



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE  
INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**TEMA**

**Evaluación de la eficiencia del carbón activado procedente  
del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para  
su uso en remoción de contaminantes en  
agua de pozo**

**AUTOR**

**Bélgica Alexandra Tutivén Ramón**

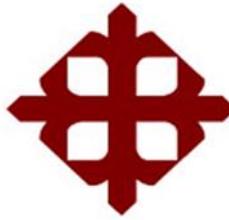
**Componente Práctico de Examen Complexivo previo a la  
obtención del Título de  
INGENIERA AGROINDUSTRIAL**

**TUTOR**

**Dra. Ema Moreno Veloz, M. Sc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**Septiembre de 2020**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente Componente Práctico de Examen Complexivo fue realizado en su totalidad por **Tutivén Ramón Bélgica Alexandra**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniera Agroindustrial**.

**TUTORA**

---

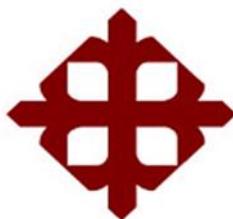
**Dra. Ema Moreno Veloz, M. Sc.**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

**Ing. Franco Rodríguez, John Eloy, Ph. D.**

**Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2020**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, TUTIVÉN RAMÓN BÉLGICA ALEXANDRA**

**DECLARO QUE:**

El presente Componente Práctico de Examen Complexivo, **Evaluación de la eficiencia del carbón activado procedente del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para su uso en remoción de contaminantes en agua de pozo** previo a la obtención del título de **Ingeniera Agroindustrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

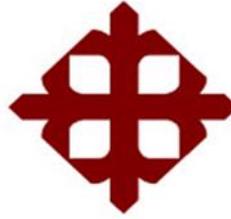
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Componente Práctico de Examen Complexivo referido.

**Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2020**

**AUTORA**

---

**Tutivén Ramón Bélgica Alexandra**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Tutivén Ramón Bélgica Alexandra**

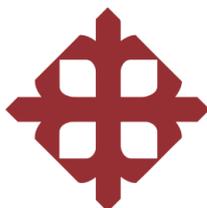
Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución la propuesta del Componente Práctico de Examen Complexivo, **Evaluación de la eficiencia del carbón activado procedente del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para su uso en remoción de contaminantes en agua de pozo**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2020**

**AUTORA**

---

**Tutivén Ramón Bélgica Alexandra**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**CERTIFICACIÓN URKUND**

La Dirección de las Carreras Agropecuarias revisó el Componente Práctico del Examen Complexivo “**Evaluación de la eficiencia del carbón activado procedente del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para su uso en remoción de contaminantes en agua de pozo**”, presentada por la estudiante **Tutivén Ramón Bélgica Alexandra**, de la carrera de **Ingeniería Agroindustrial**, obtuvo el resultado del programa URKUND el valor de 0 %, considerando ser aprobada por esta dirección.

URKUND	
Documento	<a href="#">Tutiven Ramón, B., Examen complexivo UTE A 2020.docx</a> (D78789870)
Presentado	2020-09-08 12:01 (-05:00)
Presentado por	belannie97@outlook.es
Recibido	noelia.caicedo.ucsg@analysis.orkund.com
	0% de estas 44 páginas, se componen de texto presente en 0 fuentes.

**Fuente:** URKUND-Usuario Caicedo Coello, 2020

Certifican,

---

**Ing. John Franco Rodríguez, Ph. D.**  
Director Carreras Agropecuarias  
UCSG-FETD

---

**Ing. Noelia Caicedo Coello, M. Sc.**  
Revisora - URKUND

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Dra. Ema Moreno Veloz, por acompañarme durante todo el desarrollo de este documento y saber guiarme con paciencia para su término, siento gratitud hacia ella y mucho respeto.

Al Ing. Víctor Chero e Ing. Alberto Peñalver, por contar con su apoyo profesionalmente cuando lo necesité.

A mis futuros colegas, compañeros y amigos, que indefinidamente conté con su soporte durante todo el proceso de formación de la carrera.

A Gabriela, por acompañarme en mis días estresantes, y alegrarlos con su carisma y alentarme a seguir adelante.

A los docentes de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, que, con sus imparticiones de conocimientos y enseñanzas me ayudaron a capacitarme para luego poder llegar a ejercerme como una excelente profesional.

**Tutivén Ramón Bélgica Alexandra**

## **DEDICATORIA**

A la mujer que me ha apoyado e impulsado en cada uno de mis pasos, aceptando mis decisiones, mi madre Mariana Ramón, y conjuntamente con ella, mi padre, mis hermanos y hermana.

**Tutivén Ramón Bélgica Alexandra**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**Dra. Ema Moreno Veloz, M. Sc.**

TUTORA

---

**Dr. Franco Rodríguez, John Eloy, Ph. D.**

DIRECTOR DE CARRERA

---

**Ing. Noelia Carolina Caicedo Coello, M. Sc.**

COORDINADORA DEL UTE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**CALIFICACIÓN**

---

**Dra. Ema Moreno Veloz, M. Sc.**

TUTORA

## ÍNDICE GENERAL

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
1.1	Objetivos.....	3
1.1.1	Objetivo general.....	3
1.1.2	Objetivos específicos.....	3
1.2	Hipótesis.....	3
1.3	Justificación.....	4
<b>1</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
2.1	Residuos agroindustriales.....	5
2.2	Plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> L.).....	6
2.2.1	Residuos del plátano.....	7
2.2.1.1	Pseudotallo.....	7
2.2.1.2	Raquis.....	7
2.2.2	Características de la planta del plátano.....	7
2.3	Propiedades de la materia prima para obtener carbón activado.....	9
2.4	Carbón activado (CA).....	11
2.4.1	Porosidad.....	12
2.5	Activación de las materias primas.....	13
2.5.1	Temperatura.....	15
2.5.2	Adsorción del CA.....	16
2.5.3	Aplicación del CA.....	18
2.5.4	Caracterización del CA.....	19
2.5.5	Índice azul de metileno.....	20
2.5.6	Índice de yodo.....	21
2.5.7	Cenizas.....	21
2.6	Agua.....	21
2.6.1	Calidad del agua.....	21
2.7	Características físicas y químicas del agua.....	24
2.8	Características físicas del suelo de la isla Santa Cruz.....	27

2.9 Microcuenca Pelikan Bay .....	28
2.10 Recurso del agua en Santa Cruz .....	29
2.11 Agua destinada a consumo humano y doméstico .....	32
2.11.1 Conservación de muestras. ....	34
2.12 Filtración.....	35
2.12.1 Filtración en medio granular. ....	36
2.13 Eficiencia económica.....	37
<b>2 MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>39</b>
3.1 Ubicación del ensayo .....	39
3.2 Condiciones climáticas de la zona .....	39
3.3 Materiales y equipos .....	39
3.3.1 Material orgánico. ....	39
3.3.2 Equipos.....	40
3.3.3 Materiales. ....	40
3.3.4 Reactivos. ....	40
3.3.5 Tecnológico. ....	41
3.4 Tipo de investigación.....	41
3.5 Unidad de estudio .....	41
3.6 Unidad de análisis .....	42
3.6.1 Población. ....	42
3.6.2 Muestreo y conservación. ....	42
3.6.3 Ubicación de captación.....	43
3.7 Método .....	43
3.7.1 Materia prima.....	43
3.7.2 Impregnación. ....	43
3.7.3 Activación química.....	43
3.7.4 Proceso de elaboración del carbón activado. ....	44
3.7.4.1 Diagrama de flujo de elaboración del CA.....	45
3.7.5 Rendimiento de la materia prima.....	45
3.7.6 Filtro.....	46

3.7.6.1 Procedimiento para la elaboración del filtro. ....	48
3.7.6.2 Esquema del filtro.....	49
3.7.7 Conservación de muestras del agua.....	49
3.7.7.1 Obtención de la muestra de agua. ....	49
3.7.8 Requisitos para agua potable. ....	50
3.8 Método estadístico .....	50
3.8.1 Diseño experimental .....	50
3.9 Variables a evaluar.....	50
3.9.1 Variable independiente. ....	51
3.9.2 Variable dependiente.....	51
3.9.3 Análisis de la varianza. ....	51
3.10 Análisis funcional.....	52
3.11 Tratamientos en estudio.....	53
3.11.1 Unidad experimental. ....	53
3.12 Operacionalización de variables.....	54
3.12.1 Variables cuantitativas: pseudotallo de plátano. ....	54
3.12.1.1 Determinación de pérdida de humedad. ....	54
3.12.1.2 Determinación de ceniza total. ....	54
3.12.2 Variables cuantitativas: físicas y químicas del carbón activado. 55	
3.12.2.1 Determinación de índice de yodo. ....	55
3.12.2.2 Determinación de adsorción de azul de metileno.....	56
3.12.2.3 Determinación de humedad. ....	57
3.12.2.4 Determinación de ceniza. ....	57
3.12.2.5 Determinación de dureza. ....	58
3.12.2.6 Determinación del pH.....	59
3.12.3 Variables cuantitativas: agua de pozo y agua filtrada.....	59
3.12.3.1 Determinación de hierro. ....	59
3.12.3.2 Determinación de plomo. ....	60
3.12.3.3 Determinación de la dureza total.....	60
3.12.3.4 Determinación de la carga microbiana. ....	61
3.12.3.5 Turbiedad. ....	61
3.12.3.6 pH.....	62

3.12.4 Variables cualitativas para el agua de pozo y filtrada. ....	62
3.12.4.1 Color.....	62
3.12.4.2 Olor. ....	62
3.12.4.3 Sabor.....	63
3.13 Eficiencia del filtro .....	63
3.14 Análisis costo/beneficio .....	63
<b>4 DISCUSIÓN .....</b>	<b>68</b>
<b>5 RESULTADOS ESPERADOS.....</b>	<b>71</b>
5.1 Académico.....	71
5.2 Técnico.....	71
5.3 Económico.....	71
5.4 Participación ciudadana .....	72
5.5 Científico .....	72
5.6 Tecnológico .....	72
5.7 Social.....	72
5.8 Ambiental .....	72
5.9 Cultural.....	73
5.10 Contemporáneo.....	73
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de la planta de plátano .....	9
Tabla 2. Composición química del pseudotallo de plátano .....	11
Tabla 3. Aplicaciones basadas en el carbono ( <i>primera parte</i> ) .....	17
Tabla 4. Aplicaciones basadas en el carbono ( <i>segunda parte</i> ) .....	18
Tabla 5. Características de las fuentes de agua en Santa Cruz .....	31
Tabla 6. Metales pesados presentes en Pozo Profundo.....	34
Tabla 7. Análisis de calidad del agua del Pozo Profundo .....	34
Tabla 8. Características de grava para prefiltros verticales .....	47
Tabla 9. Calidad del agua filtrada y no filtrada .....	51
Tabla 10. Carbón activado granular .....	51
Tabla 11. Niveles de tratamiento .....	53
Tabla 12. Unidades experimentales.....	53
Tabla 13. Requisitos físicos y químicos del CA granular .....	55
Tabla 14. Requisitos físicos y químicos para agua potable .....	59
Tabla 15. Requisitos físicos y químicos para agua potable .....	62
Tabla 16. Costo de materiales para obtención de CA.....	64
Tabla 17. Costo de materiales directo para elaboración del filtro .....	64
Tabla 18. Costo de materiales indirectos.....	65
Tabla 19. Costo de mano de obra.....	66
Tabla 20. Gastos de producción .....	66

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Esquema de una planta de plátano .....	8
Gráfico 2. Grupos funcionales del carbón .....	12
Gráfico 3. Características de la activación física y química .....	14
Gráfico 4. Características del suelo y clima de la Isla Santa Cruz .....	28
Gráfico 5. Estructura de la microcuenca Pelikan Bay .....	29
Gráfico 6. Composición química del acuífero Pozo Profundo .....	32
Gráfico 7. Nivel de contaminación del recurso hídricos en Santa Cruz. ....	33
Gráfico 8. Asignación eficiente de recursos .....	37
Gráfico 9. Locación del ensayo .....	39
Gráfico 10. Fases de la elaboración del C.A. ....	45
Gráfico 11. Bosquejo de medio filtrante .....	49

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto es evaluar la efectividad del carbón activado (CA) procedente del pseudotallo del plátano (PP), variando el tamaño de las partículas, para determinar su porcentaje de remoción de contaminantes en agua del Pozo Profundo (APP) de la Isla Santa Cruz. Será una investigación descriptiva; los datos se evaluarán con el Análisis de Varianza. Se diseñarán 3 filtros con 100 g de carbón activado cada uno con tamaños de poros de 1.70, 1.18 y 0.60 mm. El CA se obtendrá por método químico, empleando ácido fosfórico al 85 % con una relación de impregnación 1:1, a 600 °C por 2 horas. La captación del APP se realizará los días lunes, miércoles y viernes a las 10h00 y 15h00 durante 7 semanas. Las variables cualitativas (olor, sabor, color del agua filtrada (AF) y no filtrada (ANF)) serán evaluadas en términos no numéricos. Comparando los resultados con la norma NTE INEN 1108, para las variables cuantitativas se estima obtener valores de pH 9.0 (CA), 7.3 (ANF); humedad 5.890 % (PP), 9.8-12.75 % (CA); ceniza 16.290 % (PP), 19.24 % (CA); dureza 89 % (CA), 154 mg/L (ANF), 30.18 – 40.24 mg/L (AF); adsorción de azul de metileno de 778 m<sup>2</sup>/g (CA), índice de yodo 740 mg/g (CA); hierro 0.7 mg/L (ANF), 0.01 mg/L (AF); plomo 0.01 mg/L (ANF), plomo 99.91 % (AF), coliformes fecales 0 UFC/100 mL (ANF), 18.67 – 110 UFC/ 100 mL (AF); turbiedad 0.36 NTU (ANF), 0.319 – 0.72 NTU (AF). El análisis de Beneficio/Costo demostrará la viabilidad del proyecto.

**Palabras clave:** agua de pozo, carbón activado, eficiencia.

## ABSTRACT

The objective of this investigation project will be to evaluate the effectiveness of activated carbon (AC) from the banana pseudostem (PP), varying the size of the particles to determine its percentage of pollutant removal in water from the deep well (APP) of the Island Santa Cruz. It will be a descriptive investigation in which data will be evaluated through the Analysis of Variance. Three filters will be designed with 100 g of activated carbon each with pore sizes of 1.70, 1.18 and 0.60 mm. CA will be obtained by the chemical method using 85% phosphoric acid with the 1:1 impregnation ratio at 600 ° C for 2 hours. The collection of the APP will take place on Monday, Wednesday and Friday at 10:00 a.m. and 3:00 p.m. for 7 weeks. The qualitative variables smell, taste, color of filtered (AF), and unfiltered (ANF) water will be evaluated in non-numerical terms. Comparing the results with the NTE INEN 1108 standard, for the quantitative variables it is estimated to obtain the following values: pH 9.0 (CA), 7.3 (ANF); humidity 5.890 % (PP), 9.8-12.75 % (CA); ash 16.290 % (PP), 19.24 % (CA); 89 % hardness (CA), 154 mg / L (ANF), 30.18 - 40.24 mg / L (AF); methylene blue adsorption 778 m<sup>2</sup> / g (CA), iodine number 740 mg / g (CA); iron 0.7 mg / L (ANF), 0.01 mg / L (AF); lead 0.01 mg / L (ANF), lead 99.91 % (AF), fecal coliforms 0 CFU / 100 mL (ANF), 18.67 - 110 CFU / 100 mL (AF); turbidity 0.36 NTU (ANF), 0.319 - 0.72 NTU (AF). The benefit-cost analysis will demonstrate the research project feasibility.

**Key words:** well water, activated carbon, efficiency.

## 1 INTRODUCCIÓN

El metabolismo de los sistemas urbanos produce residuos que generan un impacto negativo sobre el medio ambiente. Esta dinámica es incluso más problemática en contextos de alto valor ecológico como Galápagos, donde una mala gestión de los residuos puede comprometer irreversiblemente el ecosistema (Cecchin, 2015). Actualmente, los residuos sólidos y líquidos generados por la actividad humana están ya afectando la calidad de los recursos hídricos locales, y el sistema socioeconómico local (d'Ozouville, 2007).

El no aprovechamiento neto de estos elementos orgánicos dentro de empresas y pequeños productores dificulta la eliminación de las mismas, provocando una problemática para el medio ambiente. No obstante, estas materias primas se transforman en material de interés debido a sus compuestos sintéticos, induciendo su utilidad al realizar productos de valor agregado por medio de tratamientos químicos o microbiológicos (Riera, Maldonado y Palma, 2018).

El carbón activado procedente de residuos agroindustriales presenta resultados de eficiencia en distintas aplicaciones como: remoción de metales pesados, adsorción de diferentes colorantes, eliminación de contaminantes emergentes, captación de gases contaminantes, purificación de agua potable, entre otras (Vidal, Rodríguez, Martínez, Ocampo y Barrios, 2018).

Para el tratamiento de aguas contaminadas sean residuales o naturales, el carbón activado se ha convertido en un producto altamente utilizado en medios filtrantes debido a su elevado grado de porosidad y alta superficie interna, lo que permite la retención de material inorgánico como orgánico produciendo depuración del recurso hídrico (Medina y Manrique, 2018).

La especulación sobre la calidad del agua es variada entre los conocimientos de los pobladores de Santa Cruz, permitiendo que su monitoreo sea indispensable, garantizando que el recurso hídrico sea el mejor para el consumo humano y doméstico (Andino, 2016), por eso se decidió evaluar el agua en la parroquia Bellavista utilizando un medio de filtración casero a partir de carbón activado proveniente del pseudotallo de plátano.

Por lo anteriormente expuesto, en este trabajo de investigación se plantean los siguientes objetivos:

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general.**

Evaluar la eficiencia del carbón activado procedente del pseudotallo de plátano para su utilidad en remoción de contaminantes en agua de pozo.

### **1.1.2 Objetivos específicos.**

- Caracterizar física y químicamente el pseudotallo de plátano y el carbón activado obtenido.
- Diseñar las unidades experimentales de acuerdo al tamaño de las partículas del carbón activado para la remoción de contaminantes en el agua de pozo.
- Caracterizar física, química y microbiológicamente el agua de pozo antes y después de filtrarse.
- Analizar el costo-beneficio del proceso de obtención del carbón activado.

## **1.2 Hipótesis**

El tamaño de partícula del carbón activado procedente del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) tiene influencia en la reducción de contaminantes en el agua de pozo para cumplir con los requisitos de NTE INEN 1108.

### **1.3 Justificación**

El consumo de agua implica, asegurar que cumpla los requisitos de calidad y cantidad; por lo tanto, se puede aprovechar de fuentes naturales, como pozos, ríos, quebradas entre otros, de allí que, se busca mejorar el consumo y utilización de agua del Pozo Profundo ubicado en la Isla Santa Cruz, Galápagos, Ecuador, mediante el empleo de un filtro de carbón activo que cumpla con todos los factores de calidad. Por esto es necesario desarrollar un filtro y proveer una nueva herramienta, a los moradores del sector, para filtrar el agua y convertirla en potable. De esta manera también se evitará la explotación de manantiales o abastecer a más personas con este nuevo medio de potabilización de agua (Chiclote, 2018).

# 1 MARCO TEÓRICO

## 2.1 Residuos agroindustriales

Cada vez es más frecuente los temas relacionados con el medioambiente tales como la concentración poblacional, el incremento del parque vehicular, los sistemas de transportes, los procesos industriales, que conllevan a problemas de contaminación atmosférica, afectación de la capa de ozono, deterioro y pérdida de áreas verdes, generación de residuos y desechos, entre muchos otros, considerados de interés público (Mejías, Orozco y Galáan, 2016).

Por lo tanto, el aprovechamiento de los residuos agroindustriales permite dar solución a diferentes problemáticas ambientales originadas tanto por la generación y disposición de estos residuos, así como por otros factores que son producto del desarrollo de varios sectores productivos tanto orgánicos como inorgánicos, ayudando a producir bienes biodegradables o materiales secundarios, como compost, alimento para animales, entre otros (Vargas y Pérez, 2018).

En el país se han efectuado varias opciones para aprovechar los residuos agroindustriales y adquirir beneficios que compriman el impacto ambiental; sin embargo, pese a utilizar ciertos desechos en los procesos agrícolas estos no solucionan el problema del inadecuado manejo de los residuos y por este motivo existe la necesidad de desarrollar programas que permitan la concientización del tratamiento de los mismo (Haro, Borja, y Triviño, 2017).

La preocupación para aprovechar los recursos naturales sin causar perjuicios al medio ambiente es creciente, existe una búsqueda de nuevos productos y tecnologías para optimizar los procesos reduciendo costos de producción al darle valor agregado a los residuos (Cury, Aguas, Martinez, Olivero y Chams, 2017).

## **2.2 Plátano (*Musa paradisiaca* L.)**

El plátano es una de las frutas más importantes en países desarrollados de Asia, Latinoamérica y África (Melo, Torres, Y., Serna y Torres, L., 2015). Guerrero, Aguado, Sánchez y Curt (2016) señalan que en el año 2013 se produjeron 106 millones de toneladas y que la mayoría de la producción se concentró en dos continentes, Asia (57 %) y América (26 %), pero se le conoce y consume a nivel mundial por su disponibilidad a lo largo de todo el año.

Haro, Borja y Triviño (2017) consideran que la planta de plátano es un recurso natural que no es explotado eficientemente por el cultivador, ya que una vez que produce el racimo, la planta es cortada quedando como abono para la cosecha, generándose como residuos lignocelulósicos el tallo y las hojas. La relación entre residuo y producto de plátano es de 2:1. Los residuos lignocelulósicos se dejan sobre el suelo o se llevan a vertederos a cielo abierto; en el primer caso, contribuyen a mantener la humedad del suelo y aportar materia orgánica, pero suponen un riesgo potencial de diseminación de enfermedades; y en ambos casos se generan gases de efecto invernadero al descomponerse (Guerrero et al., 2016).

Manrique y Rivera (2012), mencionan que algunos de los factores determinantes en el cultivo de las *musas* que influyen sobre la duración del periodo vegetativo son:

- Altitud: para la siembra de las *musas* está desde el nivel del mar hasta los 2.000 msnm, considerando que es la altitud adecuada;
- Temperatura: la temperatura óptima debe ser a 26 °C, siendo un factor que afecta la frecuencia de emisión de las hojas y puede alargar o acortar el ciclo vegetativo;
- Precipitación: debe estar entre 120 a 150 mm de lluvia mensual o 1.800 mm anuales para una buena producción y normal crecimiento de las plantas;

- Viento: no debe exceder de los 20 km/h porque puede producir una ruptura o rasgado de las hojas involucrando un riesgo en la producción de la planta;
- Humedad relativa: afecta el cultivo en forma indirecta favorece la incidencia de enfermedades foliares en especial las de origen fungoso;
- Luminosidad: es importante para el desarrollo de las yemas o brotes laterales, la luz existente en el trópico es suficiente para el cultivo.

### **2.2.1 Residuos del plátano.**

La agroindustrialización de este producto agrícola a nivel nacional y local produce altos volúmenes de rechazo y residuos sólidos que se generan durante las diversas etapas que hacen parte de la actividad productiva durante los períodos de precosecha y cosecha, y son utilizados principalmente como compostaje en el cultivo (Carranza, Alvarado, Méndez, Valenzuela y Solanilla, 2015).

#### **2.2.1.1 Pseudotallo.**

Es una fuente de fibra y, en especial, las especies de *Musa textilis* de Musa (abacá, manila y cáñamo) sirven para hacer ropas, cordones, hilos, forros interiores de vehículos; la fibra común que se extrae de los pecíolos secos y el pseudotallo de la planta son utilizados en la fabricación de ciertos papeles (Zamora, 2017).

#### **2.2.1.2 Raquis.**

El vástago o raquis, comúnmente se utiliza como alimento para ganado, y también pueden ser fuente de materiales fibrosos como papel, materiales de construcción y artesanías (Zamora, 2017).

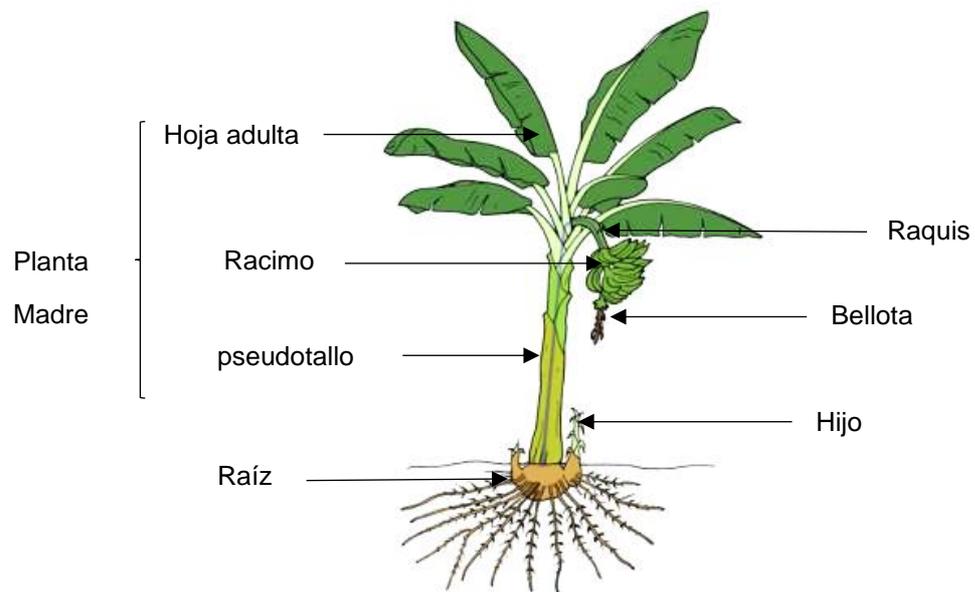
### **2.2.2 Características de la planta del plátano.**

El plátano es de tipo herbáceo gigante, el tallo verdadero es un órgano de reserva subterráneo llamado rizoma o corno y el tallo aparente es un

pseudotallo, que es el resultado de la unión de las vainas foliares; puede medir de 3 a 6 metros de altura (CENTA, 2018).

Las partes de la platanera se observan en el Gráfico 1.

**Gráfico 1.** Esquema de una planta de plátano



**Fuente:** ProMusa (2016)

**Elaborado por:** La Autora

Antes de la floración, las plantas de plátano y banano dirigen más del 50 % la materia seca hacia el pseudotallo y las hojas, lo que da origen a una parte aérea fuerte capaz de soportar posteriormente un gran racimo; en plátano, la floración contiene casi el 25 % de la materia seca total y en la cosecha solo el 10 %; mientras que en la cosecha, el 9 % de la materia seca total de la planta de plátano está en el rizoma, el 32 % en el pseudotallo, el 43 % en el racimo, 14 % en las hojas y 2 % en las raíces (Martínez, Cayón y Ligarreto, 2016).

En la Tabla 1, se describen los diferentes pesos promedio de las partes que tiene el plátano.

**Tabla 1.** Composición de la planta de plátano

<b>Característica</b>	<b>Composición</b>
Racimo (fruto)	33 kg
Pseudotallo	50 kg
Raquis	2 kg
Flor / hojas	15 kg

**Fuente:** Jiménez (2017)

**Elaborado por:** La Autora

### **2.3 Propiedades de la materia prima para obtener carbón activado**

El carbón activado es un material que se obtiene por carbonización de distintos tipos de madera o productos vegetales, casi todos los materiales que contienen un alto contenido de carbono fijo pueden ser potencialmente activados, siendo los más utilizados: el carbón (antracita, bituminoso y lignito), cáscaras de coco, madera (tanto densidad baja como alta), la turba y los residuos derivados del petróleo (Sánchez, 2018).

Flóres y Rojas (2018) afirman que las semillas de naranja y mandarina, el vástago de tomate de árbol y las cáscaras de mango, guanábana, maracuyá y plátano tienen un aprovechamiento potencial en la industria del papel, textil, alimenticia, azúcares fermentables, fabricación de biomateriales, obtención de éter y ésteres de celulosa, debido al porcentaje de celulosa presente en estos.

Arango (2018) menciona que el cuesco de palma africana, gracias a su fácil reducción de tamaño por tener una estructura densa y rígida, presentó un mayor rendimiento en masa durante la fase de separación y clasificación siendo un 61 % frente a un 31 % de masa retenida del cisco de café, en la

cual se presentó el mayor porcentaje de partículas de tamaño entre 2 y 1 mm (- 2 mm + 1 mm), las cuales por su diámetro garantizan una carbonización y activación uniforme sin limitaciones de transferencia de calor y masa durante el tratamiento térmico.

Gómez, Klose, Rincón y Wiest (2004) determinaron que las cáscaras de palma de aceite con un tamaño de grano entre 2 y 5 mm permitieron obtener buenas condiciones de reacción durante la activación y disminuir los efectos debidos a la difusión de masa dentro de la partícula para la producción de carbón activado.

Debido a que los residuos de la cosecha del plátano son ricos en almidón, éste puede extraerse para su comercialización directa o para otras aplicaciones, como el tratamiento de aguas o la polimerización (Lambis, Hernández, Morales, Marín y Pasqualino, 2015).

Misran, Maulina, Dina, Nazar y Harahap (2018) mencionan que el tallo del plátano es un residuo potencial para producir carbón activado debido a sus componentes, porque contiene 43.3 % de celulosa, 20.6 % de hemicelulosa y 27.8 % de lignina; este podría ser un buen precursor del carbono poroso en especial para bio aplicación y purificación de agua.

Murgueitio, Campo, Nirchio, Cuesta y Tocto (2019) en su estudio sobre la composición química y actividad biológica del pseudotallo de *Musa x paradisiaca* L, obtuvieron un porcentaje de humedad de 5.89 % y para cenizas de 16.29 %, debido a que el pseudotallo tiene elevado contenido de agua.

En la Tabla 2 se muestra la composición química de algunas variedades del pseudotallo de plátano.

**Tabla 2.** Composición química del pseudotallo de plátano

<b>Variedad</b>	<b>Lignina (%)</b>	<b>Celulosa (%)</b>	<b>Hemicelulosa (%)</b>	<b>Almidón (%)</b>
<i>Musa paradisiaca</i> AAB	5.2	33.8	10.5	No presenta datos
<i>Musa balbisiana</i> AB	8.57	37	21.67	No presenta datos
<i>Musa acuminata</i> AAA	18.6	63.9	1.3	3.07
<i>Musa sp</i>	12.18	28.34	15.67	3 - 5

**Fuente:** Jiménez (2017)

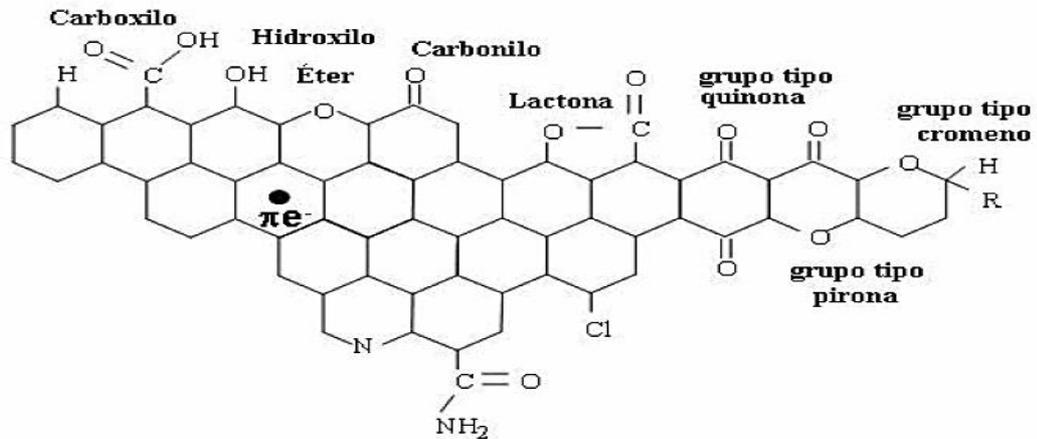
**Elaborado por:** La Autora

#### **2.4 Carbón activado (CA)**

La superficie de los carbones, en particular los átomos de carbono, en los bordes de los enlaces de su estructura molecular, poseen impurezas (heteroátomos) que pueden encontrarse combinados en mayor o menor proporción al carbono, dando lugar a 20 grupos superficiales; además, en la cara de los bordes de la estructura molecular, poseen orbitales que contienen electrones más o menos deslocalizados (Sánchez, 2018).

En el Gráfico 2 se observan los diferentes grupos funcionales del carbón (Sánchez, 2018).

**Gráfico 2.** Grupos funcionales del carbón



**Fuente:** Sánchez (2018)

#### 2.4.1 Porosidad.

Los poros son los espacios intermoleculares que se presentan en el interior de un sólido, la porosidad define el tamaño y cantidad de poros que contiene un material, los carbones activados presentan una elevada porosidad, lo que le da buenas propiedades adsorptivas al material (Agudelo, 2017).

Los mesoporos y los macroporos constituyen la superficie externa del material y juegan un papel importante en los procesos de adsorción del carbón activado, ya que actúan como poros de transporte, por otro lado la superficie interna que abarca cavidades y grietas en las paredes del CA son los microporos que conforman la parte fundamental respecto a la capacidad de adsorción del material (González, 2017).

Agudelo (2017) indica que es conveniente clasificar los poros de acuerdo a sus tamaños; así, los microporos deben tener un tamaño menor o igual a 2.0 nm; mesoporos entre 2.0 y 50 nm; macroporos mayor o igual a 50 nm.

La capacidad de remoción del carbón activado está influenciada por la superficie activa, debido a su elevado y variado grado de porosidad; sin embargo, un aspecto influyente en el proceso de adsorción lo constituye la química superficial del material adsorbente (Hernández, Otero, Falcón y Yperman, 2017).

Asimbaya, Rosas, Endara y Guerrero (2015) afirman que a menor tamaño de partícula de la materia prima, el área específica incrementa y por ende el área de contacto es mayor, lo que mejora el fenómeno de adsorción; por lo tanto, para la fracción de tamaño de 2 mm obtuvieron los siguientes valores: canelo (740 mg/g) > laurel (737 mg/g) > eucalipto (639 mg/g), mientras que para muestras con tamaño de partícula de 150-74  $\mu\text{m}$  el ordenamiento fue el siguiente: canelo (636 mg/g) > laurel (600 mg/g) > eucalipto (535 mg/g); además, la activación de carbón a partir de residuos madereros por el método químico, empleando ácido fosfórico como agente activante, arrojó valores de índice de yodo entre 450 y 505 mg/g.

## **2.5 Activación de las materias primas**

Los carbones activados son producidos por la carbonización del material, empleando altas temperaturas en ausencia de aire, utilizando activaciones tanto físicas como químicas; la activación química consiste en adicionar un agente activante al precursor antes de realizar la carbonización, con el fin de reducir la formación de materia volátil y alquitranes y, por lo tanto, evitar la obstrucción de los poros (González, 2017).

Grisales y Rojas (2016) indican que la activación con ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) implica las siguientes etapas:

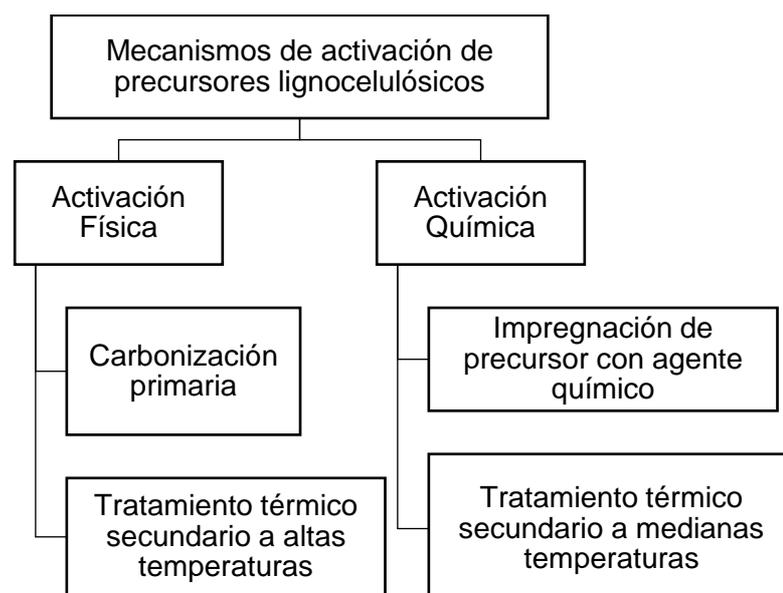
- Molienda y clasificación del material de partida;
- Mezcla del precursor con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (reciclado y fresco);

- Tratamiento térmico en atmósfera inerte entre 100 y 200 °C, manteniendo la temperatura aproximadamente 1h, seguido de un nuevo tratamiento térmico hasta 400 – 500 °C, manteniendo esta temperatura en torno a 1h;
- Lavado, secado y clasificación del carbón activado y reciclado de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>; la proporción del precursor más empleada suele ser 1:5 (aunque proporciones diferentes dan lugar a carbones con distintas propiedades) y el rendimiento en carbón suele ser del 50 %.

La activación física consiste en provocar una oxidación parcial del carbón, para lograr que se formen los poros, pero evitando que se gasifique y se pierda más carbón del necesario ocurriendo a temperaturas que están entre los 600 y los 1 100 °C (Farrera et al., 2017).

En el Gráfico 3 se describen los mecanismos de activación.

**Gráfico 3.** Características de la activación física y química



**Fuente:** Vidal et al. (2018)

**Elaborado por:** La Autora

Vidal et al. (2018) plantean que los métodos de preparación influyen en las características de textura de los carbones activados; siendo la activación química con ácido fosfórico, el agente químico ampliamente usado para la síntesis de carbones activados que conduce a propiedades texturales deseadas.

Primera, Colpas, Meza y Fernández (2011) mencionan en su estudio que la carbonización causó una pérdida significativa de peso, mayor del 62 % del peso del bagazo y del zuro; de igual forma, el tratamiento de los carbones activados con ácido nítrico causó una pérdida de peso mayor del 50 % originada por el tratamiento térmico de los carbones activados, siendo menor que la ocasionada por las oxidaciones con ácido nítrico y peróxido de hidrógeno; lo anterior indica que los agentes oxidantes en el proceso de oxidación debilitaron las paredes de los poros generando pérdida de carbón en la matriz carbonosa.

Por otro lado, Bernal (2017) considera, en lo que respecta al tiempo de contacto y relaciones de impregnación del adsorbato y adsorbente, que en la mayor parte de los sistemas, un incremento en estas condiciones favorece directamente la captación de los metales, vale aclarar que dicho precepto puede ser afectado por el tamaño del ión y la estructura del poro del carbón activado, por lo que dentro de los tratamientos de aguas residuales se prefieren sólidos que presenten estructuras mesoporosas a pesar de contar con menos área superficial que aquellas microporosas (estas últimas pueden sufrir saturaciones sobre las paredes de los poros inhibiendo o disminuyendo el porcentaje de remoción de los contaminantes).

### **2.5.1 Temperatura.**

En la investigación de Plaza (2015) se indica que dependiendo del tipo de precursor y agente activante, la carbonización/activación de dicha mezcla puede realizarse desde los 200 °C hasta los 1 000 °C, si bien usualmente, por

el tipo de agente activante y precursor involucrados, se realiza entre 450 a 600 °C.

Ghani, Yusoff y Andas (2016) señalan que el efecto del tiempo de activación en el rendimiento del producto para la producción de carbón activado a partir de pseudotallo de plátano mostró una muy buena característica superficial y una estructura microporosa bien desarrollada, con una relación de impregnación 1:2, a temperatura de 600 °C durante 60 min.

Danish et al. (2018) en su investigación de optimización de la producción de carbono activado por tronco de banano para tratamiento de aguas contaminadas con azul de metileno, arrojó que los puntos óptimos para el tiempo y temperatura de activación del agente deshidratante es de 51 min a 774 °C, con una concentración de 5.09 mol/L; en estas condiciones, el carbón activado preparado a partir del tronco del plátano debería tener capacidad máxima de adsorción de 64.66 mg/g.

### **2.5.2 Adsorción del CA.**

Las propiedades adsorbentes del carbón activado fueron utilizadas por los egipcios desde hace más de 3 500 años donde empleaban los carbones obtenidos de la madera para la potabilización del agua y en aplicaciones en el campo de la medicina; hoy en día, los CA se usan como decolorantes y desodorizantes en la industria alimentaria; como catalizadores y purificadores en la industria química y farmacéutica; en la industria extractiva, por sus propiedades eléctricas, en electrodos de baterías y en dispositivos de almacenamiento de energía (Filippín, Luna, Pozzi y Pérez, 2017).

El fenómeno de adsorción se puede ver afectado de manera positiva o negativa, por ciertas variables como la temperatura, pH, tamaño de partículas o simplemente por la presencia de otros iones (Tejada, Villabona y Garcés, 2015).

Rodríguez, Salinas, Ríos y Vargas (2012) en su estudio sobre la remoción del cromo presente en las aguas resultantes de la curtición, evaluaron la cascarilla de arroz transformada en ceniza y carbón con ácido fosfórico e hidróxido de sodio como agentes activantes; obtuvieron que el carbón activado a una temperatura de 600 °C, con un tiempo de activación de 30 minutos y una concentración de la solución de 1 % p/p de NaOH presentó el mayor porcentaje de remoción de cromo (72.8 %) comparado con el de la cascarilla de arroz activada con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (54.5 %) y el de la ceniza de cascarilla de arroz (49.2 %).

En la industria, los adsorbentes carbonosos se clasifican a menudo por sus distribuciones de poro y radio en carbón activado, coque activado y tamices moleculares de carbono, en la Tabla 3 y 4 se describen algunas aplicaciones y características de los carbonos en fase líquida y de datos típicos (Grisales y Rojas, 2016).

**Tabla 3.** Aplicaciones basadas en el carbono (*primera parte*)

<b>Adsorbente</b>	<b>Carbón activado, poro fino</b>	<b>Carbón activado poro medio</b>	<b>Carbón activado poro ancho</b>	<b>Coque activado</b>
<b>Aplicación</b>	Decloración, la eliminación de microcontaminantes, recuperación de oro, descafeinado	Purificación de aguas potables y residuales	Decoloración, depuración de aguas	Deozonización, la eliminación de manganeso y hierro
<b>Densidad compactada, * kg/m<sup>3</sup></b>	400 – 500	350 – 450	300 – 400	500 – 600

**Fuente:** Grisales y Rojas (2016)

**Elaborado por:** La Autora

**Tabla 4.** Aplicaciones basadas en el carbono (*segunda parte*)

<b>Adsorbente</b>	<b>Carbón activado, poro fino</b>	<b>Carbón activado poro medio</b>	<b>Carbón activado poro ancho</b>	<b>Coque activado</b>
<b>Densidad aparente, *</b> <b>kg/m<sup>3</sup></b>	800	700	600	900
<b>Densidad real * kg/m<sup>3</sup></b>	2100 – 2200	2100 – 2200	2100 – 2200	1900
<b>Superficie específica, m<sup>2</sup>/g</b>	1000 – 1200	1200 – 1400	1000 – 1500	< 400
<b>Calor específico, J/kg. K</b>	850	850	850	850

**Fuente:** Grisales y Rojas (2016)

**Elaborado por:** La Autora

### **2.5.3 Aplicación del CA.**

El carbón activado es excelente en retener firmemente moléculas pesadas tales como compuestos orgánicos aromáticos, siendo un imán que mantiene las impurezas en su superficie, diferenciándose de aquellos que actúan como una esponja en el proceso de absorción, en el cual un gas o líquido es succionado hasta el centro del cuerpo poroso manteniéndolo allí; el CA, también es conocido por su extraordinaria habilidad en eliminar el cloro, sabor y olor considerando que dentro de aplicación en filtros éstos eliminan los compuestos orgánicos volátiles (COV<sub>s</sub>), los pesticidas y herbicidas, los compuestos con trihalometano, radón, los solventes y otros productos hechos por hombre y que se suelen encontrar en las aguas (Chiclote, 2018).

#### **2.5.4 Caracterización del CA.**

Pereira, Cedeño, Romeros y Matamoros (2017) indican que la caracterización de los carbones activados depende de la naturaleza de los materiales de partida, las condiciones utilizadas en el proceso de obtención, el tipo de activante elegido y del tratamiento final del producto.

Feijoo, De la Torre y Uribe (2019) en su estudio de determinación de la capacidad de adsorción del complejo oro-cianuro en compósitos de carbón activado-vidrio, evaluaron el carbón activado o de alta activación CAA de cuesco de palmiste, a fin de mejorar su dureza granular, obtuvieron resultados de 89 % en la dureza del carbón.

Burgos y Jaramillo (2015) en su investigación sobre el aprovechamiento de los residuos de las cáscaras de cacao y coco para la obtención de carbón activado, obtuvieron un rendimiento de CA mayor (36.8 %) a partir de la cáscara de coco que de cacao (30 %); además, los resultados de los análisis de humedad y cenizas totales para coco fueron 9.84 % y 12.75 %, en el cacao de 15.41 % y 27.12 %, respectivamente, indicando que el CA de coco cumplía con los requisitos de humedad y cenizas totales para carbón activado en polvo y el CA del cacao estaba fuera del rango.

Para describir la interacción entre el contaminante y el material adsorbente y cuantificar la capacidad de adsorción en el equilibrio de los carbones pueden usarse los modelos de isothermas de Langmuir y Freundlich (Ramírez, Giraldo, Flórez y Acelas, 2017).

Ramírez et al. (2017) señalan que el modelo de Langmuir tiene varias suposiciones, entre las que están; (i) una molécula de adsorbente ocupa un solo sitio de adsorción sobre una superficie homogénea; (ii) cuando todos los sitios de adsorción están ocupados el adsorbente se satura (con una capacidad máxima de retención de sólidos) y no habrá más adsorción, donde

el adsorbato forma una superficie de espesor de una sola molécula (monocapa); (iii) la energía de adsorción no depende de las interacciones entre moléculas adyacentes de adsorbato, es decir no hay interacción entre ellas, siendo la siguiente ecuación el que describe este modelo.

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_m K_L} + \frac{C_e}{Q_m}$$

Donde:

$C_e$  = concentración de azul de metileno (AM) en el equilibrio (mg/L)

$Q_e$  = capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g)

$Q_m$  = indica la capacidad máxima de adsorbato (mg/g) adsorbido en el equilibrio cuando el adsorbente está saturado.

$K_L$  = constante es proporcional a la energía de adsorción (L/g)

En el modelo de Langmuir por medio del factor de separación adimensional también se puede decir si el proceso de adsorción es favorable, lineal, desfavorable o irreversible, siendo el factor de separación adimensional ( $R_L$ ) el cual se calcula mediante la siguiente ecuación (Ramírez et al., 2017).

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_i}$$

Donde:

$R_L$  = factor de separación adimensional

$K_L$  = constante de Langmuir

$C_i$  = concentración inicial de AM

### **2.5.5 Índice azul de metileno.**

El índice de azul de metileno es el número de miligramos de azul de metileno decolorado por 0.1 g de carbón activado. Es un método rápido para conocer la capacidad de adsorción de un carbón activado frente a moléculas grandes (Rojas, Gutiérrez y Colina, 2016).

### **2.5.6 Índice de yodo.**

El método de índice de yodo se efectuará de acuerdo a la norma ecuatoriana NTE INEN 1988 (1995), la cual establece que el número de yodo se define como los miligramos de yodo adsorbidos por un gramo de carbón, cuando la concentración del yodo filtrado residual es 0.02 N.

### **2.5.7 Cenizas.**

Todas las materias primas utilizadas para la producción de carbones activados contienen componentes minerales que se concentran durante el proceso de activación; los productos químicos inorgánicos empleados en la activación química a menudo se eliminan sólo de forma incompleta dando como resultado que el contenido de ceniza de muchos productos se reducen por el agua o el lavado con ácido: por lo tanto, los productos comerciales contienen desde unas pocas décimas de porcentaje hasta un 20 % de cenizas considerando que los principales constituyentes son las sales de los metales alcalinos y alcalinotérreos, en su mayoría carbonatos y fosfatos, junto con óxidos de silicio, hierro y aluminio (Grisales y Rojas, 2016).

## **2.6 Agua**

Más del 40 % de la población mundial vive en regiones costeras y a orillas de lagos o ríos; zonas que se encuentran entre los entornos más sensibles produciendo que el nivel de tratamiento requerido del recurso hídrico para el consumo humano, la agricultura, la ganadería y la industria requieran una comprensión de la calidad de las fuentes de agua (Gholizadeh, Melesse y Reddi, 2016).

### **2.6.1 Calidad del agua.**

El seguimiento de la calidad de agua es cada vez más necesario, no solo en cuanto a las necesidades de consumo humano, agronómico e industrial, sino también para el buen funcionamiento de los ecosistemas naturales (Delegido et al., 2019).

En Ecuador se formuló la Estrategia Nacional de la Calidad del Agua (2016), alineándose a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, con el fin de mejorar y proteger la calidad de los recursos hídricos, sus ecosistemas, la calidad de vida de la población, la seguridad alimentaria, así como el control y vigilancia de los agentes contaminantes de las fuentes naturales a nivel nacional.

El artículo 57 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua N° 305 (2014), explica que la calidad del agua es un derecho humano de todos, por lo cual consiste en, *“disponer de agua limpia, suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura”*; de igual forma, *“el acceso al saneamiento ambiental que asegure la dignidad humana, la salud, evite la contaminación y garantice la calidad de las reservas de agua para consumo humano”*.

Castillo (2015) evaluó el funcionamiento de un filtro de arena y carbón activado en el sitio La Pereira parroquia La Avanzada cantón Santa Rosa, durante aproximadamente siete semanas, obteniendo una disminución en la turbiedad del agua de 36.2 %, conductividad en 5.48 %, sólidos totales en 4.60 %, hierro total en 66.67 % y coliformes fecales, responsables de transmitir enfermedades de origen hídrico, en un 72.11 %; en cambio, para fosfatos y manganeso, el filtro presentó una ineficiencia, puesto que ambos elementos aumentaron su porcentaje cerca del 10 %.

Chiclote (2018) en su investigación sobre mejora de la calidad del agua del río Cumbe empleando filtro de carbón activado desarrolló dos medios filtrantes, siendo A (piedra grande, gravilla, carbón activado) y B (piedra grande, gravilla, arena gruesa, carbón activado), obteniendo como resultados que el filtro B fue el más eficiente con valores de turbidez de 0.72 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez), pH de 8.25, color de 5 UC y

coliformes totales de 110 ufc/mL para el agua filtrada, cumpliendo con los requisitos físicos y químicos de los estándares de calidad ambiental y del reglamento de la calidad del agua peruana; los parámetros microbiológicos disminuyeron los valores en una gran proporción hasta la toma de la última muestra.

Carrillo y Sánchez (2013) mencionan que la dureza total del agua potable utilizada en los laboratorios de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador estuvo clasificada como agua dura de acuerdo a los valores obtenidos entre 241.44 y 301.8 mg/L, antes de su filtración; luego de pasar por los tres filtros de carbón activado, disminuyeron entre 30.18 y 40.24 mg/L.

Por otro lado, Dudamel y Rivero (2015) señalan que para garantizar la máxima capacidad de adsorción en un filtro, se debe tener una altura de lecho de carbón activo de 32 cm; por lo tanto, al evaluar el sistema de adsorción a escala piloto en la Planta Yurubí, se observó una disminución del contenido de materia orgánica entre 80 y 90 %, así como también, una reducción significativa de aproximadamente 50 % en la formación de los trihalometanos (THM) cuando se realizó la desinfección con cloro utilizando hasta 0.5 mg/L.

Carreño, Lucas, Hurtado, Barrios y Silva (2018) evaluaron un sistema de tratamiento de aguas superficiales para consumo humano en la Microcuenca del río Carrizal, provincia de Bolívar, Ecuador, donde el uso del tratamiento con cloro después del filtrado redujo en 87 % la presencia de coliformes fecales en el agua.

Otros estudios como el de Delgado (2018), sobre la evaluación de la eficiencia de la antracita y cuarzo en la remoción de contaminación del agua de la Quebrada Malvinas, provincia de Bagua, Región Amazonas, obtuvo valores iniciales del agua de turbidez 43 NTU, color 246 Pt/Co, coliformes fecales 17 ufc/100mL, además reflejando un pH entre 6.8 y 8.2; sin embargo

luego de pasar por los cinco filtros diseñados en su investigación, el recurso hídrico se encontró en porcentajes de eficiencia en remoción de turbidez (caracterización física) con un 54.93 % y 69.70 % reducción de coliformes fecales (caracterización microbiológica), entre los cuales estuvieron por valores de 22 NTU y 4 ufc/100 mL, para el color fue de 190 Pt/Co, señalando la mejoría del agua que es suministrada en la población de Aramango.

## **2.7 Características físicas y químicas del agua**

El agua potable o destinada a bebida es un producto que debe cumplir con parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y radiológicos para ser distribuida después de someterla a procesos de tratamiento y desinfección; de igual manera, el agua proveniente de la fuente de captación (Chiclote, 2018).

Las características físicas del agua tienen directa ocurrencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del líquido, entre las cuales se consideran las siguientes: turbiedad, sólidos solubles e insolubles, color, olor, sabor, temperatura y pH (Bravo y Garzón, 2017).

La turbidez se explica como la relación que tienen los líquidos con la pérdida de transparencia, no tiene que ver con el color de la muestra, sino que está relacionada con las partículas en suspensión o material coloidal que se encuentra dentro de la muestra; además se define como la reducción de la transparencia de un líquido causada por la presencia de material no disuelto (Román, Loza, Segura y Dabirian, 2016).

En la investigación realizada por Ospina, García, Gordillo y Tovar (2016) evaluaron la turbiedad y conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima, obtuvieron valores altos que oscilaron entre 952 NTU (mayo de 2011) y 191 NTU (agosto 2010), según los registros de la bocatoma del sistema de acueducto urbano de Ibagué durante el periodo comprendido entre el 2008 y el 2012.

La determinación del contenido aproximado de las partículas en suspensión y diluidas presentes en el agua tales como arena, limos, coloides orgánicos, plancton y otros organismos microscópicos, son una prueba de contaminación física correspondiendo a la turbiedad y es considerada como un determinante de deterioro en las cuencas hídricas, así como de calidad (Ospina et al., 2016).

Por otra parte, la alcalinidad expresa la capacidad que tiene el agua de mantener su pH a pesar de recibir una solución ácida o alcalina la que es correspondiente principalmente a los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de los iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ; los más comunes son los de calcio y magnesio siendo que la alcalinidad se determina mediante la titulación con un ácido y el resultado se expresa como  $\text{mg CaCO}_3 / \text{L}$  (Pérez, 2017).

Rodríguez y Escobar (2018) evaluaron el funcionamiento de filtros de biocarbón/arcilla en la potabilización del agua, obteniendo un porcentaje promedio de remoción de plomo de 99.86 %, demostrando que el filtro de es una buena alternativa en la disminución de dicho elemento.

EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) (2020) establece que los criterios numéricos en el agua normalmente contienen parámetros específicos; expresan condiciones para medidas específicas, tales como oxígeno disuelto, temperatura, turbidez, nitrógeno, fósforo, metales pesados (como el mercurio y el cadmio) y productos químicos orgánicos sintéticos (como la dioxina y los Policlorobifenilos (PCBs), además su nivel/concentración es de  $15 \mu\text{g/L}$  y un pH superior a 5.0.

Martínez y Osorio (2018) señalan que el concepto de color es sumamente complejo, esta propiedad es una respuesta ocular a un conjunto de sensaciones interpretadas por el cerebro, que dependerán de la composición espectral de la luz con la que se ilumina y la capacidad del objeto

para absorber, reflejar, reflejar o emitir aquellas ondas electromagnéticas y de los mecanismos nerviosos a un estímulo que produce una sensación subjetiva percibida por el observador; por ende, el color en cuerpos de agua natural podría reflejar la presencia de moléculas orgánicas complejas derivadas de materias vegetales (húmicas) tales como turba, hojas, ramas entre otras. Salazar, Murillo y Oviedo (2016) mencionan que las características organolépticas, como el color de un cuerpo de agua, tienen incidencia directa sobre su estética y aceptabilidad sensorial.

Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser de compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos, algas o de descargas de desechos industriales; además, la falta de olor en aguas aptas para el consumo humano puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos, por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua (Pradillo, 2016).

La contaminación del agua por metales pesados ocasionada por vía antrópica y natural está afectando drásticamente la seguridad alimentaria y salud pública, dependiendo del tipo de metal o metaloide, se producen afecciones que van desde daños en órganos vitales hasta desarrollos cancerígenos (Reyes, Vergara, Torres, Díaz y González, 2016). Según Orta (2015), los contaminantes elementales son, en general, metales de transición como plomo, hierro y estaño.

El término dureza se ha utilizado tradicionalmente para referirse a los cationes alcalinotérreos que se hayan disueltos en el agua; cuando se denomina dureza total, se refiere a la concentración total de iones calcio y magnesio, aunque diversos iones metálicos polivalentes disueltos en el agua también son causantes de la dureza, las elevadas concentraciones de iones calcio y magnesio en comparación a los iones restantes hacen que la dureza

total, en términos analíticos, sea expresada solo por el contenido de calcio y magnesio (Capote, Matute y Rojas, 2015).

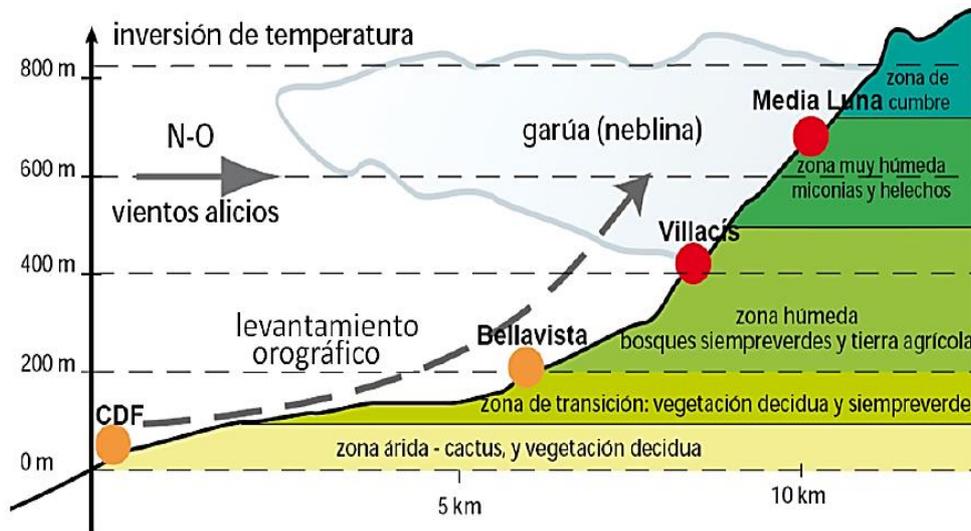
La identificación y cuantificación de microorganismos indicadores de calidad microbiológica en los ríos, acuíferos superficiales y naturales proporcionan una valiosa información; así, la presencia de elementos patógenos como los constituyentes de contaminación fecal, *Escherichia coli*, *Streptococcus faecalis*, ciertas bacterias termoresistentes y otras bacterias coliformes, constituyen un problema de salud pública que debe ser atendido por las entidades encargadas del manejo y distribución del recurso (Rivera y Ochoa, 2018).

## **2.8 Características físicas del suelo de la Isla Santa Cruz**

La estructura de la vegetación a escala local y las condiciones ambientales a escala regional, tienen influencia en la variabilidad de la trascolación, y por ende en el agua disponible para la recarga de los acuíferos; los vientos alizos llevan aire húmedo que es levantado a lo largo de la pendiente, provocando un incremento de la precipitación con la altitud (Domínguez, 2011).

En el Gráfico 4 se muestran las zonas de vegetación y el contraste climático en el lado barlovento de la Isla Santa Cruz.

**Gráfico 4.** Características del suelo y clima de la Isla Santa Cruz

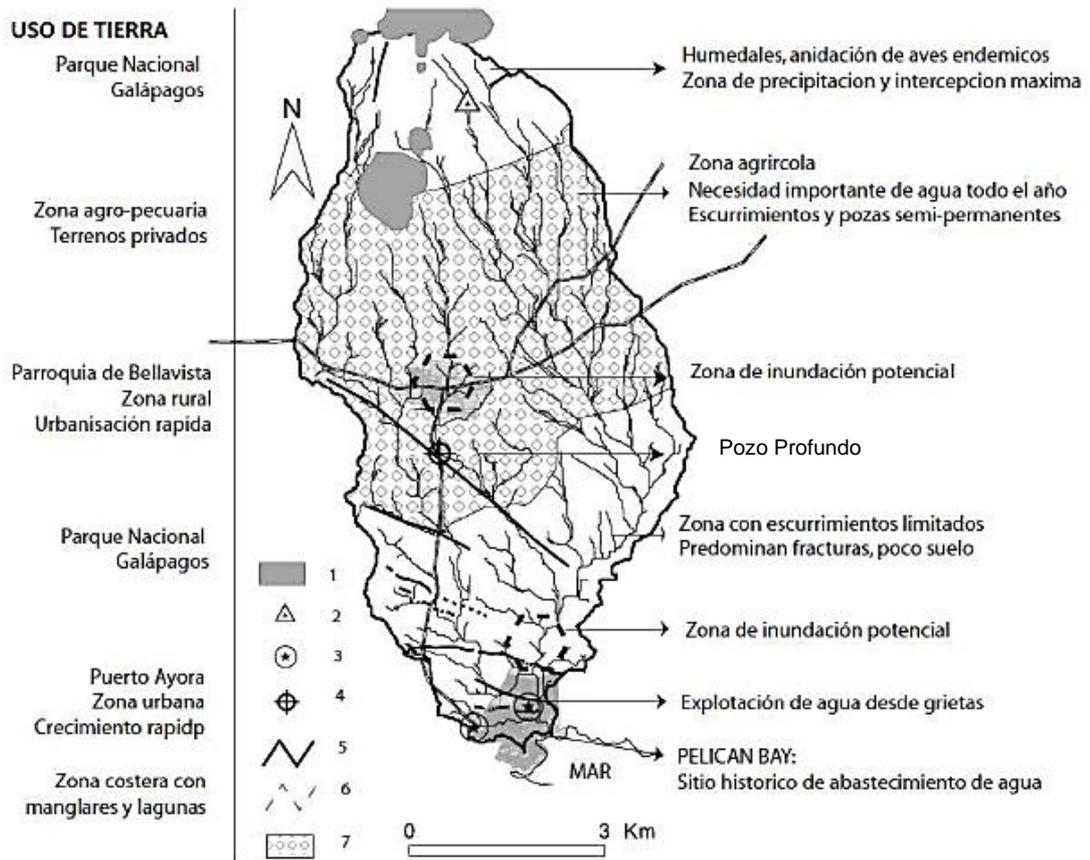


**Fuente:** Domínguez (2011)

## 2.9 Microcuenca Pelikan Bay

Domínguez (2011) afirma que la microcuenca podría ser considerada la más importante de la isla, posee una pendiente suave en la mayor parte de su longitud (desde la zona costera hasta Bellavista), la pendiente pasa a ser moderada desde Bellavista hasta el cerro Crocker. En el Gráfico 5 se puede contrastar el seguimiento de estas pendientes considerando que, en las zonas más altas, aunque las pendientes son moderadas, se puede apreciar algunos cráteres con pendientes escarpadas.

**Gráfico 5.** Estructura de la microcuenca Pelikan Bay



**Fuente:** Domínguez (2011)

**Elaborado por:** La Autora

## 2.10 Recurso del agua en Santa Cruz

En el archipiélago de Galápagos, cada isla tiene sus propias condiciones hidrológicas por lo que el agua dulce se encuentra en fuentes subterráneas, en grietas y arroyos, pudiendo variar año a año la cantidad de agua que participa en el ciclo hidrológico por la influencia de El Niño y La Niña; además los suelos de las islas son muy permeables por lo que hay una rápida infiltración y se pueden contaminar por las sustancias que penetran a través del suelo, llegando hasta las aguas subterráneas, y es debido a estas características que el agua en las islas es un recurso frágil (d'Ozouville, 2007).

El recurso hídrico constituye uno de los problemas más graves que afecta el desarrollo sustentable del Archipiélago, siendo un recurso escaso y que debido a sus pocas fuentes de agua, suelen ser sobreexplotadas o contaminadas, al ser Santa Cruz una isla de origen basáltico, sufre de falta de agua superficial debido a que la roca basáltica tiene muchas fracturas y fisuras por las que el agua se filtra fácilmente (Domínguez, 2011).

El agua dulce es un recurso dinámico, las zonas habitadas en Galápagos se establecieron y han crecido notablemente sin poner atención al manejo integrado de este importante elemento; así no se han tomado en cuenta las relaciones entre las lluvias, los escurrimientos, el agua salobre, la contaminación, la zona agrícola y los predios del Parque Nacional (d' Ozouville, 2007).

En la Tabla 5 se visualizan los destinatarios y el uso del recurso hídrico de la Isla Santa Cruz, además de su porcentaje de salinidad.

**Tabla 5.** Características de las fuentes de agua en Santa Cruz

<b>Fuente</b>	<b>Cobertura vegetal</b>	<b>Cobertura urbana</b>	<b>Salinidad</b>	<b>Usuarios</b>	<b>Uso</b>
Estación Científica Charles Darwin	Baja	Baja	6.8	ONG	Doméstico
Cementerio el Edén	Alta	Alta	--	Privados	Doméstico
Misión Franciscana (cerrada desde octubre del 2011)	Ninguna	Muy alta	1.4	Privados	Red de distribución y planta desalinizadora privada
Martin Schreyer A & B	Baja	Alta	--	Privados	Desalinización y distribución
Centro Miguel Cifuentes/ Entrada a Tortuga Bay	Alta	Baja	2.8	Privados	Desalinización y agua potable
INGALA/Pampas Coloradas	Baja	Media	1.7	Municipal	Distribución Local
La Camiseta	Alta	(Parque nacional)	2.9	Municipal	Distribución loca
Pozo Profundo	Alta	Baja	0.8	Municipal	Distribución local

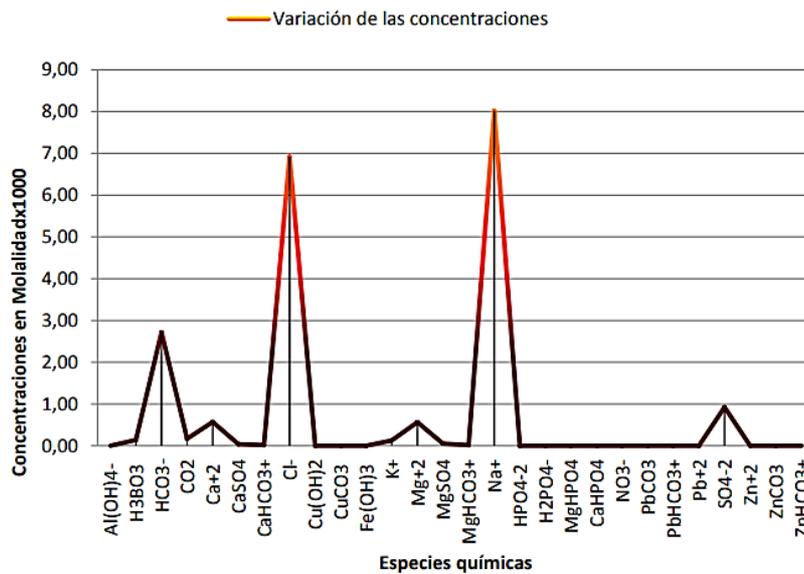
**Fuente:** Liu y d'Ozouville (2013)

**Elaborado por:** La Autora

Las concentraciones de las especies químicas, del agua subterránea del Pozo Profundo, aumentan a medida que se desciende hacia la zona litoral de Santa Cruz (Andino, 2016). En el Gráfico 6 se observan las especies

químicas predominantes del agua subterránea Pozo Profundo en la Isla Santa Cruz.

**Gráfico 6.** Composición química del acuífero Pozo Profundo



**Fuente:** Andino (2016)

### 2.11 Agua destinada a consumo humano y doméstico

En el estudio de Liu y d'Ozouville (2013) llamado "Contaminación del agua en Puerto Ayora: investigación interdisciplinaria aplicada utilizando *Escherichia coli* como una bacteria indicador", determinaron una línea base de contaminación bacteriológica del agua y la salud de la isla Santa Cruz, definiendo que sus aguas subterráneas sufren contaminación debido a que los acuíferos basales se localizan por debajo de densos asentamientos humanos, falta un efectivo tratamiento de las aguas servidas y mezcla con el agua del mar.

Se muestreó el agua de ocho grietas urbanas y periurbanas, dando como resultado que las grietas dentro de los límites urbanos contenían niveles más altos de contaminación que aquellas ubicadas en las afueras o a varios kilómetros de la población resultando que tres de los cuatro sitios de

extracción municipal presentaron niveles bajos de *E. coli* (0-10 ufc/100 mL) (Liu y d'Ozouville, 2013).

En el Gráfico 7 se muestra un mapa de la contaminación microbiológica de las fuentes de agua dentro de la Isla Santa Cruz.

**Gráfico 7.** Nivel de contaminación del recurso hídrico en Santa Cruz.



**Fuente:** Liu y d'Ozouville (2013)

Elaborado por: La Autora

En el estudio de Andino (2016) se determinaron las cantidades (mg/L) de metales pesados presentes en el agua Pozo Profundo, según la Tabla 6; por lo tanto, el agua no cumple con los requisitos de la norma NTE INEN 1108 (2011) y debe someterse a un proceso de desinfección para que sea destinada al consumo humano.

**Tabla 6.** Metales pesados presentes en Pozo Profundo.

<b>Metales pesados</b>	<b>Pozo Profundo</b>	<b>Unidad</b>
Boro	1.51	mg/L
Cobre	0.62	mg/L
Zinc	0.09	mg/L
Aluminio	0.05	mg/L
Plomo	0.01	mg/L

**Fuente:** Andino (2016)

**Elaborado por:** La Autora

EPMAPASC (Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Cruz) (2020) detalla los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos, realizados en el mes de marzo, de la fuente de agua Pozo Profundo, obteniendo valores descritos en la Tabla 7.

**Tabla 7. Análisis de calidad del agua del Pozo Profundo**

<b>Parámetros</b>	<b>Medida</b>
pH	7.3
Turbiedad	0.36 NTU
Dureza	154 mg/L
Hierro	0.07 mg/L
Coliformes fecales	0 ufc/100 mL

**Fuente:** EPMAPASC (2020)

**Elaborado por:** La Autora

### **2.11.1 Conservación de muestras.**

La norma NTE INEN 2169 (2013) establece las técnicas y precauciones generales que se deben tomar para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua.

Si se tiene lugares como vertientes, se tomará la muestra donde haya mayor caudal o corriente; se deberá homogeneizar los envases con la muestra antes de proceder al llenado final; en el caso de aguas subterráneas o aguas de un acuífero se deberá bombear el pozo antes para asegurar que nueva agua sea drenada del acuífero, si el pozo tiene una llave se debe lavar con agua destilada, desinfectarla con alcohol, luego dejar correr el agua por el lapso de 3 minutos y finalmente tomar la muestra; de igual forma para el agua bombeada dentro de la red de distribución, el punto de muestreo es un grifo conectado directamente al sistema de bombeo, repitiéndose el proceso como el de aguas subterráneas, además el tiempo de conservación no deberá exceder de 48 horas de almacenamiento sometiendo a las muestras a 4 °C (Andino, 2016).

## **2.12 Filtración**

La eficiencia del medio filtrante para remover partículas de la suspensión por acción de los mecanismos de transporte puede expresarse adecuadamente como una función de la intercepción, difusión, sedimentación y acción hidrodinámica (Delgado, 2016).

Sánchez (2017) indica que la intercepción es un tamizado que requieren las partículas; en cambio, la difusión se produce cuando las colisiones generan un movimiento Browniano, aumentando las posibilidades de que las partículas se impacten en el medio filtrante. Además, Martín, Salcedo y Font (2011) señalan que la sedimentación es la operación unitaria que consiste en separar por acción de la gravedad un sólido finamente dividido de un líquido en el que está suspendido, obteniendo un recurso hídrico más clarificado. Hernández (2014) menciona que la hidrodinámica estudia el comportamiento del movimiento de los fluidos. Todos estos procesos son esenciales para que el filtro tenga un alto grado de eficiencia y a su vez, obtener mayor capacidad de retención de sólidos.

El medio filtrante es la barrera que retiene los sólidos y deja pasar el líquido, puede ser un tamiz, tela, tejido de fibras, filtro, membranas poliméricas o un lecho de sólidos; considerando que el líquido que atraviesa el medio filtrante se denomina filtrado (Sánchez, 2004).

El Código Ecuatoriano de la Construcción de parte IX obras sanitarias (1992) establece que cuando se emplea la técnica de filtros de membrana, el número de bacterias coliformes no debe exceder a los siguientes límites:

- Uno por 100 mL, como promedio aritmético de todas las muestras analizadas durante un mes;
- Cuatro por 100 mL en más de una muestra cuando se analiza menos de 20 muestras por mes;
- Cuatro por 100 mL en más de un 5 % de las muestras por mes.

### **2.12.1 Filtración en medio granular.**

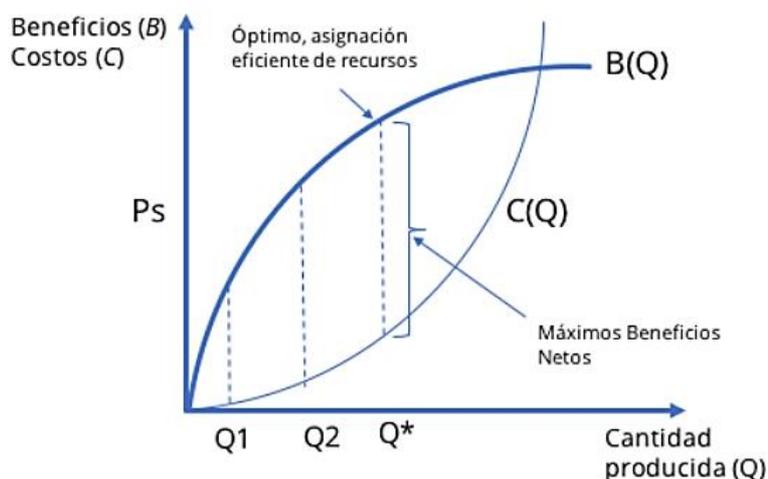
Los filtros granulares son ampliamente utilizados en el tratamiento de aguas, algunos son a base de cáscaras de nuez, cáscara de mazorca de cacao, harina de tusa de maíz inclusive de la cáscara de coco y han demostrado tener alta eficiencia de retención de hidrocarburos como en la remoción de sólidos, lo que indica el potencial de los filtros de origen vegetal para tratamiento de aguas siendo este medio filtrante el más óptimo para aplicarse en ésta investigación (Marín, Heredia y Alcarraz, 2019).

Según Sánchez (2004), la absorción del carbón activado permite eliminar los malos olores y sabores del agua mediante la separación de los compuestos orgánicos de cadena larga, tales como fenoles, disolventes, colorantes derivados aromáticos, entre otros; el principal parámetro de diseño para estos filtros es la rata de filtrado, que consiste en el volumen máximo por unidad diaria y por unidad de tiempo para los cuales el filtrado es efectivo.

### 2.13 Eficiencia económica

FAO y PNUD (2019) señalan que la eficiencia económica o eficiencia en sentido de Pareto se logra cuando ningún agente económico puede estar en una mejor situación sin empeorar la situación de otro; en el Gráfico 8 se presenta el concepto de eficiencia desde el punto de vista de una empresa, para la cual los niveles de producción  $Q_1$  y  $Q_2$  de determinado bien o servicio generan beneficios netos positivos, pero no tan grandes como el nivel de producción  $Q^*$ , que corresponde al óptimo de producción, es decir, para esa cantidad producida los recursos son asignados de manera eficiente, ya que cualquier otra asignación de sus factores de producción generaría una reducción en el nivel de beneficios netos; por lo tanto, de acuerdo al primer teorema fundamental de la economía del bienestar, los mercados funcionan en condiciones de competencia perfecta asignándose de manera eficiente los recursos disponibles.

**Gráfico 8.** Asignación eficiente de recursos



**Fuente:** FAO y PNUD (2019)

Donde:

$B(Q)$  = Producción Beneficio

$C(Q)$  = Producción Costo

$Q_1$  y  $Q_2$  = nivel producción bien o servicio

$Q^*$  = nivel de producción eficiente

Navarro (2017) menciona que para la determinación del índice beneficio/costo (B/C) se dividirá el valor de los beneficios para el valor de los costos, así:

- Si B/C es mayor a 1 el proyecto es rentable.
- Si B/C es igual a 1 no existen ganancias.
- Si B/C es menor a 1 el proyecto no es rentable.

## 2 MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Ubicación del ensayo

El presente Trabajo de Titulación, se llevará a cabo en el laboratorio de Química de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, coordenadas 2°10'59.81" S y 79°54'11.84" O.

#### Gráfico 9. Locación del ensayo



Fuente: Google Earth Pro (2019)

### 3.2 Condiciones climáticas de la zona

En Guayaquil, la temporada de lluvia es muy caliente, opresiva y nublada y la seca es calurosa, bochornosa y parcialmente nublada. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 21 °C a 31 °C y rara vez baja a menos de 19 °C o sube a más de 33 °C. La precipitación varía desde enero con bajas cantidades y aumenta en el mes de febrero a 199 mm y va de forma descendente hasta agosto a 1 mm (Weather Spark, 2020).

### 3.3 Materiales y equipos

#### 3.3.1 Material orgánico.

- Pseudotallo de Plátano

### **3.3.2 Equipos.**

- Mufla
- Desecadora
- Mortero
- Horno
- Cuchillo
- Estufa de temperatura regulable
- Balanza Analítica
- pHchmetro
- Plancha de calentamiento
- Centrífuga
- Cronómetro de precisión

### **3.3.3 Materiales.**

- Malla N° 12, 16, 30
- Frascos volumétricos, 500, 1000 mL
- Matraz erlenmeyer 250, 500 mL
- Pipetas volumétricas 10, 25, 50 mL
- Bureta volumétrica de precisión
- Pinzas para crisol
- Papel filtro Watman N° 2
- Cápsulas de aluminio y porcelana
- Espátula de níquel
- Termómetro de 10 a 150 °C
- Tubos de Nessler
- Bandeja de análisis de dureza
- Cuarteador

### **3.3.4 Reactivos.**

- Solución de Iodo 0.1 N
- Trisulfato de Sodio 0.1 N

- $\text{H}_3\text{PO}_4$  (ácido fosfórico al 85 %)
- Agua destilada
- Ácido clorhídrico al 5 %
- Solución estándar de tiosulfato de sodio 0.1 N
- Solución estándar de yodo 0.1 N
- Solución de almidón
- Cloroplatinato de potasio
- Cloruro cobaltoso hexahidratado
- Ácido clorhídrico concentrado
- Solución tampón de pH 4, pH 7, pH 9

#### **3.3.5 Tecnológico.**

- Internet
- Infostat
- Excel

### **3.4 Tipo de investigación**

La investigación será cuantitativa con alcance descriptivo; Jiménez (1998) indica que un alcance es descriptivo porque el problema científico, a pesar de tener cierto nivel de claridad, aún necesita de más información para poder llegar a establecer caminos que conduzcan al esclarecimiento de relaciones causales como la elaboración de carbón activado procedente del pseudotallo de plátano así como determinar experimentalmente los valores de las variables físicas, químicas, microbiológicas y sensoriales el agua natural del Pozo Profundo en la Isla Santa Cruz, antes y después de filtrarla.

### **3.5 Unidad de estudio**

Calidad de agua resultante del Pozo Profundo en Bellavista, Galápagos filtrada a través de carbón activo durante siete semanas.

### **3.6 Unidad de análisis**

#### **3.6.1 Población.**

La población será el agua procedente del Pozo Profundo en la parroquia Bellavista, Galápagos, sitio que se abastece de un sistema de agua entubada captada de la fuente subterránea; el agua es conducida mediante tubería hacia un tanque de almacenamiento y luego distribuida hacia los habitantes del sector considerando que el sistema no recibe tratamiento alguno de filtración y desinfección, es por eso la implementación del proyecto para purificar el recurso hídrico a través de un filtro de carbón activo granular.

#### **3.6.2 Muestreo y conservación.**

El muestreo será no probabilístico porque se realizará la selección aleatoria de la materia prima. Se buscará preservar las características físicas, químicas y microbiológicas desde el punto de muestreo hasta la recepción en el laboratorio. Las muestras del Pozo Profundo serán tomadas dos veces al día en horarios de 10h00 y 15h00 los días lunes, miércoles y viernes durante siete semanas. Se llenarán 18 envases de polietileno transparente con capacidad de 1 000 mL, siguiendo el procedimiento que establece la norma NTE INEN 2169 (2013) y 1105 (1984) para el llenado ideal y conservación de los envases de agua.

El estudio se realizará con presupuesto definido por el investigador, siendo una opción para realizar la investigación y obtener un nivel de resultados aceptables.

Una de las limitaciones será el lugar de procedencia del recurso hídrico, considerando que los filtros con carbón activado se ejecutarían en las instalaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil para posteriormente ser enviadas vía transporte aéreo hasta el lugar donde se desarrollará la purificación y análisis de muestras del agua. Los análisis se efectuarían en los laboratorios de la “Agencia de Regulación y Control de la

Bioseguridad y Cuarentena para Galápagos” y la “Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Cruz” con sus respectivos permisos.

### **3.6.3 Ubicación de captación.**

La red de distribución para la parroquia Bellavista, Galápagos está ubicado a 2 km aproximadamente al Sur-Este de la parroquia de Bellavista en las coordenadas geográficas 797660 E y 9922134 N; el nivel del agua se encuentra a una profundidad aproximada de 160 m bajo el nivel del terreno.

## **3.7 Método**

### **3.7.1 Materia prima.**

La materia prima para la elaboración del CA se obtendrá de empresas plataneras provenientes de El Carmen de la Provincia de Manabí, que es el cantón con 65 000 hectáreas de plátano sembradas; el filtro se elaborará con materiales de fácil acceso dentro de la ciudad de Guayaquil y el recurso hídrico se captará del Pozo Profundo de la parroquia Bellavista en Santa Cruz, Galápagos.

### **3.7.2 Impregnación.**

Se preparará la muestra de ácido fosfórico al 85 %, considerando que se trabajará con la relación en masa 1:1 (materia prima/ agente deshidratante); es decir, que por cada gramo de carbón del pseudotallo de plátano se agregará 1 gramo del agente deshidratante. Se pesarán, en una balanza digital previamente tarada, dos crisoles y luego en cada uno se colocarán 50 g del material lignocelulósico para luego adicionar el respectivo ácido.

### **3.7.3 Activación química.**

Luego del proceso de impregnación, la siguiente etapa es la activación química, que consiste en introducir los crisoles, con las muestras impregnadas, dentro de la mufla a utilizarse. En la presente investigación se realizará la activación química a una temperatura de 600°C en un tiempo de

2 horas. Luego se dejará enfriar hasta que sea seguro retirar las muestras. Los crisoles con el carbón activado se colocarán en un desecador y se esperará a que alcancen la temperatura ambiente.

Una vez enfriadas las muestras, se procederá a un lavado con agua destilada, esto sirve para eliminar los residuos del agente deshidratante y alcanzar un pH entre 6 y 7. Por último, se llevarán los crisoles a secarse en una estufa a una temperatura de 105 °C durante 12 h y luego se esperará que éste se enfríe a temperatura ambiente en el desecador para su posterior pesado en una balanza analítica.

#### **3.7.4 Proceso de elaboración del carbón activado.**

Se considerará el proceso de elaboración del CA descrito por Zapata et al. (2005):

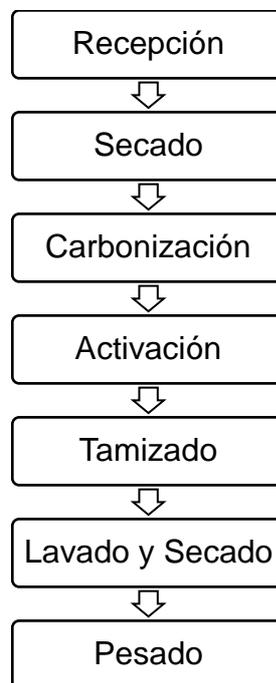
- Recepción de materia prima: se pesarán 10 000 g del material lignocelulósico previo al secado;
- Secado: esta fase consta de pérdida de humedad del pseudotallo de plátano, se lo realizará a través de un deshidratador, además se triturará la materia prima para obtener una carbonización homogénea;
- Carbonización y Activación: durante el proceso de activación química, la carbonización y la activación se llevarán a cabo por medio de una descomposición térmica en una mufla impregnando la materia prima con agentes químicos (ácido fosfórico, cloruro de zinc o ácido sulfúrico). Esta es llevada a cabo a una temperatura entre 500 y 700 °C;
- Tamización: el carbón activado se colocará en los tamices de 1.70, 1.18 y 0.60 mm para apartar las partículas de menor o igual diámetro, y clasificarlas previo al lavado y secado;
- Lavado y Secado: el carbón resultante se lavará profundamente para eliminar los restos del agente y se dejará secar en una estufa para posteriormente darle uso dentro del medio filtrante;

- Pesado: se pesará la materia resultante para determinar el porcentaje de rendimiento del proceso.

#### **3.7.4.1 Diagrama de flujo de elaboración del CA.**

En el Gráfico 10 se indican las fases para la elaboración del carbón activado.

**Gráfico 10.** Fases de la elaboración del C.A



**Fuente:** Bravo y Garzón (2017)

**Elaborado por:** La Autora

#### **3.7.5 Rendimiento de la materia prima.**

El porcentaje de rendimiento se refiere a la diferencia en peso obtenido del material activado después del carbonizado y del lavado, con respecto al peso seco del pseudotallo del plátano (Burgos y Jaramillo, 2015). Bravo y Garzón (2017) indican que el rendimiento aproximado entre materia prima y carbón activado oscila en una relación 3:1.

Se determinará el porcentaje de rendimiento pesando la materia prima proveniente del pseudotallo de plátano una vez eliminada la humedad, luego se los carboniza y ese carbón resultante se muele hasta obtener una cantidad de CA igual o mayor a 3 338 g que será la cantidad a emplearse para realizar los respectivos análisis de caracterización del CA y agua; además se considera que el rendimiento teórico o ideal de un procedimiento debería ser el 100 %, un valor que es imposible alcanzar en la mayoría de análisis experimentales por lo que rendimientos cercanos al 100 % son denominados cuantitativos, sobre el 90 % son excelentes, los sobre el 80 % muy buenos, sobre el 70 % son buenos, alrededor del 50 % son regulares, y debajo del 40 % son pobres (Carrillo y Sánchez, 2013).

### 3.7.6 Filtro.

Se seguirá la metodología de Castillo (2015) el cual indica que, para calcular el caudal de entrada al filtro o caudal de diseño se determinará el diámetro del tanque y se utilizará una velocidad de filtración de 0.15 m/h, que cumple con el Código Ecuatoriano de la Construcción de parte IX obras sanitarias (1992), donde establece que para filtros lentos convencionales la velocidad de filtración deberá estar comprendida entre 0.1 m/h a 0.2 m/h.

Cálculos:

$$Q_d = A \times V_f$$

Donde:

$Q_d$  = caudal de diseño, m<sup>3</sup>/h

A = área del tanque, m<sup>2</sup>

$V_f$  = velocidad de filtración, m/h

Por otro lado, Castillo (2015) revela que, para determinar el volumen de la forma cilíndrica del filtro, se calcula la altura de la capa del carbón activado con la siguiente fórmula:

$$EBCT = \frac{V_c}{Q_D} = \frac{A_c \times L_c}{A_c \times V_{fc}} = \frac{L_c}{V_{fc}}$$

Donde:

EBCT= tiempo de contacto de cama vacía, min

$A_c$ = área transversal del filtro de carbón activado granular,  $m^2$

$L_c$ = altura del filtro de carbón activado granular, m

$V_{fc}$ = velocidad o tasa de filtración en el filtro de carbón activado granular, m/h

Se utilizará el tiempo de contacto de cama vacía recomendado por el Código Ecuatoriano de la Construcción de parte IX obras sanitarias (1992) antes mencionada, de 7.5 min; considerando que los prefiltros verticales se diseñarán para una velocidad de flujo vertical descendente de 0.25 m/h. En la Tabla 8 se detallan las capas de grava desde la superficie:

**Tabla 8.** Características de grava para prefiltros verticales

Capa	Profundidad (m)	Diámetro (mm)
1	0.1	15-25
2	0.2	10-15
3	0.5	5-10

**Fuente:** Código Ecuatoriano de la Construcción de parte IX obras sanitarias (1992)

**Elaborado por:** La Autora

Además, el diámetro de los orificios será tal que permita la entrada del caudal correspondiente al caudal de servicio de cada lateral y generalmente oscilará entre 2 mm y 4 mm; el espaciamiento entre los orificios variará entre 0.1 m y 0.3 m; las partículas de 25 mm a 50 mm de diámetro; cuando se tienen aguas crudas contaminadas con trazas de orgánicos, olor y sabor desagradables, y precursores de trihalometanos, es posible remover (o reemplazar en el diseño) una capa de 0.15 m de la superficie de la arena y colocar carbón activado granular; se utilizará un carbón de 0.5 mm a 0.65 mm de tamaño efectivo; el filtro así constituido deberá diseñarse para una tasa de

filtración de  $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$  que corresponde a un tiempo de contacto de lecho vacío de 7.5 min. a 9 min., que es suficiente para remover la mayoría de los compuestos orgánicos (Código Ecuatoriano de la Construcción de parte IX obras sanitarias, 1992).

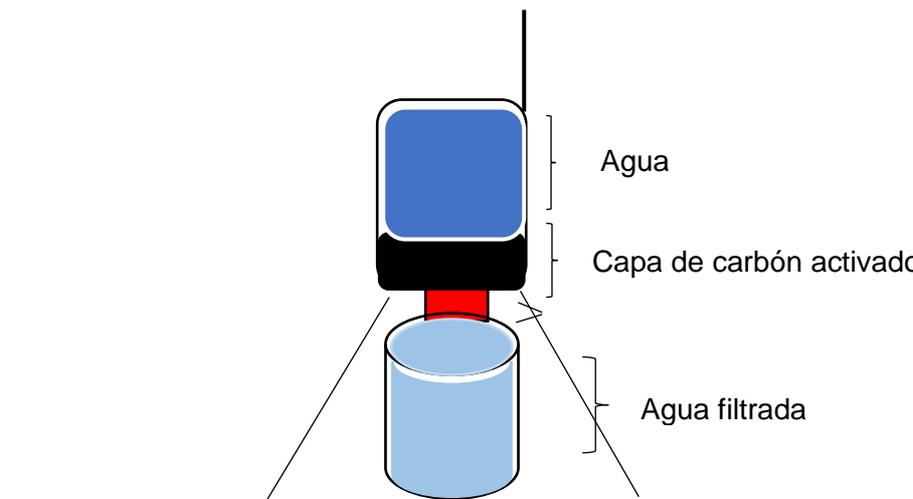
#### **3.7.6.1 Procedimiento para la elaboración del filtro.**

Se utilizará la metodología de Carrillo y Sánchez (2013), la cual indica que se tomará un envase de polietileno transparente de uso alimentario con capacidad de un litro, se cortará la parte superior creando una tapa que se pueda abrir y cerrar, luego el envase se colocará en un soporte metálico con la tapa hacia abajo adhiriendo en el fondo papel filtro poro grueso y una capa de carbón activado obtenido del pseudotallo de plátano; se agregará el agua dentro del recipiente y se esperará a que la misma comience a filtrar; se cerrará la tapa superior y se dejará reposar el agua por 15 minutos, para esto el filtro siempre deberá estar en posición vertical; luego se abrirá la boca del envase de la parte inferior y el agua ya filtrada se depositará en un vaso de precipitación de 1 000 mL; se tomará el tiempo que tarda el agua en atravesar el filtro; por último, se realizará la determinación física, química, microbiológica y organoléptica al filtrado de agua para conocer la capacidad de retención de compuestos orgánicos. .

### **3.7.6.2 Esquema del filtro.**

A continuación, en el Gráfico 11 se observa el bosquejo del medio filtrante a utilizarse en esta investigación:

**Gráfico 11.** Bosquejo de medio filtrante



**Elaborado por:** La Autora

### **3.7.7 Conservación de muestras del agua.**

La conservación y transporte de las muestras se realizará de acuerdo a la norma NTE INEN 2169 (2013), en la que se establecen las técnicas y precauciones generales que se deben tomar en consideración para todo tipo de muestras de agua incluyendo aquellas para análisis biológicos, pero no para análisis microbiológicos.

#### **3.7.7.1 Obtención de la muestra de agua.**

En la norma NTE INEN 1105 (1984) se establece que en muestreos directos de ríos, arroyos, lagos, reservorios, manantiales o pozos poco profundos, el propósito deberá ser, obtener una muestra representativa, tomada a una profundidad conveniente; además la localización de los sitios y la frecuencia del muestreo son factores críticos para tener información real sobre la población bacteriana en cualquier cuerpo de agua; considerando que el número de muestras depende del objetivo, el cual puede ser medir el ciclo

de la contaminación, la duración o el promedio de la contaminación; el lavado y esterilización, ver anexo A.

### **3.7.8 Requisitos para agua potable.**

Siguiendo los requisitos de agua potable según la norma NTE INEN 1108 (2011), se buscará analizar el cuadro de características físicas, químicas y microbiológicas del agua proveniente del Pozo Profundo de la parroquia Bellavista, Santa Cruz, para corroborar la calidad del agua en el proyecto de investigación. La locación del pozo se puntúa por las coordenadas S 00° 70'36.7"; W 90°32'57.8". De este pozo se extrae el 3 % del agua para el sector de Bellavista y parte de las ciudadelas que se encuentran cerca del sitio (Rueda, López y Nakaya, 2008).

## **3.8 Método estadístico**

### **3.8.1 Diseño experimental**

Para la presente investigación, los tratamientos dentro del diseño completamente al azar (DCA) serán asignados aleatoriamente a las unidades experimentales (León, 2002). Para determinar la eficiencia de los medios filtrantes en el cual va a incidir el tamaño de partícula del carbón activado (1.70, 1.18 y 0.60 mm) para reducir los contaminantes del agua de pozo se resolverá mediante una experimentación unifactorial, efectuándose por triplicado cada tratamiento con un total de 9 experimentos.

## **3.9 Variables a evaluar**

Dentro de esta investigación, la variable independiente se la va a considerar para determinar la relación con la variable dependiente, así el investigador observará el efecto (positivo o negativo) de la variable independiente sobre la dependiente (Villasís y Miranda, 2016).

### 3.9.1 Variable independiente.

Medio filtrante por el cual se considera una cantidad de carbón activado granular con diferente tamaño de partículas donde atravesará el agua para ser depurada.

**Tabla 9.** Calidad del agua filtrada y no filtrada

<b>Variable independiente</b>	<b>Indicador</b>
Filtro con carbón activado granular	Tamaño de la partícula

**Elaborado por:** La Autora

### 3.9.2 Variable dependiente.

Se hace referencia a las características físicas, químicas y microbiológicas sobre la calidad del agua filtrada y no filtrada.

**Tabla 10.** Carbón activado granular

<b>Variable dependiente</b>	<b>Indicadores</b>
Calidad del agua	Hierro
	Plomo
	Dureza total
	Microbiológicas
	Turbiedad
	pH
	Sabor
	Olor
	Color

**Elaborado por:** La Autora

### 3.9.3 Análisis de la Varianza.

Dagnino (2014) indica que el ANOVA permite analizar la variación en una variable de respuesta (variable continua aleatoria) medida en

circunstancias definidas por factores discretos (variables de clasificación) y se calcula la varianza de las medias de los grupos (varianza entre, “between”) y la varianza dentro de cada grupo (varianza dentro; “within”) también llamada error o residual; esta razón es un número denominado F (en honor a Fisher); por lo que Gómez, Danglot y Vega (2013) mencionan con respecto al tema que el análisis de varianza de la prueba t de Student, en su uso más común, es la prueba de hipótesis acerca de la media de una sola población y también valoración de si las medias de dos grupos son estadísticamente diferentes entre sí.

$$F = \frac{S_{\text{entre}}}{S_{\text{dentro}}}$$

### **3.10 Análisis funcional**

Se procesarán los datos a través del diseño completamente al azar donde se determinará la significancia de los parámetros agrupados en la Tabla 12.

Se seguirá la metodología de Delgado (2018) para el análisis de varianza, que tiene por finalidad definir si existe diferencia altamente significativa, significativa, no significativa en los tratamientos con respecto al parámetro trabajado; así, una diferencia altamente significativa se presenta cuando el F calculado es mayor al F tabulado del 5 %; el F tabulado al 1 % es significativo cuando uno de los dos F tabulados (5 % y 1 %, es mayor que el F calculado; no significativo cuando los F tabulados (5 % y 1 %) son mayores que el F calculado. Dichas diferencias se evaluarán mediante la prueba a posteriori de Duncan ( $p \leq 0.05$ ), para cada uno de los parámetros.

### 3.11 Tratamientos en estudio

Los tratamientos de estudio se describen en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Niveles de tratamiento

Nivel	Número de Malla	Apertura milímetros
T <sub>1</sub>	12	1.70 mm
T <sub>2</sub>	16	1.18 mm
T <sub>3</sub>	30	0.60 mm

**Elaborado por:** La Autora

#### 3.11.1 Unidad experimental.

A continuación, en la Tabla 12 se detallan las unidades experimentales, considerando que la cantidad de CA en todos los tratamientos será de 100 g.

**Tabla 12.** Unidades experimentales

Unidad experimental	Tratamiento	Combinaciones	
		Tamaño carbón activado	Agua
CA1R1	T1	1.70 mm	1 L
CA1R2	T2	1.70 mm	1 L
CA1R3	T3	1.70 mm	1 L
CA2R1	T4	1.18 mm	1 L
CA2R2	T5	1.18 mm	1 L
CA2R3	T6	1.18 mm	1 L
CA3R1	T7	0.60 mm	1 L
CA3R2	T8	0.60 mm	1 L
CA3R3	T9	0.60 mm	1 L

**Elaborado por:** La Autora

### 3.12 Operacionalización de variables

#### 3.12.1 Variables cuantitativas: pseudotallo de plátano.

##### 3.12.1.1 Determinación de pérdida de humedad.

Para la caracterización de la materia prima procedente del pseudotallo del plátano, se determinará la pérdida de humedad en base a la norma NTE INEN 1676 (2013), para lo cual, se pesarán 2 g de muestra preparada en una cápsula de peso constante ( $m$ ), el tamaño de las muestras será entre 1.70 mm a 2.00 mm; se colocará la cápsula de porcelana con su contenido en la estufa a  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta masa constante; se dejará enfriar en el desecador y se pesará con aproximación a 1.0 mg. El material seco, será molido y luego tamizado con mallas número 12, 16 y 30.

Cálculos:

$$H=100 \times \frac{m-m_1}{m}$$

En donde:

H = Humedad en porcentaje de masa

m = masa inicial de la muestra a analizar, g.

m1 = masa de la muestra después del secado, g.

masa = Peso de la cápsula con la muestra seca – peso de la cápsula vacía.

##### 3.12.1.2 Determinación de ceniza total.

La determinación de ceniza total se basará en la norma NTE INEN 533 (2013), para ello, se pesarán de 2 a 5 g de muestra preparada ( $P_m$ ) en el crisol, previamente calentado a  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , cubierto con la luna de reloj, enfriado y pesado ( $P_i$ ); luego se subirá lentamente la temperatura de la mufla a  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  con la compuerta de ventilación cerrada; se dejará enfriar en el desecador y se pesará apenas alcance la temperatura ambiente ( $P_f$ ).

El contenido de ceniza total en la muestra se expresará en porcentaje de masa, calculándose mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ cenizas totales} = \frac{(P_f - P_i)}{P_m} \times 100$$

Siendo:

$P_f$  = Peso final del crisol (con muestra calcinada) en g.

$P_i$  = Peso inicial del crisol (vacío) en g.

$P_m$  = Peso de la muestra en g.

### 3.12.2 Variables cuantitativas: físicas y químicas del carbón activado.

Todos los carbones poseen un carácter hidrófobo, que puede ser disminuido por la adición de ciertos grupos superficiales, por lo que estas características físicas y químicas influyen en la composición del carbón activado, evaluando su calidad y porosidad. En la Tabla 13, se describen los parámetros propuestos por NTE INEN 1991 (1995).

**Tabla 13. Requisitos físicos y químicos del CA granular**

Requisito	Unidad	Mínimo	Máximo
Humedad	% m/m	-	12
Cenizas Totales	g/cm <sup>3</sup>	-	12
Dureza	%m/m	90	-
Índice de yodo	* mg/g	600	-
Capacidad de adsorción	mg/L	4	500
pH		5.0	8.0

**Fuente:** NTE INEN 1991 (1995)

**Elaborado por:** La Autora

#### 3.12.2.1 Determinación de índice de yodo.

El índice de yodo se determinará de acuerdo a la norma NTE INEN 1988 (1995), es necesario moler una muestra representativa hasta que el 95 % del carbón pase por el tamiz de 45 µm, según la norma NTE INEN 154

(1986). Se secará una porción de muestra del carbón pulverizado a 140 °C por 2 h. Luego se pesarán 1 000 g de carbón pulverizado seco y se procederá a colocar en un matraz erlenmeyer de 250 cm<sup>3</sup>. Consecuentemente se añadirá 10 cm<sup>3</sup> de HCl al 5 % (v/v) y se agitará hasta que todo el carbón se haya humedecido. Posteriormente, éste se colocará sobre una plancha de calentamiento, la cual llevará el contenido a ebullición donde se deberá mantener durante 30 s. Con una pipeta volumétrica se añadirán 100 cm<sup>3</sup> de solución estándar de yodo 0.1 N, cuando su contenido esté a temperatura ambiente, se tapa y se agitará precozmente durante 30 s. El filtrado se hará a través del papel filtro Watman N° 2. Se recogerá el filtrado en un matraz erlenmeyer limpio, donde se mezclará homogéneamente con una varilla de vidrio y se extraerán 50 cm<sup>3</sup> mediante una pipeta para llevar a titulación con la solución estándar de tiosulfato de sodio 0.1 N en un matraz erlenmeyer de 250 cm<sup>3</sup>, hasta que el color amarillo haya desaparecido, por último, se añadirá 1 cm<sup>3</sup> de solución de almidón y se proseguirá con la titulación hasta que el color azul del indicador desaparezca.

La determinación del índice de yodo para carbón activado se calculará a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Número de yodo} = \frac{x}{m} D$$

Donde:

x/m= miligramos de yodo, absorbidos por g de carbón

D= factor de corrección (ver anexo C)

### **3.12.2.2 Determinación de adsorción de azul de metileno.**

Se seguirá la metodología de Rojas, Gutiérrez y Colina (2016), la cual consistirá en adicionar 25 mL de una solución de azul de metileno aproximadamente de 200 mg/L de AM (azul de metileno) a 100 g de carbón activado y someterlo a agitación durante 24 horas; se tomará 1 mL de muestra y se completará a 100 mL con una solución al 5 % de ácido acético, luego se

filtrará al vacío utilizando un filtro de acetato de 0.45 µm y se estabilizará el pH a 7 (con solución de NaOH al 0.5 N). Posteriormente, se medirá la absorbancia y se sacará la diferencia con la solución de partida, dando como resultado la cantidad de mg de azul de metileno adsorbido.

### **3.12.2.3 Determinación de humedad.**

La humedad se determinará de acuerdo a la norma mexicana NMX-F-279 (1976), se tarará la cápsula de aluminio en la balanza, luego se pesarán de 1.8 a 2.2 g de muestra y se llevarán a una estufa con temperatura entre 105 y 125 °C, hasta peso constante; posteriormente se sacará de la estufa y se dejará enfriar en el desecador hasta la temperatura ambiente; por último se pesará en un tiempo no mayor de 2 min.

Cálculos,

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{100 (PH-PS)}{PH}$$

En donde;

PH = Peso de la muestra húmeda en g.

PS = Peso de la muestra seca en g.

### **3.12.2.4 Determinación de ceniza.**

El contenido total de cenizas se determinará mediante la norma mexicana NMX-F-284 (1981), la cual establece que se tarará el crisol después de ponerlo en la mufla a la temperatura de 900 °C ± 25 °C; se colocarán en el crisol de 0.8 a 1.2 g de carbón referidos a base seca (cuando se analice carbón granular, debe molerse la muestra después de determinar la humedad y antes de determinar la masa para proceder a efectuar la determinación del contenido total de cenizas); se muele hasta lograr un tamaño de partícula similar al del carbón pulverizado, luego se colocará el crisol con la muestra en la mufla a la temperatura de trabajo hasta masa constante y posteriormente

se colocará en el desecador; por último se determinará la masa a la temperatura ambiente.

Cálculos

$$\% \text{ de cenizas totales} = \frac{100 (A-B)}{P}$$

En donde:

A = masa en g del crisol con cenizas.

B = masa en g del crisol vacío.

P = masa en g de la muestra (en base seca).

### **3.12.2.5 Determinación de dureza.**

La dureza se determinará de acuerdo a la norma NTE INEN 1989 (2013), se requerirá una muestra tamizada y pesada de carbón activado, colocándola en la bandeja especial para el análisis de la dureza con un número de bolas de acero inoxidable previamente conocido; se someterá al conjunto a una acción combinada de rotación y golpeteo, durante 30 min; al final de ese periodo, la cantidad de degradación del tamaño de partícula se establecerá por medio de la medición del peso de carbón retenido en una malla, cuyas aberturas serán cercanas a la mitad del tamaño de la malla que definirá el tamaño de partícula nominal mínimo de la muestra original.

La dureza del carbón activado granular se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{B}{A} \times 100$$

D = porcentaje de la dureza del carbón activado, %.

B = masa de la muestra retenida en el tamiz de análisis de dureza, en g.

A = masa de muestra pesada y colocada en la bandeja de dureza, en g.

### **3.12.2.6 Determinación del pH.**

Se seguirá la metodología de Hernandez et al. (2017) la cual consistirá en pulverizar el carbón activado granular sin secar, donde se pesarán 4 g de carbón en un vaso de precipitación de 250 mL, luego se añadirán 100 mL de agua destilada libre de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), en el que se cubrirá con una tapa de vidrio y se dejará hervir por 5 min; se insertará un termómetro para posteriormente poner en reposo la solución y permitir que las partículas se asienten; se verterá el líquido sobrenadante antes que la temperatura descienda los 60 °C; se enfriará la porción decantada a temperatura ambiente y se medirá el pH con un valor decimal.

### **3.12.3 Variables cuantitativas: agua de pozo y agua filtrada.**

Para medir las variables cuantitativas del agua, en la Tabla 14 se describen los parámetros permitidos por NTE INEN 1108 (2014).

**Tabla 14. Requisitos físicos y químicos para agua potable**

<b>Requisito</b>	<b>Unidad</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Hierro	Mg/L	-	0.01
Plomo	mg/L	-	0.01
Dureza total	% m/m	-	160
Microbiológico	Ufc/100 L	-	< 1.1 *
Turbiedad	NTU	-	5
pH		-	7

**Fuente:** NTE INEN 1108 (2014)

**Elaborado por:** La Autora

### **3.12.3.1 Determinación de hierro.**

Se utilizará la norma NTE INEN 0979 (1984), la cual establece que el hierro se disolverá y se reducirá a estado ferroso por ebullición, con ácido e hidroxilamina y, posteriormente, se hará reaccionar con 1-10 fenantrolina a pH 3.2-3.3, para darle un complejo de color rojo-anaranjado; siendo la

solución coloreada, obedeciendo a la ley de Beer, que según Arenas y López (2004) es la cantidad de radiación electromagnética absorbida por un analito que se puede relacionar cuantitativamente con la concentración de dichas sustancias en la solución.; y la concentración se determinará por comparación visual.

### **3.12.3.2 Determinación de plomo.**

Esta determinación se realizará de acuerdo a la norma NTE INEN 1102 (1984), el método se basará en la separación del plomo en forma de complejo, ditizonato de plomo de color rojo, seguido de la determinación colorimétrica, dando una intensidad del color rojo de la solución a 510 nm en un espectrofotómetro, siendo proporcional a la concentración de plomo.

### **3.12.3.3 Determinación de la dureza total.**

Para la determinación de la dureza total del agua, se utilizará la norma NTE INEN 974 (2016), la cual se menciona que la sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) forma un quelato complejo soluble cuando se adiciona a una solución que contiene determinados cationes metálicos; si una pequeña cantidad de un colorante, tal como el negro de eriocromo T (indicador) se adiciona a una solución acuosa que contiene iones calcio y magnesio a un pH de  $10.0 \pm 0.1$  esta solución se tornará a un color rojo vino. Si se añade EDTA como titulante se formarán quelatos complejos de calcio y magnesio, y cuando todo el calcio y el magnesio hayan reaccionado con el indicador, la solución cambiará de color rojo vino a azul, indicando el punto final de la titulación.

Cálculos

$$D=1000 \frac{V_2 \times F}{V_1}$$

Donde:

D = dureza total (EDTA), en mg de carbonato de calcio por litro.

$V_1$  = volumen de la muestra, en mL.

$V_2$  = volumen de solución de EDTA utilizando en la titulación, en mL.

F = factor de corrección volumétrico de la solución EDTA.0.01M, en mg de carbonato de calcio, por mL del titulador EDTA.

Para calcular F, se considerará la siguiente ecuación:

$$F = \frac{V_{\text{CaCO}_3}}{V_{\text{EDTA}}}$$

Donde:

F = es el factor de corrección volumétrico de la solución de EDTA 0.01 M.

$V_{\text{CaCO}_3}$  = es el volumen de solución estándar de calcio titulada, en mL.

$V_{\text{EDTA}}$  = es el volumen de EDTA 0.01 M gastado en la titulación, en mL.

#### **3.12.3.4 Determinación de la carga microbiana.**

Para la determinación de la carga microbiana en las muestras seleccionadas se seguirá la metodología de Redondo y Arias (2011) donde utilizaron la norma Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater para el análisis de coliformes totales y fecales por el método de tubos múltiples de fermentación, según los procedimientos 9-49 y 9-56 (ver anexo B).

#### **3.12.3.5 Turbiedad.**

La determinación de turbiedad se realizará de acuerdo a la norma NTE INEN 7027 (2013), donde se especifican dos métodos semicuantitativos que se emplean para el trabajo de campo:

- Medida de la turbiedad mediante un tubo de evaluación de la transparencia (aplicable a aguas puras y ligeramente contaminadas);
- Medida de la turbiedad mediante un disco de evaluación de la transparencia (especialmente aplicable a aguas superficiales).

### **3.12.3.6 pH.**

La determinación del pH se realizará de acuerdo a la norma NTE INEN 973 (1983), el cual consiste en una evaluación por duplicado sobre la muestra, además se deberán lavar los electrodos con agua destilada y se calibrará el potenciómetro a la temperatura del ejemplar, utilizando una solución de referencia cuyo pH sea similar al esperado para el análisis; se colocará la muestra en el vaso de precipitación donde se introducirán los electrodos y se determinará el pH.

### **3.12.4 Variables cualitativas para el agua de pozo y filtrada.**

En la Tabla 15 se describen los parámetros permitidos por la norma NTE INEN 1108 (2014), para determinar las variables cualitativas del agua.

**Tabla 15. Requisitos físicos y químicos para agua potable**

<b>Requisito</b>	<b>Unidad</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Color	Pt-Co	-	15
Olor		-	No objetable
Sabor		-	No objetable

**Fuente:** NTE INEN 1108 (2014)

**Elaborado por:** La Autora

#### **3.12.4.1 Color.**

Se seguirá la metodología de Salazar et al. (2016), donde las mediciones se realizarán en medidas de color UPC por colorimetría visual; las muestras se transportarán en recipientes protegidos y rotulados hasta el laboratorio para su determinación.

#### **3.12.4.2 Olor.**

El olor se determinará mediante la norma mexicana NMX-AA-83 (1982), la muestra de agua se diluirá con agua libre de olor hasta obtener una

dilución que tenga lo que se define como un olor mínimo perceptible; el método se hará por dos o más analistas, uno realizará las diluciones y el otro determinará las intensidades de olor. Las muestras serán analizadas en orden creciente de concentración del odorante, aunque no en una secuencia consecutiva de diluciones, hasta que el olor sea percibido; el olor se medirá sin tener en cuenta materia suspendida o materiales inmiscibles en la muestra, se deberá considerar que la prueba se efectuará a 40 °C.

#### **3.12.4.3 Sabor.**

Se seguirá la metodología de Aznar (2000), en que se efectuará la determinación de sabor por medio de sucesivas diluciones de la muestra original con agua inodora a una temperatura de 40 °C hasta que sea indetectable el umbral de percepción y sólo se realizará con muestras que sean sanitariamente aptas para consumo humano.

#### **3.13 Eficiencia del filtro**

Se seguirá la metodología de Castillo (2015) donde se utilizará la siguiente ecuación para calcular la eficiencia del filtro en los diferentes parámetros establecidos.

$$e_{\%} = \frac{E - P}{E} \times 100$$

$E$ = valor del parámetro de entrada del agua antes de filtrar

$P$ = valor promedio de los resultados después del filtro

#### **3.14 Análisis Costo/Beneficio**

Una vez que se establezca el tratamiento más eficiente, se determinará el costo de producción para conocer el precio aproximado del valor total del proyecto; además, la materia prima es material reciclado, por lo cual sólo se considerará el valor del transporte aproximado de 15 USD. En la Tabla 16 se describe el costo del material para la obtención de CA.

**Tabla 16.** Costo de materiales para obtención de CA

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario (\$)</b>	<b>Valor total (\$)</b>
Residuo	10 000 g	0.00	0.00
pseudotallo de plátano			
Transporte	-	15.00	15.00
		<b>TOTAL</b>	<b>15.00</b>

**Elaborado por:** La Autora

La elaboración del filtro tendrá un costo de 27.00 USD. En la Tabla 17 se describe el costo del material directo para la elaboración del filtro.

**Tabla 17.** Costo de materiales directo para elaboración del filtro

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Valor unitario (\$)</b>	<b>Valor total (\$)</b>
Envase polietileno transparente	18	1 000 mL	1.00	18.00
Papel filtro grueso	9	60 x 60 cm	1.00	9.00
			<b>TOTAL</b>	<b>27.00</b>

**Elaborado por:** La Autora

El costo para la obtención de las muestras de agua del Pozo Profundo en el lugar de origen de la captación, tendrá un valor de 11.17 USD. En la Tabla 18 se visualiza el costo de los materiales indirectos para obtención de las muestras de agua de pozo.

**Tabla 18.** Costo de materiales indirectos

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
	<b>unidades</b>	<b>(\$)</b>	<b>(\$)</b>
Hielera térmica	2	4.99	9.98
Hielo funda	3	0.15	0.45
Cinta scott	2	0.35	0.70
Hoja de papel A4	4	0.01	0.04
		<b>TOTAL</b>	<b>11.17</b>

**Elaborado por:** La Autora

Bravo y Garzón (2017) mencionan que para determinar el costo de producción se tomarán los gastos a efectuarse en la elaboración del carbón activado y del filtro, en el análisis se evaluarán factores fundamentales de producción como:

- Materia prima
- Mano de obra directa
- Gasto de producción

Y se calculará con la siguiente fórmula:

$$CP=(M_p+M_{od}+G_p)$$

Donde:

CP= Costo de producción

$M_p$ = Materia prima

$M_{od}$ = Mano de obra directa

$G_p$ = Gasto de producción

Redacción Económica (2020) indica que el Ecuador inició el 2020 con un nuevo salario básico unificado (SBU): USD 400. Mingo (2019) establece que para calcular el valor de hora de trabajo se utilizará la siguiente fórmula:

SB (Sueldo Básico) ÷ 240 = VHT (Valor hora de trabajo); por lo tanto, el valor hora para jornada diaria será de USD 1.67.

En la Tabla 19 se observa el valor aproximado por cada hora de trabajo para la elaboración del carbón activado.

**Tabla 19.** Costo de mano de obra

<b>Mano de obra</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Horas de trabajo (h)</b>	<b>Valor unitario (USD/h)</b>	<b>Valor total (USD)</b>
Técnico	1	6	1.67	10.02
			<b>TOTAL</b>	10.02

**Elaborado por:** La Autora

La Corporación Nacional de Electricidad (CNEL, 2019) impone que el precio del kilovatio por hora es de USD 0.09. En la Tabla 20 se indican los gastos de producción para elaborar el carbón activado.

**Tabla 20.** Gastos de producción

<b>Gasto de producción</b>	<b>Horas de consumo (h)</b>	<b>Valor unitario (USD/h)</b>	<b>Valor total (USD)</b>
Consumo eléctrico	13	0.09	1.17
		<b>TOTAL</b>	1.17

**Elaborado por:** La Autora

El costo de producción de CA procedente del pseudotallo de plátano con mayor eficiencia en remoción de contaminantes en agua de pozo se determinará mediante la ecuación propuesta por Bravo y Garzón (2017):

$$CP=(M_p+M_{od}+G_p)$$
$$CP=(42 +10.02 +1.17) \text{ USD}$$
$$CP= 53.19 \text{ USD}$$

Es evidente que la producción de un filtro casero con CA procedente del pseudotallo de plátano representa una alternativa viable para mejorar la calidad del agua proveniente del Pozo Profundo, considerando que éste disminuirá los niveles de contaminación del recurso hídrico; además se considera que el proyecto se pueda aplicar dentro de la Isla Santa Cruz, reduciendo costos y ayudando a la conservación del medio ambiente al aprovechar los residuos del plátano.

## 4 DISCUSIÓN

Murgueitio et al. (2019), al analizar la composición química y actividad biológica del pseudotallo de plátano obtuvieron valores de ceniza de 16.290 % y humedad 5.890 %, por lo que se estima que los resultados en esta investigación estén dentro de esos rangos.

Gómez et al. (2004) utilizaron una relación de impregnación 5:1 con un área superficial igual o superior a 800 m<sup>2</sup>/g; sin embargo, Arango (2018) evaluó la temperatura y el agente deshidratador para obtener carbón activado a partir del cisco de café, obteniendo resultados con mayor porosidad en el tratamiento con KOH a una relación de impregnación (RI) de 2:1 y 800 °C, presentando un valor alto del área superficial específica (SBET), diámetro medio de microporos y volumen de microporos aproximadamente de 2 000 m<sup>2</sup> /g, 0.90 nm y 0.80 cm<sup>3</sup>/g , por lo que se espera que la temperatura y la relación de impregnación propuesta dentro de esta investigación influya en la porosidad para cada uno de los tratamientos a evaluarse.

Arango (2018), en su investigación determinó que el mayor rendimiento de masa para el cuesco de palma fue de 61 % trabajando con partículas de tamaño entre 2 y 1 mm; además Gómez et al. (2004) observaron un rendimiento entre 20 y 18 % de la masa inicial de cáscaras de palma, lo que correspondió a una quema total del 80 a 82 %, así mismo Burgos y Jaramillo obtuvieron rendimiento de CA de 36.8 % a partir de la cáscara de coco y de 30 % a partir de la cáscara de cacao; por lo tanto se espera que el rendimiento total, en este trabajo, se encuentre dentro de los valores indicados previamente.

Hernandez et al. (2017), en su investigación determinaron que el contenido de cenizas del adsorbente tuvo un valor máximo de 19.24 % para el carbón activado granular obtenido de las conchas de coco; además, la

variación de pH del carbón presentó un carácter básico; para Burgos y Jaramillo (2015), el carbón activado de coco presentó un porcentaje de humedad de 9,84 %, cenizas totales de 12.75 %. Estos valores serán considerados como referencia para el carbón activado a obtenerse a partir del pseudotallo de plátano.

Asimbaya et al. (2015) en su investigación obtuvieron que el carbón activado producido a partir del aserrín del canelo presentó un índice de yodo de 740 mg/g con un tamaño de partícula de 74-150  $\mu\text{m}$ , por lo que se estima que dentro de esta investigación los valores sean próximos a los descritos, considerando el tamaño de partícula.

En el estudio de Primera et al. (2011), el material vegetal que mejor desarrolló sus propiedades adsorptivas durante la carbonización y la activación fue el zuro de maíz con un área total de 778  $\text{m}^2/\text{g}$ , considerando dicho valor como ejemplo a alcanzar dentro de esta investigación.

Feijoo et al. (2019) evaluaron el carbón activado o de alta activación CAA obtenido del cuesco de palmiste, con el objetivo de mejorar su dureza granular, teniendo como resultado 89 % en la dureza del carbón; por consiguiente, se espera que el carbón obtenido en esta investigación esté entre ese valor.

Delgado (2018), en su estudio utilizó como medio filtrante carbón antracita y cuarzo donde obtuvo un pH menos de 6.8, turbidez de 54.93 % y una remoción de 69.70 % de coliformes fecales en el tratamiento de agua procedente de la Quebrada Malvinas; por otro lado, Chiclote (2018) para mejorar la calidad del agua proveniente del río Cumbe desarrolló un filtro por capas compuesta de piedra grande, gravilla, arena gruesa, carbón activado reflejando el agua tratada un pH de 8.25, turbidez 0.72 NTU, color 5 UC y para coliformes fecales 110 ufc/100 mL. Además, Castillo (2015), implantó un filtro de arena y carbón activado granular a nivel domiciliario para purificación del

recurso hídrico, obteniendo un valor de 18.67 ufc/100 mL coliformes fecales, pH 7.2, color 0.077 UC, turbiedad de 0.319 NTU, hierro total 0.01 mg/L, en todos los casos fueron aguas naturales, por lo que se estima que el agua filtrada proveniente de Pozo Profundo de la Isla Santa Cruz se encuentre en valores dentro de los mencionados, considerando el parámetro de control de la Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1108.

Carrillo y Sánchez (2013) mencionan que la dureza total del agua potable al pasar por un filtro de carbón activado disminuyó entre valores de 30.18 y 40.24 mg/L para los tres filtros, siendo en este caso independientemente de la cantidad de carbón activado que se haya utilizado en cada uno de ellos; considerando éstos valores, se proyecta que en esta investigación el agua a evaluarse reduzca su dureza luego de ser filtrada.

Dudamel y Rivero (2015) emplearon agua natural y carbón granular NC90 en un filtro con lecho mayor a 15 cm, dando como resultado la eliminación de un 60 a 70 % de materia orgánica presente en el agua natural tratada, por lo que se prevé que, en el agua de pozo de la Isla Santa Cruz, Galápagos, se encuentren valores similares.

Rodríguez y Escobar (2018) evaluaron el funcionamiento de filtros de biocarbón/arcilla en la potabilización del agua, obteniendo un promedio alto en la remoción de plomo (99.91 %); por lo que se considera que las muestras a evaluarse del agua de pozo, tengan valores de remoción de plomo muy próximos a los encontrados en esta investigación, para obtener un recurso hídrico de calidad.

Según EPMAPASC (2020), el agua de Pozo Profundo tiene un pH de 7.3, turbidez 0.36 NTU, dureza 154 mg/L, hierro 0.07 mg/L, coliformes fecales de 0 ufc/100 mL; y para la misma fuente de recurso hídrico, Andino (2016) señaló que posee plomo 0.01 mg/L; además Ospina et al. (2016) obtuvieron valores de turbiedad que oscilaron entre 952 NTU y 191 NTU del río

Combeima, por lo tanto, se espera que los valores encontrados durante el desarrollo de esta investigación estén alrededor de los mencionados anteriormente para mejorar la calidad de agua de pozo profundo en cuanto a olor, sabor y color.

Es necesario, tener en consideración la época en que se realizarán los estudios, ya que la calidad del agua dependerá si es invierno o verano, además que para futuras investigaciones se proyecte realizar más tratamientos para alargar el horario de toma de muestras de agua.

## **5 RESULTADOS ESPERADOS**

### **5.1 Académico**

Se estima que esta información sirva como base para futuras investigaciones sobre el carbón activado que realicen las siguientes generaciones de estudiantes.

### **5.2 Técnico**

En el proceso para la obtención del carbón activado se evaluará el comportamiento de la porosidad frente a agua de pozo proveniente de Bellavista, Galápagos; por lo que, con esta técnica se buscará implementar un sistema de auto sustentación para mejorar la calidad del agua en la Isla Santa Cruz y a su vez, reciclar la materia prima vegetal (pseudotallo de plátano), que generalmente es desechada, produciendo contaminación ambiental en los sectores donde se produce.

### **5.3 Económico**

De acuerdo a los resultados de costo beneficio, se prevé que el producto sea rentable dentro de un mercado minorista; de tal manera que se pueden implementar emprendimientos para la fabricación de carbón activado y su aplicación como medio filtrante de agua.

#### **5.4 Participación Ciudadana**

La participación ciudadana puede contribuir eficientemente para mejorar la gestión de los residuos agroindustriales y buscar nuevas formas de reutilizarlos para disminuir el impacto ambiental; es así que, se buscará difundir a la sociedad los beneficios del carbón activado obtenido del pseudotallo del plátano y su utilización como medio filtrante.

#### **5.5 Científico**

El análisis de las variables independientes y dependientes se aplicará a un grado de confianza de 95 % de probabilidad sobre el mejor tratamiento referente al tema de estudio; por lo que se espera que la comunidad estudiantil agroindustrial se favorezca de los resultados a obtenerse.

#### **5.6 Tecnológico**

El proceso para la obtención de carbón activado y su utilización como medio filtrante están sincronizados a trabajarse tanto a nivel industrial como en el campo debido a su elevada eficiencia para tratamientos de aguas así como para el aire, produciendo óptimas condiciones de funcionamiento.

#### **5.7 Social**

El carbón activado como medio filtrante es beneficioso para empresas que en su día a día, consumen litros y litros de agua, por lo que la implementación de este sistema generaría menos gastos y ayudaría mejorar el impacto ambiental, reduciendo el porcentaje de aguas residuales a nivel mundial y mejorando la calidad del agua.

#### **5.8 Ambiental**

El impacto ambiental que están teniendo los desechos agroindustriales generan miles de problemas como una alta contaminación de suelos, ríos, aire, propagación de plagas entre otros. En las Islas Galápagos, por ser un ecosistema frágil, es de mucha ayuda tener a mano, este tipo de investigaciones para mejorar la calidad del agua, ya que ésta es escasa y en

su mayoría proviene de pozos. La utilización de estos medios filtrantes es práctico y de fácil fabricación; además que la obtención del carbón activado proveniente de residuos vegetales aportaría a un proceso de reciclaje para beneficio de las Islas.

### **5.9 Cultural**

A nivel cultural se enfoca en que la comunidad se eduque en la reutilización de residuos y desechos, mejorando la calidad de vida a nivel global, incluso aportando alternativas o ideas que se puedan utilizar a futuro y que económicamente sea beneficioso.

### **5.10 Contemporáneo**

Es un tema innovador que aún sigue en diversos estudios, pues el carbón activado es de contenido amplio, sin limitaciones, además que tiene diversas funciones y pueden ser aprovechados en su totalidad desde un medio filtrante hasta para uso cosmético.

## ANEXOS

### Anexo A

NTE INEN 1 105

1983-12

#### ANEXO A

##### LAVADO Y ESTERILIZADO

**A.1 Lavado.** Lavar todo el material de vidrio con un detergente conveniente y agua caliente; enjuagar con agua caliente para remover todas las trazas de residuos de los materiales que se hayan utilizado en el lavado y, finalmente, enjuagar con agua destilada. Si se utiliza una máquina de lavar, la instalación de cañerías de entrada deberá ser preferentemente de acero inoxidable u otro material no tóxico. No se debe usar cañerías de cobre para la distribución de agua destilada.

**A.2 Esterilización.** Excepto cuando se encuentre en recipientes metálicos, la cristalería se debe esterilizar mínimo por 60 minutos a una temperatura de 170°C, a menos que se conozca con certeza, por medio de termómetros registradores que la temperatura es uniforme en la estufa, en cuyo caso se puede aplicar una temperatura de 160°C. La cristalería en recipientes metálicos debe esterilizarse a 170°C por lo menos dos horas. Los frascos de muestreo, con excepción de los plásticos, pueden esterilizarse como se señaló antes, o pueden tratarse en autoclave a una temperatura de 120°C por 15 minutos. Las botellas plásticas pueden esterilizarse en autoclave, a una temperatura de 121°C, por un intervalo mínimo de 10 minutos.

## Anexo B

9213 9-49 D

### 3. Tests for *Escherichia coli*

*a. Media:* Media described in this section are available commercially. Manufacturer's instructions should be followed for storage and disposal after preparation. The formulation may be available commercially for use in the multiple-tube procedure, the multi-well procedure, or the presence-absence procedure. The need for good quality assurance and uniformity requires the use of a commercial substrate media.

#### 1) *mTEC agar*:\* <sup>2</sup>

Proteose peptone No. 3 .....	5.0	g
Yeast extract .....	3.0	g
Lactose .....	10.0	g
Sodium chloride (NaCl) .....	7.5	g
Dipotassium phosphate (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ) .....	3.3	g
Monopotassium phosphate (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) .....	1.0	g
Sodium lauryl sulfate .....	0.2	g
Sodium desoxycholate .....	0.1	g
Bromcresol purple .....	0.08	g
Bromphenol red .....	0.08	g
Agar .....	15.0	g
Reagent-grade water .....	1	L

Sterilize via autoclaving; pH should be  $7.3 \pm 0.2$ . Pour 4 to 5 mL liquefied agar into culture dishes ( $50 \times 100$  mm). Store in refrigerator.

9215 9-56 B

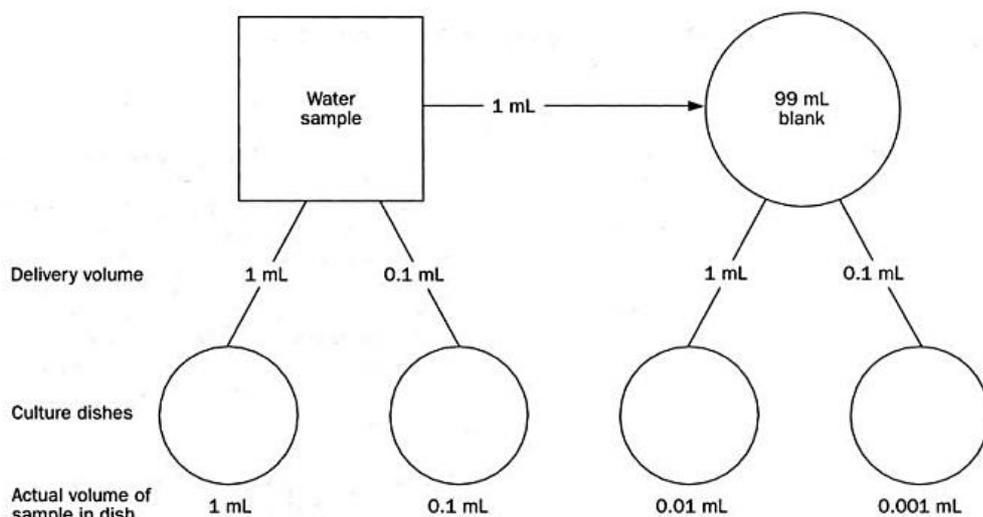


Figure 9215:1. Preparation of dilutions.

<b>ANEXO C</b>										
<b>FACTOR DE CORRECCIÓN D PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE YODO</b>										
<b>NORMALIDAD DEL FILTRADO</b>										
<b>RESIDUAL, C</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,0003</b>	<b>0,0004</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,0006</b>	<b>0,0007</b>	<b>0,0008</b>	<b>0,0009</b>
0,0080	1,1625	1,1613	1,1600	1,1575	1,1550	1,1538	1,1513	1,1500	1,1475	1,1463
0,0090	1,1438	1,1425	1,1400	1,1375	1,1363	1,1350	1,1325	1,1300	1,1288	1,1275
0,0100	1,1250	1,1238	1,1225	1,1213	1,1200	1,1175	1,1163	1,1150	1,1138	1,1113
0,0110	1,1100	1,1088	1,1075	1,1063	1,1038	1,1025	1,1000	1,0988	1,0975	1,0963
0,0120	1,0950	1,0938	1,0925	1,0900	1,0888	1,0875	1,0863	1,0850	1,0838	1,0825
0,0130	1,0800	1,0788	1,0775	1,0763	1,0750	1,0738	1,0725	1,0713	1,0700	1,0688
0,0140	1,0675	1,0663	1,0650	1,0625	1,0613	1,0600	1,0588	1,0575	1,0563	1,0550
0,0150	1,0538	1,0525	1,0513	1,0500	1,0488	1,0475	1,0463	1,0450	1,0438	1,0425
0,0160	1,0413	1,0400	1,0388	1,0375	1,0375	1,0363	1,0350	1,0333	1,0325	1,0313
0,0170	1,0300	1,0288	1,0275	1,0263	1,0250	1,0245	1,0238	1,0225	1,0208	1,0200
0,0180	1,0200	1,0188	1,0175	1,0163	1,0150	1,0144	1,0138	1,0125	1,0125	1,0113
0,0190	1,0100	1,0088	1,0075	1,0075	1,0063	1,0050	1,0050	1,0038	1,0025	1,0025
0,0200	1,0013	1,0000	1,0000	0,9988	0,9975	0,9975	0,9963	0,9950	0,9950	0,9938
0,0210	0,9938	0,9925	0,9925	0,9913	0,9900	0,9900	0,9888	0,9875	0,9875	0,9863
0,0220	0,9863	0,9850	0,9850	0,9838	0,9825	0,9825	0,9813	0,9813	0,9800	0,9788
0,0230	0,9788	0,9775	0,9775	0,9763	0,9763	0,9750	0,9750	0,9738	0,9738	0,9725
0,0240	0,9725	0,9708	0,9700	0,9700	0,9688	0,9688	0,9675	0,9675	0,9663	0,9663
0,0250	0,9650	0,9650	0,9638	0,9638	0,9625	0,9625	0,9613	0,9613	0,9606	0,9600
0,0260	0,9600	0,9588	0,9588	0,9575	0,9575	0,9563	0,9563	0,9550	0,9550	0,9538
0,0270	0,9538	0,9525	0,9525	0,9519	0,9513	0,9513	0,9506	0,9500	0,9500	0,9488
0,0280	0,9488	0,9475	0,9475	0,9463	0,9463	0,9463	0,9450	0,9450	0,9438	0,9438
0,0290	0,9425	0,9425	0,9425	0,9413	0,9413	0,9400	0,9400	0,9394	0,9388	0,9388
0,0300	0,9375	0,9375	0,9375	0,9363	0,9363	0,9363	0,9363	0,9350	0,9350	0,9346
0,0310	0,9333	0,9333	0,9325	0,9325	0,9325	0,9319	0,9313	0,9213	0,9300	0,9300
0,0320	0,9300	0,9294	0,9288	0,9288	0,9280	0,9275	0,9275	0,9275	0,9270	0,9270
0,0330	0,9263	0,9263	0,9257	0,9250	0,9250					

## **Anexo D**

### *Disposición general para determinación pH en agua.*

5.1 La temperatura varía el potencial del electrodo, este efecto se puede compensar con el ajuste de que dispone el propio aparato.

5.2 La ionización de la muestra depende de la temperatura, este efecto depende de la muestra, por lo que se debe registrar la temperatura a la que se analiza cada muestra.

5.3 La determinación del pH deberá realizarse dentro del menor tiempo posible y, si hay refrigeración a 4 ° C, el análisis se hará dentro de un tiempo máximo de 6 h.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo, B. (2017). *Estandarización de proceso de producción de Carbón activado por activación física a partir de cuesco de palma a escala industrial* (Tesis de grado). Fundación Universidad de América, Bogotá. Recuperado de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6583/1/6112759-2017-2-IQ.pdf>
- Andino, D. (2016). *Caracterización de los recursos de abastecimiento hídrico de la población de la Isla Santa Cruz* (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, sede Galápagos. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10498/1/T-UCE-0017-CB-005-2016.pdf>
- Arango, D. (2018). *Obtención de carbones activados a partir del cisco de café y el cuesco de la palma africana para aplicaciones en el área de energía* (Tesis de maestría). Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperado de <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/4522/Obtenci%C3%B3n%20de%20carbones%20activados%20a%20partir%20del%20cisco%20de%20caf%C3%A9....pdf?sequence=1>
- Arenas, I. y López, J. (2004). *Espectrofotometría de absorción*. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de [http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/met/espectrometria\\_de\\_absorcion.pdf](http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/met/espectrometria_de_absorcion.pdf)
- Asimbaya, C., Rosas, N., Endara, D. y Guerrero, V. (2015). Obtención de Carbón Activado a partir de Residuos Lignocelulósicos de Canelo, Laurel y Eucalipto. *Revista Politécnica*, 36(3). Recuperado de <https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen36/tomo3/ObtenciondeCarbonActivadoapartirdeResiduos.pdf>

- Aznar, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Gestión Ambiental*, 2(23), 12-19. Recuperado de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
- Bernal, D. (2017). *Estudio de la preparación de carbones activados funcionales a partir de biomasa* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/61233/7/DianaCarolinaBernalUrrego.2017.pdf>
- Bravo, K. y Garzón, A. (2017). *Eficiencia del carbón activado procedente del residuo agroindustrial de coco (Cocos nucifera) para la remoción de contaminantes en agua* (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Recuperado de <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/606>
- Burgos, G. y Jaramillo, J. (2015). *Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el cantón Milagro, provincia del Guayas* (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8941>
- Capote, T., Matute, S. y Rojas, J. (2015). Determinación de la dureza total en agua con EDTA empleando una solución amortiguadora inodora de borato. *Revista del Instituto Nacional de Higiene "Rafael Rangel"*, 16(1-2), 17-24. Recuperado de <http://ve.scielo.org/pdf/inhrr/v46n1-2/art03.pdf>
- Carranza, D., Alvarado, J., Méndez, D., Valenzuela, C. y Solanilla, J. (2015). Pretratamiento de residuos de plátano (*Musa paradisiaca* (L.) AAB) y arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) para la obtención de azúcares fermentables. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 6(1), 19-35. Recuperado de <http://oaji.net/articles/2017/4924-1495586231.pdf>

- Carreño, Á., Lucas, L., Hurtado, E., Barrios, R. y Silva, R. (2018). Sistema de tratamiento de aguas superficiales para consumo humano en la microcuenca del río Carrizal, Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 11(28), 76-87. doi: <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol11iss28.2018pp76-87p>
- Carrillo, V. y Sánchez, N. (2013). *Elaboración de un filtro a base de carbón activado obtenido del endocarpo de coco con el propósito de reducir la dureza en el agua potable* (Tesis de grado). Universidad de El Salvador. Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5307/1/16103409.pdf>
- Castillo, J. (2015). *Filtro domiciliario de arena y carbón para La Pereira, Parroquia La Avanzada cantón Santa Rosa, provincia de El Oro* (Tesis de grado). Universidad Técnica de Machala, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/2952>
- Cecchin, A. (2015). La gestión de los residuos entre formalidad e informalidad: límites y potencialidades para el reciclaje en Galápagos. *UTCiencia*, 2(2), 61-71. Recuperado de <http://investigacion.utc.edu.ec/revistasutc/index.php/utciencia/article/viewFile/27/28>
- CENTA. (2018). Cultivo de Plátano (*Musa paradisiaca*). Recuperado de [http://centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Guia%20centa\\_platano%202019.pdf](http://centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Guia%20centa_platano%202019.pdf)
- Chiclote, Y. (2018). *Mejora de la calidad del agua del río Cumbe empleando filtro de carbón activado* (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte, Perú. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/13839>
- CNEL. (2019). Expone tarifa residencial y tips de consumo eléctrico. Recuperado de <https://www.cnelep.gob.ec/2019/02/cnel-ep-expone-tarifa-residencial-y-tips-de-consumo-electrico/>

- Código Ecuatoriano de la Construcción de parte IX obras sanitarias. (1992). Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. Recuperado de [https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma\\_urbana\\_para\\_estudios\\_y\\_disenos.pdf](https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.pdf)
- Cury, K., Aguas, Y., Martinez, A., Olivero, R. y Chams, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 9, 122-132. doi: <https://doi.org/10.24188/recia.v9.nS.2017.530>
- Dagnino, J. (2014). Análisis de Varianza. *Bioestadística y Epidemiología Rev Chil Anest*, 46, 306-310. Recuperado de <https://revistachilenadeanestesia.cl/Pll/revchilanestv43n04.07.pdf>
- Danish, M., Ahmad, T., Nadhari, W., Ahmad, M., Ahmad, W., Ziyang, L. y Pin, Zhou. (2018). Optimization of banana trunk-activated carbon production for methylene blue-contaminated water treatment. *Water Science*, 8(9), 1-11. doi: <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0644-7>
- Delegido, J., Urrego, P., Vicente, E., Sória, P., Soria, J., Pereira, M., ...Moreno, J. (2019). Turbidez y profundidad de disco de Secchi con Sentinel-2 en embalses con diferente estado trófico en la Comunidad Valenciana. *Revista de Teledetección*, 54, 15-24. <https://doi.org/10.4995/raet.2019.12603>
- Delgado, M. (2016). *Diseño de un filtro a escala piloto para la retención de sólidos suspendidos de agua residual proveniente de una empresa licorera empleando caucho de neumáticos usados* (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15163>

- Delgado, O. (2018). *Evaluación de la eficiencia de la antracita y cuarzo en la remoción de contaminación del agua de la Quebrada Malvinas, Provincia Bagua, Región Amazonas, Perú* (Tesis de grado). Recuperado de <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/untrm/1555/delgado%20fern%c3%a1ndez%20orfa.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Domínguez, C. (2011). *Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la traslocación en la Isla Santa Cruz* (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3982>
- d'Ozouville, N. (2007). Agua Dulce, la realidad de un recurso crítico. Informe Galápagos 2005-2007. FCD, PNG & INGALA, Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador.
- Dudamel, W. y Rivero, T. (2015). Adsorción de la materia orgánica natural del agua para reducir la formación de trihalometanos. *Revista Digital de Investigación y Postgrado de la Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre"*, 5(3), 821-834. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5329323.pdf>
- EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos). (2020). Introducción a la Ley de agua limpia. Recuperado de [https://cfpub.epa.gov/watertrain/pdf/modules/Introduccion\\_a\\_la\\_Ley\\_de\\_Agua\\_Limpia.pdf](https://cfpub.epa.gov/watertrain/pdf/modules/Introduccion_a_la_Ley_de_Agua_Limpia.pdf)
- EPMAPASC (Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Cruz). (2020). Análisis de Calidad de Agua, número CA-2020-007.
- Estrategia Nacional de la Calidad del Agua. (2016). Quito, Ecuador. Recuperado de <https://www.agua.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2016/07/REVISTA-  
SENAGUA.compressed.pdf

FAO Y PNUD (2019). *Guía de análisis costo beneficio. Aplicación para medidas de adaptación al cambio climático en el sector agropecuario en Uruguay*, Montevideo. Recuperado de <http://www.fao.org/3/ca2795es/ca2795es.pdf>

Farrera, R., Marroquín, A., Cid, M., Dávila, E., ... Méndez, M. (2017). Producción de carbón activado a escala de laboratorio a partir de residuos de café. *Revista Pakbal*, 40, 40-44. Recuperado de [https://www.ingenieria.unach.mx/images/Articulos\\_revista/revistapakbal\\_40\\_pag40-44.pdf](https://www.ingenieria.unach.mx/images/Articulos_revista/revistapakbal_40_pag40-44.pdf)

Feijoo, C., De la Torre, E. y Uribe, R. (2019). Determinación de la capacidad de adsorción del complejo oro-cianuro en compósitos de carbón activado-vidrio. *Afinidad*, 76 (588), 299-306. Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/361881>

Filippín, A., Luna, N., Pozzi., M. y Pérez, J. (2017). Obtención y caracterización de carbón activado a partir de residuos olivícolas y oleícolas por activación física. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 8(3), 59-71. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323652916007.pdf>

Flóres, C. y Rojas, A. (2018). Aprovechamiento potencial de residuos de la agroindustria caldense según su composición estructural. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, doi: 10.18359/rfcb.3411. Recuperado de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/3411/3429#info>

Ghani, Z., Yusoff, M. y Andas, J. (2016). Development of Activated Carbon from Banana Pseudostem via Single Step of Chemical Activation.

*International Conference on Advanced Science, Engineering and Technology (ICASET)*.doi: <https://doi.org/10.1063/1.4965055>

Gholizadeh, M., Melesse, A. y Reddi, L. (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors*, 16, 1-43. doi: <https://doi.org/10.3390/s16081298>

Gómez, A., Klose, W., Rincón, S. y Wiest, W. (2004). Proceso de producción de carbón activado a partir de cáscaras de palma de aceite en un horno rotatorio y su aplicación en la limpieza de NO. *Palmas*, 25(2), 461-471. Recuperado de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1113>

Gómez, M., Danglot, C. y Vega, L. (2013). Cómo seleccionar una prueba estadística. *Revista Mexicana de Pediatría*, 80(2), 81-85. Recuperado de <https://www.medigraphic.com/pdfs/pediat/sp-2013/sp132g.pdf>

González, B. (2017). *Desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico* (Tesis de grado). Universidad de Chile, Santiago de Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/147405/Desarrollo-de-carb%C3%B3n-activado-a-partir-de-desechos-agroindustriales-con-aplicacion-en-adsorcion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Google Earth Pro. (2019). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Grisales, A. y Rojas, W. (2016). *Obtención de carbón activado a partir de activación química de pulpa de café y su aplicación en la remoción de colorantes en aguas residuales industriales* (tesis de grado). Universidad Tecnología de Pereira, Colombia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11059/6965>

Guerrero, A., Aguado, P., Sánchez, J. y Curt, M. (2016). Los residuos del cultivo de plátano en Ecuador podrían cubrir el 10% de su demanda de

bioetanol. RETEMA. Recuperado de <https://www.retema.es/noticia/los-residuos-del-cultivo-de-platano-en-ecuador-podrian-cubrir-el-10-de-su-demanda-de--qAduw>

Haro, A., Borja, A. y Triviño, S. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Dominio de las Ciencias*, 3(2), 506-525. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6325873>

Hernández, E. (2014). Hidrodinámica. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Recuperado de <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/16715/LECT147.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hernández, M., Otero, A., Falcón, J. y Yperman, Y. (2017). Características fisicoquímicas del carbón activado de conchas de coco modificado con HNO<sub>3</sub>. *Revista Cubana Quím*, 29(1), 26-38. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v29n1/ind03117.pdf>

Jiménez, C. (2017). *Evaluación de polímeros en pseudotallos de Musa acuminata AAA, Musa sapientum ABB y Musa paradisiaca AAB para elaboración de bioplástico*. ECOSU (El Colegio de la Frontera Sur). Recuperado de [http://aleph.ecosur.mx:8991/exlibris/aleph/a22\\_1/apache\\_media/9mmih2fgxfut53tbdjtm15flq7hdvn.pdf](http://aleph.ecosur.mx:8991/exlibris/aleph/a22_1/apache_media/9mmih2fgxfut53tbdjtm15flq7hdvn.pdf)

Jiménez, R. (1998). Metodología de la investigación elementos básicos para la investigación clínica. Editorial Ciencias Médicas, La Habana. Recuperado de [http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/bioestadistica/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_1998.pdf](http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/bioestadistica/metodologia_de_la_investigacion_1998.pdf)

- Lambis, H., Hernández, F., Morales, Y., Marín, L. y Pasqualino, J. (2015). Extracción de almidón a partir de residuos de piel de plátano. *XXVIII Congreso Colombiano de Ingeniería Química*, 62-66. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/303541238>
- León, M. (2002). *Manual de aplicación de los diseños experimentales básicos en el paquete NCSS* (Tesis de grado). Universidad Veracruzana. Recuperado de <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/47703/LeonSalazarMercedes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua N°305. (2014). Ecuador. Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu165480.pdf>
- Liu, J. y d'Ozouville, N. (2013). Contaminación del agua en Puerto Ayora: Investigación interdisciplinaria aplicada utilizando *Esterichia coli* como una bacteria indicador. *Informe Galápagos 2011-2012*, 77-83.
- Manrique, A. y Rivera, D. (2012). *Aprovechamiento de los residuos del pseudotallo del banano común (musa AAA) y del bocadillo (musa AA); para la extracción de fibras textiles* (Tesis de grado). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Marín, T., Heredia, V. y Alcarraz, M. (2019). Filtro de cascarilla de *Ricinus communis* y carbón vegetal para tratamiento de agua contaminada con hidrocarburos: diseño de un sistema en serie por etapas. *Ingeniería del agua*, 23(3), 187-198. <https://doi.org/10.4995/la.2019.11426>
- Martín, I., Salcedo, R. y Font, R. (2011). *Mecánica de Fluidos, Operaciones separación sólido-fluido*. Universidad de Alicante, España. Recuperado de [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/11/tema5\\_operaciones%20separacion.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/11/tema5_operaciones%20separacion.pdf)

- Martínez, C., Cayón, G. y Ligarreto, G. (2016). Composición química y distribución de materia seca del fruto en genotipos de plátano y banano. *Corpoica Ciencia Tecnológica Agropecuaria*, 17(2), 217-227. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v17n2/v17n2a06.pdf>
- Martínez, M. y Osorio, A. (2018). Validación de un método para el análisis de color real en agua. *Revista de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia*, 7(1), 143-155. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.68086>
- Medina, K. y Manrique, R. (2018). Uso del carbón activado para el tratamiento de aguas; Revisión y estudios de caso. *Revista Nacional de Ingeniería*, 1(1). Recuperado de <http://agenf.org/ojs/index.php/RNI/article/download/269/264>
- Mejías, N., Orozco, E. y Galáan, N. (2016). Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(6), 27-41. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/323959087\\_Aprovechamiento\\_de\\_los\\_residuos\\_agroindustriales\\_y\\_su\\_contribucion\\_al\\_desarrollo\\_sostenible\\_de\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/323959087_Aprovechamiento_de_los_residuos_agroindustriales_y_su_contribucion_al_desarrollo_sostenible_de_Mexico)
- Melo, D., Torres, Y., Serna, J. y Torres, L. (2015). Aprovechamiento de pulpa y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca spp*) para la obtención de maltodextrina. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 76-85. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v13n2/v13n2a09.pdf>
- Mingo, M. (2019). Jornada máxima de trabajo. Recuperado de <https://www.derechoecuador.com/jornada-maxima-de-trabajo>

- Misran, E., Maulina, S., Dina, S., Nazar, A. y Harahap, S. (2018). *Activated carbon production from bagase and banana stem at various times of carbonization*. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng, 309 012064.
- Murgueitio, E., Campo, M., Nirchio, M., Cuesta, O. y Tocto, J. (2019). Composición química y actividad biológica del pseudotallo de *Musa x paradisiaca* L (banano). *Revista Ciencia UNEMI*, 12(31), 19-29. Recuperado de <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/870/905>
- Navarro, J. (2017). Administración financiera. Relación costo-beneficio. Recuperado de <https://www.abcfinanzas.com/administracion-financiera/relacion-costo-beneficio>
- NMX-AA-83. (1982). Análisis de agua. Determinación de olor. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NMX-F-279. (1976). Determinación de humedad en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar. Mexican Official Standard. Determination of Humidity on Samples of Activated Carbons used for sugar refining. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NMX-F-284. (1981). Alimentos para humanos. Azúcar. Muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar. Determinación del contenido total de cenizas. Foods for humans. Sugar. Samples of activated carbons used for sugar refining. Determination of the total ashes content. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NTE INEN 0979. (1984). *Agua Potable*. Determinación de hierro. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/979.pdf>

NTE INEN 1102. (1984). *Agua Potable*. Determinación de plomo. Método de la ditizona. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1102.pdf>

NTE INEN 1105. (1984). *Aguas*. Muestreo para examen microbiológico. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/nte-inen-1105-aguas.-muestreo-para-examen-microbiol%c3%93gico.pdf>

NTE INEN 1108. (2011). *Agua Potable*. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de <https://bibliotecapromocion.msp.gob.ec/greenstone/collect/promocin/index/assoc/HASH01a4.dir/doc.pdf>

NTE INEN 154. (1986). *Tamices de ensayo*. Dimensiones nominales de las aberturas. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/154.pdf>

NTE INEN 1676. (2013). *Productos derivados de cacao*. Determinación de la humedad o pérdida por calentamiento. Método gravimétrico. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1676-1R.pdf>

NTE INEN 1988. (1995). *Productos químicos industriales*. Carbón Activado para uso industrial: determinación del número de yodo. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de <https://archive.org/details/ec.nte.1988.1995>

NTE INEN 1989. (2013). *Productos químicos industriales*. Carbón activado para uso industrial. Determinación de la dureza. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_1989.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_1989.pdf)

- NTE INEN 1991. (1995). *Productos químicos industriales*. Carbón activado para uso industrial. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de <https://ia902906.us.archive.org/23/items/ec.nte.1991.1995/ec.nte.1991.1995.pdf>
- NTE INEN 2169. (2013). *Agua*. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/nte-inen-2169-agua.-calidad-del-agua.-muestreo.-manejo-y-conservaci%c3%93n-de-muestras.pdf>
- NTE INEN 533. (2013). Cacao. (Productos derivados). Determinación de ceniza total. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/533-1R.pdf>
- NTE INEN 7027. (2013). *Calidad de Agua*. Determinación de Turbiedad. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_iso\\_7027extracto.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_7027extracto.pdf)
- NTE INEN 973. (1983). Agua Potable. Determinación del pH. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de <https://studylib.es/doc/5096958/nte-inen-0973--agua-potable.-determinaci%C3%B3n-del-ph>
- NTE INEN 974. (2016). *Agua Potable*. Determinación de la dureza total por titulación con EDTA. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/nte-inen-974-agua-potable.-determinaci%c3%93n-de-la-dureza-total-por-titulaci%c3%93n-con-edta.pdf>

- Orta, B. (2015). *Adsorción de plomo (II) en un adsorbente irradiado con rayos gamma* (tesis de grado). Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca. Recuperado de <https://core.ac.uk/reader/154798884>
- Ospina, O., García, G., Gordillo, J. y Tovar, K. (2016). Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el Río Combeima. *Ingeniería Solidaria*, 12(9), 19-36. <http://dx.doi.org/10.16925/in.v12i19.1191>
- Pereira, F., Cedeño, L., Romerosa, A. y Matamoros, M. (2017). Purificación de agua mediante carbón activo proveniente de la cáscara de arroz. *Conference Proceedings*, 1(1), 767- 777. Recuperado de <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach>
- Pérez, E. (2017). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 29 (3), 3-14. Recuperado de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v29n3/0379-3982-tem-29-03-00003.pdf>
- Plaza, M. (2015). *Evaluación de nuevos precursores y del proceso de activación con dióxido de carbono* (Tesis de grado). Universidad de Alicante, España. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=59650>
- Pradillo, B. (2016). Parámetros de control del agua potable. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable>
- Primera, O., Colpas, F., Meza, E. y Fernández, R. (2011). Carbones activados a partir de bagazo de caña de azúcar y zuro de maíz para la adsorción de cadmio y plomo. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 35(136), 387-396. ISSN 0370-3908.

ProMusa. (2016). Morfología de la planta del banano. Recuperado de <http://www.promusa.org/morfolog%c3%ada+de+la+planta+del+banano>

Ramírez, A., Giraldo, S., Flórez, E. y Acelas, N. (2017). Preparación de carbón activado a partir de residuos de palma de aceite y su aplicación para la remoción de colorantes. *Revista Colombiana Química*, 46(1), 3-41. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcq/v46n1/0120-2804-rcq-46-01-00033.pdf>

Redacción Económica (05 de enero del 2020). *El Telégrafo*. Recuperado de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/sueldo-basico-ecuador-america-latina>

Redondo, M. y Arias, M. (2011). Comparación de métodos para el análisis de coliformes totales y fecales en muestras de agua mediante la técnica de Número Más Probable (NMP). *Cuadernos de Investigación UNED*, 3(2), 219-225. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/314201777\\_comparacion\\_de\\_metodos\\_para\\_el\\_analisis\\_de\\_coliformes\\_totales\\_y\\_fecales\\_en\\_muestras\\_de\\_agua\\_mediante\\_la\\_tecnica\\_de\\_numero\\_mas\\_probable\\_nmp](https://www.researchgate.net/publication/314201777_comparacion_de_metodos_para_el_analisis_de_coliformes_totales_y_fecales_en_muestras_de_agua_mediante_la_tecnica_de_numero_mas_probable_nmp)

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M. y González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16 (2), 66-77. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>

Riera, M., Maldonado, S. y Palma, R. (2018). Residuos Agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3), 227-246. Recuperado de <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/download/3924/3686/>

- Rivera, C. y Ochoa, L. (2018). *Caracterización microbiológica de las aguas de los ríos de la ciudad de Cuenca* (Tesis de grado). Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31338>
- Rodríguez, V. y Escobar, J. (2018). *Evaluación del funcionamiento de filtros de biocarbón/arcilla en la potabilización del agua, mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos*, El Salvador. Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/18569/1/13101673.pdf>
- Rodríguez, Y., Salinas, L., Ríos, C. y Vargas, L. (2012). Adsorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de cromo de efluentes de la industria de curtiembres. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 146-156. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a17.pdf>
- Rojas, J., Gutiérrez, E. y Colina, G. (2016). Obtención y caracterización de carbón activado obtenido de lodos de plantas de tratamiento de agua residual de una industria avícola. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 17(4), 453-462. Recuperado de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1405774316300312?token=B610FD6A13A3BCE786E47809319D5D8FCF43DF820AAB25A20B877CF7EBCA42A9063CC7D77634340B0275D1DE07CF45B6>
- Román, C., Loza, D., Segura, L. y Dabirian, R. (2016). Construcción con tecnología abierta de un sensor de turbidez de bajo costo. *ITECKKNE*, 13(1), 17-22. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/itec/v13n1/v13n1a03.pdf>
- Rueda, D., López, J. y Nakaya, S. (2008). Monitoreo de Calidad del Agua en la Isla Santa Cruz. Informe Anual. PNG, JICA.
- Salazar, C., Murillo, E. y Oviedo, N. (2016). Calidad física, química y biológica de las aguas residuales del jardín botánico. *Revista Tumbaja, Ciencias*

*Biológicas*, 1(11), 115-133. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6226287>

Sánchez, C. (2018). *Caracterización de carbón activado a partir de bambú "guadua angustifolia kunth" utilizando el método químico*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/unalm/3340/sanchez-montesinos-christian.pdf?sequence=1&isallowed=y>

Sánchez, D. (2017). Conceptos básicos de filtración. Recuperado de [http://www.bdcint.com.do/wp-content/uploads/2017/06/Conceptos-basicos-de-filtracion\\_Pharm\\_vDS\\_Junio-2016.pdf](http://www.bdcint.com.do/wp-content/uploads/2017/06/Conceptos-basicos-de-filtracion_Pharm_vDS_Junio-2016.pdf)

Sánchez, J. (2004). *Determinación de la resistencia específica de la torta de una suspensión de 5 litros de CaO al 3.5 %* (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Recuperado de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/unap/7511/sanchez\\_quito\\_juan\\_cesar.pdf?sequence=1&isallowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/unap/7511/sanchez_quito_juan_cesar.pdf?sequence=1&isallowed=y)

Tejada, C., Villabona, A. y Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnología*, 18(34), 109-123. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/319144872\\_adsorcion\\_de\\_metales\\_pesados\\_en\\_aguas\\_residuales\\_usando\\_materiales\\_de\\_origen\\_biologico](https://www.researchgate.net/publication/319144872_adsorcion_de_metales_pesados_en_aguas_residuales_usando_materiales_de_origen_biologico)

Vargas, Y. y Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59-72. doi: <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>

Vidal, M., Rodríguez, A., Martínez, K., Ocampo, J. y Barrios, W. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. *Scientia et Technica Año XXIII*, 23(03), 411-419.

Recuperado de  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6760221>

Villasís, M. y Miranda, M. (2016). El protocolo de investigación IV: las variables de estudio. *Revista Alergia México*, 69(3), 303-310. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755025003.pdf>

Weather Spark. (2020). El clima promedio en Guayaquil. Recuperado de <https://es.weatherspark.com/y/19346/clima-promedio-en-guayaquil-ecuador-durante-todo-el-a%c3%b1o#sections-precipitation>

Zamora, J. (2017). *Evaluación de la calidad del carbón obtenido a partir del pseudotallo y raquis de la musa acuminata cavendish (banano)* (Tesis de grado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2672/1/t-uteq-0095.pdf>

Zapata, Z., Rojas, D., Arenas, E., Chejne, F., Londoño, C. y Perez, J. (2005). Producción de carbón activado a partir de carbón subbituminoso en reactores de lecho fluidizado por proceso autotérmico. *DYNA*, 72(147),47-56. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v72n147/a05v72n147.pdf>



**Presidencia  
de la República  
del Ecuador**



**Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes**



**SENESCYT**

Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## **DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Yo, **Tutivén Ramón Bélgica Alexandra**, con C.C: # **0803154533** autora del **componente práctico del examen complejo: Evaluación de la eficiencia del carbón activado procedente del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para su uso en remoción de contaminantes en agua de pozo** previo a la obtención del título de **Ingeniero Agroindustrial** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **17 de septiembre de 2020**

---

Nombre: **Tutivén Ramón Bélgica Alexandra**

C.C: **0803154533**



<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	<b>Evaluación de la eficiencia del carbón activado procedente del pseudotallo de plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.) para su uso en remoción de contaminantes en agua de pozo</b>		
<b>AUTOR(ES)</b>	<b>Bélgica Alexandra Tutivén Ramón</b>		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	<b>Dra. Ema Nofret Moreno Veloz, M. Sc.</b>		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	<b>Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo</b>		
<b>CARRERA:</b>	<b>Ingeniería Agroindustrial</b>		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	<b>Ingeniero Agroindustrial</b>		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	<b>17 de septiembre de 2020</b>	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	<b>95</b>
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Agroindustria, reciclaje, calidad.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	agua de pozo, carbón activado, eficiencia.		
<b>RESUMEN /ABSTRACT:</b> El objetivo de este proyecto es evaluar la efectividad del carbón activado (CA) procedente del pseudotallo del plátano (PP), variando el tamaño de las partículas, para determinar su porcentaje de remoción de contaminantes en agua del pozo Profundo (APP) de la Isla Santa Cruz. Será una investigación exploratoria-descriptiva; los datos se evaluarán con el Análisis de Varianza. Se diseñarán 3 filtros con 100 g de carbón activado cada uno con tamaños de poros de 1.70, 1.18 y 0.60 mm. El CA se obtendrá por método químico, empleando ácido fosfórico al 85 % con una relación de impregnación 1:1, a 600 °C por 2 horas. La captación del APP se realizará los días lunes, miércoles y viernes a las 10h00 y 15h00 durante 7 semanas. Las variables cualitativas (olor, sabor, color del agua filtrada (AF) y no filtrada (ANF)) serán evaluadas en términos no numéricos. Comparando los resultados con la norma NTE INEN 1108, para las variables cuantitativas se estima obtener valores de pH 9.0 (CA), 7.3 (ANF); humedad 5.890 % (PP), 9.8-12.75 % (CA); ceniza 16.290 % (PP), 19.24 % (CA); dureza 89 % (CA), 154 mg/L (ANF), 30.18 – 40.24 mg/L (AF); adsorción de azul de metileno de 778 m <sup>2</sup> /g (CA), índice de yodo 740 mg/g (CA); hierro 0.7 mg/L (ANF), 0.01 mg/L (AF); plomo 0.01 mg/L (ANF), plomo 99.91 % (AF), coliformes fecales 0 UFC/100 mL (ANF), 18.67 – 110 UFC/ 100 mL (AF); turbiedad 0.36 NTU (ANF), 0.319 – 0.72 NTU (AF). El análisis de Beneficio/Costo demostrará la viabilidad del proyecto.			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-979081747	<b>E-mail:</b> belannie97@outlook.es	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre:</b> Ing. Noelia Caicedo Coello, M. Sc.		
	<b>Teléfono:</b> +593- 987361675		
	<b>E-mail:</b> noelia.caicedo@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			