

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE, EN LOS POZOS SEPTICOS
POR MEDIO DEL USO DEL CARBÓN ACTIVADO DE BAMBÚ COMO MATERIAL FILTRANTE**

Juan Sebastián Vargas torres, Diana Patricia Rodríguez Otero



Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2025

Título del Trabajo de Grado: Evaluación de la capacidad de remoción de carga contaminante, en los pozos sépticos por medio del uso del carbón activado de bambú como material filtrante

Juan Sebastián Vargas Torres, Diana Patricia Rodríguez Otero

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Prof. Ing. Luis Efrén Ayala (Asesor Metodológico y Técnico)



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Ingeniería Civil, Facultad de ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2025

Tabla de contenido

GLOSARIO 8

RESUMEN 10

ABSTRACT 11

INTRODUCCIÓN 12

OBJETIVOS 13

 OBJETIVO GENERAL 13

 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 13

CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN 14

CAPÍTULO 2: SANEAMIENTO BÁSICO RURAL 17

 ASPECTOS QUE INFLUYEN EN EL SANEAMIENTO BÁSICO EN ZONAS RURALES 18

Agua Potable 18

Aguas Residuales 19

CAPÍTULO 3: CARACTERIZACIÓN DEL BAMBÚ 20

 GENERALIDADES 20

 TIPOS DE BAMBÚ 21

 GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH EN COLOMBIA 24

 MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN EN TRATAMIENTO DE AGUAS CON BAMBÚ 25

CAPÍTULO 4: MARCO NORMATIVO 28

CAPÍTULO 5: PARÁMETROS DE DISEÑO TANQUES SÉPTICO CONSTRUIDOS IN-SITU 31

 ÁREA HORIZONTAL 33

CAPÍTULO 6: DISEÑO DEL TANQUE SÉPTICO 35

 DIMENSIONES DEL POZO SÉPTICO 38

REMOCIÓN DE CONTAMINANTES CON FILTRO DE BAMBÚ EN POZOS SEPTICOS	4
CAPÍTULO 7: EL PROTOTIPO	41
CAPÍTULO 8: LECHO FILTRANTE CARBÓN ACTIVADO	45
ASPECTOS METODOLÓGICOS	50
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA	58

Lista de Tablas

Tabla 1 ODS – Bambú : Tomado de (Organización Internacional del Bambú y el Ratán).....	21
Tabla 2 Lista con especies de bambú endémicas	24
Tabla 3. MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DEL BAMBÚ A TRAVÉS DE BASES DE DATOS Y BUSCADORES	26
Tabla 4. Localización del sistema de tratamiento.....	29
Tabla 5. Valores máximos admisibles del efluente del pozo séptico.....	30
Tabla 6 Profundidad útil.....	32
Tabla 7. Parámetros Físicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en Vertimientos	34
Tabla 8 Contribución de aguas residuales por persona.....	36
Tabla 9 Tiempos de retención.....	36
Tabla 10 Valores de tasa de acumulación de lodos digeridos.	37
Tabla 11. Datos base para determinar las dimensiones del tanque.....	37
Tabla 12. Contribución de aguas residuales.	38
Tabla 13. Volumen y profundidad útil.	38
Tabla 14. Volumen del medio filtrante, cámara de reacción y sedimentación	38
Tabla 15. Ficha Técnica Guadilla	46
Tabla 16. Aforo volumétrico	51
Tabla 17. Comparación de resultados.	55

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 : . Hogares campesinos según acceso a servicios públicos, privados y comunales (%)

Total nacional y áreas 2024. 16

Ilustración 2 Hogares campesinos según tipo de servicio sanitario con que cuentan (%). 19

Ilustración 3. Pozo séptico corte frontal. 40

Ilustración 4. Esquema del pozo séptico visto de planta. 40

Ilustración 5. Prototipo Pozo Séptico Escala 1:3. 43

Ilustración 6. Pozo séptico lecho filtrante de gravas. 44

Ilustración 7. Pozo séptico segundo lecho filtrante Carbón activado Mineral. 45

Ilustración 8. Varas de Guadilla 47

Ilustración 9. Proceso de corte de las varas de Guadilla. 47

Ilustración 10. Inicio del proceso de Pirolisis. 48

Ilustración 11. Carbón de Bambú por pirolisis. 48

Ilustración 12. Carbón triturado y dejado en una solución de agua destilada con limón. 49

Ilustración 13. Secado del Carbón activado de Bambú 49

Ilustración 14. Caja sanitaria 50

Ilustración 15. Informe de resultados entrada al prototipo. 53

Ilustración 16. Informe de resultados después del carbón activado de bambú. 54

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Área Horizontal 33

Ecuación 2 Volumen útil. 37

Ecuación 3. Area superficial del Pozo Séptico 39

Ecuación 4. Largo Util. 39

Glosario

AGUAS RESIDUALES: Líquido resultante de actividades domésticas, que incluye excretas, aguas de lavado de cocina entre otros desechos. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

AGUA POTABLE: Agua que cumple con las características físicas, químicas y microbiológicas, apta para consumo humano sin causar efectos adversos en la salud. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

BAMBÚ: Planta herbácea de rápido crecimiento (3-5 años), altamente renovable, con raíces densas que actúan como filtros naturales (Organización Internacional del Bambú y el Ratán, 2024)

CARBÓN ACTIVADO: Carbón que ha sido "activado" a alta temperatura mediante calentamiento por vapor de agua y anhídrido carbónico o agentes deshidratantes, lo que da lugar a una estructura porosa interna enormemente desarrollada. (QuimiNet, 2004)

CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN: Unidad del tanque Imhoff, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables. (Salud, 2005)

CÁMARA DE FILTRACIÓN: La cámara filtrante constituye la pieza central de los procesos de filtración y permite separar eficazmente los sólidos mediante filtración a presión dirigida. (ALMAWATECH, 2024)

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO): Mide la cantidad de oxígeno necesaria ó consumida para la descomposición microbiológica (oxidación) de la materia orgánica en el agua, se define como la cantidad total de oxígeno requerido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable (Departamento Administrativo Nacional de Estadística)

FILTRO ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA): Un filtro anaerobio es un reactor biológico de lecho fijo con una o más cámaras de filtración en serie. Conforme las aguas residuales atraviesan el filtro, las partículas son atrapadas y la materia orgánica es degradada por la biomasa activa adjunta a la superficie del material del filtro (Elizabeth Tilley, 2018)

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas , 2015)

PIROLISIS: Es un proceso de degradación térmica de la biomasa, la cual se da en ausencia de oxígeno, es decir, en un ambiente completamente inerte. Este proceso siempre es el primer paso tanto para la combustión como para la gasificación (DANIELA ACOSTA RUBIO, 2021)

RAS: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (Ministerio de Vivienda, 2017)

SOLIDOS SEDIMENTABLES: Partícula presente en el agua residual, que tiene la propiedad de precipitar fácilmente (Salud, 2005)

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (TRH): Es el periodo de tiempo que el agua permanece en una unidad de tratamiento, desde la captación hasta el suministro a la red domiciliaria (Valades, 2021)

TRATAMIENTO PRIMARIO: Es aquel que se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes. (Daza, 2015)

Resumen

El presente proyecto busca una nueva aplicación del carbón activado de bambú como material filtrante para mejorar la calidad del agua tratada en los pozos sépticos en las zonas rurales de Colombia.

Ya que estas zonas carecen de sistemas de tratamiento de aguas residuales óptimos, el uso de los pozos sépticos se ha vuelto más común; Sin embargo, estos sistemas aun presentan una limitación respecto a su capacidad de remoción en las cargas contaminantes. Por lo tanto, se plantea el uso del Bambú como filtrante natural, aprovechando sus propiedades físicas y químicas como su estructura porosa y capacidad de adsorción.

Se busca aplicar la investigación de manera experimental, donde se quiere comparar la calidad del agua después de aplicada la cámara filtrante del carbón activado del bambú, bajo los parámetros solicitados.

Se pretende demostrar que el uso de bambú puede representar una mejora significativa en los niveles de tratamiento de aguas negras con una viabilidad y accesibilidad para las comunidades rurales.

Adicionalmente este proyecto busca tener en cuenta el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, dentro del capítulo de aguas limpias, saneamiento y consumo responsable.

Abstract

This project seeks a new application of bamboo as a filter material to improve the quality of treated water in septic tanks in rural areas of Colombia.

Since these areas lack optimal wastewater treatment systems, the use of septic tanks has become more common; however, these systems still have limitations in their ability to remove contaminants. Therefore, the use of bamboo as a natural filter is proposed, taking advantage of its physical and chemical properties, such as its porous structure and adsorption capacity.

The research aims to conduct an experimental study to compare water quality after the application of the activated bamboo carbon filter chamber under the requested parameters.

The aim is to demonstrate that the use of bamboo can represent a significant improvement in wastewater treatment levels, while being feasible and accessible for rural communities.

Additionally, this project seeks to address the achievement of the sustainable development goals, within the framework of clean water, sanitation, and responsible consumption.

Introducción

Teniendo en cuenta los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) planteados por la ONU, y considerando que actualmente en Colombia el 17.95% de la población se encuentra asentada en centros poblados y rurales dispersos y en busca de contribuir positivamente al cumplimiento de los mismos, revisados los datos estadísticos registrados en la Encuesta Nacional de Calidad de vida del DANE se ha evidenciado que el 88.9 % de las viviendas requieren de la intervención bajo la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales o mejora de los ya existentes.

Desde el punto de vista anterior y con el propósito de contribuir firmemente en el cumplimiento de una de las metas propuestas dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se pretende utilizar alternativas tecnológicas de tratamiento de aguas residuales de acuerdo a lo contextualizado en el RAS (Rural), utilizando como material viable el carbón activado proveniente del Bambú como capa filtrante en los pozos sépticos en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas evaluando la capacidad de remoción de carga contaminante.

Para esto se requiere caracterizar las zonas rurales del territorio Colombiano, identificando cuales no cuentan con sistemas de saneamiento básico, caracterizar el bambú a partir de bases de datos y buscadores especializados, Diseñar un prototipo a escala en el que se implemente la capa filtrante para posteriormente realizar análisis comparativos de los parámetros fisicoquímicos de las muestras, para así demostrar la viabilidad de uso del material teniendo en cuenta que el carbón de Bambú es un material altamente poroso, eficiente en la absorción de contaminantes presentes en aguas residuales.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la capacidad de remoción de carga contaminante, usando como material filtrante carbón activado de bambú en el tratamiento de aguas residuales domésticas en pozo séptico, según los parámetros mínimos establecidos en el RAS Rural.

Objetivos Específicos

- Caracterizar las zonas rurales del territorio colombiano a partir de las comunidades que lo integran, identificando cuales de estas no cuentan con un sistema de saneamiento básico.
- Realizar una matriz de caracterización a partir de bases de datos y buscadores especializados que relacionen el uso del bambú en el tratamiento de aguas residuales.
- Diseñar un prototipo a escala de un pozo séptico utilizando los materiales filtrantes estandarizados y una capa de Bambú.
- Realizar un análisis comparativo de los parámetros fisicoquímicos a través de la toma de muestras antes del tratamiento de Agua residual domiciliaria (ARD) antes y después de filtrada.

CAPÍTULO I: Caracterización de la población

Teniendo en cuenta los objetivos de desarrollo sostenible planteados por la ONU, dentro de los cuales se encuentra Agua Limpia y saneamiento donde se proponen soluciones adecuadas para el manejo de las aguas residuales en zonas rurales del país y en las que se plantea aumentar los porcentajes de aguas tratadas.

De acuerdo a lo anterior se identifica dentro de las poblaciones vulnerables las pertenecientes a Cuatro (4) grupos étnicos los cuales están identificados de acuerdo a las características de su lengua, tradiciones y recuerdos históricos, creencias religiosas, costumbres entre otras. y la mentalidad o psicología colectiva, como son:

Población indígena aborígen.

Población Rom o gitana.

Población raizal del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Población negra o afrocolombiana.

En el Censo 2005, DANE, se caracterizó los grupos étnicos, reconociendo que los afrocolombianos son el grupo más numeroso del país integrando el 10,52% de la población total, indígena con el 3.43%, rom 0.01%, palenquero de San Basilio 0.02%, Raizal del Archipiélago de San Andrés 0.08%, sin etnia 85.94%.

Sin embargo, la DPN (Departamento Nacional de Planeación) en su informe “Misión para la transformación del campo” del año 2014, realizó un estudio para la categorización y caracterización de las ciudades y aglomeraciones, intermedio, rural y rural disperso.

Tomando en relación el informe se define la ruralidad “Corresponde a los municipios que tienen cabeceras de menor tamaño (menos de 25.000 habitantes) y presentan densidades

poblacionales intermedias (entre 10 hab/km² y 100 hab/km²). En total son 373 municipios para 2014 con población rural de 5.402.735 y el área municipal es 19,8 %” (Planeación), DNP (Departamento Nacional de, 2014)

Así mismo define el rural disperso como “Son aquellos municipios y áreas no municipalizadas (ANM) que tienen cabeceras pequeñas y densidad poblacional baja (menos de 50 hab/km²). 318 territorios son considerados en la categoría de “rural disperso” para el 2014, están asociados a una población rural de 3.658.702 y el área es del 64,9 % del total nacional.” (Planeación), DNP (Departamento Nacional de, 2014). Generando una nueva forma de categorizar la población rural en el entorno nacional.

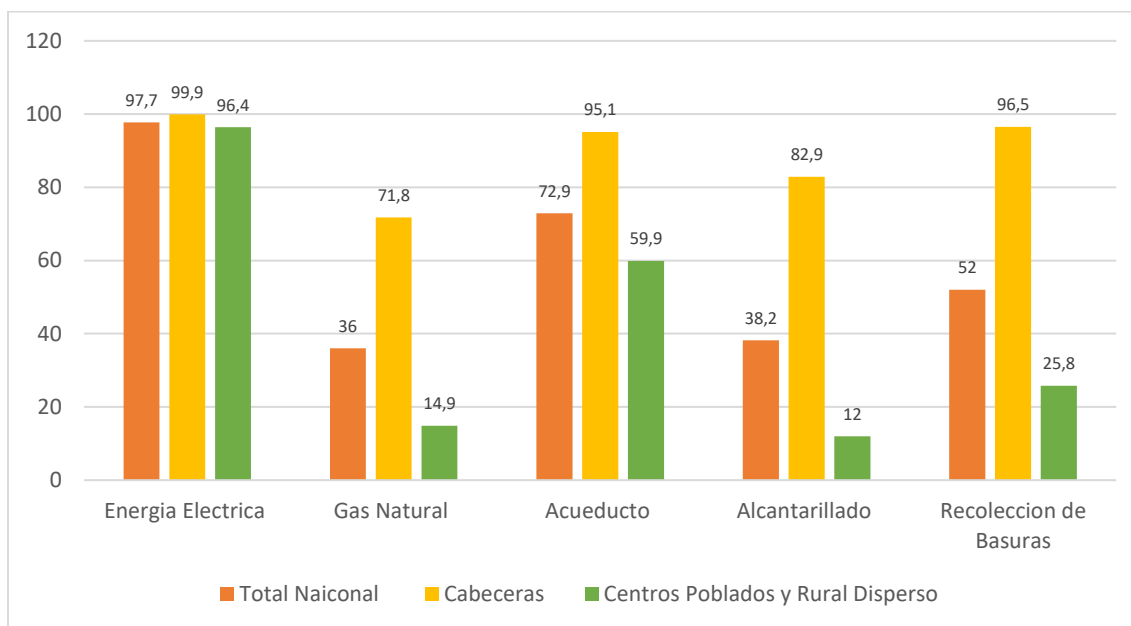
El último dato presentado por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) presenta en su boletín técnico “Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV)” del año 2024, este para poder obtener la información analizar y estudiar las condiciones socioeconómicas en los diferentes sectores demográficos en los hogares colombianos.

Según el DANE el boletín técnico centran los datos en varias orientaciones los cuales son El formulario de 2024 incluyó preguntas en las siguientes dimensiones del bienestar de los hogares y las personas que los conforman: i) Características de la vivienda, ii) Servicios del hogar, iii) Características y composición del hogar, iv) Salud, v) Atención integral de los niños y niñas menores de 5 años, vi) Educación, vii) Fuerza de trabajo, viii) Tecnologías de información y comunicación (TIC), ix) Trabajo infantil, x) Tenencia y financiación de la vivienda, xi) Condiciones de vida y tenencia de bienes; xi) Compra de bienes y servicios. (DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), 2024), donde se tomara como referencia principal el apartado No. 2 (Servicios del Hogar) para poder tener una base frente al estudio que se está realizando.

Donde se reporta: “Los resultados sobre el acceso de los hogares ubicados en los municipios PDET a los servicios públicos, privados o comunales por áreas revelan niveles altos para los servicios de energía eléctrica, acueducto, recolección de basuras, alcantarillado y servicio de gas en las **cabeceras** (99.9%, 95.1%,96.5%,82.9% y 71.8%, en su orden), así como brechas significativas entre las áreas urbana y rural en los servicios de gas natural, alcantarillado, recolección de basuras y acueducto” (DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), 2024).

Ilustración 1 : . Hogares campesinos según acceso a servicios públicos, privados y comunales (% Total nacional y áreas 2024.

“Adaptado de (DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), 2024)”



Nota: Se refleja diferencias significativas a la hora de analizar el acceso al servicio de alcantarillado entre las áreas urbanas y las zonas rurales; Mientras que en las cabeceras el 82.9% de la población tiene acceso, en las zonas rurales solo el 12% cuenta con este

servicio, lo que puede concluir con la deficiencia y desigualdad. “Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV)” del año 2024” (*Boletín Técnico Resultados Para Municipios PDET Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) 2023*, n.d.)

A lo largo del tiempo, las comunidades rurales dispersas han enfrentado dificultades relacionadas con el saneamiento básico, principalmente debido a la ausencia de sistemas concentrados para tratar las aguas residuales domésticas. En varios casos, las descargas de aguas residuales sin tratamiento previo en lechos de aguas o directamente en el suelo.

Capítulo 2: Saneamiento Básico Rural

Actualmente e históricamente el saneamiento básico rural sigue presentando desafíos importantes para el desarrollo, como lo describe en el informe de gestión, el Ministerio de Vivienda “... durante décadas las políticas públicas estuvieron mal enfocadas y han ignorado las zonas rurales, los pueblos indígenas, los territorios apartados y las comunidades que han encontrado por sí solas soluciones adaptadas a las problemáticas de agua y saneamiento básico.” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT), 2023) esto demuestra, la ausencia del estado y la política en las zonas rurales de Colombia, frente las coberturas de tratamiento de aguas residuales y manejo de residuos.

Teniendo en cuenta los que la vivienda y el agua son derechos fundamentales como base en el desarrollo social, estos se han visto en desigualdad principalmente en las zonas rurales del territorio nacional. Según el Ministerio de Vivienda “El contraste entre lo urbano y lo rural se refleja en que, de los 3,2 millones de personas sin acceso al agua potable, 2,6 millones residen en áreas rurales (0,6 millones viven en zonas urbanas)”, explicando el efecto que sufren las zonas

rurales con servicios básicos e infraestructuras limitadas. Asimismo, deja en evidencia las prematuras condiciones que se presentan para la salud pública y disposición de eses en las zonas rurales resaltando “En 2021, aún 1,5 millones de personas en Colombia practicaban la defecación al aire libre. En las zonas rurales, solo el 76% de las personas cuenta con acceso a servicios de saneamiento, en contraste, en zonas urbanas esta proporción llega al 91,9%.” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT), 2023)

Aspectos que influyen en el saneamiento básico en zonas rurales

Se evidencian varios aspectos que pueden incidir directamente en el desarrollo o aplicaciones de los sistemas básicos de saneamientos rurales, los cuales pueden ser aspectos técnicos, sociales, económicos y ambientales.

Agua Potable

“Es aquella que cumple características, físicas, químicas y microbiológicas que la hacen apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal y no produce efectos adversos en la salud humana”. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) dentro de la normativa colombiana se tienen definidos las tecnologías para la potabilización del agua donde los delimita como convencionales y no convencionales.

Aguas Residuales

“Desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica en viviendas: contienen excretas, agua de lavado de cocina, etc. Son la combinación de aguas grises y aguas con excretas.” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT), 2023).

Según el DANE, Resultados para población campesina Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) 2024, capítulo 1.2.3 Acceso a servicios públicos, privados o comunales.

Ilustración 2 Hogares campesinos según tipo de servicio sanitario con que cuentan (%).

Tomado de (DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), 2024)

Tipo de servicio sanitario	Total nacional	Cabeceras	Centros poblados y rural disperso
Inodoro conectado a alcantarillado	37,0	81,7	10,8
Inodoro conectado a pozo séptico	46,5	12,7	66,3
Inodoro sin conexión	3,1	1,3	4,1
Letrina	1,8	0,4	2,7
Inodoro con descarga directa a fuentes de agua (bajamar)	4,3	2,9	5,1
No tiene servicio sanitario	7,3	1,1	11,0

Fuente: DANE, ECV.

Se puede identificar que 2 de cada 3 hogares campesinos (66.3%) utiliza inodoros conectados a pozos sépticos, esto por la baja cobertura de las redes de alcantarillado en estas zonas (10,8%); adicionalmente se puede evidenciar las condiciones precarias de las condiciones en las zonas rurales con el (11%) de la población sin servicio sanitario



Capítulo 3: Caracterización del Bambú

Generalidades.

El bambú se ha catalogado como una de las plantas más renovables para el planeta, donde este mismo por sus variedades, presenta diferentes características

Como describe la organización Internacional del Bambú y ratán, en su página web, *“Aunque el bambú es técnicamente una planta herbácea, puede crecer hasta 35 metros de altura y 30 centímetros de diámetro. Su rápido crecimiento, su rápida madurez (dentro de tres a cinco años)”* Así mismo destaca los beneficios socioeconómicos y ambientales que hacen que esta planta sea tan importante tenerla en cuenta en los desarrollos de nuevos proyectos *“Aparte de sus beneficios socioeconómicos, el bambú es una parte clave de los ecosistemas biodiversos. Los extensos sistemas de raíces del bambú se unen en el suelo y pueden elevar el nivel freático, convirtiéndose en una parte importante de los proyectos de lucha contra la desertificación en todo el mundo.”* (Organización Internacional del Bambú y el Ratán, 2024)

Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles, se tiene en cuenta el bambú como uno de las principales plantas para el buen desarrollo de estos, se consigna en la siguiente tabla cada uno de los objetivos relacionados con el cultivo y producción del bambú.

OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE	DESCRIPCIÓN
	<p>El bambú constituye una importante fuente de sustento para millones de personas, especialmente en las zonas rurales.</p>
	<p>El bambú puede ser una fuente de energía sostenible, escalable y renovable, lo que reduce la presión sobre otros recursos forestales.</p>






	<p>El bambú es fuerte, flexible, ampliamente disponible y asequible, y se ha utilizado como material de construcción durante miles de años.</p>
	<p>El bambú se puede transformar en una amplia gama de productos con bajo contenido de carbono, reemplazando desde plásticos de un solo uso hasta acero.</p>
	<p>El bambú y los productos de bambú pueden almacenar más carbono que determinadas especies de árboles. El bambú y el ratán son una fuente de ingresos resiliente para las comunidades vulnerables al cambio climático.</p>
	<p>El bambú y el ratán son una parte importante de los ecosistemas biodiversos y pueden ayudar a proteger los bosques en los que crecen.</p>
	<p>Con una red de Estados miembro repartidos por todo el mundo, INBAR desempeña un papel importante en la promoción del bambú y el ratán para el desarrollo sostenible.</p>

Tabla 1 ODS – Bambú : Tomado de (Organización Internacional del Bambú y el Ratán)

TIPOS DE BAMBÚ

En la actualidad según Guadua Bambo *“Científicamente hablando, hay 3 tipos de bambú (tribus), que consisten en bambúes herbáceos (Olyreae), bambúes leñosos tropicales (Bambuseae) y bambúes leñosos templados (Arundinarieae). En total, contienen 1718 especies que se clasifican en 128 géneros.”* (Guadua Bamboo SAS, 2024)

Según los científicos estas especies se puede dividir en dos grupos, los bambúes herbáceos y leñosos tropicales suelen crecer en grupos y los bambúes leñosos son clasificados como los corrientes o invasores.

Colombia se destaca como uno de los principales países productores de bambú, considerado como el país con la segunda diversidad de bambú en Latinoamérica, *“En la*

actualidad, se reportan 8 géneros y 80 especies, siendo 24 especies endémicas y al menos 12 especies quedan por describir.” (Guadua Bamboo SAS, 2024)

Los departamentos con mayor diversidad de esta planta en su categoría leñosa se encuentran en Norte de Santander, Cundinamarca, Cauca, Valle del Cauca, Antioquia, Huila, Nariño, y Quindío.

En la región andina se encuentra la mayor variedad de bambúes leñosos, alcanzando el 89% de las especies conocidas. La Cordillera Oriental, particularmente, destaca como el área con mayor riqueza de estas especies, juntando alrededor del 55% de todos los bambúes leñosos registrados.

Además, es de notar que cerca del 60% de estas especies crecen a alturas que oscilan entre los 2000 y los 3500 metros, adaptándose a las condiciones únicas de estas altitudes.

En la siguiente tabla se relacionan las especies sentadas en el Territorio Nacional

ESPECIES	DIÁMETRO Ø	ALTURA
Arthrostylidium auriculatum	Ø 3 mm	↑ 4 m
Arthrostylidium chiribiquetensis		
Arthrostylidium ecuadorensis	Ø 2,5 mm	↑ 6 m
Arthrostylidium pubescens	Ø 25 mm	↑ 15 m
Arthrostylidium punctulatum	Ø 10 mm	↑ 7 m
Arthrostylidium simpliciusculum	Ø 10 mm	↑ 12 m
Arthrostylidium venezuelae	Ø 30 mm	↑ 10 m
Arthrostylidium virolinensis	Ø 3 mm	↑ 3 m
Arthrostylidium youngianum	Ø 15 mm	↑ 12 m
Aulonemia bogotensis	Ø 2,5 mm	↑ 1 m
Aulonemia patula	Ø 15 mm	↑ 5 m
Aulonemia pumila	Ø 3 mm	↑ 1 m
Aulonemia queko	Ø 30 mm	↑ 15 m
Aulonemia robusta	Ø 25 mm	↑ 4 m
Aulonemia trianae		
Chusquea albilanata	Ø 15 mm	↑ 5 m

<i>Chusquea angustifolia</i>	Ø 5 mm	↑ 1 m
<i>Chusquea antioquiensis</i>	Ø 55 mm	↑ 15 m
<i>Chusquea arachniformis</i>	Ø 5 mm	↑ 3 m
<i>Chusquea aristata</i>	Ø 10 mm	↑ 3 m
<i>Chusquea clarkiae</i>		
<i>Chusquea dombeyana</i>	Ø 5 mm	↑ 4 m
<i>Chusquea fimbriligulata</i>	Ø 18 mm	↑ 6 m
<i>Chusquea glomerata</i>	Ø 8 mm	↑ 1,5 m
<i>Chusquea grandiflora</i>		↑ 18 m
<i>Chusquea latifolia</i>	Ø 15 mm	↑ 4 m
<i>Chusquea lehmannii</i>	Ø 45 mm	↑ 6 m
<i>Chusquea ligulata</i>		
<i>Chusquea londoniae</i>	Ø 20 mm	↑ 9 m
<i>Chusquea longiprophylla</i>	Ø 15 mm	↑ 10 m
<i>Chusquea maculata</i>	Ø 30 mm	↑ 12 m
<i>Chusquea mollis</i>		↑ 4,5 m
<i>Chusquea nobilis</i>		↑ 3 m
<i>Chusquea pallida</i>		↑ 9 m
<i>Chusquea petiolata</i>	Ø 15 mm	↑ 4 m
<i>Chusquea purdieana</i>		
<i>Chusquea scandens</i>	Ø 25 mm	↑ 6 m
<i>Chusquea serpens</i>	Ø 10 mm	↑ 20 m
<i>Chusquea serrulata</i>		
<i>Chusquea silverstonei</i>	Ø 4 mm	↑ 2 m
<i>Chusquea simpliciflora</i>	Ø 10 mm	↑ 25 m
<i>Chusquea sneidernii</i>	Ø 40 mm	↑ 16 m
<i>Chusquea spadicea</i>		
<i>Chusquea spathacea</i>	Ø 10 mm	↑ 6 m
<i>Chusquea spectabilis</i>		↑ 8 m
<i>Chusquea spencei</i>	Ø 40 mm	↑ 6 m
<i>Chusquea stuebelii</i>		↑ 4 m
<i>Chusquea subulata</i>	Ø 80 mm	↑ 10 m
<i>Chusquea tessellata</i>	Ø 10 mm	↑ 3 m
<i>Chusquea tuberculosa</i>	Ø 7 mm	
<i>Chusquea uniflora</i>	Ø 25 mm	↑ 6 m
<i>Elytrostachys clavigera</i>	Ø 40 mm	
<i>Elytrostachys typical</i>	Ø 40 mm	↑ 10 m
<i>Guadua amplexifolia</i>	Ø 100 mm	↑ 20 m
<i>Guadua angustifolia</i>	Ø 150 mm	↑ 30 m
<i>Guadua angustifolia</i> var. <i>bicolor</i>	Ø 120 mm	↑ 18 m
<i>Guadua angustifolia</i> var. <i>nigra</i>		
<i>Guadua glomerata</i>	Ø 45 mm	↑ 12 m
<i>Guadua incana</i>	Ø 90 mm	↑ 18 m

Guadua macrospiculata	Ø 40 mm	↑ 15 m
Guadua paniculata	Ø 70 mm	↑ 10 m
Guadua superba	Ø 150 mm	↑ 20 m
Guadua uncinata	Ø 60 mm	↑ 8 m
Guadua weberbaueri	Ø 60 mm	↑ 18 m
Neurolepis acuminatissima		
Neurolepis aperta		
Neurolepis aristata	Ø 10 mm	↑ 3 m
Neurolepis mollis		↑ 4,5 m
Neurolepis nobilis		
Neurolepis petiolata	Ø 15 mm	↑ 2 m
Neurolepis silverstonei	Ø 4 mm	↑ 2 m
Neurolepis stuebelii		
Otatea fimbriata		
Rhipidocladum abregoensis	Ø 5 mm	↑ 8 m
Rhipidocladum angustiflorum		
Rhipidocladum geminatum	Ø 25 mm	↑ 10 m
Rhipidocladum harmonicum	Ø 60 mm	↑ 20 m
Rhipidocladum longispiculatum	Ø 60 mm	↑ 15 m
Rhipidocladum parviflorum		
Rhipidocladum racemiflorum	Ø 10 mm	↑ 15 m

Tabla 2 Lista con especies de bambú endémicas

En Colombia se abarca aproximadamente 51.500 Ha, donde 46.261 Ha son bosques totalmente naturales y 5.260 Ha son cultivados. *“El área total de bosque natural de Guadua en los cuatro departamentos centro-occidentales representa el 44% del total nacional, con un 75% de Guadua con un tamaño de entre 0,4 y 10 ha. Solo el 16-20% de esta área tiene una gestión adecuada.”* (Guadua Bamboo SAS, 2024)

GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH EN COLOMBIA

Conocida como el “Acero Vegetal” con un sin número de usos como lo fabricación de muebles, hasta la construcción, catalogada como uno de los Bambús más importante de América, tiene grandes ventajas y características que la vuelve única dentro de todas las especies o recurso natural.

Sus características físicas se han reportado con un diámetro máximo de 25 cm y manteniendo un promedio de 9 cm a 13 cm; Actualmente la guadua es una planta renovable de generación directa, lo que quiere decir que, en el territorio nacional, esta planta crece de manera espontánea sin ser necesario un cultivo organizado, teniendo las condiciones térmicas y de humedad adecuadas el proceso de crecimiento de estas se puede reproducir de manera independiente.

Se caracterizan por su impacto ambiental, “Ya que conserva el suelo, controla la erosión, regula el flujo de ríos y arroyos, suministra material orgánico y actúa como sumidero de CO2.”

(Guadua Bamboo SAS, 2024)

MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN EN TRATAMIENTO DE AGUAS CON BAMBÚ

El bambú se utiliza comúnmente en el tratamiento del agua debido a su alta capacidad de absorción de nutrientes y contaminantes, por lo que es esencial para la remediación y purificación de aguas residuales. Su extenso y denso sistema radicular actúa como un filtro natural reteniendo no sólo metales pesados y compuestos orgánicos sino también patógenos.

(PUERTO ANGARITA & ORTIZ QUINTERO, 2019)

Tabla 3. MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DEL BAMBÚ A TRAVÉS DE BASES DE DATOS Y BUSCADORES

ESPECIE DE BAMBÚ	INVESTIGACIÓN	PROPIEDADES FISICO MECANICAS	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Guadua angustifolia Kunth y Guadua aff. angustifolia Kunth	Captar Arsénico de las aguas subterráneas del Distrito de Pacora - Perú (Chau Mera & Vásquez Puicón, 2020)	Capacidad de Compresión: 825 kg/cm ² Capacidad a la flexión 850 kg/cm ² Capacidad de Tensión: 2038 - 3058 kg/cm ²	Remoción del 90% de arsénico del agua. Cuando alcanzan un grado de activación del 42,21% con un rendimiento el 57,79	La ventaja varía de acuerdo al tipo de activación entre estas: Bajo costo para la obtención (Activación Física) Disminución de costo por insumos (Activación Química)	Se requieren temperaturas de 900 °C lo que implica el uso de maquinaria (Activación Física) Costos de control de operaciones críticas en activación y carbonización (Activación Química)
Guadua angustifolia Kunth y Guadua aff. angustifolia Kunth	Revisión y vigilancia tecnológica en el uso de Carbón activado de Guadua para el tratamiento de aguas residuales. (Ortiz-Quintero & Puerto-Angarita, 2019)	Resistencia a la compresión 825 kg/cm ² Resistencia a la flexión 856 kg/cm ² Módulo de elasticidad 203 879 kg/cm ² Resistencia a la tensión 2038 - 3058 kg/cm ² Relación de rigidez 340 kg/cm ²	En la revisión bibliográfica que realizan indican que en otras investigaciones el carbón activado es usado como material absorbente y una gran capacidad de adhesión de partículas, también ha demostrado una gran capacidad de absorción para el azul de metileno.	El trabajo resalta la eficiencia en el uso de Carbón activado de bambú para la remoción de carga contaminante y que el sistema puede ser empleado en estructuras más grandes de saneamiento como son las PTAP y PTAR	En el reposito no se detalla ninguna desventaja de uso del carbón activado de Bambú.
Bambusa vulgaris striata	Optimización de la producción del carbón activado a partir del Bambú (Velázquez-Trujillo et al., 2010)	Caracterización física del CA condiciones óptimas Densidad Real 1,54 g/cm ³ Densidad aparente 0,23 g/cm ³ Ceniza 8,57% Porosidad 85,355 Humedad 4,63 % Numero de yodo 917 mg/g	Se obtiene un rendimiento del 80% bajo variables de producción como la temperatura, y el tiempo indicando que la temperatura de activación debe ser de 550,98 °C con un tiempo de 122,76 min el cual arroja resultados de respuesta óptimos.	se produce una mejor calidad de carbón activado con un mayor desarrollo de porosidad que dejando el espacio necesario para observar moléculas. La especie muestra un mayor rendimiento en el proceso de carbonización del 25% comparado con una investigación anterior.	No se evidencias desventajas

ESPECIE DE BAMBU	INVESTIGACIÓN	PROPIEDADES FISICO MECANICAS	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Chusquea Scandens Kunth	Evaluación de la viabilidad de un tratamiento de agua por carbón activado obtenido de bambú de la especie Chusquea Scandens Kunth (Vejarano Leal & Casas Contreras, 2021)	Estructura porosa y un área de superficie interna muy elevada, con una estructura química del carbón de forma bruta de grafito amorfa. Las dimensiones de los poros varían con respecto al proceso de activación.	Dentro de las investigaciones revisadas esta resulta ser una de las más detalladas en la que se revisaron varios parámetros con resultados que se encuentran dentro de los rangos permisibles de la resolución 0631 de 2015 concluyendo que es un material viable para tratamiento de aguas.	Gran desempeño en la remoción de contaminantes en el tratamiento de aguas domiciliarias	A través del tiempo y teniendo en cuenta los resultados de remoción el material llegara a su punto más alto de saturación donde la absorción se detiene.
Gigantochloaaspera, Guadua angustifolia Kunth y Guadua aff. angustifolia Kunth Phyllostachys aurea (André) Rivière & C. Rivière	Uso de agua residual sedimentada para riego de Bambú (Celada, 2012)	No relacionan	El estudio demuestra como el uso de agua residual con tratamiento primario "Sedimentación" favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas de bambú	Reutilización del agua residual en sistemas de riego. La plantación de bambú protege suelos y mejoran la calidad del aire	ninguna

Capítulo 4: Marco Normativo

Los pozos sépticos son sistemas subterráneos, sellados, diseñados y construidos para el tratamiento primario de aguas residuales utilizados en lugares descentralizados o zonas rurales que no cuentan con redes de alcantarillado que permita la recolección, transporte y tratamiento. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

Según el RAS 2000, E.3.4., no está permitido que entre aguas lluvias ni desechos, así como tampoco deben estar dispuestos directamente en un cuerpo de agua superficial.

Existen varios tipos de pozos sépticos los cuales pueden ser clasificados según su forma “Rectangulares, Circulares”, de una o varias cámaras, según el material “Concreto, Polietileno, Plástico, fibra de vidrio”, construidos in-situ o prefabricados.

Para su localización se deben conservar las siguientes distancias mínimos:

1. 1.50 m distantes de construcciones, límites de terrenos, sumideros y campos de infiltración.
2. 3.00 m distante de árboles y cualquier punto de redes públicas de abastecimiento de agua.
3. 15.00 m distantes de pozos subterráneos y cuerpos de agua de cualquier naturaleza. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)
4. Según la (EAAB), NS-066 el Sistema de tratamiento debe estar localizado a una distancia apropiada de las construcciones definiendo en la siguiente tabla las distancias mínimas aceptables:

Tabla 4. Localización del sistema de tratamiento.

Distancia a edificaciones	1.50 m
Distancia a Pozos de agua	15 m a 30 m
Distancia límites de propiedad	1.50 m a 3 m
Distancias a corrientes de agua	15 m a 25 m
Distancia a cortes o terraplenes	8 m
Distancias a piscinas	3 m a 7.5m
Distancia a tuberías de agua	3 m
Distancia a árboles grandes	3 m
Distancia a caminos peatonales	1.50 m
Líneas divisorias de lotes	0.60 m
Distancias a sumideros y campos de infiltración	1.50 m

Fuente: NS-066 (EAAB)

Según la sección 3, Art. 171 del RAS 0330 de 2017, se deberán realizar estudios previos a la implantación del sistema de tratamiento entre estos:

1. Identificar cuerpos de agua superficial cercanas a la Vivienda.
2. Hacer un estudio topográfico que permita ubicar planimétrica y altimétricamente el sistema de tratamiento.
3. Localizar el sistema y tratamiento complementario del afluente, o postratamiento.
4. Determinar las características del terreno: elevaciones máximas del nivel freático y capacidad de infiltración del subsuelo.
5. Establecer los trámites de requisitos ambientales según la normativa ambiental vigente, y obtener las autorizaciones ambientales que se requieran.

Es importante considerar el uso de trampas de grasas tal y como lo indica el art. 172 de la resolución 0330 de 2017, teniendo en cuenta los aportes de grasas y aceites provenientes de las cocinas los cuales deben ser eliminados del sistema protegiendo los procesos de

tratamiento para el caso de estudio pozos sépticos, la cuales deberán ser ubicadas aguas arriba del tanque séptico. (Waterpeople, s.f.)

Para el diseño de las trampas de grasas se debe tener en cuenta los siguientes parámetros constructivos:

1. El volumen de la trampa de grasa se calculará para un periodo de retención mínimo de 2.5 min.
2. La relación largo-ancho del área superficial de la trampa de grasa deberá estar comprendida entre 1:1 a 3:1, dependiendo de su geometría.
3. La profundidad útil mínima de acuerdo a su volumen deberá ser de 0.35 m

Esta debe operarse y limpiarse regularmente, siempre que este alcance el 75% de su capacidad con el fin de evitar escapes de grasa y que se generen malos olores. (Resolución 0330, Art. 72, Parágrafo 1).

Cuando se disponga de sistemas de manejo de aguas grises, éstas no ingresarán al pozo séptico y podrán ser utilizadas o conectadas al sistema de postratamiento. (Resolución 0330, art. 172, parágrafo 2).

El afluente del pozo séptico debe cumplir, como mínimo, con las siguientes características de acuerdo a la (EAAB).

Tabla 5. Valores máximos admisibles del efluente del pozo séptico.

Parámetro	Unidades	% remoción
DBO	Mg/l	55
SS	Mg/l	80
Nitrógeno total	Mg/l	25
Coliformes fecales	NMP/100 ml	99

Fuente: NS-66 (EAAB)

Capítulo 5: Parámetros de diseño Tanques Séptico construidos in-situ

Dentro de los parámetros de diseño constructivo de acuerdo a la resolución 0330 de 2017, art. 172, se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Tiempo de retención hidráulica debe estar entre 12 a 24 horas. De acuerdo a lo establecido en la NS-066 de la EAAB se establece que, con el fin de obtener un aquietamiento del líquido para permitir la sedimentación de la mayor cantidad de solidos en suspensión, recomienda que el periodo de retención debe ser de 3 días evaluación la capacidad del tanque.
2. Relación entre el largo – ancho del tanque séptico será como mínimo de 2:1 y como máximo 5:1
3. El pozo deberá contar como mínimo de dos cámaras; el volumen de la primera deberá ser igual a $\frac{2}{3}$ del total del volumen. Se recomienda cámaras múltiples, en serie para tanques de volúmenes pequeños o medianos que sirvan hasta 30 personas. Para otros tipos de tanques se recomienda: Cilíndricos: Tres cámaras en serie; Tanques prismáticos rectangulares: dos cámaras en serie.
4. El dispositivo de entrada debe estar conformado por un tubo de 4", localizado a 7.5 cm, mínimo, por encima del nivel normal del líquido; así mismo, se debe colocar una pantalla deflectora que penetre por lo menos 15 cm bajo el nivel

normal del líquido, una longitud igual al 40% de la profundidad del líquido y un tobo de salida de 4" que corresponde a la descarga del tanque. (EAAB)

5. La profundidad útil debe estar entre los valores mínimos y máximos según la siguiente tabla:

Volumen útil (m ³)	Profundidad útil mínima (m)	Profundidad útil máxima (m)
Hasta 6	1.2	2.2
De 6 a 10	1.5	2.5
Mas de 10	1.8	2.8

Tabla 6 Profundidad útil

6. Su diseño debe facilitar el mantenimiento y la inspección. Así mismo el periodo de remoción de los lodos o limpieza del tanque generalmente se estima entre 2 y 5 años. Para estimar el período de limpieza para un caso particular puede utilizarse la siguiente relación:

$$T = \frac{V}{(3 * P * A)}$$

Donde:

T= Período de limpieza en años

V= Volumen efectivo del taque séptico en litros

P= Número de habitantes servidos

A= Tasa de acumulación en Litros/hab-años

La tasa de acumulación de lodos debe establecerse de acuerdo con la cantidad de sólidos acumulados y su digestión depende de las condiciones locales. A falta de estos datos,

puede usarse una cifra promedio de 0.04 m³/hab-año. Como una aproximación razonable para efectos del diseño. (EAAB)

7. Contará con un dispositivo para la evacuación de gases
8. Se ubicará aguas debajo de cualquier pozo o manantial destinado para el abastecimiento de agua para consumo humano.
9. En todos los casos, el tanque séptico deberá ir acompañado de un filtro anaeróbico y un sistema de tratamiento complementario. Para el caso el diseñador deberá seleccionar una metodología de diseño con la que se garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los siguientes criterios:
 1. Atascamiento
 2. Área específica
 3. Tiempo de Contacto
 4. Granulometría

ÁREA HORIZONTAL

Para determinar el área horizontal del tanque se deberá tener en cuenta la siguiente ecuación:

$$Ah = \frac{Vu}{\text{Profundidad Útil}}$$

Ecuación 1 Área Horizontal

Se deberá seleccionar la metodología de diseño de tal manera que se garantice el correcto funcionamiento del sistema bajo los siguientes criterios:

- Rendimiento del proceso de tratamiento
- Almacenamiento de lodos
- Amortiguamiento de caudales pico

El art. 175 de la resolución 0330 de 2017 especifica que los filtros anaeróbicos de flujo ascendente (FAFA) se construyen como una cámara anexa al final del pozo séptico o como una cámara independiente. El lecho filtrante podrá estar construido por un lecho de grava, con un volumen de 0.02 a 0.04 m³ por cada 0.1 m³/día de aguas residuales que se van a tratar, también es posible emplearse material filtrante plástico utilizando la mitad del volumen anterior.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a través de la resolución 0631 del 17 de marzo de 2015 establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales ya sea a cuerpos de agua y/o en el suelo. (*Resolución 631 de 2015 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, n.d.*)

Según el Capítulo V, artículo 8 “Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domesticas – ARD de las actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las aguas residuales (ARD y ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas residuales a cumplir son los siguientes: (*Resolución 631 de 2015 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, n.d.*)

Tabla 7. Parámetros Fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en Vertimientos

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS - ARD DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARIES O BIFAMILIARES
-----------	----------	--

GENERALES		
pH	Unidades del pH	6.00 a 9.00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	200.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L O ₂	
Sólidos suspendidos Totales (SST)	mg/L	100.00
Sólidos sedimentables (SSED)	mg/L	5
Grasas y Aceites	mg/L	20

Tomado de: (Resolución 631 de 2015 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, n.d.)

Capítulo 6: Diseño del tanque séptico

Teniendo presente la caracterización realizada a las comunidades rurales dispersas que no cuenta con sistemas de saneamiento básico, se tiene en cuenta el número de contribuyentes por unidad de vivienda y estratificación social con el fin de determinar el caudal de contribución de aguas residuales de la siguiente tabla:

CONTRIBUCIÓN DE AGUAS RESIDUALES POR PERSONA			
<i>Predio</i>	<i>Unidades</i>	<i>Contribución de aguas residuales C</i>	<i>Lodo fresco Lf (L/día)</i>
Ocupantes permanentes			
Clase alta	Persona	160	1
Clase media	Persona	130	1
Clase baja	Persona	100	1
Hotel (excepto de lavandería y cocina)	Persona	100	1
Alojamiento provisional	Persona	80	1
Ocupantes temporales			
Fábrica en general	Persona	70	0,3
Oficinas temporales	Persona	50	0,2
Edificios públicos o comerciales	Persona	50	0,2
Escuelas	Persona	50	0,2
Barres	Persona	6	0,1
Restaurantes	Comida	25	0,01

Cines, Teatros o locales de corta permanencia	Local	2	0,02
Baños públicos	Tasa Sanitaria	480	4

Tabla 8 Contribución de aguas residuales por persona.

Tomado de: (Ministerio de Vivienda, 2017), Tabla E.7.1.

A partir de la contribución diaria por unidad de vivienda se determina el tiempo de retención (T) según tabla No. 7. “Tiempos de retención”

TIEMPOS DE RETENCIÓN (T)		
Contribución diaria (L)	Tiempo de retención	
	Días	Horas
Hasta 1.500	1	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3000 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Más de 9000	0,5	12

Tabla 9 Tiempos de retención.

Tomado de: (Ministerio de Vivienda, 2017), Tabla E.7.2

Se establece el intervalo de limpieza teniendo en cuenta la temperatura ambiente del lugar donde se ubicará el pozo construido in-situ lo que nos permitirá de acuerdo a la tabla No. 8 determinar la tasa de acumulación de lodos digeridos.

VALORES DE TASA DE ACUMULACION DE LODOS DIGERIDOS			
Intervalo de limpieza (años)	Valores de K por intervalo temperatura ambiente (t) en °C		
	t≤10	10≤t≤20	t≥20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177

5	254	225	217
----------	------------	------------	------------

Tabla 10 Valores de tasa de acumulación de lodos digeridos.

Tomado de: (Ministerio de Vivienda, 2017), Tabla E.7.2

A partir de la información extraída de la caracterización de la población la cual nos permite determinar el número de contribuyente por unidad de vivienda, la temperatura ambiental de la zona de construcción del pozo, estratificación social, periodos de retención y limpieza se procede a determinar el volumen útil del Tanque séptico a partir de la siguiente ecuación:

$$V_u = 1000 + N_c(CT + KL_f)$$

Ecuación 2 Volumen útil.

Así mismo se procede a calcular el volumen útil del medio filtrante.

Teniendo en cuenta los parámetros de diseño, y el enfoque que tiene la presente investigación, se establecen los siguientes datos:

Tabla 11. Datos base para determinar las dimensiones del tanque.

DATOS		
Intervalo de limpieza	(Años)	1
Temperatura	t (°C)	19
Numero de Contribuyentes	(N_c)	5

Fuente: Propia

Así mismo se deberá determinar el uso del predio, si son ocupantes temporales o permanentes, su clasificación estratigráfica y así extraer de la tabla No. 6, la contribución de aguas residuales, lodo fresco.

Tabla 12. Contribución de aguas residuales.

CONTRIBUCIÓN AGUAS RESIDUALES POR PERSONA						
Nc	Ocupantes	Predio	Unidades	Contribución de aguas residuales C	Lodo fresco Lf (L/día)	TOTAL CONTRIBUCION
5	Ocupantes_permantes	Clase baja	Persona	100	1	500

Fuente: Propia

Así mismo se determina la tasa de acumulación de lodos digeridos de acuerdo a la temperatura del medio ambiente y el tiempo de retención, con estos datos se procede a determinar el volumen útil del pozo, teniendo presente su volumen se establece la profundidad mínima y máxima útil.

Tabla 13. Volumen y profundidad útil.

Valores de K intervalo temperatura ambiente (t) en °C	Tiempo de retención (T)	Volumen Útil (m³)	Profundidad útil mínima (m)	Profundidad útil máxima (m)
		$V_u = 1000 + N_c(CT + KL_f)$		
65	1	1,825	1,2	2,2

Fuente: Propia

Calculado el volumen útil y determinada la profundidad útil mínima se pueden determinar las áreas horizontales, y volúmenes de las cámaras de reacción y sedimentación.

Tabla 14. Volumen del medio filtrante, cámara de reacción y sedimentación

Área Horizontal (m²)	Volumen útil del medio filtrante (m³)	Cámara de Reacción (m³)	Cámara de Sedimentación (m³)	Área cámara de sedimentación
$A_h = \frac{V_u}{Prof. Util}$	$V_f = 1,60 * N * C * T$	$V_{ur} = 400 + 0,25 * N * C$	$V_{us} = 150 + 0,20 * N * C$	$A_s = 0,07 + \frac{N * C}{15} (m^2)$
1,520833333	0,8	0,525	0,1015	33,40333333

Fuente: Propia

Dimensiones del Pozo séptico:

Área Superficial Pozo Séptico:

Ecuación 3. Area superficial del Pozo Séptico

$$A_{sps} = \frac{\left(\frac{V}{1000}\right)}{\text{Profundidad Util}}$$

$$A_{sps} = 1.52 \text{ m}^2 \cong 1.60$$

Ancho Neto: Teniendo en cuenta las medidas internas mínimas se fija como ancho neto:

$$A_n = 0.9 \text{ m}$$

Largo útil: Determinada el área superficial y el ancho neto, se calcula el largo útil:

Ecuación 4. Largo Util

$$L_a = \frac{A_{sps}}{A_n}$$

$$L_a = 1.77 \text{ m} \cong 1.80 \text{ m}$$

Número de Cámaras:

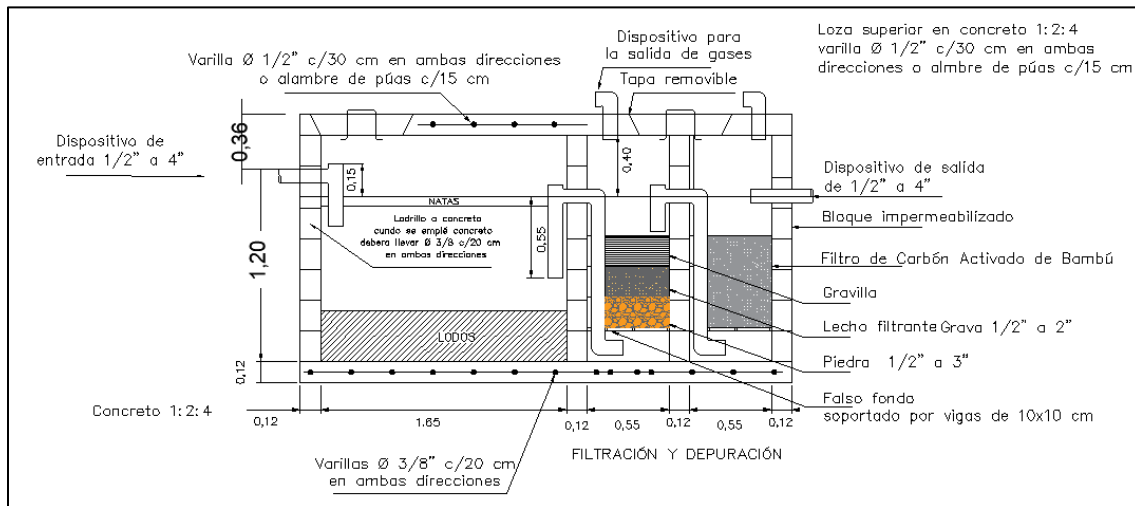
Con las dimensiones obtenidas se diseña el pozo con tres cámaras en serie, la primera cámara como lo indica la norma corresponde a los $\frac{3}{4}$ del área total (1.20 m^2) y la segunda y tercera cámara a $\frac{1}{4}$ (0.60 m).

Longitud libre total del pozo séptico = 1.80 m , cámara de sedimentación 1.40 m y cámara de filtración 0.40 m .

Teniendo en cuenta las dimensiones del pozo y el propósito de la investigación se incorpora una nueva cámara de filtración y depuración donde se instalará el nuevo lecho filtrante

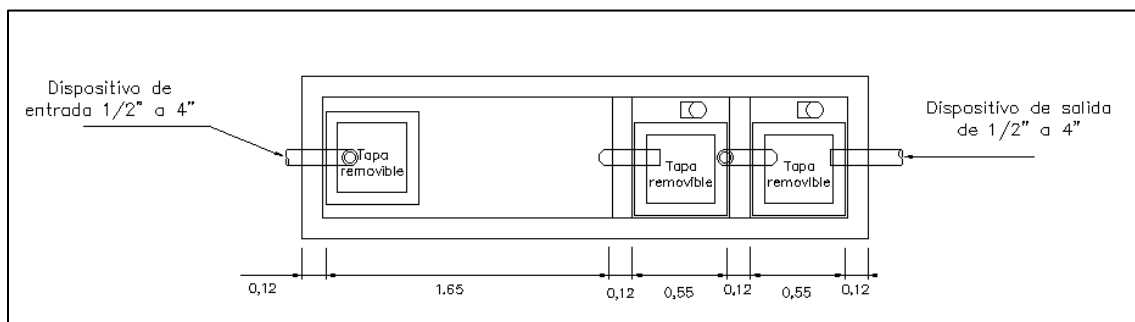
de Carbón activado de Bambú. Ver Ilustración No. 2 Pozo séptico Corte frontal y No. 3 Visto de planta.

Ilustración 3. Pozo séptico corte frontal.



Fuente: Propia

Ilustración 4. Esquema del pozo séptico visto de planta.



Fuente: Propia

Volumen del lecho filtrante:

Para una unidad de vivienda con 5 habitantes se tiene una contribución diaria de 500 lt/día equivalente a 0.5 m³/día y el lecho filtrante de grava debe tener un volumen de 0.02 a 0.04 m³ por cada 0.1 m³ de agua residual, siendo así se requiere un lecho filtrante de 0.1 a 0.2 m³.

Para determinar las dimensiones del lecho filtrante se tiene en cuenta el ancho neto del pozo de 0.9 m y la longitud de la cámara de filtración de 0.4 lo que nos arroja la siguiente altura:

$$\forall_{Lecho\ Filtrante} = A_n \times L_{cf} \times h_{cf}$$

$$h_{cf} = \frac{0.1\ m^3}{0.9\ m \times 0.4\ m}$$

$$h_{cf} = 0.277\ m$$

$$h_{cf} = \frac{0.2\ m^3}{0.9\ m \times 0.4\ m}$$

$$h_{cf} = 0.555\ m$$

De los datos obtenidos decimos que el alto del filtro en la cámara esta entre 0.30 a 0.60 m equivalente entre $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ de la altura útil mínima del pozo.

Capítulo 7: El prototipo

Una vez se han determinado las dimensiones reales del pozo, teniendo claro el objetivo de la investigación se determinan las dimensiones del prototipo con una escala 1:30, la cual consideramos apropiada para el objetivo de la investigación arrojando las siguientes dimensiones:

$$\text{Área Superficial Pozo Séptico: } A_{sps} = \frac{\left(\frac{V}{1000}\right)}{\text{Profundidad Util}}$$

$$A_{sps} = 0.533\ m^2$$

$$\text{Ancho Neto: } A_n = 0.3\ m$$

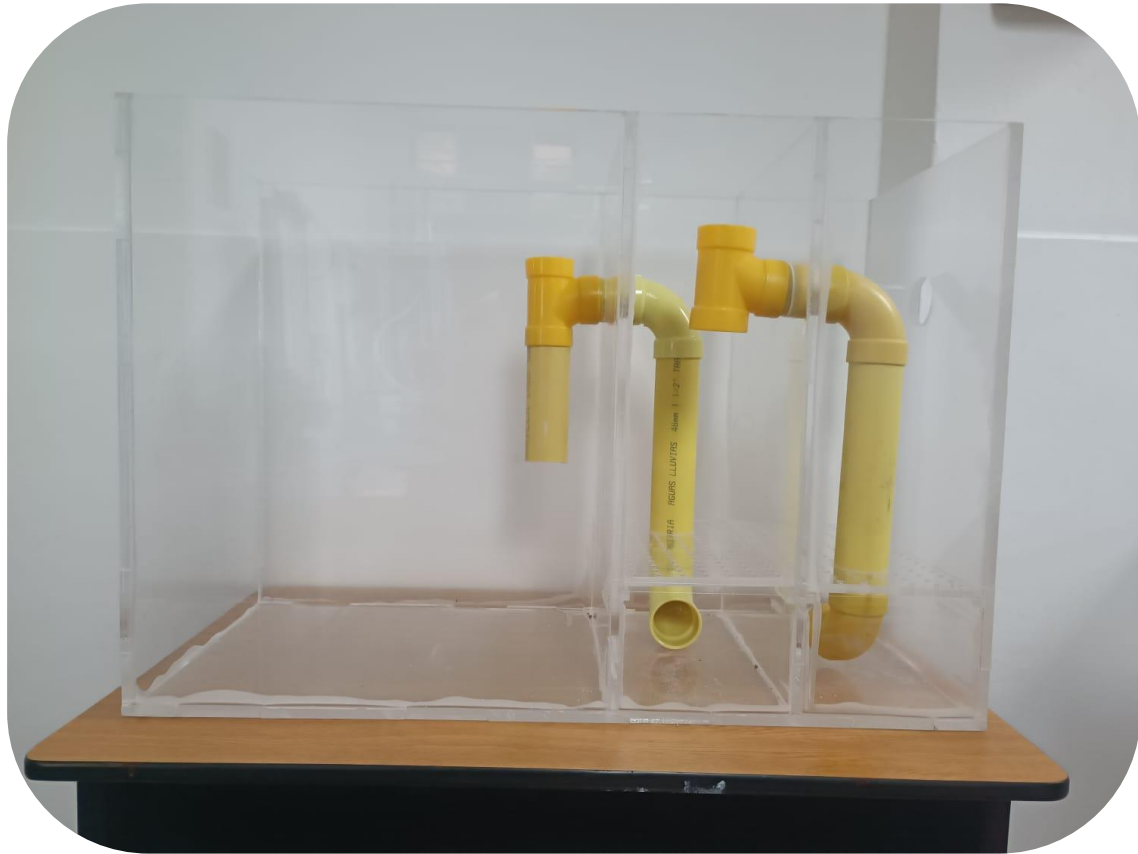
Largo útil:

$$L_a = 0.60 \text{ m}$$

Escaladas las medidas el prototipo queda así:

- Primera Cámara “Cámara de Sedimentación” ($\frac{3}{4}$ del área total): 0.45 m
- Segunda y tercera cámara “Cámara de filtración”: 0.15 m.
- Diámetro mínimo de las tuberías que se conectan al pozo tienen un diámetro de 4” se escala al mismo tamaño del prototipo arrojando como medida 1.33” la cual es aproximada a una medida comercial de 1 $\frac{1}{2}$ ”.
- El lecho filtrante debe estar entre 0.30 y 0.60 cm de altura, para el prototipo teniendo presente la escala deberá estar entre 0.10 y 0.20 m.

Con estas medidas se realiza el trazado de las piezas, corte láser del Acrílico y su ensamblado el cual requiere de pegamentos especiales que nos garanticen la estabilidad y estanqueidad.

Ilustración 5. Prototipo Pozo Séptico Escala 1:3

Fuente: Propia

Como se observa en la ilustración 4 se dejan los pases de tubería entre cada cámara y se omite el de entrada teniendo en cuenta que no es posible conectarlo a una fuente directa que por caudales no permitirá realizar pruebas en un escenario real.

Se instalan las tuberías en los diámetros comerciales de tal manera que nos permita realizar el proceso de filtración por flujo ascendente “Filtro FAFA”.

Diseño del Primer lecho filtrante:

Teniendo presente el volumen del lecho filtrante se depositan gravas de diferentes diámetros dejando un filtro de prueba con una altura de 20 cm aproximadamente.

Ilustración 6. Pozo séptico lecho filtrante de gravas.



Fuente: Propia

Segundo lecho filtrante de prueba con carbón activado mineral tiene una altura inferior al de gravas manteniendo el rango de volúmenes apropiados por capacidad del tanque.

Ilustración 7. Pozo séptico segundo lecho filtrante Carbón activado Mineral.



Fuente: Propia

Capítulo 8: Lecho filtrante Carbón Activado

Consientes de los objetivos de desarrollo sostenible y los beneficios que puede traer para el medio ambiente la eliminación de carga contaminante en aguas residuales domiciliarias (ARD), es importante verificar la efectividad de uso del carbón activado de Bambú, el cual no cuenta con un mercado de fabricación y suministro.

Por tal razón se realiza el proceso de obtención del material filtrante a través de procesos artesanales los cuales se describen a continuación:

Se compra en una maderera varas de Bambú Dorado o *Phyllostachys aurea*, una especie invasiva que crece en diferentes tipos de suelo y que en Colombia se conoce con el nombre de Guadilla. (Plantas de *Phyllostachys Aurea* (Bambú Dorado - Guadilla), n.d.) Ver ficha Técnica

Tabla 15. Ficha Técnica Guadilla

Características	Descripción
Nombre científico	<i>Phyllostachys aurea</i>
Sinónimas	<i>Phyllostachys breviligula</i> , <i>Phyllostachys formosana</i>
Nombre común	Bambú Dorada, Guadilla
Familia	Poaceae
Tribu	Arundinarieae
Género	<i>Phyllostachys</i>
Altura	2-8 m
Diámetro	2-4 cm
Color del tallo	Verde claro, convirtiéndose en un color amarillo dorado cuando se expone al sol.
Distancia entre nudos	10-20 cm
Espesor de la pared	Delgada (4 – 8 mm)
Hábito de crecimiento	Corriendo (Invasivo)
Clima	Templado – Subtropical
Luz	Crece a pleno sol o media sombra
Suelo	Suelos francos y bien drenados
Riego	Poco exigente en humedad
Resistencia	-18 °C
Distancia de siembra	Cada 1 metro para cerca viva 2 x 2 para control de erosión 3 x 3 m para producción de madera
Origen	China, Vietnam

Fuente: Adaptada de (*Plantas de Phyllostachys Aurea (Bambú Dorado - Guadilla)*, n.d.)

Ilustración 8. Varas de Guadilla



Fuente: Propia

Se buscan las varas más secas a fin de facilitar el proceso de pirolisis que estas son cortadas en tozos de 10 cm promedio.

Ilustración 9. Proceso de corte de las varas de Guadilla.



Fuente: Propia

Una vez son cortadas las varas se colocan en una olla limpia y seca, esta se tapa lo mejor posible a fin de evitar el ingreso de oxígeno.

Ilustración 10. Inicio del proceso de Pirolysis.



Fuente: Propia

Este proceso es llevado a cabo varias veces hasta acumular una cantidad justa para disponerla en el pozo como lecho filtrante.

Ilustración 11. Carbón de Bambú por pirolisis.



Fuente: Propia

Una vez se obtiene el carbón a través de pirolisis se tritura manualmente y se lava con agua destilada, una vez se ha lavado se deja el carbón por 24 horas en una solución de agua destilada con limón con el fin de generar una mayor apertura de los poros y así activar el carbón.

Ilustración 12. Carbón triturado y dejado en una solución de agua destilada con limón.



Fuente: Propia

Transcurridas las 24 horas se lava nuevamente con agua destilada, se escurre y se pone a secar en un horno a una temperatura no mayor a 120 °C

Ilustración 13. Secado del Carbón activado de Bambú



Fuente: propia

Aspectos Metodológicos

Con todos los materiales y pruebas realizadas es necesario buscar un lugar apropiado del que se pueda extraer el agua residual, para esto es transportado el prototipo desde la Universidad la Gran Colombia “Facultad de Ingenierías” a una vivienda ubicada en la localidad de suba – Barrio San Pedro, está compuesta por tres plantas y 3 unidades de vivienda habitada por 5 personas así: Apartamento 1ra planta: un Adulto, Apartamento 2da planta: dos adultos y Apartamento 3ra planta: dos personas, esta cuenta con una caja sanitaria de 0.50 x 0.50 , su tubería de descarga de la casa se encuentra a una altura de 60 cm y la de descarga al colector principal a 88 cm.

Ilustración 14. Caja sanitaria



Fuente: Propia

Se toman medidas de la caja con el fin de volumetrizar y tener una forma fácil de aforar caudales, actividad que no fue posible llevar a cabo por las dimensiones de la caja y altura de tubería de descarga al colector.

Para poder determinar la velocidad en escenarios reales se afora el caudal con una jarra con una capacidad de 2.44 lt y se registran tiempo en 5 instantes diferentes teniendo en cuenta el horario en que se encuentra habitada la vivienda para lo cual se establecen los siguientes horarios como picos de consumo y descarga:

4:30 am – 7:00 am

5:30 pm a 8:00 pm

De los dos intervalos se indica que el de mayor consumo es de 4:30 am a 7:00 a.m

ara el aforo de caudales se toma una jarra la cual es medida arrojando un volumen de 2.44 lt., para determinar la velocidad se realizan varias tomas principalmente en la mañana y en la tarde como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 16. Aforo volumétrico

∇ (m ³) "Volumen"	t (s) "tiempo"	Q (m ³ /s) "Caudal"	u (m/s) "Velocidad"
0.0024491	6	0.000408183	0.05197152
0.0024491	9	0.000272122	0.03464768
0.0024491	4	0.000612275	0.07795727
0.0024491	2	0.001224550	0.15591455
0.0024491	92	0.000026621	0.00338945
0.0024491	86	0.000028478	0.00362592

Fuente: Propia

De la tabla anterior se puede observar que la velocidad más baja durante el aforo es de 0.00338945 m/s con la que se podrá determinar un diámetro adecuado de descarga y tiempo de

llenado a fin de establecer un periodo de retención en condiciones reales, cabe aclarar que la actividad de uso y descarga sanitaria es aproximadamente de 5 horas diarias de las cuales 19 horas son periodos de reposo que permiten una adecuada y óptima sedimentación.

Una vez analizada la información y teniendo en cuenta la capacidad del tanque y los periodos de no descarga se inicia el proceso de llenado de la primera cámara la cual tiene una capacidad de 0.0405 m³ la cual fue llenada entre las 4:30 am a 7:00 sin acceso a la cámara de filtración FAFA con un lecho filtrante compuesto por gravas, se deja en reposo total durante dos horas y media y se inicia un proceso de llenado lento de la primera cámara de filtración, nuevamente se deja reposar y se continua el llenado hasta la segunda cámara de filtración la cual contiene el filtro de carbón activado se deja reposar por 2 horas más y se comienza un proceso de llenado lento desde la 1 de la tarde hasta las 3 hasta obtener dos galones de muestra filtrada.


Teniendo en cuenta los tiempos de llenado se puede determinar que la primera cámara de filtración obtuvo un periodo de retención de 6 horas y media y la segunda cámara de 5 horas promedio.

configuración del resultado de la investigación, éste tiene que ver con la descripción de los aspectos metodológicos que se desarrollaron en la misma, debe ser elaborado con la claridad, rigor y consistencia.

Análisis y Discusión de Resultados

Una vez son recogidas y analizadas las muestras por la empresa ANALQUIM LTDA “Análisis fisicoquímicos y calidad del aire” antes y después del filtro se obtienen los siguientes resultados:

Ilustración 15. Informe de resultados entrada al prototipo.



ANALQUIM LTDA.
ANALISIS FISIQUIMICOS Y CALIDAD DEL AIRE



INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO				
SEÑOR(ES): JUAN SEBASTIÁN VARGAS TORRRES - DIANA PATRICIA RODRÍGUEZ O.				VERSIÓN: 1
DIRECCIÓN: _____				PAGINA: 1 de 1
MUESTRA PROCEDENTE DE : BOGOTÁ				DEPARTAMENTO: CUNDINAMARCA
LUGAR TOMA DE LA MUESTRA: SUBA LISBOA		TIPO DE MUESTRA : AGUA RESIDUAL DOMESTICA		
PUNTO DE CAPTACIÓN: 1. ENTRADA POZO SÉPTICO - CAJA DE INSPECCIÓN				
FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA: 2025-06-04		HORA DE TOMA: NE		
RESULTADOS				
ENSAYO	FEC-ANALISIS	TECNICA DE ANALISIS	REFERENCIA	RESULTADO
ACEITES Y GRASAS	2025-06-04	Gravimetría	SM 5520 D. SM 23rd ed 2017	76 mg/L
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	2025-06-04	Electrometría	SM 5210 B, 4500-O G. SM 23rd ed 2017	920 mg O2/L
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	2025-06-04	Volumetría	SM 5220 B. SM 23rd ed 2017	1743 mg O2/L
pH	2025-06-04	Electrometría	SM 4500-H+ B	7,3 Unidad de pH
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	2025-06-04	Volumétrica	SM 2540 F. SM 23rd ed 2017	6 mL/L
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	2025-06-04	Gravimetría	SM 2540 D. SM 23rd ed 2017	1370 mg/L
SURFACTANTES ANIÓNICOS COMO SAAM	2025-06-04	Fotometría	SM 5540 C. SM 23rd ed 2017	30,1 mg SAAM/L
 Daniel Parra Rojas SUBGERENTE			NOTA: Los resultados del presente informe hacen referencia únicamente a la muestra analizada. Bogotá, 2025-06-12 FECHA DE EXPEDICIÓN	
FIN DE FIRMAS				
ANQ-PL-071-1-V4				
El plazo límite para cualquier observación sobre los resultados de este informe, es de 5 días hábiles contados a partir de la fecha de expedición del mismo.				

Ilustración 16. Informe de resultados después del carbón activado de bambú



ANALQUIM LTDA.
ANALISIS QUIMICOS Y CALIDAD DEL AIRE


INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO		VERSIÓN: 1		
		PAGINA: 1 de 1		
SEÑOR(ES): JUAN SEBASTIÁN VARGAS TORRES - DIANA PATRICIA RODRÍGUEZ O.				
DIRECCIÓN:		TELÉFONO:		
MUESTRA PROCEDENTE DE:	BOGOTÁ	DEPARTAMENTO: CUNDINAMARCA		
LUGAR TOMA DE LA MUESTRA:	SUBA LISBOA	TIPO DE MUESTRA: AGUA RESIDUAL DOMESTICA		
PUNTO DE CAPTACIÓN:	1. SALIDA POZO SÉPTICO - DESPUÉS DEL FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO			
FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA:	2025-06-05	HORA DE TOMA: NE		
RESULTADOS				
ENSAYO	FEC-ANALISIS	TECNICA DE ANALISIS	REFERENCIA	RESULTADO
ACEITES Y GRASAS	2025-06-05	Gravimetría	SM 5520 D. SM 23rd ed 2017	24 mg/L
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	2025-06-05	Electrometría	SM 5210 B, 4500-O G. SM 23rd ed 2017	630 mg O2/L
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	2025-06-05	Volumetría	SM 5220 B. SM 23rd ed 2017	835 mg O2/L
pH	2025-06-05	Electrometría	SM 4500-H+ B	7,4 Unidad de pH
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	2025-06-05	Volumétrica	SM 2540 F. SM 23rd ed 2017	<0,1 mL/L
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	2025-06-05	Gravimetría	SM 2540 D. SM 23rd ed 2017	156 mg/L
SURFACTANTES ANIÓNICOS COMO SAAM	2025-06-05	Fotometría	SM 5540 C. SM 23rd ed 2017	27,2 mg SAAM/L
 Uriel Parra Rojas SUBGERENTE		NOTA: Los resultados del presente informe hacen referencia únicamente a la muestra analizada. Bogotá, 2025-06-12 FECHA DE EXPEDICIÓN		
FIN DE FIRMAS		ANQ-PL 071 1 V4		
El plazo límite para cualquier observación sobre los resultados de este informe, es de 5 días hábiles contados a partir de la fecha de expedición del mismo.				

Tabla 17. Comparación de resultados.

Parámetro	Entrada Pozo Séptico	Salida Filtro Carbón Activado	Variación (%)
Aceites y Grasas (mg/L)	76	24	68,42
DBO (mg O ₂ /L)	920	630	31,52
DQO (mg O ₂ /L)	1743	835	52,09
pH (Unidades)	7,3	7,4	-1,37
Sólidos Sedimentables (ml/L)	6	0	100,00
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	1370	156	88,61
Surfactantes Aniónicos (mg SAAM/L)	30,1	27,2	9,63

Fuente: Adaptado del Informe de resultados de laboratorio Analquim Ltda.

De los resultados obtenidos en laboratorio podemos decir que el sistema de tratamiento de agua residual domestica con adición de segunda cámara de filtración con uso de carbón activado de bambú para el tiempo de retención utilizado que no cubre, los mínimos establecidos por la norma arrojaron resultados eficientes en remoción de grasas y aceites en un 68.42%, solidos suspendidos (88.61%) y solidos sedimentables del (100%).

Conclusiones y Recomendaciones

Revisadas las bases de datos y buscadores especializados, se observa que, aunque existe una gran diversidad de especies de Bambú, los estudios sobre su uso y aprovechamiento dentro de los recursos hídricos se limitan a su producción.

Las investigaciones consultadas reflejan el potencial del carbón activado de bambú como material de absorción de carga contaminante con una gran capacidad para solucionar desafíos hídricos como la purificación, gestión sostenible de riego y remediación ambiental, sin embargo, sería bueno estudiar otras especies a fin de determinar la más adecuada en el tratamiento de aguas residuales.

La implementación del sistema aplicada a una escala (1:30) para poder realizar pruebas de manera más fácil y accesible, fueron calculadas y dimensionadas para lograr representar la realidad en el modelo, esto no permitió que se simularan los caudales y retenciones de las aguas durante la jornada completa como lo determina el RAS 2000 y la Resolución 0330 de 2017.

Deduciendo que el filtro de carbón a pesar de no haber tenido un tiempo de absorción suficiente resulta ser eficaz y puede ser usado como una alternativa sostenible en las zonas rurales del país que no cuentan con sistemas de saneamiento.

Se recomienda realizar más pruebas en un escenario real que permitan aforar caudales en periodos más largos a fin de estimar caudales de consumo diario y velocidades que permitan determinar el diámetro de descarga teniendo en cuenta que este por el tiempo de retención puede llegar a ser tan pequeño que no tendrá la capacidad de transportar sólidos por lo que se deberá instalar a partir de la cámara de filtración. Importante tomar varias muestras que nos permita analizar las aguas residuales teniendo en cuenta todas las tareas diarias que se realizan en la casa donde requiere consumo de agua.

Una vez se ajuste el diámetro de entrada a la cámara de filtración es importante analizar el agua residual antes de entrar al tanque, una vez pase por el filtro de gravas y después del filtro de carbón activado de Bambú, con el fin de verificar los porcentajes de remoción de carga contaminante y la eficiencia de uso como segundo lecho filtrante.

Como se observó en los resultados que a pesar de no haber tenido el tiempo de retención suficiente para realizar una absorción de contaminantes es importante evaluar el periodo de vida del filtro, y esto deberá realizarse en escenario real en el que sea posible tomar varias muestras que puedan ser analizadas en un periodo de tiempo importante.

Lista de Referencia o Bibliografía

ALMAWATECH. (10 de Septiembre de 2024). *ALMAWATECH INNOVATE SOLUTIONS FOR WATER*.

Obtenido de <https://www.almawatech.com/es/aguas-residuales/filterkammer/>

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). (2024). *Boletín Técnico "Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV)*.

DANIELA ACOSTA RUBIO, L. G. (2021). *DISEÑO DEL PROCESO DE PIRÓLISIS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS*. Bogotá D.C .

Daza, D. P. (2015). *Tratamiento primario de aguas residuales domésticas: Unidad didáctica como eje interdisciplinar en ciencias*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ciencias. .

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (s.f.). Sistema de Información del Medio Ambiente. En DANE.

EAAB, N. -T. (s.f.). www.acueducto.com.co. Obtenido de

[https://www.acueducto.com.co/webdomino/ViewerJS/ViewerJS/index.html#https://www.acueducto.com.co/webdomino/sistec/consultas.nsf/C50B18A9C5CD51E205258A78005F8ED6/\\$file/NS-066_v_0,2.pdf](https://www.acueducto.com.co/webdomino/ViewerJS/ViewerJS/index.html#https://www.acueducto.com.co/webdomino/sistec/consultas.nsf/C50B18A9C5CD51E205258A78005F8ED6/$file/NS-066_v_0,2.pdf)

Elizabeth Tilley, L. U. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento* (Vol. 2). (B. I. Desarrollo, Trad.) Watter Supply & Sanitation .

Guadua Bamboo SAS. (2024). *Guadua Bamboo SAS* . Obtenido de www.guaduabamboo.co

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*.

Ministerio de Vivienda, C. y. (2017). *Reglamento Técnico para el sector de agua potable y Saneamiento Básico - RAS 0330*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Bogotá.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT). (2023). *Informe de Gestión 2023*.

Naciones Unidas . (25 de Septiembre de 2015). Obtenido de

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Organización Internacional del Bambú y el Ratán. (2024). *Inbar*. Obtenido de Organización Internacional

del Bambú y el Ratán: <https://www.inbar.int/es/>

Planeación), DNP (Departamento Nacional de. (2014). *Mision para la transofrmacion del Campo -*

Definicion de categorias de Ruralidad.

PUERTO ANGARITA , N., & ORTIZ QUINTERO, J. (2019). *USO DEL CARBÓN ACTIVADO DE GUADUA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: REVISION Y VIGILANCIA TECNOLOGICA*. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, BOGOTA.

QuimiNet. (01 de Septiembre de 2004). *QuimiNet - Informacion y Negocios segundo a segundo.* .

Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/glosario-de-terminos-relacionados-con-el-carbon-activado-a-c-486.htm>

Salud, O. P. (2005). *GUÍA PARA EL DISEÑO DE TANQUES SÉPTICOS, TANQUES IMHOFF Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN*. Lima.

Valades, L. d. (19 de Noviembre de 2021). *Tiempo de retención hidráulico (TRH) en plantas de agua potable*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/luis-anda-valades/tiempo-retencion-hidraulico-trh-planta-agua>

Waterpeople, C. (s.f.). *iagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/modesto-tanque-imhoff-fundamentos-y-diseno>

Boletín técnico Resultados para municipios PDET Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) 2023. (n.d.).

Retrieved June 18, 2025, from <https://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/827>

Celada, F. E. M. (2012). USO DE AGUA RESIDUAL SEDIMENTADA PARA RIEGO DE BAMBÚ. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 7(1), 23–27. <https://doi.org/10.36829/08ASA.V7I1.1462>

- Chau Mera, E. G., & Vásquez Puicón, L. V. (2020). Utilización del carbón activado a partir del Bambú (*Guadua Angustifolia* Kunth), para captar arsénico de las aguas subterráneas en el distrito de Pacora. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/1571169>
- Ortiz-Quintero, J. N., & Puerto-Angarita, N. F. (2019). *Uso del carbón activado de guadua para el tratamiento de aguas residuales: revisión y vigilancia tecnológica*. <https://hdl.handle.net/10983/23859>
- Plantas de Phyllostachys aurea (Bambú Dorado - Guaduilla)*. (n.d.). Retrieved June 18, 2025, from https://www.guaduaibamboo.co/plantas/p/phyllostachys-aurea?srsIid=AfmBOor8bn9nh-bSvcA2uClPbuffz5r_8SolQY1JQLyNHt5qdmQg6QrK
- Resolución 631 de 2015 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. (n.d.). Retrieved March 26, 2025, from <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=70346>
- Vejarano Leal, N., & Casas Contreras, I. D. (2021). *Evaluación de la viabilidad de un tratamiento de aguas por carbón activado obtenido del bambú de la especie Chusquea Scandens Kunth*. Fundación Universidad de América. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8664>
- Velázquez-Trujillo, A., Bolaños-Reynoso, E., & Pliego-Bravo, Y. S. (2010). Optimización de la producción de carbón activado a partir de bambú. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 9(3), 359–366. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382010000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es