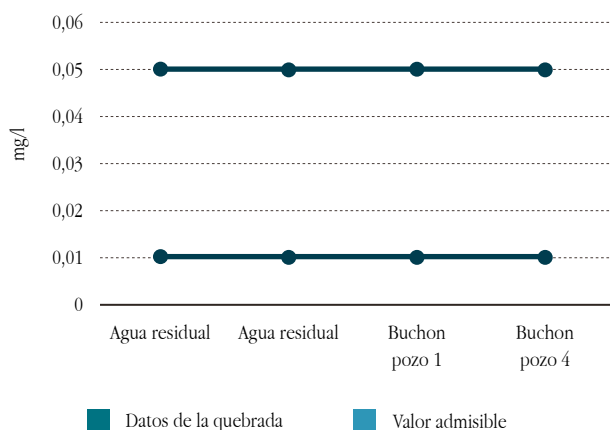
**Tabla 3.** Agua residual quebrada La Pinocha.

Agua residual quebrada La Pinocha Pozo 1.	<0,005	<0,002	<0,3	<0,05
Agua residual quebrada La Pinocha Pozo 4.	<0,005	<0,002	<0,3	<0,05
Buchón pozo 1.	<0,005	0,0064	0,31	<0,05
Buchón pozo 4.	<0,005	0,0034	<0,3	<0,05

**Figura 6.** Valores límite de cadmio.



**Figura 5.** Valores límite de Plomo.



La presencia de metales pesados en la quebrada La Pinocha hasta el momento no sobrepasan los límites para el uso agrícola; sin embargo, para el consumo humano están excedidos y aun así se están usando para el riego de cultivos y lavado de hortalizas que de forma indirecta está afectando a la población consumidora.

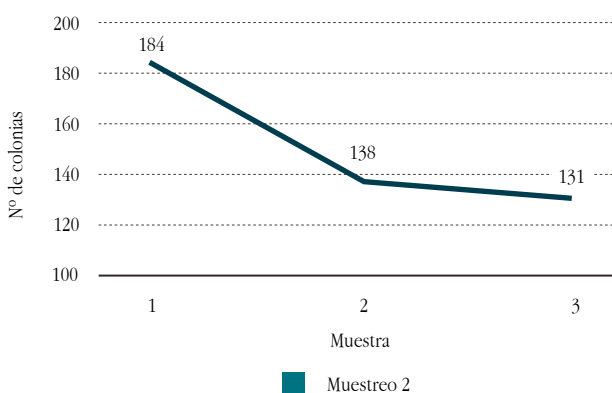
## Caracterización microbiológica

**Tabla 4.** Caracterización microbiológica del agua residual de la quebrada La Pinocha.

Muestra.	Coliformes Totales		
M1	184 E+06	Presente	Presente
M2	138 E+06	Ausente	Ausente
M3	131 E+06	Presente	Presente

La disminución de las unidades formadoras de colonias UFC, con el buchón de agua fueron positivas, ya que hubo una disminución del 71,19% en cuanto a los coliformes iniciales.



**Figura 7.** Colonias presentes en la quebrada La Pinocha.

Para el caso de la muestra tomada a la salida de la planta piloto realizada en Tierra Negra, para el mejoramiento de la calidad de agua residual, con buchón de agua, se puede determinar que la población de UFC disminuye. Se evidencia, de acuerdo a las microfotografías tomadas en la muestra de salida, que los buchones son eficientes en la retención de microorganismos presentes en el agua residual. La presencia de salmonella en el agua representa un problema de salud pública ya que es la causante de fiebres tifoideas, fiebre alta, diarrea, úlceras en el intestino delgado, así como el envenenamiento de alimentos [28]. En este sentido, con la implementación del proceso de fitorremediación utilizando la planta buchón de agua como tratamiento primario, se observa que esta retiene los metales que se encuentran presentes en el agua así como los microorganismos patógenos. Igualmente, si se contara con un sistema de alcantarillado y una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se podría llevar a cabo el proceso de fitorremediación como tratamiento terciario y entregar el agua a la fuente en óptimas condiciones.

En relación con el uso de las macrófitas del proyecto realizado en Tauramena (Casanare), donde emplearon *Heliconia psittacorum* como planta control, se obtuvo un porcentaje de remoción de contaminantes mayor al 70%. En este aspecto, el porcentaje de remoción fue similar al obtenido en otros proyectos que se empleó la planta buchón de agua [29].

## Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo a relación entre el DBO5 y el DQO las condiciones del efluente son de 0,26 es decir que la calidad

del agua en la quebrada La Pinocha corresponde a un ecosistema fácilmente biodegradable. Con base en ello y en los resultados se puede inferir que a través de un humedal artificial o con la implementación del uso de microorganismos eficientes se puede depurar el agua en un alto porcentaje.

Los parámetros físicos en el proceso de fitorremediación fueron muy variados debido a las condiciones climáticas en la época de estudio. Además se evidenció que el pH fue ácido ya que hizo falta la implementación de un proceso de oxigenación en las piscinas.

La presencia de los metales analizados como cadmio, plomo, mercurio y arsénico no sobrepasan los límites permitidos para uso agrícola. De otro lado, para el consumo humano si sobrepasan los que exige la normatividad y aun así estas aguas residuales se están utilizando para riego y lavado de hortalizas, como la zanahoria, que de forma indirecta están afectando a la población consumidora.

Los resultados obtenidos en el desarrollo de esta investigación permiten inferir que el sistema se debe mejorar, dado que el buchón de agua necesita mayor área de contacto, así como mayor tiempo de retención dentro del sistema para que presente una mayor eficiencia en el proceso de depuración.

En la caracterización microbiológica del agua residual, en el área de estudio, se evidenció la disminución de unidades formadoras de colonias, hasta en 71%, en las tres piscinas analizadas. Entonces, la fitorremediación es una alternativa para mejorar las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del agua de la quebrada La Pinocha.

El sector Tierra Negra necesita con urgencia un sistema de recolección y disposición final de las aguas residuales, dado que los habitantes se ven afectados por los fuertes olores que emite la quebrada, en época de verano.

## Agradecimientos

A la universidad Santo Tomás, seccional Tunja, por el préstamo de laboratorios y equipos para realizar mediciones in situ e in vitro.

## Bibliografía

- [1] Fyndecol, «BlogFibras Y Normas De Colombia. S.A.S.» [En Línea]. Available: <https://Tratamientodeagua.Co/Aguas-Residuales/Las-Aguas-Residuales-Colombia-Tratamiento-Diferentes-Ventajas/>. [Último Acceso: 13 07 2018].
- [2] K. A. Reynolds, «Tratamiento De Aguas Residuales,» *Agua Latinoamérica*, P. 4, 2002.
- [3] I. Salgado-Bernal, C. Durán Domínguez, M. Cruz Arias, M. E. Carballo Valdés Y A. Martínez Sardiñas, «Bacterias Rizosféricas Con Potencialidades Fisiológicas Para Eliminar Materia Orgánica De Aguas Residuales,» *Contam. Ambient*, Vol. 28, N° 1, P. 10, 2012.
- [4] J. I. Montoya , L. Ceballos, J. C. Casas Y J. Morato , «Estudio Comparativo De La Remoción De Materia Orgánica En Humedales Construidos De Flujo Horizontal Subsuperficial Usando Tres Especies De Macrófitas,» *Revista Escuela De Ingeniería De Antioquia*, P. 10, 2010.
- [5] S. R. Mendonca, *Sistemas De Lagunas De Estabilización.*, McGraw Hill, 2000.
- [6] V. M. Luna Pabello Y H. F. Ramírez Carrillo, «Medios De Soporte Alternativos Para La Remoción De Fósforo En Humedales Artificiales,» *Contam. Ambient*, P. 8, 2004.
- [7] G. Correa Restrepo, H. Cuervo Fuentes, R. Mejía Ruíz Y N. Aguirre, «Monitoreo Del Sistema De Lagunas De Estabilización Del Municipio De Santa Fé De Antioquia, Colombia,» *Producción + Limpia*, Vol. 7, N° 2, P. 16, 2012.
- [8] S. Correa Torres, Y. Gamarra, A. Salazar Y N. Pitta, «Evaluación De La Remoción De Nitrógeno, Fósforo Y Sulfuros En Agua Residual Doméstica, Utilizando Phragmites Australis En Bioreactores,» *Información Tecnológica*, Vol. 26, N° 6, Pp. 89-98, 2015
- [9] P. M. Acosta Castellanos , C. A. Caro Camargo Y N. R. Perico Granados, «Análisis De Interferencia De Parámetros Físicos Del Agua, En Desinfección Por Radiación UV.,» *Revista De Tecnología.*, Vol. 14, N° 2, Pp. 105-112, 2015..
- [10] J. Martelo Y J. Lara Borrero, «Macrófitas Flotantes En El Tratamiento De Aguas Residuales; Una Revisión Del Estado Del Arte,» *Ingeniería Y Ciencia*, Vol. 8, N° 15, P. 221–243, 2012.
- [11] C. Rodríguez Pérez De Agreda, «Humedales Construidos. Estado Del Arte. (II),» *Ingeniería Hidráulica Y Ambiental*, Vol. 24, N° 3, Pp. 41-48, 2003.
- [12] R. Benítez , V. Calero, E. Peña Y J. Martín , «Evaluación De La Cinética De La Acumulación De Cromo En El Buchón De Agua,» *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial.*, Vol. 9, N° 2, Pp. 66-73, 2011.
- [13] A. M. D. V. Boyacá, *Esquema De Ordenamiento Territorial De Ventaquemada.*, 2010.
- [14] N. R. Perico Granados, C. Caro Camargo Y L. N. Garavito Rincón, «El Proyecto En La Investigación Formativa,» *In Vestigium Ire*, Vol. 9, Pp. 166-174, 2015.
- [15] M. Espigares García Y J. Peréz Lopéz, «Aspectos Sanitarios Del Estudio De Las Aguas,» *Universidad De Granada*, P. 22, 1985.
- [16] UNESCO.
- [17] A. A. Jiménez, «Determinación De Los Parámetros Físico-Químicos De Calidad De Las Aguas,» *Universidad Carlos III*, P. 12, 2008.
- [18] Hidritec, «Hidritec,» 2006. [En Línea]. Available: <http://Www.Hidritec.Com/Hidritec/Tratamiento-De-Aguas-Residuales-Y-Disminucion-De-Dqo>. [Último Acceso: 15 10 2018].
- [19] A. Z. L. Elena Y M. G. R. Gabriel, «Determinación De Sólidos Totales, Suspendidos Sedimentados Y Volátiles, En El Efluente De Las Lagunas De Oxidación Situadas En La Parroquia Colón, Cantón Portoviejo, Provincia De Manabí, Durante El Período De Marzo A Septiembre 2013,» *Universidad Técnica De Manabí, Ecuador*, 2013.
- [20] Orarbo, «Observatorio Regional Ambiental Y De Desarrollo Sostenible Del Río Bogotá,» [En Línea]. Available: <http://Www.Orarbo.Gov.Co/Es/>

- Indicadores?Id=1306&V=L. [Último Acceso: 8 Octubre 2018].
- [21] W. F. Amaya Y Ó. A. Cañón, «Control De Ph Para Planta De Tratamiento De Aguas Residuales,» *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, P. 6, 2004.
- [22] G. Rivas Mijares, «Tratamiento De Aguas Residuales,» *2ª Ed. Ediciones Vega*, P. 14, 1978.
- [23] G. C. D. Rojas, «Análisis Y Administración Financiera,» P. 14, 2002.
- [24] J. A. R. Rojas, «Tratamiento De Aguas Residuales (Teoría Y Principios De Diseño),» *Editorial Escuela De Ingeniería*, P. 2013, 2015.
- [25] R. S. Fonfria, «Ingeniería Ambiental (Contaminación Y Tratamientos),» *Editorial Alfaomega*, P. 10, 2005.
- [26] M. D. A. Y. D. Sostenible, «Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico. (RAS),» De *Título E: Tratamiento De Aguas Residuales*, 2000.
- [27] M. D. A. Y. D. Sostenible, Decreto 1076, 2015.
- [28] UNESCO, «Programa Mundial De Evaluación De Los Recursos Hídricos. El Agua En Un Mundo En Constante Cambio,» *Un Water*, 2006.
- [29] C. E. Carvajal Arias, P. Ortiz Y A. L. Vega Beltrán, «Propuesta De Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas Implementando Un Humedal Artificial De Flujo Subsuperficial Empleando Bambusa Sp En La Finca El Recreo Ubicada En Tauramena, Casanare,» *Revista De Tecnología*, Vol. 16, Nº 1, Pp. 65-76, 2017.
- [30] Metcalf-Eddy, «Tratamiento Y Depuración De Aguas Residuales,» *Ed. Labor, S.A. Barcelona*, P. 12, 1977.

---

## Los Autores



### **Iván Darío Araque Niño**

---

Ingeniero Civil egresado de la universidad Santo Tomás en el año 2018.

Ivan.araque@usantoto.edu.co



### **Monica Carolina Britto Aponte**

---

Ingeniera civil egresada de la universidad Santo Tomás en el año 2018.

Monica.britto@usantoto.edu.co



### **Néstor Rafael Perico Granados**

---

Ph.D en Educación, Magister en Educación, Ingeniero civil, Docente, Investigador.

Nestorrafaelpericogranados@gmail.com



### **Luz Anela Cuellar Rodríguez**

---

Doctora en Ciencias Biológicas- Universidad Nacional e la Plata, Buenos Aires – Argentina.

Luz.cuellar@usantoto.edu.co