



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

## USO DEL CARBÓN ACTIVADO DE GUADUA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: REVISIÓN Y VIGILANCIA TECNOLÓGICA

JHOAN NICOLAS ORTIZ QUINTERO

[jnortiz20@ucatolica.edu.co](mailto:jnortiz20@ucatolica.edu.co)

NELSON FABIAN PUERTO ANGARITA

[nfpuerto43@ucatolica.edu.co](mailto:nfpuerto43@ucatolica.edu.co)

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ DC  
2019

USO DEL CARBÓN ACTIVADO DE GUADUA PARA EL TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES: REVISIÓN Y VIGILANCIA TECNOLÓGICA

JHOAN NICOLÁS ORTIZ QUINTERO

[jnortiz20@ucatolica.edu.co](mailto:jnortiz20@ucatolica.edu.co)

NELSON FABIÁN PUERTO ANGARITA

[nfpuerto43@ucatolica.edu.co](mailto:nfpuerto43@ucatolica.edu.co)

Trabajo de grado presentado como requisito para optar  
al título de INGENIERO CIVIL

Director:

ELIANA YINETH ORTIZ MUÑOZ

Ingeniera Ambiental

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ DC  
2019



## Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



**Sin Obras Derivadas** — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Facultad de Ingeniería y la Universidad Católica de Colombia para optar al título de Ingeniero Civil.

---

---

---

---

Firma presidente del jurado

---

Firma jurado

---

Firma jurado

Bogotá, 29 de abril del 2019.

Dedicado a mi madre Carmen Cecilia Quintero y a mi padre Reinaldo Ortiz, quienes sembraron en mí el amor por lo que se hace y la perseverancia, a mis amigos Jean Paul García y Cristian Pinzón, quienes me brindaron su apoyo durante esta etapa que culmina. Nicolás Ortiz.

Dedicado a mi padre Nelson Puerto, a mi madre Luz Angarita y a mi hija Alexandra Puerto, a mi sobrina Valentina Puerto, a mis hermanos Brayan y Sarita Puerto, quienes me acompañaron siempre en este proceso, brindaron siempre su apoyo y fueron la gran motivación para culminar de manera exitosa mi etapa universitaria. Nelson Puerto.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos dar gracias a todas las personas que se involucraron de una u otra forma en el desarrollo de este trabajo de grado. Primero que todo a Dios por darnos la sabiduría y fortaleza para afrontar este arduo camino. En segundo lugar, a la Ingeniera Eliana Yineth Ortiz Muñoz por su constante apoyo, quien con su experiencia en diferentes temas permitió aclarar inquietudes y con su conocimiento nos permitió culminar el presente trabajo, y al semillero de investigación SIGESCO, por darnos la oportunidad de desarrollar nuestro proyecto en su área de trabajo. También agradecemos a nuestras familias por el apoyo incondicional en nuestro proceso universitario, por su comprensión y confianza, por mantenernos motivados a ser los mejores y por estar en los días más difíciles de nuestra vida como estudiantes, de igual manera nuestros compañeros de carrera quienes nos brindaron sus conocimientos en momentos complejos.

A la Universidad Católica de Colombia, a la Facultad de Ingeniería Civil y a los docentes que hicieron parte en nuestra formación tanto en el aspecto personal como en el académico y quienes nos enseñaron los conceptos necesarios para ejercer esta bella profesión siempre bajo los principios morales y éticos.

## Contenido

RESUMEN	12
GLOSARIO	13
INTRODUCCIÓN	15
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	17
1.1 ANTECEDENTES	17
1.2 USO DE LOS RESIDUOS DE GUADUA EN COLOMBIA	18
1.3 JUSTIFICACIÓN	20
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	21
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	22
3. MARCO DE REFERENCIA	23
3.1 MARCO TEORICO.	23
3.1.1 <i>Guadua Angustifolia Kunth</i> en Colombia	23
3.1.2 Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva	28
3.1.3 Carbón Activado	30
3.1.4 Proceso de Activación del Carbón	34
3.1.5 Activación por el Método Físico	36
3.1.6 Activación por el Método Químico	36
3.1.7 Activación por microondas	37
3.1.8 Aguas Residuales	37
3.1.9 Adsorción	38
3.1.10 Optimización de la Producción de Carbón Activado a Partir de Bambú	39
4. ESTADO DEL ARTE	41
5. OBJETIVOS	48
5.1 OBJETIVO GENERAL	48
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	48
6. ALCANCES Y LIMITACIONES.	49
6.1 ALCANCE	49
6.2 LIMITACIONES	49

7. METODOLOGÍA	50
7.1 MATRIZ METODOLÓGICA	50
7.2 MÉTODO	52
7.3 TECNICAS E INSTRUMENTOS	52
7.4 RECOLECCION DE DATOS	54
8. DESARROLLO DEL PROYECTO.	55
8.1 SOFTWARE DE BUSQUEDA DE INFORMACION	55
8.2 ANALISIS DE LA INFORMACION SUMINISTRADA EN BASES DE DATOS	64
9. ANALISIS DE RESULTADOS	68
9.1 CONTAMINACION DE LAS AGUAS EN LA INDUSTRIA TEXTIL	69
9.2 CONTAMINACION EN LAS INDUSTRIAS DE CURTIEMBRES EN BOGOTA	69
10. CONCLUSIONES.	70
11. RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	73

## Lista de Figuras

Figura 1 Producción de Bambú-Guadua Angustifolia Kunth .....	23
Figura 2 Características de la guadua (detalle en especie).....	24
Figura 3 Clasificación y detalle de especie .....	25
Figura 4 Proceso de Vigilancia Tecnológica Norma UNE 166006 de 2006 .....	30
Figura 5 Distribución de las materias primas del carbón activado.....	31
Figura 6 Estructura interna característica del carbón activado .....	32
Figura 7 Configuración molecular carbón activado. ....	33
Figura 8 Distribución porosa al interior del carbón activado. ....	34
Figura 9 Esquema básico del proceso de la carbonización.....	35
Figura 10 Mecanismo de adsorción del carbón activado .....	38
Figura 11 Resultado de documentos realizados por la Universidad Nacional de Colombia .....	61
Figura 12 Producción de galvanizados .....	65
Figura 13 Mercurio en estado elemental.....	66
Figura 14 Azul de metileno diluido .....	67

## Lista de Tablas

Tabla 1 Propiedades mecánicas de la guadua .....	26
Tabla 2 Usos de la guadua .....	27
Tabla 3 Métodos de activación según la materia prima.....	35
Tabla 4 Análisis de ensayos realizados de adsorción con la guadua .....	42
Continuación Tabla 4 Análisis de ensayos realizados de adsorción con la guadua .....	43
Continuación Tabla 4 Análisis de ensayos realizados de adsorción con la guadua .....	44
Continuación Tabla 4 Análisis de ensayos realizados de adsorción con la guadua .....	45
Continuación Tabla 4 Análisis de ensayos realizados de adsorción con la guadua .....	46
Continuación Tabla 4 Análisis de ensayos realizados de adsorción con la guadua .....	47
Tabla 5 Matriz metodológica.....	50

## Lista de Diagramas

Diagrama 1 Países inventores en patentes .....	56
Diagrama 2 Compañías solicitantes de los estudios .....	57
Diagrama 3 Resultados de editores de SCIELO .....	58
Diagrama 4 Tendencia en años de SCIELO .....	58
Diagrama 5 Resultados palabras clave de SCIELO .....	59
Diagrama 6 Resultados autores de REDALYC .....	60
Diagrama 7 Resultados palabras clave de REDALYC .....	61
Diagrama 8 Resultados editores de LAREFERENCIA .....	62
Diagrama 9 Tendencia en años de LAREFERENCIA .....	63
Diagrama 10 Resultados bases de datos de CSIC .....	63
Diagrama 11 Tendencia en años de la tabla de análisis de ensayos en bases de datos.....	67

## RESUMEN

El alarmante aumento de contaminación de los afluentes de agua en los últimos años, ha provocado que se requieran tomar medidas respecto al cuidado y control de calidad de las aguas residuales y los desechos que se depositan en ellas de parte de las industrias que manejan agentes químicos contaminantes.

El presente trabajo de grado tiene como objetivo, analizar los estudios e investigaciones realizadas con anterioridad acerca de la remoción de sustancias químicas, como los colorantes y metales pesados, a partir del carbón activado de la guadua, recopilar toda la información con tablas y gráficos que permitan una fácil lectura para su posterior uso, y generar un reporte a manera de vigilancia tecnológica, empleando todos los soportes que se tengan a disposición y dando una respuesta de la viabilidad que posee este método. Por lo tanto, estos análisis han demostrado ser eficientes debido a que se emplea un proceso de adsorción en los poros del carbón, que, junto con las propiedades filtrantes de la guadua, proporcionan resultados positivos de la capacidad de remoción de la sustancia en el agua.

**Palabras clave:** *Guadua, adsorción, carbón activado, remoción, químicos.*

## GLOSARIO

**ADSORCIÓN:** La definición que da Quiminet “Adhesión de un estrato de moléculas muy fino, en fase líquida o gaseosa, a la superficie de sólidos (por ejemplo, carbón activado) con los que entran en contacto”. (Quiminet, 2004)

**ALUVIALES:** Según Villegas “Son los terrenos que se forman por los depósitos que dejan las inundaciones o los ríos”. (Villegas, 2003)

**AZUL DE METILENO:** Quiminet lo define como “Un colorante orgánico usado en diferentes ámbitos como la medicina y las industrias. Se resume como el número de mililitros de una solución estándar (0,15%) de azul de metileno, decolorados por cada 0,1 gramos de carbón activado.” (Quiminet, 2004)

**BIOMASA:** Villegas dice “Hace referencia a cualquier estimación cuantitativa de la masa total de organismos que conforman todo o parte de una población o cualquier otra unidad específica, o dentro de un área dada en un tiempo dado; se miden como volumen, masa o energía”. (Villegas, 2003)

**CALOR ESPECÍFICO:** Quiminet lo define como “la cantidad de calor por unidad de masa necesaria para elevar en 1°C la temperatura de una sustancia (en este caso, de carbón activado del bambú o guadua)”. (Quiminet, 2004)

**CARBÓN ACTIVADO:** La definición que da Quiminet “Carbón que se sometió a combustión a altas temperaturas mediante calentamiento por vapor de agua y anhídrido carbónico o agentes deshidratantes, lo que da lugar a una estructura interna porosa muy desarrollada”. (Quiminet, 2004)

**CESPITOSO:** Villegas lo resume como “el modo espeso como se organizan los culmos, provocados por el resultado de la reproducción vegetativa proveniente de rizomas paquimorfos de cuello corto.” (Villegas, 2003)

**COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:** La definición que da Quiminet “Se obtiene dividiendo la apertura del filtro por el que consigue pasar el 60% del peso de una muestra de carbón, entre la apertura de la malla que sólo deja pasar el 10%. Este valor se obtiene por interpolación de una curva de distribución granulométrica.” (Quiminet, 2004)

**CULMO:** Villegas lo refiere a “una sección del tallo que se encuentra al aire libre por encima de la superficie, usado generalmente en los bambúes”. (Villegas, 2003)

**DENSIDAD APARENTE:** Según Quiminet “Es el peso de una masa homogénea de carbón activado por cada unidad de volumen. Para lograr la sedimentación uniforme del carbón granulado en el cilindro medidor, se utiliza un sistema de alimentación mediante tolvas vibrantes”. (Quiminet, 2004)

**DESORCIÓN:** Basado en Quiminet es “Lo contrario a la adsorción. Hace referencia a un fenómeno donde las partículas atrapadas en el material adsorbente se liberan de su superficie.” (Quiminet, 2004)

**MACROPOROS:** La definición que da Quiminet “Hace referencia a los poros incluidos en el carbón activado cuyo diámetro es superior a los 500 Angstroms (0.1nm)”. (Quiminet, 2004)

**MESOPOROS:** Según Quiminet son “Aquellos poros incluidos en el carbón activado cuyo diámetro es esta entre los 30 - 500 Angstroms (0.1nm).” (Quiminet, 2004)

**MICROPOROS:** Quiminet lo refiere a “los poros incluidos en el carbón activado cuyo diámetro es inferior a los 30 Angstroms (0.1nm)”. (Quiminet, 2004)

**REACTIVACIÓN:** Quiminet lo define como “Restitución de la capacidad de adsorción de un carbón saturado. Puede efectuarse mediante tratamiento térmico, físico o químico”. (Quiminet, 2004)

**TIEMPO DE CONTACTO:** La definición que da Quiminet “Tiempo que necesita una corriente de un líquido para atravesar una columna de carbón, suponiendo que toda la corriente fluya a velocidad constante. Es igual al volumen del lecho de carbón, en vacío, dividido por el volumen del efluente.” (Quiminet, 2004)

**ZONA DE TRANSFERENCIA DE MASA:** En un lecho de carbón activado, es la región en la que la concentración del adsorbato contenido en la fase fluida disminuye, respecto su valor inicial, hasta la concentración menor observable. (Quiminet, 2004)

## INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la Ingeniería Civil, la innovación es una acción necesaria y muy importante que se requiere para mitigar los impactos que implican la realización de obras civiles de infraestructura. Nosotros, como futuros profesionales, estamos en la obligación de buscar nuevas soluciones de infraestructura que reduzcan el impacto medioambiental, que sean amigables con el medio ambiente y que contribuyan con la reutilización y optimización de materias primas.

En nuestra labor como auxiliares de investigación pertenecientes al semillero de SIGesCO (Semillero de Investigación), nos enfocamos al estudio de la guadua como material ecológico viable para las obras de saneamiento ambiental y tratamiento de aguas residuales en sus diferentes ámbitos. Debido a que la guadua es una planta que tiene una inmensa población en los ecosistemas de nuestro país, y se cultiva en varias zonas de Colombia, pero no ha tenido el suficiente aprovechamiento como recurso.

La guadua tiene unas excelentes propiedades físicas, posee una gran resistencia a los agentes atmosféricos y sus configuraciones estructurales, la hacen una materia prima muy rentable y viable para el desarrollo de proyectos constructivos. Además, sus propiedades han demostrado ser adecuadas para utilizarse como carbón activado para la remoción de sustratos y agentes químicos contaminantes.

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo centrarse en la búsqueda de información de antecedentes desde un enfoque metodológico de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, acerca del tratamiento del agua, más específicamente, de la utilización de carbón activado de guadua para remover agentes químicos, contaminantes, y/o de uso industrial en esta, ya que en este enfoque se tiene muy poco conocimiento y estudio a nivel nacional.

Teniendo en consideración esta problemática, se podrían lograr cambios favorables disminuyendo el impacto ambiental en diferentes sectores de la industria, la metalurgia, los textiles y las curtiembres, donde se vierten varios residuos químicos de difícil remoción hacia los afluentes naturales, ya que estos no disponen de un sistema de tratamiento eficiente de las aguas que se desechan. Por lo tanto, analizar tendencias e identificar oportunidades de innovación es primordial para obtener la viabilidad que podría tener la proyección de este método a futuro.

# 1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES

En Colombia se han realizado diferentes obras de infraestructura en guadua, que han demostrado ser capaces de responder ante los parámetros técnicos de diseño. Pero en el ámbito de la guadua como tecnología para el tratamiento de aguas residuales, se tiene poca evidencia de utilización a nivel nacional, desaprovechando el uso de las características potenciales de saneamiento ambiental que poseen los tallos de esta planta y sus capacidades de adsorber agentes químicos de difícil remoción.

El uso cada vez mayor de metales pesados y de químicos en las últimas décadas ha conducido inevitablemente a un mayor flujo de sustancias metálicas y químicas en el agua subterránea y superficial, así como en el agua potable, y ha planteado serios riesgos ecológicos y de salud (Mui, Cheung, Lee, & McKay, 2008). Entre las numerosas técnicas de limpieza para el tratamiento del agua que se han realizado, las técnicas de adsorción son ampliamente utilizadas para la eliminación de diversos contaminantes. El carbón activado comercial es un adsorbente preferido usado para eliminar impurezas de soluciones líquidas, sin embargo, su uso generalizado está restringido debido al alto costo. Diferentes adsorbentes alternativos no convencionales de bajo costo y materiales naturales, industriales y sintéticos han sido probados para la eliminación de metales pesados del agua (Babel & Kurniawan, 2003).

El carbón activado proveniente del bambú ha sido probado para la remoción de agentes contaminantes como el amoníaco (Asada, Ohkubo, Kawata, & Oikawa, 2006), azul de metileno (Hameed, Din, & Ahmad, 2007); (Qian, Luo, Wang, Guo, & Li, 2018), tetraciclina y cloranfenicol (Liao, y otros, 2013), Plomo(II) (Wang Y. , y otros, 2013), Cromo(VI) (Wang W. , y otros, 2013), sulfuro de dimetilo (Wang, Huang, Liu, & Kang, 2011), Cadmio (Wang, Wang, & Ma, 2010) y algunas sustancias colorantes (Chan, Cheung, & McKay, 2008); (Liao, y otros, 2012).

En Colombia, la Universidad Tecnológica de Pereira, junto a un grupo de investigación en agua y saneamiento de la Facultad de Ciencias Ambientales, lograron diseñar un nuevo método para el tratamiento de aguas residuales utilizando la guadua como materia prima (García, Paredes, & Cubillos, 2013). El mecanismo que implementaron según García: "Consiste en pasar el agua a través de un filtro biológico conformado por los nudos de la guadua, los cuales tienen entre 5 y 15 centímetros de ancho. Estos nudos, son capaces de retener las partículas gruesas mientras que los microorganismos que se le adhieren transforman la materia contaminante en dióxido de carbono, metano y otros subproductos que son eliminados del sistema. Como resultado, se puede establecer la posibilidad de utilizar la guadua como vegetación en humedales artificiales que tienen la capacidad de auto purificar los sistemas acuáticos, imitando a los humedales naturales.

(García, Paredes, & Cubillos, 2013).

## **1.2 USO DE LOS RESIDUOS DE GUADUA EN COLOMBIA**

### **Residuos de guadua en Colombia - universidad nacional**

La fabricación de objetos biodegradables a partir de materia prima a base de guadua es de gran importancia, ya que en Colombia es muy abundante la guadua. La universidad nacional ya ha producido dichos objetos utilizando los recortes y excedentes del recorte de guadua. Esta investigación es muy interesante, ya que, si pudiese tener un pequeño éxito, se podrían generar grandes oportunidades de empleo y de comercio en Colombia y en el exterior. (La Republica, 2013)

Por tal razón, en Colombia, en zonas que poseen alta demanda de guadua tal como el Eje Cafetero, el Valle del Cauca y al norte del Cauca, se presenta una gran oportunidad de producción con grandes posibilidades ecológicas y económicas, que cuando son cortados los tallos, generan una variedad de residuos, que impactan el medio ambiente. Este bagazo se le da uso como materia prima en la elaboración de nuevos productos y para obtener biopolímeros en matrices de almidón (Lavado, y otros, 2012). Según Lavado: “A su vez, se genera una alternativa para darle uso a los aserrines, virutas y polvillos generados a través del proceso de transformación de la guadua y poder fabricar elementos biodegradables de gran utilidad.” (Lavado, y otros, 2012)

### **Maquina termo formadora - Universidad Nacional de Colombia**

La investigación parte por la donación de una maquina termo formadora al grupo de investigación Ecogua de la universidad nacional de parte de investigadores alemanes, para que así se fomente la investigación del aprovechamiento de las distintas fibras de guadua que se producen en Colombia. Los primeros empaques producidos a base de fibras de guadua son similares a los recipientes donde se prepara la lasaña, útiles para el almacenamiento de comida y objetos. A la misma vez, se producen semilleros útiles para germinación que son de origen biodegradable. Estos novedosos semilleros evitan que las plantas sean trasladadas de recipientes, por lo que se generan menores residuos que afecten el medioambiente. (Centro Virtual de Noticias de la Educación, 2009)

### **Nanotecnología en pirolisis para formar plaquetas de carbono a base de guadua**

Otro uso aplicativo de residuos de guadua que se logró investigar para el presente proyecto consiste en formación de plaquetas de óxido de grafito a base de guadua, que sirve como base para la producción de grafeno (material compuesto formado a base de Carbono). Este producto se postula como un novedoso material del futuro ya que nos ofrece una gran cantidad de propiedades, una de ellas es que se comporta como un excelente conductor de corriente y como conductor térmico. Es un producto excepcional ya que tanto eléctrica como mecánicamente su desempeño es superior a otros elementos que se utilizan actualmente y sus propiedades mecánicas son superiores a las del acero.

Es un material innovador que se pronostica que va suplir a los actuales, su precio de producción no es tan alto como el de algunos componentes que podría llegar a remplazar y su tiempo de producción es alto. La maquinaria que lo elabora es altamente sofisticada, por lo tanto, es de gran viabilidad y potencial el uso de este nuevo material, pero se tiene que investigar como producirlo de manera rentable ya que en Colombia se cuenta con grandes cantidades de guadua y de recortes de esta misma. (Quintero, Prías-Barragán, Montoya, & H., 2014)

### **Proceso de elaboración de láminas pulpables a partir del aprovechamiento de aserrín de guadua en el departamento del Quindío**

En Colombia se utilizan los residuos sólidos de la guadua como el aserrín y las virutas para la elaboración de laminados de todo tipo. Pero este proceso es poco conocido en el país debido a la falta de interés, aunque se cuentan con investigaciones suficientes realizadas en los territorios con gran potencial para su implementación. La maquinaria con la que se cuenta actualmente es insipiente para llevar este proceso a una gran escala.

Actualmente, la guadua es muy utilizada para la construcción de edificaciones en interiores y exteriores, por su gran capacidad de resistencia a flexión. Pero, existe una proyección a futuro, de que esta materia prima vaya a ser implementada en la producción de laminados a partir de los desechos que se generen, que, en caso de tenerse en cuenta, se podría consolidar como un negocio rentable. (Escuela de Administración y Mercadotecnia de Quindío, 2009)

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

La calidad del agua es un asunto preocupante a nivel mundial. Según la organización BRITER-WATER: “hoy en día es necesario contar con un excelente plan de gestión que tenga responsabilidad con los recursos hídricos, y más a fondo, del manejo de aguas residuales, para minimizar el resultado dado por las industrias en el medio ambiente y garantizar que las futuras generaciones disfruten de agua potable y segura”. (BRITER-WATER, 2013)

Se escogió el estudio de la guadua por sus propiedades naturales de purificación de sus fibras y por su denso sistema de raíces. Es una planta de crecimiento muy rápido y de las más productivas que existe sobre la superficie terrestre del planeta, ya que mientras un árbol normal tarda de 30 a 60 años en crecer, a la guadua le toma solo cuatro años en cosecharse sin necesidad de volverla a sembrar. Además, tiene gran resistencia y es capaz de soportar múltiples factores estresantes medioambientales como falta o exceso de agua e incluso temperaturas extremadamente bajas. La biomasa de la guadua asimismo posee múltiples propiedades de gran potencial si se compara su elevado valor térmico con otros tipos de biomasa vegetal (BRITER-WATER, 2013). Por estas características, su uso en diferentes ámbitos como la construcción o en la producción de combustible ha aumentado de manera trascendental en los últimos años, provocando a su vez, el aumento de la generación de residuos provenientes de la tala, los cortes, la producción, entre otros.

Es necesario el aprovechamiento de esta materia prima en nuestro país, ya que los agentes contaminantes y la destrucción de nuestras fuentes de agua dulce, como ríos, lagos, quebradas, etc., han provocado un aumento de enfermedades degenerativas en el ser humano y en el ecosistema, dañando la flora y la fauna en el proceso. Es nuestro deber contribuir con el medio ambiente, usando materias primas que disminuyan el impacto ambiental, y que contribuyan principalmente con la reutilización de los recursos hídricos. Se realizó una vigilancia tecnológica, donde se pudieron observar los diferentes resultados realizados, y compararlos entre sí, para averiguar la viabilidad de realizar este proceso en futuros proyectos que tengan el interés y tomen la iniciativa en realizar un sistema purificador o de filtración con guadua.

## 2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En la actualidad, en Colombia hay una gran cantidad de cultivos de guadua, debido a que nuestro país tiene una ubicación geográfica óptima para su proliferación. Además, esta planta se utiliza bastante en el ámbito de la construcción, porque existen formas de utilizar casi toda la materia prima que esta produce. Por lo tanto, por el proceso de corte y transformación se pueden generar subproductos que se pueden usar para el tratamiento de aguas residuales, producidas por el sector de la industria y en los usos domésticos.

También, en Colombia se desea obtener mayor conocimiento de cómo se puede aprovechar la guadua, desarrollando con esta materia prima tecnologías y métodos para tratar las aguas residuales. Una problemática que se crea respecto al tema en cuestión, es que estas fuentes de agua toxica son un peligro para las criaturas acuáticas y los ecosistemas que se conforman en las fuentes hídricas, debido a que los tratamientos que se le dan no logran extraer algunos metales y compuestos químicos que permanecen aún presentes. Además, la información en las bases de datos y artículos científicos es muy limitada respecto al tema, y la investigación acerca de estas propiedades de la guadua cuando se convierte en carbón activado debería tener mayor presencia en Colombia.

Estos avances en el aprovechamiento de la guadua son investigados principalmente por científicos de países asiáticos, ya que en esta zona del mundo la guadua o bambú como se le conoce allí, habita en grandes cantidades, por lo que su utilización en la construcción es amplia. Cuando esta cumple su ciclo productivo, se recicla para convertirse en carbón activado y así se obtiene la mayor utilización a los recursos disponibles en su entorno. Además, se desea adquirir mayor conocimiento de los agentes que pueden ser removidos de los cuerpos de agua contaminados y de la gran oportunidad de negocio de la que no se tiene conocimiento por la falta de información acerca del tema, despreciando todos sus beneficios tanto académicos como económicos. Este tema de investigación es de interés en Colombia ya que no se tienen conocimiento ni registro de investigaciones relacionadas con el aprovechamiento de la guadua en este ámbito de la remoción de contaminantes en las aguas contaminadas por procesos industriales.

## 2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Por la situación planteada anteriormente, y dada la importancia en divulgar conocimientos de los beneficios que posee este material en Colombia, se realizará un trabajo de vigilancia tecnológica que permita identificar los procesos abordados, su eficiencia, su capacidad de adsorción, los métodos de activación del carbón utilizados y los resultados obtenidos de cada proceso que se ha desarrollado. Pues si bien existen varias fuentes de desarrollo de la investigación en países asiáticos como China, hasta ahora no se ha realizado este seguimiento en Colombia, que permita tomarse como referencia para realizar trabajos investigativos y de ensayo usando como medio de ejecución las plantas de guadua que crecen en nuestro país.

Además, se desea obtener como resultado si este sistema de tratamiento de agua puede llegar a tener viabilidad, relacionando el costo/beneficio que tendría el implementarlo, ya que el proceso de construcción del sistema y la creación de carbón activado en la guadua, podrían generar perjuicios en diversos factores ecológicos y económicos, provocando altos costos de producción comparándolos con otros medios que tratan aguas contaminantes, como las PTAP o PTAR (Plantas de Tratamiento de Aguas potables o residuales), la FLA (Filtración lenta en arena), la FGD<sub>i</sub> (Filtración gruesa dinámica), u otros elementos con capacidades de adsorción como las plantas de maíz, tallos de loto, de gramíneas, cascarillas de arroz o estropajo de la caña.

Así pues, la pregunta planteada para ser resuelta en el desarrollo final de este proyecto usando la metodología de la vigilancia tecnológica como soporte es: ¿Es viable el uso del carbón activado de la guadua para el tratamiento de aguas residuales?

### 3. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1 MARCO TEORICO.

##### 3.1.1 *Guadua Angustifolia Kunth* en Colombia

Según el IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura): “Colombia ocupa el segundo lugar en diversidad de bambú en Latinoamérica. Hoy en día se cuenta con 9 géneros y 70 especies reportadas, siendo 24 especies endémicas y al menos 12 sin descripción. La región andina posee la más grande diversidad en población de especies de árboles (89%) y la cordillera oriental la más rica, con el 55% de bosques de bambú reportados hasta el momento. Los departamentos de Colombia con mayor diversidad de bosques de bambú son Cauca, Valle del Cauca, Norte de Santander, Antioquia, Cundinamarca, Quindío, Huila y Nariño. La mayoría de especies pertenecen al género *Chusquea* (30%), y el resto pertenecen a los géneros *Neurolepis*, *Arthrostylidium*, *Aulonemia*, *Elytostachys*, *Merostachys*, *Rhipidocladum*, *Guadua* y *Otatea*” (Perez & Espinoza, 2003).

##### ➤ Características generales - *Guadua Angustifolia Kunth*

En 1822 el botánico alemán Karl S. Kunth estipuló que la *Guadua* (ver figura 1) compone el género de bambú más importante de América, siendo endémico de este continente y formado apenas por unas 30 especies (Añazco & Rojas, 2015).

Figura 1 Producción de Bambú-*Guadua Angustifolia Kunth*



Fuente: (Rodríguez, 2017)

En el contexto mundial, según el Ministerio de Agricultura de Perú: “existen 90 géneros y 1.250 especies de bambú, los cuales el 63 % de encuentra en Asia, el 32 % en América y el 5 % en África y Oceanía. El bambú crece principalmente en países de clima tropical y subtropical, pero de igual forma en climas templados y fríos, desde el nivel del mar hasta los 4 000 metros” (MINAG, 2008).

La guadua puede crecer como entre los bosques, o a orillas de los ríos. Asimismo, tiene la capacidad de formar grandes “manchales” hasta incluso bosques de bambúes. Se han elaborado múltiples estudios que indican que existen factores que se deben tener en cuenta para determinar la aptitud del bambú como los climáticos (lluvia, temperatura, humedad), edafológicos (suelo) y silviculturales (vegetación altas y bajas) (Lozada, 2012), con las siguientes características (ver figura 2).

Figura 2 Características de la guadua (detalle en especie)

<b>Nº</b>	<b>Características</b>	<b>Detalle de la especie</b>
<b>1</b>	Nativa de	Colombia la más importante de su tipo (debido a sus extraordinarias propiedades físico-mecánicas, al avance en el estudio silvicultura estructural).
<b>2</b>	Estadio natural	Mayormente en Ecuador a Venezuela entre los 0 y 2 000 m.s.n.m.
<b>3</b>	Características de la región	Central de los Andes, conocida como el eje cafetero Colombiano.
<b>4</b>	Crecimiento	15 a 20 m en 120 días.
<b>5</b>	Desarrollo óptimo	La planta alcanza entre los 500 y 1 500 metros.
<b>6</b>	Diámetro máximo	20 cm.
<b>7</b>	Aprovechamiento	Entre 4 a 5 años.
<b>8</b>	Altitud ideal	Entre los 400 y 1 200 m.s.n.m.
<b>9</b>	Temperatura optima	Se desarrolla de mejor manera entre 17 a 26°C.
<b>10</b>	Precipitaciones	De 1 200 a 2 500 mm/año.
<b>11</b>	Humedad relativa	De 80 al 90%.
<b>12</b>	Suelos	Con fertilidad moderada y buen drenaje.

Fuente: (González, 2005)

➤ Distribución y hábitat de la *guadua Angustifolia Kunth*

La *guadua* compone el género de bambú nativo más significativo de América. Siendo endémica de este continente, cuenta con 30 especies aproximadamente distribuidas a lo largo de Hispanoamérica y las Islas del Caribe. Además, se desarrolla en gran parte de los países asiáticos (Añazco & Rojas, 2015). Según Hidalgo: “Es considerado el tercer bambú más magno del mundo, superado solamente por dos especies asiáticas. La *guadua* es una gramínea enorme que puede llegar a alcanzar 30 metros de altura o más, cuyo diámetro puede variar de 1 a 22 centímetros (Hidalgo, 2003). La *Guadua Angustifolia* es la especie nativa de bambú más importante de Colombia. Fue identificada primeramente por los botánicos europeos Humboldt y Bonpland como *Bambusa guadua*. Luego, en 1822 el botánico alemán Karl S. Kunth identifica el género *Guadua*, tomando el nombre de la expresión indígena “*guadua*”, con el que se identificaba a la planta por parte de las comunidades indígenas que habitaban el territorio colombiano. Kunth más tarde rebautiza la especie con el nombre de *Guadua angustifolia*, que significa “hoja angosta” (Añazco & Rojas, 2015).

➤ Clasificación – *Guadua Angustifolia Kunth*

La taxonomía de la *guadua Angustifolia Kunth* se describe de la siguiente manera:

Figura 3 Clasificación y detalle de especie

Nº	Clasificación	Detalle de la especie
1	Reino	Vegetal
2	División	Espermatofita
3	Subdivisión	Angiospermae
4	Clase	Lilopsidas/Monocotiledoneae
5	Subclase	Commelinidae
6	Orden	Cyperales/Glumiflorales
7	Familia	Gramineae o Poaceae
8	Subfamilia	Bambusoidae
9	Tribu	Bambuseae
10	Subtribu	Guaduinae
11	Género	<i>Guadua</i>
12	Especie	<i>Angustifolia</i>
13	Variedades	Bicolor y nigra

Fuente: (Forero & Souza, 2014).

➤ Propiedades anatómicas del bambú

Basado en investigaciones, las propiedades de los culmos de bambú están definidas por su estructura anatómica y estas reflejan el uso final de la materia prima. La composición de tejidos en un culmo de *Guadua angustifolia* es 40 % fibra, 51 % “parénquima” y 9 % tejido conductivo. La cantidad de fibras es más alta en el segmento superior o apical (56 %) que en el segmento medio (26 %) y basal (29 %). Comparado con otros bambúes tropicales y subtropicales, esta especie presenta un porcentaje de fibras técnicamente alto y un gran contenido de sílice en su epidermis, lo que explica sus excelentes propiedades de resistencia y flexibilidad (Lozada, 2012).

➤ Propiedades químicas

Con respecto a la composición química de la guadua, según Londoño: “el porcentaje de holocelulosa y celulosa tiende a disminuir en plantas mayores de un año, mientras que el contenido de lignina permanece constante o se acrecienta tenuemente. Respecto a las propiedades de dureza del culmo, se ha determinado que la lignificación se consigue en las primeras fases de desarrollo sin que se observe alguna variabilidad con la progresión de la edad. Algunos estudios indican que la composición de las cenizas residuales cambia notablemente entre los culmos de 1 y 7 años, observándose disminución en los contenidos de cobre, zinc, fósforo, hierro y potasio e incremento el contenido de calcio, magnesio y manganeso” (Londoño, 2011).

➤ Propiedades fisicomecánicas

El tallo de la *Guadua* es flexible, ligero y tiene una estructura física que proporciona alta resistencia en relación a su peso como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Propiedades mecánicas de la guadua

<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Resistencia a la comprensión	825
Resistencia a la flexión	856
Módulo de elasticidad	203 879
Resistencia a la tensión	2 038 - 3 058
Relación de rigidez E/M	340

Fuente: Torres et al. (2008).

➤ Usos, características y partes de la caña de guadua.

En diferentes países donde crece la guadua se da relación con la pobreza, debido que tradicionalmente las obras elaboradas con este material son hechas por personas de escasos recursos. A continuación, detallamos sus usos más tradicionales:

Tabla 2 Usos de la guadua

Área	Frecuencia
Campo	Utilizado para la construcción de casas, chozas, puentes, factores que ayudan a su desarrollo.
Cultivos	Utilizada para apuntalar árboles de diferentes especies como el café, banano, entre otros.
Artesanías	Utilizada debido a su fácil procesamiento, corte y acabado, dejando a la imaginación de los artesanos la elaboración de diferentes clases que son utilizadas para decorar espacios
Turística	Utilizada en la construcción de cabañas rústicas, teniendo una gran demanda en este sector, debido a su frescura y facilidad para los acabados
Herramientas	Utilizada en andamios y puntales, teniendo una gran demanda, además de la elaboración de pisos, paneles, molduras, puertas
Instrumentos musicales	Utilizada para elaborar flautas, marimbas, parte de tambores

Fuente (Mercado & Molina, 2015)

### 3.1.2 Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva

El tiempo y la sociedad tienden a tener entornos cambiantes progresivamente con el tiempo. Sin embargo, debido a los grandes avances en la actualidad, se presentan los cambios con mayor velocidad. La sociedad se enfrenta a varios fenómenos, como por ejemplo al desarrollo de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones, -TIC- que inciden y generan nuevas reacciones en el mundo. También influyen en la velocidad del avance técnico en diferentes áreas y en la generación de grandes cantidades de información y conocimiento, que se difunden en solo unos instantes. El avance de estas tecnologías ha permitido el desarrollo de sociedades cuyo principal motor de crecimiento es el conocimiento, estableciendo la globalización en la que existen muchos países recientemente industrializados, que luchan de una manera agresiva por una porción, no solo de sus mercados locales, sino también de los mercados internacionales. De igual manera, han impactado el estilo creciente hacia la libertad, en la que varios países e instituciones financieras, como el fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial, han actuado para bajar las barreras comerciales que exponen a los mercados a una competencia abierta (Sanchez, 2018).

Según Sánchez: “el análisis de la competencia es un elemento clave para la estrategia de cualquier organización. Consiste en sistematizar la recolección de la información en cuanto a las acciones de dicha competencia a lo largo del tiempo. Es importante formalizar estas acciones, pues así determinaremos nuestras necesidades de información, que son las mismas que las del semillero de investigación al que pertenecemos”:

- Nuevos productos.
- Nuevos entrantes (empresas de la competencia).
- I+D+i (Investigación, Desarrollo e Innovación).
- Colaboraciones con universidades y otras empresas.
- Patentes.
- Estrategias de marketing.
- Nuevos métodos de producción.
- Creación de marcas.
- SWOT.

(Sanchez, 2018).

En resumen, basado en la investigación de Palop y Vicente, las VT e IC, permite a las organizaciones beneficios en:

**Anticiparse**, alerta sobre amenazas o cambios provenientes de sectores distintos a los de la organización y señala nuevos nichos de mercado.

**Reducir el Riesgo**. Al detectar competidores o productos entrantes y sustitutos.

**Ayuda en el proceso de Innovación**, porque ayuda a decidir el programa de I+D+I y su estrategia y resolver problemas específicos de carácter técnico.

**Cooperación.** Al conocer nuevos socios, al establecer su capacidad e idoneidad de trabajo, le permite identificar enlaces academia-sector productivo (Palop & Martínez, 2012).

Para el proyecto de vigilancia tecnológica se adopta la clasificación de Dankhe (1986), quien propone cuatro (4) tipos de estudios de investigación: Exploratorios, descriptivos, correlacionales y explicativos. Para el trabajo de investigación, comparte alcances de estudios exploratorios y descriptivos. En primer lugar, se enmarca dentro del alcance exploratorio, porque se quiere abordar más a fondo las VT e IC dentro del análisis de construcciones en guadua a nivel local, regional, nacional e internacional. En segundo lugar, este proyecto de investigación posee un alcance descriptivo, dado que el fenómeno de la VT e IC se someterá a análisis, buscando referir los elementos que hacen parte de este proceso desde un enfoque teórico y desde la práctica en construcciones en guadua. (Palop & Martínez, 2012)

➤ Estrategia de investigación

Una de las metodologías para realizar ejercicios de vigilancia tecnológica es la contemplada en la norma UNE 166006 de 2006 (AENOR, 2011), que plantea la creación de un sistema de VT en cualquier tipo de organización, la cual tiene unos requerimientos donde la empresa debe identificar las áreas y los objetivos para la acción del sistema de VT, asegurar los recursos de información que se encuentran a disponibilidad, realizar medición, análisis y seguimiento del proceso llevando a cabo acciones para lograr los resultados planteados.

Para la realización de la VT, según Palop y Martínez: “la norma propone unos procesos: identificación de las necesidades del proyecto, fuentes y medios de acceso a la información; búsqueda, tratamiento y validación de fuentes; valoración de la información, resultados, análisis y mejoramiento” (Palop & Martínez, 2012).

Figura 4 Proceso de Vigilancia Tecnológica Norma UNE 166006 de 2006



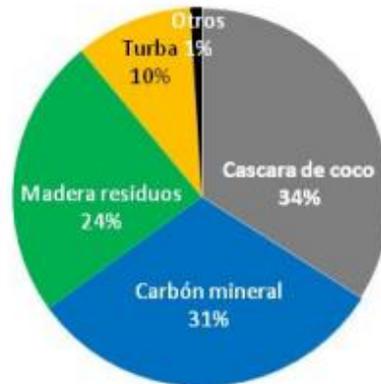
Fuente: (Didier Cardozo, 2017)

### 3.1.3 Carbón Activado

Según la definición de Velásquez: “el nombre de carbón activado se emplea a un grupo de carbones adsorbentes los cuales se someten a procesos de activación, mediante métodos a altas temperatura en la atmósfera libre de oxígeno para impedir que el carbón provoque combustión, para que logren obtener un alto grado de porosidad y superficie interna” (Velásquez, 2010). El carbón activado funciona como un adsorbente muy versátil, porque en su estructura carbonosa puede ser controlada por medio de su tamaño y la distribución de sus poros para satisfacer las necesidades de remoción en fase gaseosa y líquida (Velásquez, 2010).

Según Menéndez: “El carbón activado es un elemento que se produce por medio de la carbonización de distintos tipos de madera o vegetales, que luego son molidos hasta que se obtenga el tamaño deseado y finalmente activados mediante procesos con altas temperaturas. Se ha observado que el uso de biomasa proveniente de los residuos forestales se encuentra en constante aumento para ser usada como combustible o materia prima para la producción de carbón activado, especialmente en países que cuentan con gran disponibilidad en el bioma de recursos forestales” (Menéndez, 2008). Casi todos los materiales que poseen alto contenido de carbono tienen potencial para ser activados. Las materias primas más utilizadas son el carbón (antracita, bituminoso y lignito), cáscaras de coco, turba, madera (de densidad baja como alta), y los residuos derivados del petróleo (Menéndez, 2008).

Figura 5 Distribución de las materias primas del carbón activado



Fuente: (Menéndez, 2008).

Según el Manual del Carbón activado: “la gran capacidad de remoción de sustancias que contienen carbono se deben a su alta porosidad y superficie interna, que juegan un papel fundamental. Los macroporos se encuentran primariamente en el material antes de su activación (Menéndez, 2008). Los microporos y mesoporos que se forman en el proceso de activación y son los que le dan propiedades adsorptivas al carbón. En síntesis, los microporos le otorgan elevada superficie y capacidad de retención. Los mesoporos y macroporos son indispensables para retener moléculas de tamaño grande, como los colorantes o coloides, además de favorecer el acceso y la rápida propagación de las moléculas a la superficie interna del sólido” (Manual del Carbón Activo, 2009).

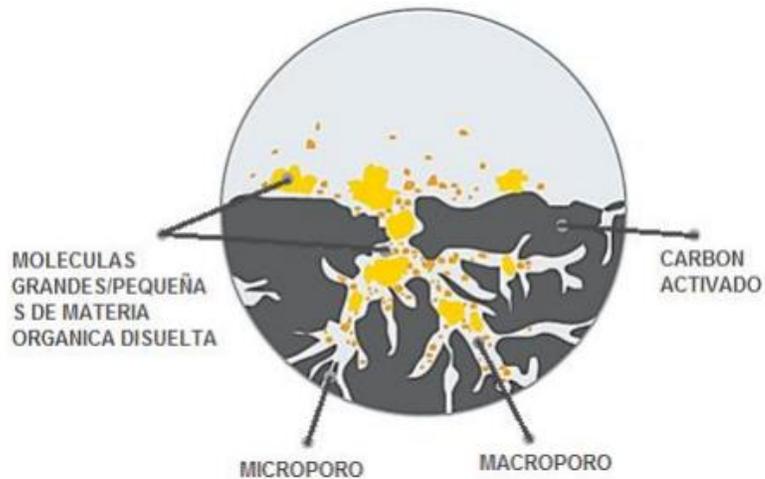
Los átomos se encuentran combinados en su estructura en forma de placas gráficas, que están separadas y alteradas, por lo tanto, se crean espacios libres entre ellas denominados poros. (Manual del Carbón Activo, 2009). La capacidad del carbón activado para retener una sustancia específica depende de su área superficial y la proporción de poros que posean tamaño sea adecuada, esto es, de una a cinco veces el diámetro de la molécula de la sustancia. Los carbones activados tienen formas no gráficas de carbón con un área superficial interna elevada, debido a la porosidad intrínseca formada durante el proceso de producción (Varriano, y otros, 2013).

Según Martín “en un carbón activado, el área de los mesoporos y macroporos es muy pequeña comparada al área de los microporos. Desde otra perspectiva, el volumen de poros y la distribución de tamaño de los mismos, son los aspectos más importantes para caracterizar un carbón activado, ya que estos parámetros van a dar directamente la cantidad de adsorción que se puede retener según el diámetro de las moléculas en relación a los poros” (Martín, 1990).

➤ Carbón activado granular

Para Velásquez: “El carbón activado es un material carbonáceo y poroso, que fue sometido a un proceso físico o químico para aumentar su porosidad interna. Una vez realizado dicho procedimiento, el carbón presenta una serie de redes de túneles que bifurcan en canales menores y así sucesivamente” (Velásquez, 2010), como lo muestra la siguiente figura.

Figura 6 Estructura interna característica del carbón activado

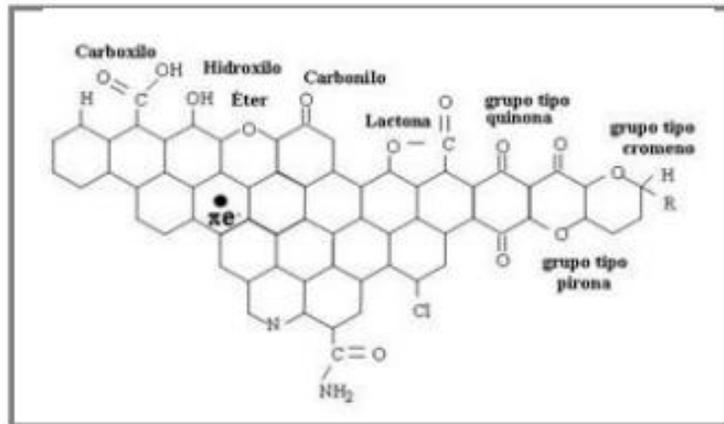


Fuente. (Blueair, 2014)

➤ La superficie de los carbones

Los átomos de carbono, en los bordes de sus enlaces de estructura molecular, tienen impurezas (heteroátomos) que están fusionadas con el carbono en mayor o menor proporción, dando lugar a 20 grupos superficiales. Además, los átomos de carbono en los bordes de su estructura molecular poseen orbitales que contienen electrones ubicados de forma irregular. La presencia o ausencia de grupos superficiales y el mayor o menor grado de desubicación de los electrones afecta a la interacción del carbón con otros compuestos (ver Figura 7).

Figura 7 Configuración molecular carbón activado.



Fuente, (Rozas, 2008).

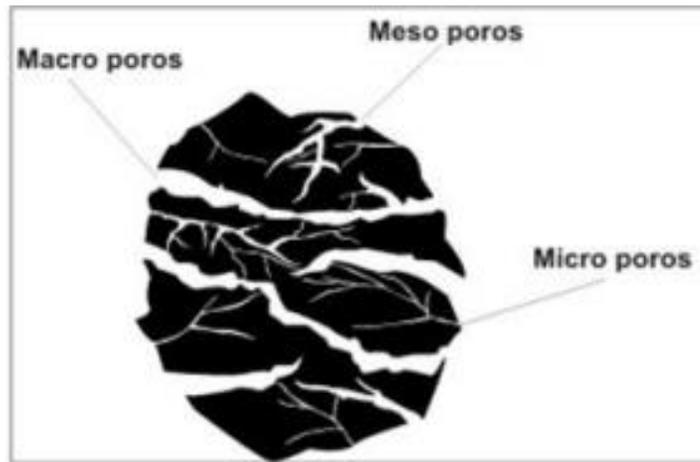
#### ➤ Usos del carbón activado

El carbón ha sido implementado como adsorbente desde épocas antiguas y ha evolucionado hasta lo que se conoce hoy como carbón activado. Según Prías: “Ha sido usado en ámbitos que van desde la medicina, el tratamiento de aguas y en la eliminación de olores y sabores hasta como agente decolorante en la industria del azúcar, en máscaras para la adsorción de gases tóxicos o para eliminar y recuperar compuestos orgánicos como tintes, disolventes o tóxicos de las aguas. También, ha sido utilizado en la purificación del aire y gases, en la industria química, en la industria farmacéutica, en la decoloración de vinos, zumos y vinagres, en la eliminación de cloro y ozono en agua potable de geominas, antracinas, simazinas, y dioxinas, entre otros” (Prías, 2011).

#### ➤ Carbonización o pirolisis.

El proceso de calentar materiales orgánicos en ausencia de aire se denomina carbonización o pirolisis. Por lo frecuente se usa el término pirolisis cuando dicho procedimiento está enfocado a obtener gases y aceites que se originan por el calor. Carbonización es referido hacia la obtención del producto resultante sólido carbonizado (Menéndez 2008). Durante la pirolisis se crea la estructura básica del carbonizado, que se consolida a temperaturas entre 500 y 850°C (Gómez, Rincón, & Klose, 2010). Es en esta fase donde se produce una masa de carbono con una estructura porosa rudimentaria, donde muchos poros se crean, siendo estos extremadamente finos y cerrados (ver Figura 8). (Morais, Pereira da Silva, Carvalho, & Gualberto, 2003).

Figura 8 Distribución porosa al interior del carbón activado.



Fuente: (Carbotécnia, 2016)

Durante el proceso de carbonización se realiza simultáneamente un encogimiento volumétrico de la partícula. Al medir la capacidad de adsorción del material carbonizado dan resultados de valores muy bajos, debido a que éste posee una estructura porosa y que no ha sido muy desarrollada, ocupada de forma parcial por alquitrans condensados durante la carbonización. (Gómez, Rincón, & Klose, 2010).

#### ➤ Método de obtención del carbón activado

Durante la pirolisis de las sustancias orgánicas se elimina casi todo el oxígeno e hidrogeno de estas. El carbono residual se cristaliza en formas irregulares y la desintegración del alquitrán ocupa los espacios porosos dando como consecuencia baja capacidad del adsorbente. El objetivo final del proceso de activación es eliminar los poros de los compuestos derivados del alquitrán. (Smisek & Cerny, 1970)

### 3.1.4 Proceso de Activación del Carbón

La activación del carbón vegetal es un proceso de transformación de la materia orgánica para generar carbón activado, el cual posee una capacidad muy eficiente en usos como filtrante de gases y de líquidos, decolorante de vinos, desodorizantes y otras aplicaciones donde se aproveche las propiedades de adsorción que tiene. Para lograr la carbonización de la materia prima, se necesita descomposición fisicoquímica bajo la operación del calor y en ausencia de un medio oxidante. (Ver Figura 9) (Bambú en Chile, 2003).

Figura 9 Esquema básico del proceso de la carbonización.



Fuente: (Cristian Sánchez. 2018)

De acuerdo al entorno de la materia prima, el carbón activado puede ser obtenido de dos formas: mediante activación física y/o por activación química (ver Tabla 3) (Luttermann, 1940).

Tabla 3 Métodos de activación según la materia prima

<b>Materia prima</b>	<b>Método de activación física</b>	<b>Método de activación química</b>
Carbón de leña	x	x
Aserrín de madera		x
Viruta, residuo de la extracción de resina		X
Viruta, residuo de la extracción de las curtiembre		X
Cáscara de coco	x	X
Semilla de Frutas		X
Cáscara de arroz		X
Bagazo		X
Turba		X
Huesos	x	
Cáscara de café		x

Fuente: (Luttermann, 1940)

### **3.1.5 Activación por el Método Físico**

La activación física inicia con el material carbonizado o material primario, que luego de ser molido es caracterizado con el fin de obtener tamaños uniformes para posteriormente ser activado (Smisek & Cerny, 1970). Los gases más implementados son el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbono, así como también gases de cloro, azufre, amonio y otras sustancias que poseen grandes efectos de activación.

Durante la activación física se crea una pérdida en la sustancia llegando a ser considerable, y se produce un aumento de la porosidad y la superficie interior. Por esta razón, la activación se da bajo condiciones oxidantes, selectivas o controladas. (Varriano, y otros, 2013). Tal como ha dicho Prías: “el carbón activado del bambú o guadua, tiene propiedades superiores al de otros precursores vegetales; por lo tanto, existen un gran campo para investigar a futuro. Se conoce al respecto que la guadua es una excelente materia prima para producir carbón activado, debido a su bajo costo de producción y alta tasa de reposición, teniendo en cuenta que gran parte de esta importante materia prima se pierde en la fabricación o permanece como residuo orgánico en el sector de la construcción” (Prías, 2011).

### **3.1.6 Activación por el Método Químico**

El proceso de activación química es realizado directamente en la materia prima, a diferencia de la activación física donde tiene que procederse a una carbonización antes de la activación. Según Meggs: “los procesos químicos de activación son obtenidos por impregnación empleando sustancias deshidratantes como el cloruro de zinc, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido bórico, ácido nítrico, sulfuro de potasio, sulfato de magnesio y sodio, además de otras sustancias. El procedimiento prosigue con la mezcla de estos activantes con la materia prima, teniendo en cuenta un tiempo de reacción para posteriormente ser carbonizada, generando gases oxidantes y degradando las moléculas orgánicas por deshidratación restringiendo así la formación de brea” (Meggs, 1968).

En resumen, el proceso de activación química que procede de residuos de biomasa empleando ácido fosfórico como agente activante para la producción de carbón activado tiene varias ventajas con respecto a la activación física, debido a que se

requiere solo una fase tratamiento térmico, no necesita temperaturas muy altas, permite una eficiente recuperación del ácido mediante extracción por varias etapas por medio de la desorción y se alcanzan mayores capacidades de adsorción, que disminuyen el costo del procedimiento.

### **3.1.7 Activación por microondas**

El uso de ondas de radiación generadas por microondas en la activación del carbón ayuda a suministrar energía directamente a la estructura del carbono a nivel molecular, reduciendo las etapas habituales de activación; por lo que el método es una fuente que proporciona ventajas como el ahorro de energía y reducción de tiempo de procesamiento y calentamiento selectivo, y a su vez mejora la estructura de los poros del precursor (Xuemin, y otros, 2015). Según Vaishakh y Vinu: “El calentamiento por microondas, es una técnica atractiva que realiza el calentamiento interno y volumétrico del material; las microondas tienen la capacidad de acelerar la velocidad de las reacciones químicas, generando gases como, y, las que aumentan los poros del carbón, al tiempo que reduce el consumo de energía para generar el calentamiento, comparándola con una activación convencional por calor”. (Vaishakh & Vinu, 2016).

### **3.1.8 Aguas Residuales**

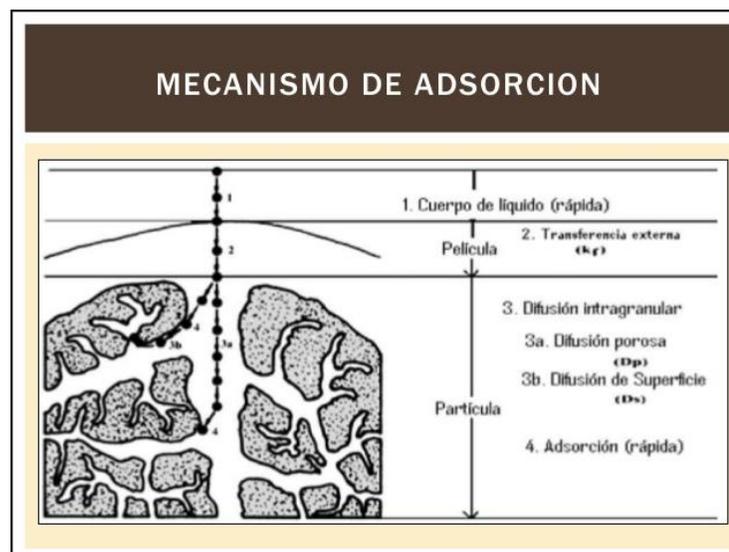
Se resume a las aguas residuales como los contaminantes orgánicos e inorgánicos emergentes que conforman un grupo de sustancias muy diversas, cuya característica en común es que causan efectos perjudiciales sobre los organismos acuáticos, por lo que deben de ser eliminados del ambiente. Las aguas residuales aparecen sucias y contaminadas: llevan grasas, detergentes, metales pesados, agentes químicos, materia orgánica, residuos de la industria y de los ganados, herbicidas, plaguicidas, y en ocasiones sustancias muy tóxicas.

Estas aguas residuales, antes de volver a la naturaleza, deben ser depuradas. Para ello se conducen a las plantas o estaciones depuradoras, donde se realiza el tratamiento más adecuado para devolver el agua a la naturaleza en las mejores condiciones posibles. Todavía existen muchos pueblos y ciudades de nuestro país que vierten sus aguas residuales directamente a los ríos, sin depurarlas. Esta conducta ha provocado que la mayoría de los seres vivos que vivían en esos ríos hayan desaparecido. (Clemente, Arrieta, & Mesa, 2013).

### 3.1.9 Adsorción

Los fenómenos de adsorción son de gran importancia en el desarrollo de procedimientos en la industria química y en el campo académico e investigativo. Según Carriazo: “Múltiples fenómenos de adsorción se evidencian durante procesos de catálisis heterogénea. Por ejemplo, en reacciones de craqueo de petróleo, de eliminación de contaminantes y reacciones de química pura, entre otros.” (Carriazo, Saavedra, & Molina, 2010). Para muchas de estas aplicaciones se acude al uso de carbón activado como material adsorbente, debido a sus ya conocidas propiedades: área superficial muy grande, microporosidad elevada y bajo costo económico.

Figura 10 Mecanismo de adsorción del carbón activado



Fuente (Figuereido et al., 1999).

#### ➤ Adsorción en fase líquida

De acuerdo con Cooney: “la adsorción es un fenómeno que sucede en la superficie de un material sólido y que provoca la acumulación de sustancias donde el compuesto que se adsorbe se denomina adsorbato y el periodo donde sucede la adsorción se denomina adsorbente” (Cooney, 1999).

Según Leyva Ramos: “La adsorción ocurre mediante fuerzas intermoleculares que están presentes en la superficie de un adsorbente como por ejemplo el carbón activado. Estas fuerzas producen atracción o repulsión de las moléculas presentes

en la interface líquida que está en contacto con el adsorbente provocando que las moléculas cercanas al sólido se acumulen en su superficie” (Leyva Ramos, 2007).

La adsorción se puede clasificar como física o química, según la interacción entre el adsorbato y el adsorbente. Leyva Ramos complementa: “La adsorción física es generada por las fuerzas de atracción de Van der Waals y no produce la adsorción sobre un sitio específico. Al contrario, las moléculas se mueven de manera libre sobre la interface del adsorbente. La adsorción química se da por la interacción química entre los complejos de la superficie del adsorbente y las moléculas del adsorbato. Esta sucede normalmente a altas temperaturas debido a que se precisa de generación de enlaces químicos” (Leyva Ramos, 2007).

#### ➤ Mecanismos que intervienen en la filtración

Antes se pensaba que la función de un filtro era solo retener las partículas. Esto fue descartado posteriormente debido a que no se encontraba coherencia a la remoción de partículas que fueran mucho más pequeñas que los poros presentes en los medios filtrantes.

Según Arboleda Valencia: “El floc grande, cuyo volumen es mayor que el de los poros del medio granular, queda retenido en los intersticios del lecho; en cambio, el material fino dividido que posee un tamaño menor que el de los poros queda removido debido a una variedad de fenómenos” (Arboleda Valencia, 2000).

#### ➤ Mecanismos de adherencia

Según la opinión de Di Bernardo: “Los mecanismos que facilitan la adherencia entre las partículas transportadoras y los gránulos, suceden por las características de las superficies de la partícula suspendida y del gránulo. La capacidad de adhesión es atribuida a algunos fenómenos provocados, como la interacción entre las fuerzas eléctricas y las fuerzas de Van der Waals entre las partículas y la superficie de los gránulos de un lecho filtrante” (Di Bernardo, 1993).

### **3.1.10 Optimización de la Producción de Carbón Activado a Partir de Bambú**

La opinión de Marsh dice que: “el nombre de carbón activado se da a una serie de carbones porosos los cuales se someten a procesos de activación para que muestren un elevado grado de porosidad y una alta superficie. A su vez estos parámetros se pueden controlar al variar las condiciones de activación como temperatura y tiempo de activación, así como el agente activante utilizado, esto se

realiza para satisfacer las necesidades de operación de la tecnología actual y futura” (Marsh, Heintz, & Rodríguez-Reynoso, 2001). La elección de la materia prima para activar depende principalmente en de su disponibilidad, pureza, precio y pureza, pero el proceso de producción y la posible aplicación del producto final tienen ser tenidos en cuenta.

Los procesos de activación se pueden dividir en dos tipos: activación física (también llamada térmica) y activación química (Velázquez-Trujillo, Bolaños-Reynoso, & Pliego-Bravo, 2010). Como antecedente, según Marsh: “de los análisis efectuados se hace una comparación con quienes emplean activación química en la producción de carbón activado a partir de desechos de bambú. A diferencia de la labor que emplea activación física en la producción de carbón activado a partir de bambú.” (Marsh, Heintz, & Rodríguez-Reynoso, 2001).

El bambú crudo es un precursor de carbón activo excelente debido a su contenido de carbono moderadamente alto (48.64%) y bajas cantidades de nitrógeno (0,14%), azufre (0,11%) e hidrógeno (6,75%) (Mui, Cheung, Lee, & McKay, 2008). Por otra parte, el bambú basado en carbón activado tiene una gran cantidad de microporos y un área superficial extremadamente grande, aproximadamente 4 y 10 veces mayor que las de carbón de leña, respectivamente (Zhao, Yuan, Jiang, Shi, & Cheng, 2008). Entonces, los carbones activados a base de bambú se han utilizado como posibles adsorbentes disponibles comercialmente para el tratamiento de iones de metales pesados (Wang, Tsai, Lo, & Tsai, 2008), amoníaco (Asada, Ohkubo, Kawata, & Oikawa, 2006) y colorante (Hameed, Din, & Ahmad, 2007). Sin embargo, hay pocas investigaciones sobre los estudios comparativos de la adsorción de carbón de bambú activado con productos químicos ácidos o básicos para eliminar los colorantes artificiales.

#### **4. ESTADO DEL ARTE**

Los diferentes estudios que se han realizado con el carbón activado del bambú o de la guadua para adsorber sustancias químicas que se presentan comúnmente en diferentes industrias, han servido para determinar la capacidad que tiene esta materia prima en aplicar como un filtro purificador de aguas residuales.

En nuestra labor de búsqueda de antecedentes para nuestro proyecto, nosotros hemos analizado los diferentes ensayos, y hemos recopilado la información en una tabla, donde nos muestra el método de activación, el material adsorbido, el porcentaje de remoción y los parámetros físicos y químicos donde se dio la máxima capacidad de remoción.

La tabla, realizada por nuestra autoría, sirve de base para la presentación de los análisis de resultados a entregar en este documento. Además, se podrá consultar la referencia bibliográfica de cada uno de los ensayos presentados en la tabla, en caso de que se desee consultar más a fondo alguno en específico.

Tabla 4 Análisis de ensayos realizados de adsorción con la guadua

Método de activación	Sustancia removida	Porcentaje máximo de remoción (%)	Descripción de los parámetros obtenidos en la máxima adsorción					Referencia bibliográfica
			T °C - K	Capacidad de adsorción	Tiempo de remoción	pH	Desorción S/N y observaciones	
Química con ácido fosfórico (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	Acido Amarillo 117	70.8	25 °C	50 mL	60 min	7	La alta capacidad de adsorción de la molécula de colorante más pequeña ha sugerido el alto potencial del carbón activado microporoso como buen adsorbente para la separación de contaminantes colorantes de una mezcla.	(Chan, Cheung, & McKay, 2008)
	Acido Azul 25	54.2						
Isotérmico, a través de la irradiación de plasma oxigenado.	Anilina	80	25 °C	50 mL	480 min	7	Se encontró cierta disminución en el área superficial, el volumen total de poros y el volumen de microporos del carbón activado usado	(Wu, y otros, 2012)
Química, modificado con Hidróxido de sodio (NaOH)	Azul de Metileno(MB)	99.67	298 K	606 mg/g	15-315 min	3 - 10	La adsorción de MB aumenta al aumentar el pH de la solución de 3 a 5, pero la capacidad de adsorción no varía cuando aumenta aún más el pH de la solución.	(Qian, Luo, Wang, Guo, & Li, 2018)
Microondas, modificado con Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	Azul de Metileno (MB)	70	25 °C	400 mg/L	360 min	3.45-3.7	El carbón activado modificado demostró mayor capacidad de adsorción para el azul de metileno. Se aumentaron y se fueron agrandando gradualmente los microporos.	(Liu, Zheng, Li, Wang, & Abulikemu, 2010)

Continuación Tabla 4 Análisis de ensayos realizados de adsorción con la guadua

Método de activación	Sustancia removida	Porcentaje máximo de remoción (%)	Descripción de los parámetros obtenidos en la máxima adsorción					Referencia bibliográfica
			T °C - K	Capacidad de adsorción	Tiempo de remoción	pH	Desorción S/N y observaciones	
Física, a 105 °C por 12 h, con adición de ácido húmico (HA).	Cromo Cr(VI)	72.9%	30 °C	19.53 mg/g	1 h	2 - 3	La adsorción de Cr (VI) se incrementó en presencia de HA, y cuando la concentración inicial de HA aumentó de 10 mg/L a 20 mg/ L, se observó una mayor remoción.	(Zhang, Ou, Duan, Xing, & Wang, 2015)
Microondas, modificado con Cobalto(Co) y hierro(fe)	Cromo Cr(VI)	97	298 K	35.7 y 51.7 mg / g	480 min	5	Se encontró que más del 97% del Cr (VI) adsorbido podría ser desorbido exitosamente bajo condiciones alcalinas. El alto porcentaje de desorción también indicó que el mecanismo de intercambio iónico desempeñó un papel importante en la desorción.	(Wang W. , y otros, 2013)
Microondas, modificado con nitrato de cobalto Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Cromo(VI)	98	298 K	18.52 mg/g	600 min	10	Los estudios de desorción. encontraron que más del 98% del Cr (VI) adsorbido podría ser desorbido exitosamente de Co-Carbón activado en condiciones alcalinas.	(Wang Y. , y otros, 2012)
Química, modificado con Ácido nitrilotriacético (NTA)	Cromo(III)	98.25	298 K	1000 mg/ g	2 h	3	No hubo estudios de desorción en el ensayo	(Saini, y otros, 2018)
	Cromo(VI)	85.24		270 mg/ g				

Continuación Tabla 4 Análisis de ensayos realizados de adsorción con la guadua

Método de activación	Sustancia removida	Porcentaje máximo de remoción (%)	Descripción de los parámetros obtenidos en la máxima adsorción				Referencia bibliográfica	
			T °C - K	Capacidad de adsorción	Tiempo de remoción	pH		Desorción S/N y observaciones
<b>Química. Catalizado con SBA-15 (sílice mesoporoso)</b>	(Ciprofloxacino) Antibióticos fluoroquilononos	87.65	45 °C.	50 mL	120 rpm por 24 H	7	La eficiencia de remoción y la capacidad de adsorción incrementaron proporcionalmente al aumentar la temperatura	(Peng, y otros, 2015)
<b>Química, modificado con Hidróxido de Sodio (NaOH)</b>	Cloranfenicol (CAP)	79	25 °C.	20 mg/ L	30 min	7	La desorción de N2 se realizó a 77 K con el aparato de área de superficie Brunauer-Emmett-Teller (BET)	(Fan, y otros, 2010)
<b>Física, a 105 °C por 6 h.</b>	Tetraciclina (TC)	83.8	303 K	30 mg/ L	24 H	7	La desorción de N2 se dio a 77 K con un área de superficie acelerada y porosímetro. El carbón activado tiene una cinética de desorción lenta y dificulta en su regeneración, que se debe principalmente a los microporos cerrados y de forma irregular.	(Liao, y otros, 2013)
	Cloranfenicol (CAP)	70.3						
<b>Química, con ácido ortofosfórico (H3PO4)</b>	Colorante amarillo 161	90.9	298 K	2.401 mg/g	21 h	1	El estudio concluyo que los carbones activados de bambú, especialmente activados con ácido ortofosfórico, podrían emplearse como adsorbentes efectivos y de bajo costo para eliminar los colorantes de las aguas residuales.	(Wang & Yan, 2011)
<b>Química, con hidróxido de potasio (KOH)</b>		15.5		1.705 mg/g		9		

Continuación Tabla 4 Análisis de ensayos realizados de adsorción con la guadua

Método de activación	Sustancia removida	Porcentaje máximo de remoción (%)	Descripción de los parámetros obtenidos en la máxima adsorción				Referencia bibliográfica	
			T °C - K	Capacidad de adsorción	Tiempo de remoción	pH		Desorción S/N y observaciones
Química, con hidróxido de Aluminio	Fluoruro	91.8	25 °C	21.1 mg/ g	3 h	5 - 9	La desorción de fluoruro fue máxima utilizando NaOH al 1% después de 1 h (85.71 %). Basado en los resultados se puede concluir que la regeneración es apta si las condiciones se optimizan mediante estudios futuros.	(Wendimu, Zewge, & Mulugeta, 2017)
Química, modificado con agua oxigenada (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	Mercurio elemental (Hg)	60	30 - 50 °C	511.23 m <sup>2</sup> / g	250 min	-	Ocurre quimisorción (reacción química entre las moléculas de adsorbato y la superficie del adsorbente)	(Shen, Liu, Xu, & Wang, 2019)
Física, impregnado con agua oxigenada (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	Mercurio elemental(Hg)	92.5	20 °C	140.97 m <sup>2</sup> / g	115 min	-	Los resultados muestran que el carbón activado tiene un buen rendimiento para la eliminación de mercurio elemental gaseoso, especialmente después de haber sido modificado por H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .	(Tan, Qiu, Zeng, Liu, & Xiang, 2011)
Química, modificado con cloruro de zinc (ZnCl <sub>2</sub> ) y cloruro de Hierro (FeCl <sub>3</sub> )	Mercurio elemental(Hg)	92 y 99.9 respectivamente	140 °C	107.40 y 75.43 m <sup>2</sup> / g	5 h	-	El carbón activado de bambú después de la modificación con reactivos químicos es excelente para la eliminación de mercurio elemental a un nivel relativamente alto.	(Tan, Niu, & Chen, Removal of elemental mercury by modified bamboo carbon, 2015)

Continuación Tabla 4 Análisis de ensayos realizados de adsorción con la guadua

Método de activación	Sustancia removida	Porcentaje máximo de remoción (%)	Descripción de los parámetros obtenidos en la máxima adsorción					Referencia bibliográfica
			T °C - K	Capacidad de adsorción	Tiempo de remoción	pH	Desorción S/N y observaciones	
Física, calentado en horno a 900°C durante 1 h.	Nitrogeno-Nitrato(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	15	10 – 20 °C	1.2 mg/ g	120 h	7	No hubo pruebas de desorción.	(Mizuta, Matsumoto, Hatate, Nishihara, & Nakanishi, 2004)
Química con agua desionizada en un ratio de 400 mL/h	Nitrato de Plomo Pb(NO <sub>3</sub> )	98.8	25 °C	22.85 mg/ g	2–4h	7.10 – 9.82	No hubo ensayos de desorción.	(Lo, Wang, Tsai, & Lin, 2012)
	Nitrato de Cobre Cu(NO <sub>3</sub> )	93.5		24.21 mg/ g	4-8 h			
	Nitrato de Cromo Cr(NO <sub>3</sub> )	91.7		29.47 mg/ g	4-8 h			
	Nitrato de Cadmio Cd(NO <sub>3</sub> )	87.8		30.07 mg/ g	4 h			
Por microondas, modificado con permanganato de potasio (KMnO <sub>4</sub> )	Plomo Pb(II)	98	298 K	55.56 mg/g	48 h	5	Los porcentajes de desorción de Pb (II) de CA modificado fueron más del 95%. La alta eficiencia de desorción se debió a que la superficie del adsorbente estaba alterada en condiciones ácidas, lo que podría hacer posible la desorción de Pb (II) eficiente.	(Wang Y. , y otros, 2012)
Física, en 50 ml de solución de ácido acético al 2% agitando durante 3 horas a 30°C	Plata(I), Ag	100	30 °C	52.91 mg/g	180 min	6	La desorción máxima fue de 74.11 %. En los estudios de desorción, se utilizó una solución de ácido acético 10 mM como agente de desorción.	(Nitayaphat & Jintakosol, 2015)

Continuación Tabla 4 Análisis de ensayos realizados de adsorción con la guadua

Método de activación	Sustancia removida	Porcentaje máximo de remoción (%)	Descripción de los parámetros obtenidos en la máxima adsorción				Referencia bibliográfica	
			T °C - K	Capacidad de adsorción	Tiempo de remoción	pH		Desorción S/N y observaciones
Física, a un ratio de 5°C/min hasta llegar a los 800 °C.	Sulfuro de Dimetilo (DMS)	70	25 °C	0.0052 mg/ g	2 h	7	El aumento de la dosis de adsorbente provocó una mayor eficiencia de remoción del sulfuro de dimetilo, pero una disminución en la capacidad de adsorción. La tasa de adsorción fue relativamente rápida inicialmente y después la aumentó lentamente.	(Wang, Huang, Liu, & Kang, 2011)
Isotérmico, modificado los poros con catalizador de N2	TNT ( trinitrotolueno) en agua roja	90	353 K	43.38 mg/ g	180 min	2	Los resultados muestran que los materiales orgánicos por unidad de volumen de agua roja TNT disminuyen con el aumento del ratio de dilución. Así, los materiales orgánicos pueden adsorber fácilmente por medio del carbón activado del bambú	(Fu, Zhang, Lv, Chu, & Shang, 2012)
Química, modificado con óxido de titanio (TiO <sub>2</sub> )	Benzeno	72	150 °C	0.111 mg/ g	180 min	7	No hubo estudio de desorción	(Chuang, Wang, Ko, Ou, & Wu, 2008)
	Tolueno	71		0.064 mg/ g				

Fuente: autoría.

La tabla de análisis, ha sido fundamentada en artículos de revisión de Scindirect, por lo tanto, se encuentran a disposición de cualquiera para su lectura. El análisis de la tabla se encuentra en el apartado 8.2 del presente documento, donde se retroalimentan los datos y se realizan conclusiones al respecto.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar la viabilidad del uso del carbón activado de la guadua en la remoción y adsorción de agentes químicos en las aguas residuales por medio de un enfoque de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva.

### **5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

5.2.1 Identificar en bases de datos y buscadores especializados, estudios y patentes relacionadas con el uso del carbón activado de la guadua en la adsorción y remoción de agentes contaminantes en medio acuosos.

5.2.2 Analizar y procesar la información obtenida de investigaciones y patentes por medio de software especializado para conocer los datos más relevantes investigados en el tema.

5.2.3 Dar un soporte a manera de documento que especifique la viabilidad que tiene el carbón activado a base de guadua para el tratamiento de aguas residuales y de los agentes contaminantes que se pueden adsorber con este método.

## **6. ALCANCES Y LIMITACIONES.**

### **6.1 ALCANCE**

6.1.1 El presente trabajo de grado pretende hacer una revisión de las investigaciones realizadas sobre las sustancias químicas en el agua que han sido removidas por el carbón activado de la guadua o el bambú.

6.1.2 El trabajo de grado incluirá un producto tipo artículo de Vigilancia Tecnológica, el cual hará una revisión de la viabilidad del uso de la guadua como precursor del carbón activado en la remoción de diferentes agentes contaminantes en las aguas residuales y estará regido bajo soporte de software especializado en búsqueda de información y en bases de datos.

6.1.3 El trabajo de grado abarcará los diferentes métodos de activación del carbón en la guadua, especificando la metodología y el procedimiento de cada uno de ellos.

6.1.4 El trabajo de grado no se ha enfocado en un tipo específico de guadua, sino que se hará el análisis dependiendo del ensayo que se haya realizado en un determinado tipo. Aun así, la mayoría de investigaciones analizadas tomaron como tipo de guadua la "*guadua angustifolia*", para la realización de los ensayos.

6.1.5 La investigación abarca únicamente el uso de carbón activado en la guadua como método para la filtración y purificación.

### **6.2 LIMITACIONES**

6.2.1 El trabajo de grado estará sujeto a la disponibilidad de información que se encuentre en bases de datos o revistas científicas.

6.2.2 El trabajo de grado definirá el concepto de viabilidad que tiene el uso del carbón activado a base de guadua para el tratamiento de aguas residuales, sin incurrir en realizar un montaje experimental respecto a este proceso, ya que no se cuenta con los equipos y recursos necesarios para realizar este montaje.

6.2.3 La falta de actualización de la información de las bases de datos respecto a la remoción de agentes contaminantes utilizando carbón activado a base de guadua.

## 7. METODOLOGÍA

Para explicar de una mejor manera el método de cumplimiento de los objetivos, indagando paso a paso cada uno de los procesos a ejecutar, realizamos una matriz metodológica, especificando de mejor forma la información. Esta matriz incluye cada una de las actividades a realizar para cumplir los objetivos, los medios necesarios que se van a utilizar para cumplir con las actividades y el producto o resultado final de cada uno de los procesos por cumplirse.

### 7.1 MATRIZ METODOLÓGICA

Tabla 5 Matriz metodológica

OBJETIVO ESPECÍFICO 1: Indagar en bases de datos y buscadores especializados, recopilando datos acerca de revisiones y patentes realizadas anteriormente sobre el uso de la guadua en la adsorción y remoción de agentes con carbón activado.		
ACTIVIDAD	MEDIOS	PRODUCTO
Planificar los medios que se usaron para buscar información y el procedimiento que se siguió para realizar las siguientes actividades.	Bases de datos Revistas científicas Otras tesis o trabajos de grado	Reporte de la información obtenida y recopilada que permite analizar más adecuadamente la realización de la vigilancia tecnológica.
Hacer una búsqueda de información de los artículos científicos acerca de la filtración de aguas residuales con la guadua que se hayan realizado con anterioridad.	Bases de datos  Gestor de información bibliográfica: Mendeley	
Recopilar la información pertinente en una base de datos o algún medio que permita su rápida facilitación cuando se requiera.		Primera parte del documento final de vigilancia tecnológica.
Determinar cuál información es pertinente y viable para realizar la vigilancia tecnológica.	Revisión del documento	

Continuación Tabla 5 Matriz metodológica

<p><b>OBJETIVO ESPECÍFICO 2:</b> Analizar y procesar la información obtenida de investigaciones y patentes por medio de software especializado para conocer los datos más relevantes investigados en el tema.</p>		
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>MEDIOS</b>	<b>PRODUCTO</b>
<p>Investigar el concepto de todas las temáticas que abarcan el proyecto.                      Investigar las diferentes metodologías que existen para activar el carbón en la guadua</p>	<p>Software especializado de análisis de información</p>	<p>Segunda parte del documento final de vigilancia tecnológica</p>
<p>Analizar la información obtenida por medio de los datos más relevantes de cada una de las bases de datos</p>		
<p>Generar un reporte a manera de Estado del Arte para las investigaciones y Estado de la Técnica para las patentes, apoyándose en las herramientas brindadas por la vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva.</p>	<p>Revisión del documento</p>	
<p><b>OBJETIVO ESPECÍFICO 3:</b> Dar un soporte a manera de documento que especifique la viabilidad que tiene el carbón activado a base de guadua para el tratamiento de aguas residuales y de los agentes contaminantes que se pueden adsorber con este método.</p>		
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>MEDIOS</b>	<b>PRODUCTO</b>

Continuación Tabla 5 Matriz metodológica

Procesar toda la información obtenida, eliminando aquellas que no se consideren fundamentales en el desarrollo del documento	Acceso a fuentes de información	Ultima parte del documento final de vigilancia tecnológica
Hacer un análisis completo de los resultados recopilados y procesados, llegando a una toma de decisión para la redacción del documento, que dieron paso a la definición de la viabilidad del mismo	Metodología inteligencia competitiva y vigilancia tecnológica	
Definir la viabilidad que tiene el carbón activado de la guadua para el tratamiento de las aguas residuales		

Fuente: autoría.

## 7.2 MÉTODO

Para el desarrollo de esta propuesta de elaboración del proyecto, se hizo una búsqueda en bases de datos científicas y especializadas acerca de ensayos de laboratorio publicados con anterioridad, especificando el uso del carbón activado del bambú para remover diferentes sustancias químicas del agua.

Además, se realizó una búsqueda en software de análisis de información, usando palabras clave relacionadas con nuestra temática de proyecto, para obtener resultados gráficos de la cantidad de investigaciones de patentes realizadas en todo el mundo. Donde pudimos resumir en que países se tiene un avance significativo en este proceso de tratamiento de agua y en que otros se tiene desconocimiento del potencial de la porosidad de la guadua como medio adsorbente. Por último, se analizaron los agentes contaminantes que más se han investigado, para tener una retroalimentación de en qué ámbitos se podría implementar este medio.

## 7.3 TECNICAS E INSTRUMENTOS

Para el desarrollo del proyecto se realizó una búsqueda en fuentes de información secundaria: patentes, investigaciones, documentos, artículos de revisión, entre

otros. Para la recolección de la información necesaria, se utilizó software y bases de datos especializadas mencionadas anteriormente como soporte de búsqueda.

Se utilizaron los buscadores especializados que se centran en recuperar información minuciosamente de una fuente específica (ej. patentes, artículos científicos, tesis, etc.), un área del saber particular (ej. medicina, ingeniería, biotecnología, etc.) o un tipo de información concreta (ej. académica, tecnológica, etc.). Unos ejemplos de estas herramientas de búsqueda especializada son (Cardozo, 2017):

VANTAGE POINT, Un software que ofrece pronósticos precisos de la dirección de una tendencia en un período de dos o cuatro días, predicciones de alta y baja del día siguiente y alertas sobre si se espera que el mercado llegue a la cima o a la baja en las próximas 48 horas.

VOSviewer, una herramienta de software para construir y visualizar redes bibliométricas.

INTELLIGO, explorador de gran reconocimiento en el espacio académico iberoamericano que ofrece resultados de repositorios y patentes de diferentes bases de datos científicas. Además, desarrolla un conjunto de otros indicadores líderes predictivos y herramientas técnicas que identifican entradas y salidas óptimas.

RECOLECTA, buscador especializado en ciencias abiertas, además de la producción científica en abierto.

CREATIVE COMMONS SEARCH, buscador especializado en recursos digitales con licencia creative commons.

Bases de datos científicas que funcionan con información organizada primordial para conocer los datos más notables investigados en un área específica, por esto resulta esencial conocer perfectamente las bases de datos más adecuadas para cada método estratégico de información. Cada vez más, disponen de un soporte electrónico lo que facilita su revisión. Existe un amplio catálogo de bases de datos, que para la vigilancia tecnológica resultan primordiales:

Bases de datos de patentes:

- INVENES
- CSIC

Bases de datos de revistas y artículos científicos (Cardozo, 2017):

- LARreferencia, red de revistas Científicas de Brasil.

- REDALYC, Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.
- SCIELO, red iberoamericana de colecciones de revistas científicas en texto completo y con acceso abierto, libre y gratuito.
- SCIENCEDIRECT, Red de publicaciones de ingeniería, que abarcan una variedad de disciplinas, desde las teóricas hasta las aplicadas.

#### **7.4 RECOLECCION DE DATOS**

La primera parte de recolección de datos se realizó en bases de datos de investigaciones científicas. Filtramos la búsqueda para obtener solo los ensayos donde se haya usado el carbón activado del bambú o guadua para adsorber diferentes agentes químicos por medio de diferentes metodologías de adsorción. Esto con el objeto de tener un soporte de resultado comparando cada uno de los análisis y determinando cual fue la sustancia que presento un mayor porcentaje de remoción, cual fue la sustancia que más se experimentó, y que parámetros físicos (temperatura, pH, cantidad del agente, tiempo de contacto) contribuyeron a tener mayor eficiencia de remoción. Estos análisis nos ayudaron a comprender la capacidad que podría tener el carbón activado de la guadua si se implementara en sistemas de tratamiento de agua en Colombia en el sector agrícola, doméstico e industrial.

La segunda parte del análisis de datos se realizó con el software de recopilación de datos. Realizamos la búsqueda de los algoritmos con palabras clave como bambú, carbón activado y adsorción, que luego arrojó los resultados de las investigaciones que tuvieran estas tres palabras clave. Comparamos y discutimos los resultados de las gráficas para así determinar los países donde más se ha investigado el carbón activado de guadua o bambú como medio adsorbente, en que empresas se ha indagado este proceso, en que años se han observado mayor tendencia de búsqueda, entre otras.

## **8. DESARROLLO DEL PROYECTO.**

Habiendo establecido el procedimiento a seguir en el desarrollo del proyecto, se prosiguió con la continuación del mismo. La búsqueda de investigaciones se realizó en el software de repositorios mencionados anteriormente, y el análisis de información del uso del bambú o guadua para el tratamiento de aguas residuales se dio en las bases de datos también mencionadas.

En los anexos de este documento se encuentran las matrices de búsqueda que interrelacionan los conceptos y palabras claves que dieron como resultado de los algoritmos de búsqueda.

### **8.1 SOFTWARE DE BUSQUEDA DE INFORMACION**

Después de consultar la disponibilidad y facilidad de acceso de cada uno del software que habíamos encontrado en nuestro anteproyecto, se identificó que solo INTELLIGO, VOSviewer y VANTAGE POINT poseían las herramientas necesarias para poder realizar nuestra investigación de bases de datos, ya que las demás se encontraban fuera de servicio, tenían pocas herramientas o presentaban inaccesibilidad para los estudiantes.

De los tres software, se descartó VANTAGE POINT, debido a que se requería de una tutoría o inducción para aprender a manejar la herramienta, que tenía un nivel de complejidad en su manejo. Aun así, se tiene en cuenta que es una herramienta con muchas funciones y que posee una gran capacidad de recopilación de bibliografías en bases de datos.

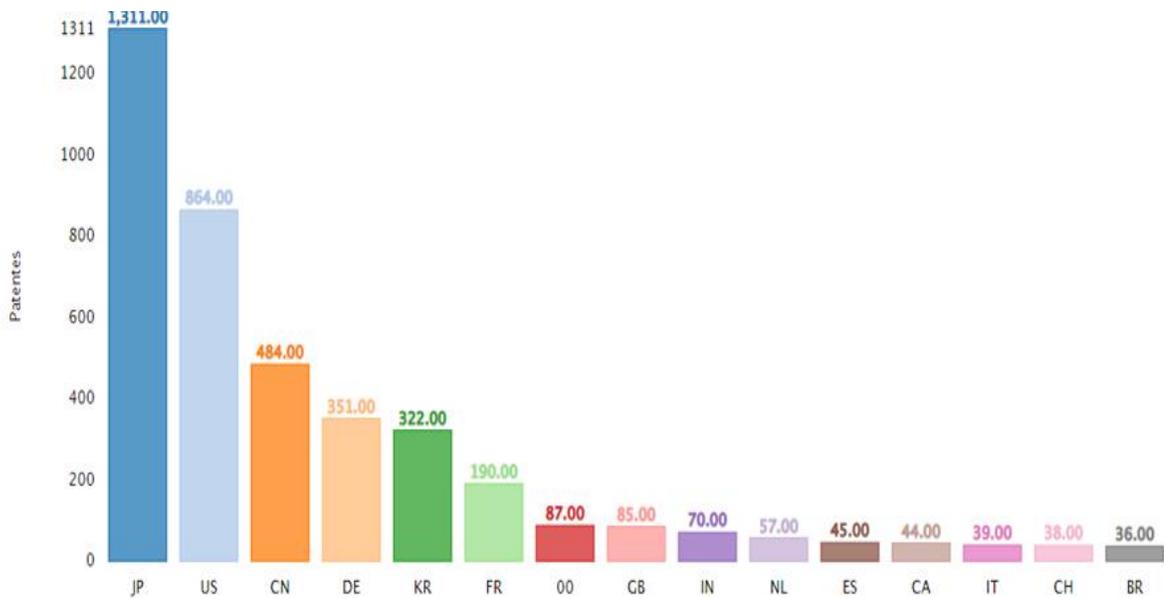
Los dos restantes software: INTELLIGO y VOSviewer, poseen funciones muy similares, pero debido a que el segundo requería una descarga de cliente en Windows, se optó por INTELLIGO, que funciona en línea por lo que es más sencillo y fácil de acceder. Además, este software programa su búsqueda en algoritmos, de tal forma que al escribir varias palabras clave en forma conjunta, procesa la información y busca las investigaciones que incluyan en sus documentos estas palabras. Así, se realiza un filtro sencillo y efectivo de lo que necesitamos para nuestra vigilancia tecnológica.

En primer lugar buscamos las patentes que hayan sido consultadas a través de diferentes medios en todo el mundo. El algoritmo que utilizamos para la búsqueda fue:

Bamboo + Charcoal + Adsorption

De esta forma, logramos filtrar los resultados, para que solo nos muestre las patentes que se relacionen a la adsorción del carbón de bambú. Los resultados fueron los siguientes;

Diagrama 1 Países inventores en patentes

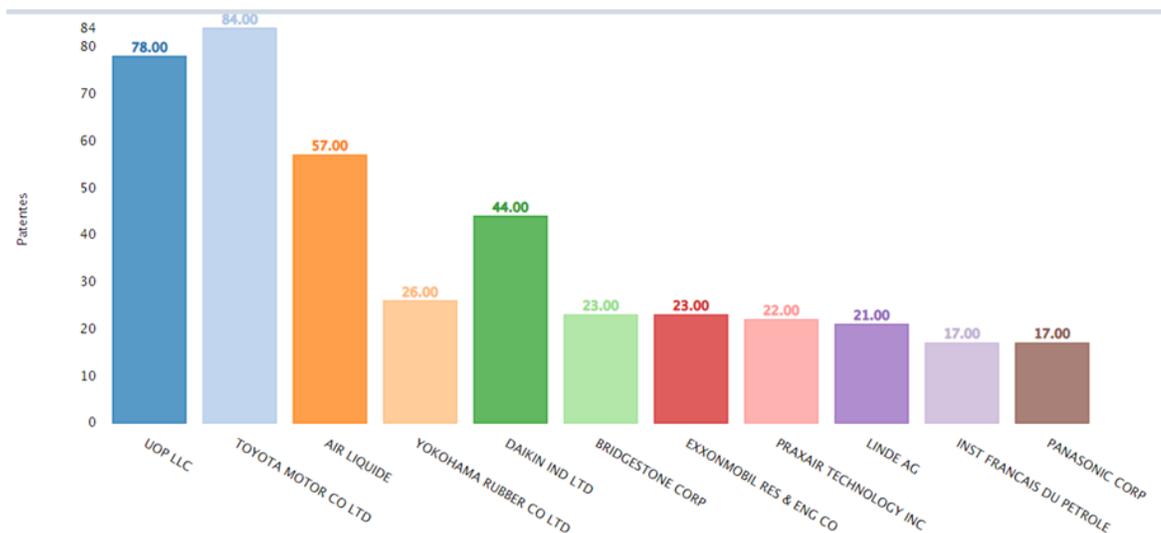


Fuente: INTELLIGO

Se observa que Japón es el país que más patentes ofrece con casi 1500. Además, la tendencia sigue hacia los países asiáticos siendo los que tienen mayor avance en investigación del tema. Esto se debe a que la presencia de bambú en estos países es abundante, por lo que han buscado su aprovechamiento en diferentes ámbitos, entre estos la adsorción de sustancias contaminantes. Estados Unidos al ser un país que posee un avance significativo en el ámbito tecnológico y científico, también aparece entre los más altos.

Entre países latinoamericanos, Brasil es el único que aparece en el gráfico, pero con apenas 36 patentes. Esto hace suponer que Latinoamérica no es una región en la que se haya investigado mucho sobre este tema, quizás debido a la poca investigación que se tiene a mano, ya que no existe una gran evidencia investigativa que haya arrojado resultados de gran proporción. Más bien, se tienen ensayos científicos en laboratorio que han aportado información favorable a que la guadua es un buen precursor para el tratamiento de aguas residuales.

Diagrama 2 Compañías solicitantes de los estudios



Fuente: INTELLIGO

Otro gráfico observado en INTELLIGO es el de las empresas que han consultado las patentes. Las empresas que tienen mayor presencia en los resultados son multinacionales de la industria petrolera, química, automotriz y de ingeniería. Todas estas tienen en común que usan agentes químicos de poca o alta peligrosidad, en actividades de producción, extracción, construcción, limpieza, entre otras.

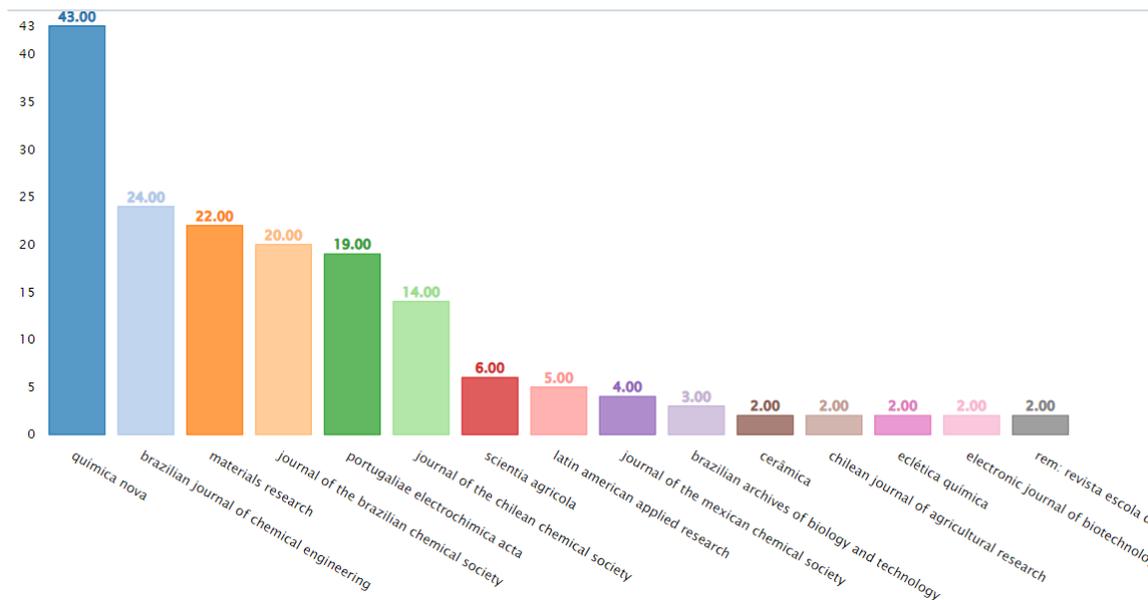
De tal forma, se observa el interés que tienen estas multinacionales en la adsorción de estos agentes de difícil remoción, que contaminan el agua, convirtiéndola en inutilizable para el consumo o para usos domésticos. Por lo que una medida de tratamiento eficiente y económico sería una alternativa excelente para las grandes franquicias, ya que actualmente se desarrolla un compromiso ecológico en todos los países del mundo, buscando la manera de actuar a raíz de cuidar el planeta donde habitamos.

La otra parte de la consulta en el software de INTELLIGO fue la búsqueda en el repositorio de documentos, donde buscamos en cada una de las bases de datos disponibles: SCIELO, REDALYC, LAREFERENCIA Y CSIC, con el mismo método usado para las patentes.

## SCIELO

El algoritmo usado fue: Bamboo + Charcoal + Adsoption.

Diagrama 3 Resultados de editores de SCIELO

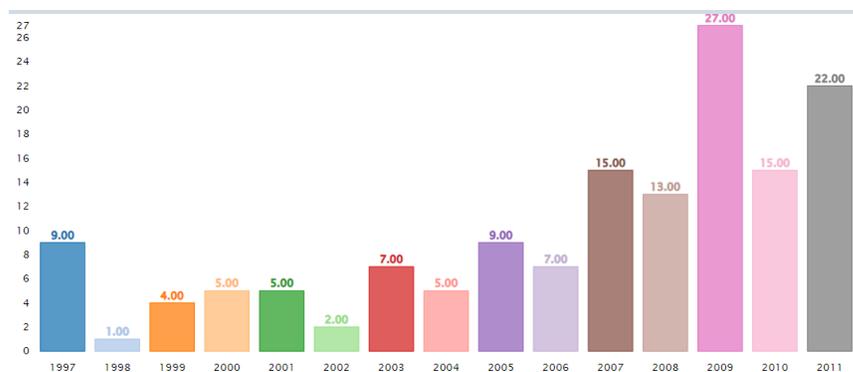


Fuente: INTELLIGO

En el diagrama 3, los editores brasileros son los que dominan los resultados, teniendo en cuenta que SCIELO es una base de datos principalmente de Latinoamérica. También, las investigaciones acerca de la adsorción con el carbón del bambú son principalmente de libros y revistas de química o afines.

El diagrama 4, muestra la tendencia en años en que fueron realizadas las investigaciones. Se puede concluir que del 2007 en adelante hubo un crecimiento en las investigaciones realizadas, concluyendo hay un mayor interés de obtener información sobre este tema en los países de Latinoamérica.

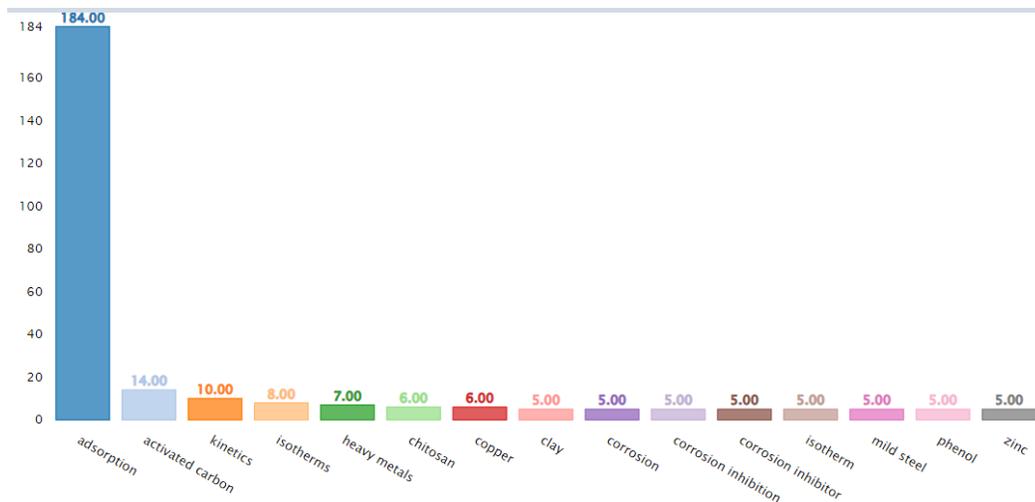
Diagrama 4 Tendencia en años de SCIELO



Fuente: INTELLIGO

Por último, el diagrama 5 muestra las palabras clave que más aparecen en los documentos del repositorio. La adsorción es lo que más relacionado esta entre los estudios escritos. También se observan palabras relacionadas al uso del carbón activado de bambú en la eliminación de agentes químicos como: cinética, metales pesados, cobre, quitosano, corrosión, arcilla, entre otras.

Diagrama 5 Resultados palabras clave de SCIELO

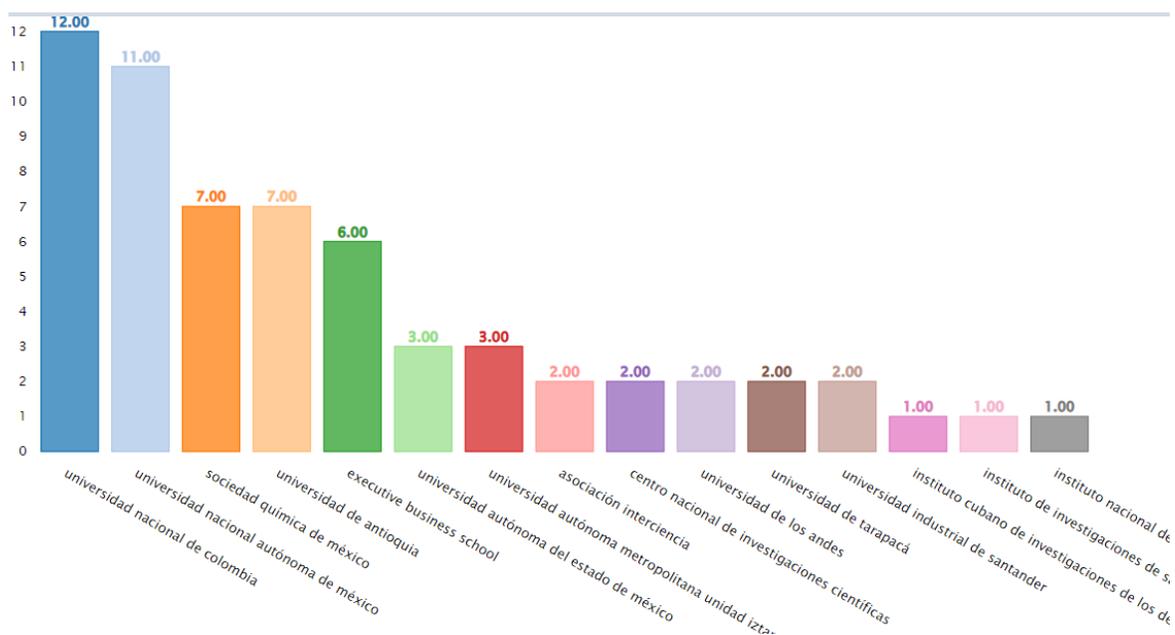


Fuente: INTELLIGO

## REDALYC

El algoritmo que se uso fue: Carbón + Activado + Bambú + Adsorción

Diagrama 6 Resultados autores de REDALYC



Fuente: INTELLIGO

Los resultados del diagrama 6 muestran que en la universidad Nacional de Colombia se obtuvieron mayores resultados. Indagamos los documentos de la UN, para consultar los estudios que se han llevado a cabo en Colombia. Se encontró que se han realizado diferentes análisis de la remoción de sustancias químicas usando un carbón activado comercial. Pero en ninguno de los documentos se utilizó ni se mencionó el carbón activado de la guadua. Esto manifiesta que aunque se han realizado pruebas de adsorción con el carbón activado de la guadua en Colombia, no se ha probado a estudiar la guadua para producir carbón activado y a su vez, para usarlo en las aguas residuales.

Por esto se presume aún más la importancia de nuestro proyecto de investigar toda la información de la que se tenga conocimiento en este tema, para construir una vigilancia tecnológica, que sirva como precursor de futuros análisis que se realicen en nuestro país, y que tengan el enfoque de usar la materia prima de la guadua en los procesos de tratamiento de aguas contaminadas.

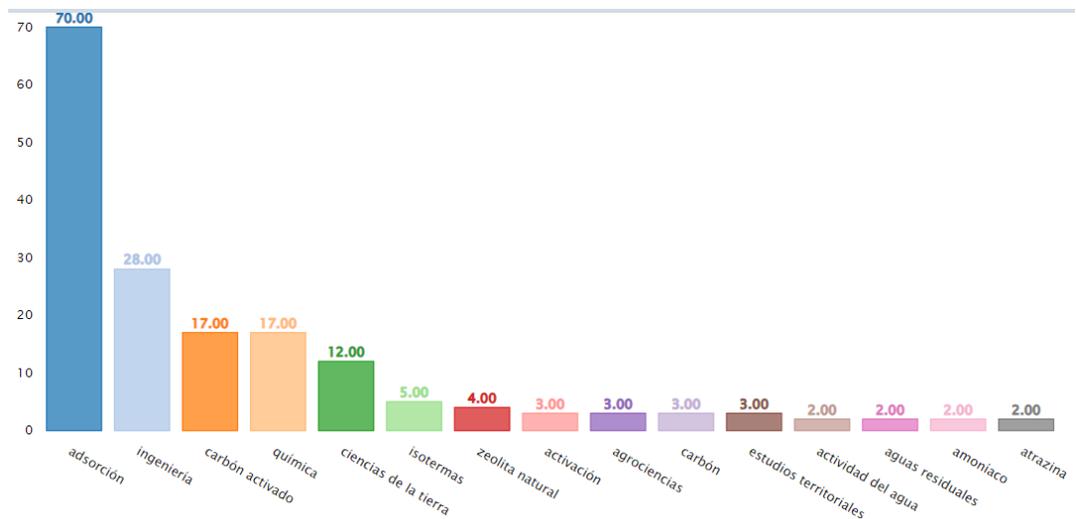
Figura 11 Resultado de documentos realizados por la Universidad Nacional de Colombia

Documentos relacionados
- Retención de fenol en solución acuosa sobre carbón activado y zeolita X (Retention of aqueous phenol over activated carbon and zeolite X)
- ADSORCIÓN DE RESORCINOL DESDE SOLUCIÓN ACUOSA SOBRE CARBÓN ACTIVADO
- Adsorción catalítica de NO a baja temperatura sobre monolitos de carbón activado
- Adsorción de pentaclorofenol en solución acuosa sobre carbones activados comerciales
- Obtención de un material carbonáceo activado de antracita para posibles aplicaciones en hidrometalurgia
- INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA SUPERFICIAL DEL CARBÓN ACTIVADO EN LA ADSORCIÓN DE BENZOTIAZOLES
- Adsorción de salicilato de sodio en solución acuosa sobre carbón activado
- Adsorción de Cd(II) en solución acuosa sobre diferentes tipos de fibras de carbón activado
- ADSORCIÓN DE RESORCINOL DESDE SOLUCIÓN ACUOSA SOBRE CARBÓN ACTIVADO. RELACIÓN ISOTERMAS DE ADSORCIÓN Y ENTALPIA DE INMERSIÓN
- Carbones activados a partir de anamú (Petiveria alliacea L.). Sus Características como adsorbente. Parte I. Adsorción de CO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub>
- Predicción de las curvas de ruptura para la remoción de plomo (II) en disolución acuosa sobre carbón activado en una columna empacada
- REMOCIÓN DE CROMO VI DE SOLUCIONES ACUOSAS POR ADSORCIÓN SOBRE CARBONES ACTIVADOS MODIFICADOS

Fuente: (INTELLIGO, 2019)

En el diagrama 7, la palabra clave que más apareció en el repositorio de REDALYC fue adsorción, al igual que las demás bases de datos. Otras palabras clave que aparecen ingeniería, ciencias de la tierra y agroquímica. Se observa que se han realizado en estos 3 campos de investigación estudios de remoción de sustancias con el fin de obtener resultados favorables para el desarrollo de nuevas opciones más económicas y de gran potencial a futuro.

Diagrama 7 Resultados palabras clave de REDALYC

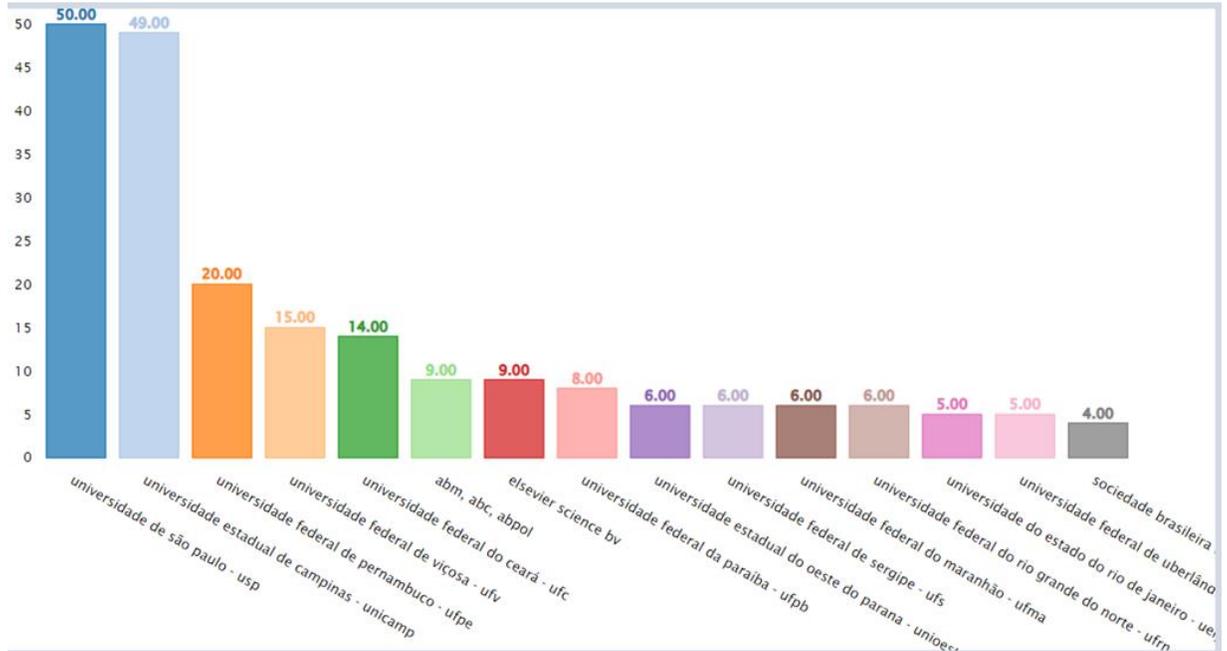


Fuente: INTELLIGO

## LREFERENCIA

EL algoritmo que se escribió fue Bamboo + Charcoal + Adsoption

Diagrama 8 Resultados editores de LREFERENCIA

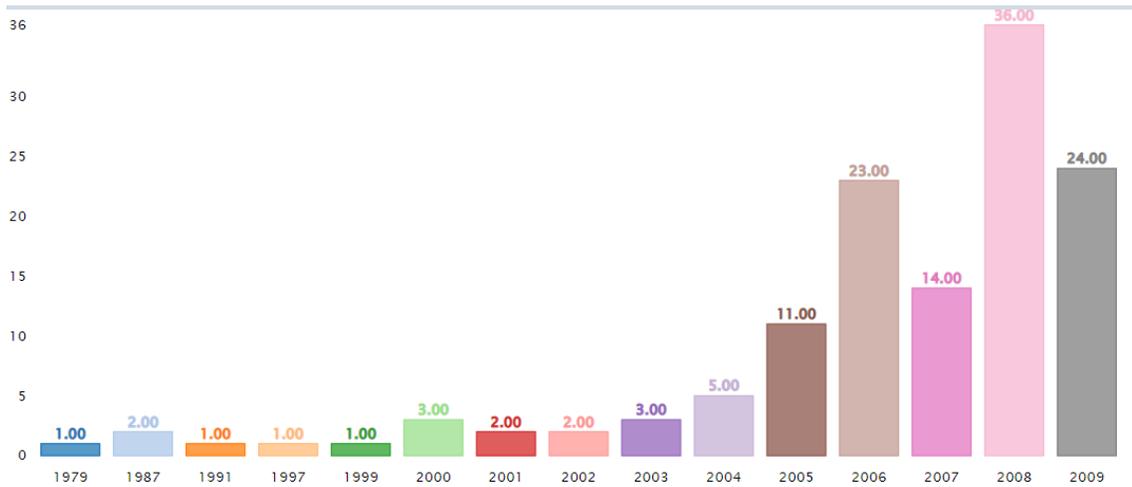


Fuente: INTELLIGO

Esta base de datos recoge todos los estudios realizados principalmente en Brasil. Por tal razón, los principales autores que aparecen en los resultados del diagrama 8 son de las universidades más importantes del país, como la Universidad de Sao paulo, Universidad estatal de Campinas, Universidad federal de Pernambuco, etc. Todas estas interesadas en el avance del análisis de la adsorción de agentes contaminantes con el carbón activado de la guadua o bambú.

En el diagrama 9, se observan los años en que se han realizado los documentos, arrojando que desde el 2005 en adelante ha habido un crecimiento en las investigaciones realizadas en Brasil, por lo tanto, hay una tendencia hacia la actualidad demostrando un mayor interés en la idea.

Diagrama 9 Tendencia en años de LAREFERENCIA



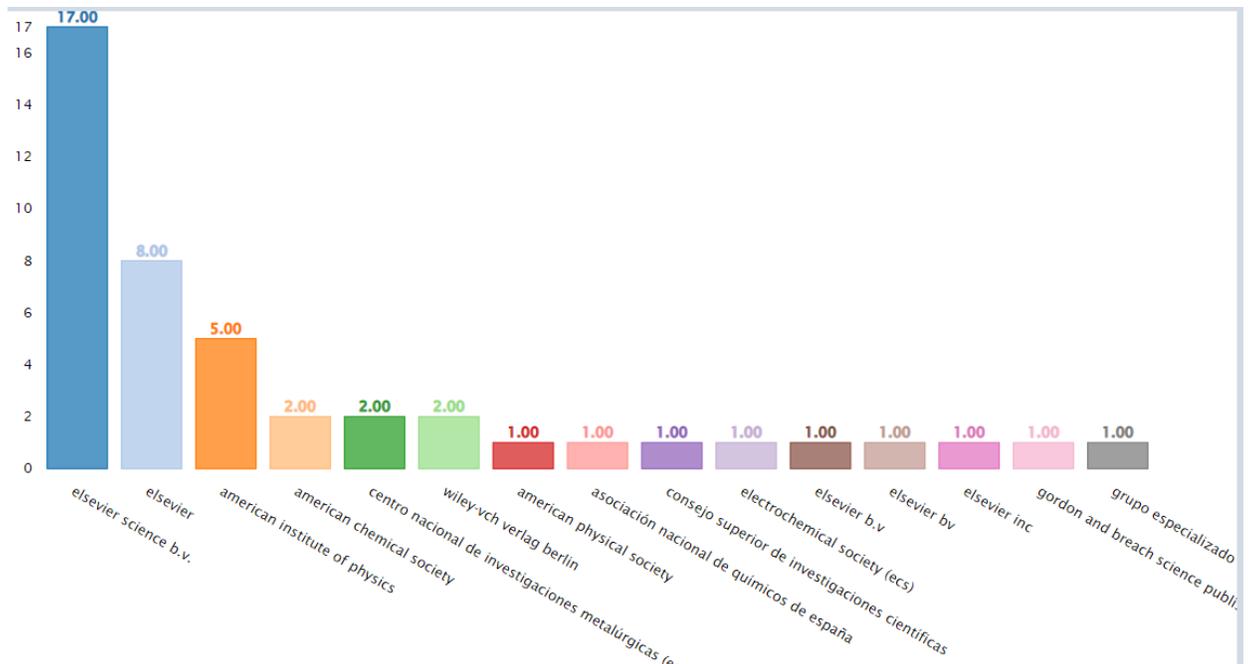
Fuente: INTELLIGO

CSIC

El algoritmo usado para la búsqueda en el software fue:

Bamboo + charcoal + adsorption

Diagrama 10 Resultados bases de datos de CSIC



Fuente: INTELLIGO

CSIC (Consejo superior de Investigaciones Científicas), es una organización que provee una gran cantidad de bases de datos y promueve las investigaciones en beneficio del progreso científico y tecnológico. El diagrama 10 muestra el enfoque del carbón activado del bambú relacionado a la adsorción en las diferentes bases de datos con las que interactúa la organización. Elsevier, que hace parte de SCIEDIRECT, aparece en primer lugar, al ser una de las bases de datos más importantes del mundo, posee una gran cantidad de estudios en su repositorio. También otras como el instituto americano de Física, y la sociedad americana de Química, tienen una cantidad de consultas en su repositorio.

## **8.2 ANALISIS DE LA INFORMACION SUMINISTRADA EN BASES DE DATOS**

Los artículos que usamos para el análisis de información fueron tomados de SCIEDIRECT. Se optó por esta base de datos porque es la que posee más documentos a disposición acerca de la adsorción de diferentes metales pesados usando el bambú. Tiene una herramienta que facilita los enlaces bibliográficos con Mendeley. Además, está incluida entre las bases de datos que suministra la Universidad Católica y por medio de esta se pueden obtener fácilmente los artículos completos.

En el estado del arte (capítulo 4), establecimos la tabla con la que se recopiló los datos de las diferentes revisiones científicas ya mencionadas. De estos se extrajo información relacionada al método de activación del carbón de bambú, la sustancia química removida, el porcentaje máximo de remoción, la temperatura y el pH donde se dio esta proporción, la capacidad máxima extraída (cantidad), el tiempo de contacto y si hubo o no desorción en los poros.

De los estudios se pueden obtener varias conclusiones: las sustancias químicas que más análisis obtuvieron fueron: Azul de Metileno, Cromo y Mercurio en estado elemental. Estos agentes están muy presentes en los diferentes ámbitos de la industria. Por tal razón, es de gran interés obtener mayores resultados en los análisis debido a la dificultad de remover los residuos de estos químicos del agua.

El azul de metileno, que se usa para cirugías y como antiséptico, presenta una concentración muy alta debido a que es un colorante, además que es muy usado en Medicina. El cromo es un metal pesado usado bastante en metalurgia y galvanizadoras, debido a que funciona muy bien para evitar la corrosión de la aleaciones. Por último, el mercurio es empleado en diversos campos, y por su composición, es altamente perjudicial para el cuerpo humano, aun incluso en mínimas cantidades.

Se observa que estos agentes químicos, junto con los demás analizados, se utilizan en cantidades exorbitantes y tienen una gran importancia en el mercado de la producción. A su vez, dejan grandes cantidades de agua contaminada que es inutilizable debido a su toxicidad. Por eso, son importantes los resultados obtenidos en los ensayos, que nos ayudan a determinar la capacidad de remoción del carbón activado de bambú funcionando como un filtro económico y eficaz.

Figura 12 Producción de galvanizados



Fuente: (INDUSTRIAS ALGAMA, 2010)

El porcentaje de remoción se vio afectado por los demás parámetros, pero se puede observar que se sigue una línea de tendencia dependiendo de la sustancia. Las sustancias como los metales pesados, antibióticos, y otras de difícil de eliminación como el Mercurio elemental resultaron presentaron en promedio porcentajes altos de adsorción. Las sustancias colorantes y que tienen gran acidez resultaron ser muy arduas de remover, debido a que no superaban el 60 % de remoción en la mayoría de ensayos, La única de manera de lograr una efectividad de más del 80% era modificar el carbón activado del bambú con algún agente activante.

También, el método de activación del carbón de bambú influyo bastante en la capacidad de adsorción de este. En los casos donde la activación fue química, se realizaron modificaciones de sus poros con agentes activantes como hidróxidos o ácidos, esto afecto la capacidad favorablemente, ya que al comparar los estudios

entre el Carbón activado normal y el modificado, el segundo mejoraba eficazmente su capacidad.

Para la temperatura, la mayoría de ensayos fueron realizados a T ambiente, por lo cual no se observa variabilidad considerable en la efectividad de remoción, exceptuando los casos de antibióticos (como ciprofloraxino y benzeno), donde se concluyó que al aumentar la temperatura a más de 40 °C mejoraba la capacidad de adsorción. La cantidad de adsorción, también influenciaba en el porcentaje de remoción, debido a que entre más cantidad de la sustancia se tuviera, mayores partículas de esta quedarían adsorbidas en los poros del carbón activado.

Figura 13 Mercurio en estado elemental



Fuente: (Esfera Salud, 2017)

El pH de la solución influyo en gran parte en algunos casos, donde los químicos tienen gran concentración de acidez como los colorantes: azul de metileno, naranja ácido, y amarillo 117. La máxima efectividad de adsorción se daba con pH menores a 3 en estos agentes. La razón se debe a que las sustancias tienen un pH ácido, lo que hace que se logre las mismas condiciones al equalizar el pH de la solución con el químico, En los demás ensayos, el pH fue generalmente de 7 o neutro.

Figura 14 Azul de metileno diluido



Fuente: (medicalmed, 2012)

Para concluir nuestro análisis de la tabla de ensayos de remoción de sustancias realizados utilizando el carbón activado de la guadua o bambú, realizamos un diagrama de los años donde se realizó cada estudio. También se pretendía realizar un análisis de los países donde se hizo los experimentos, pero por falta de información en los artículos y de sus autores no fue posible emplearlo. Este gráfico muestra la cantidad de documentos llevados a cabo en el mismo año, siendo el más antiguo en el 2004 y el más reciente en el año de desarrollo de este proyecto, 2019.

Diagrama 11 Tendencia en años de la tabla de análisis de ensayos en bases de datos



Fuente: Autoría

Lo primero que se observa, es que todos los estudios fueron ejecutados dentro de los últimos 15 años. Por lo tanto, se presume que hace 20 años no se disponía de

información acerca de la capacidad de adsorción del carbón activado del bambú. Aun así, el interés de tener conocimiento de este proceso ha incrementado en el último tiempo, viendo la necesidad de innovar en el ámbito de tratamiento de aguas con métodos más económicos y del que se puedan extraer en grandes cantidades en la naturaleza sin provocar daños ambientales. Además, el aumento de contaminación global del agua en los últimos años ha provocado que la humanidad tenga que ser más severa con el cuidado del agua potable y sus tratamientos de potabilización deban ser más efectivos. También, se puede concluir que el año de mayores análisis de adsorción fue en el 2012. Esto fue debido a que en el año anterior había ocurrido el terremoto en Japón, que provocó el colapso y escape de una central nuclear en Fukushima. Este evento provocó además la propagación de otras sustancias en el agua, lo que aumentó la consternación entre los científicos, que comenzaron a darle importancia a los ensayos de tratamiento de aguas residuales con medios convencionales como el bambú.

## **9. ANALISIS DE RESULTADOS**

Con los resultados logrados del software INTELLIGO y la tabla de análisis de bases de datos científicas, se han obtenido diferentes aportes positivos al estudio de la viabilidad del proyecto. La metodología de vigilancia tecnológica realizada por medio de revisiones en repositorios y patentes nos permitió comparar la posibilidad de aplicar el uso de la guadua para obras de saneamiento y filtración en Colombia y se observó que los ensayos de adsorción realizados obtuvieron avances positivos. Las sustancias como azul de metileno, mercurio en estado elemental, cromo, entre otras, lograron altos porcentajes de remoción en el agua, y excelentes resultados de desorción en el estudio. El método de activación del carbón fue determinante al momento de realizar el ensayo, evidenciando que al modificar el carbón con un agente activante se eleva la capacidad de adsorción. Por estas razones, el aprovechamiento de esta materia prima presente en la naturaleza puede ser de gran interés para futuros estudios ambientales de Ingeniería.

Por último, se presenta que el ámbito principal donde se podría aplicar un sistema de tratamiento de aguas residuales utilizando el carbón activado de la guadua es en las industrias de galvanizados, metalurgias, textiles, de curtiembres, y todas aquellas donde se tenga presencia de gran cantidad de residuos químicos contaminantes en el agua. También, se podría usar la guadua como filtro de tercer orden en plantas de tratamiento de aguas potables o residuales, donde se podría implementar, al final del sistema, teniendo como función adsorber los agentes químicos sobrantes que tengan mayor dificultad en ser removidos.

## **9.1 CONTAMINACION DE LAS AGUAS EN LA INDUSTRIA TEXTIL**

Se estima que las industrias textiles general alrededor un 20% de las aguas residuales y más o menos el 10% de las emisiones de carbono en el mundo y en Colombia. Por lo tanto, la producción de textiles son la segunda industria que más generan aguas residuales después de la industria petrolera. En el caso de Colombia la gran mayoría arrojan las aguas a las fuentes hídricas sin ningún tipo de tratamiento y al sistema de alcantarillado, estos contaminantes en su mayoría son tintes como el azul de metileno.

Esta problemática se ha ido incrementando, ya que hace falta control de las autoridades ambientales en la medición de los niveles de contaminación de estas aguas residuales, y hace falta normatividad en este aspecto para proteger las fuentes hídricas. Se tiene conocimiento que para fabricar un solo pantalón se requieren alrededor de 10 litros de agua. Siendo así la proporción, se puede tener certeza del volumen de tintes que están siendo liberados a las fuentes hídricas sin ningún tipo de tratamiento. (Vera, 2018)

## **9.2 CONTAMINACION EN LAS INDUSTRIAS DE CURTIEMBRES EN BOGOTA**

En la localidad de Tunjuelito de la ciudad de Bogotá, específicamente en el barrio San Benito, operan alrededor de más de 437 curtiembres, las cuales generan unas altas contaminaciones dirigidas hacia el rio Tunjuelito, porque más de la mitad de estas drenan sus aguas al rio y al sistema de alcantarillado sin ningún tipo de tratamiento. Estos contaminantes se componen de: cenizas de carbón generado a partir de la quema de los recortes de los cueros y por la quema de baterías de carros, las cuales tiene una alta cantidad de cromo y plomo en estado puro, que son altamente contaminantes y no se observa ningún tipo de tratamiento. La otra mitad de las curtiembres tienen un improvisado sistema similar al tratamiento de aguas residuales, pero sus trampas de grasas no funcionan óptimamente, generándose debido a la falta de control por las corporaciones distritales y regionales. (Valencia, 2018)

## 10. CONCLUSIONES.

A nivel mundial, Japón, Estados Unidos y China son los países que han demostrado gran interés en la investigación de usos del carbón activado como medio filtrante para aguas contaminadas con 1500, 864 y 464 publicaciones en el periodo 2011-2019, respectivamente. Se puede decir que las investigaciones del uso de carbón activado como medio filtrante aportan a la innovación y creación de nuevas tecnologías para mejorar la eficacia de la remoción de agentes contaminantes en aguas de uso industrial, logrando así importantes avances en la investigación de nuevos métodos de activación para mejorar la eficiencia de los carbones activados y en la investigación de remoción de nuevos agentes, y así conocer nuevas tecnologías para la remoción de estos.

Se logró identificar el uso de la guadua como base para la creación de carbón activado, y la gran cantidad de compuestos y sustancias químicas en las cuales tiene una buena eficiencia en la remoción de las mismas, dando así una buena alternativa para el tratamiento de estas aguas, y así generar un impacto ambiental de forma positiva. Actualmente en las diferentes industrias colombianas que generan los contaminantes anteriormente expuestos, no se les realizan tratamientos de consideración, y las aguas son descargadas a los afluentes cercanos.

Esta tecnología de remoción de metales pesados a partir de carbón activado se proyecta, como una de las grandes tendencias en el futuro en este tema del tratamiento de aguas contaminadas con agentes tóxicos. Se estima que en las próximas décadas esta investigación va a tener una revolución de grandes magnitudes, ya que es de gran interés esta tecnología en la remoción y tratamientos de diversos compuestos químicos. En Colombia se podría incursionar en esta tecnología para el tratamiento de aguas de precedencia industrial y se podría implementar a nivel institucional como requisito para la remoción de estas.

Se resume que un ámbito importante donde se podría requerir la aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales utilizando el carbón activado de la guadua es en las industrias de galvanizados, metalurgias, textiles, de curtiembres, y todas aquellas donde se tenga presencia de gran cantidad de residuos químicos contaminantes en el agua. También, se podría usar la guadua como filtro de tercer orden en las estructuras de saneamiento de aguas, como las PTAP y las PTAR, donde se podría implementar al final del sistema, teniendo como función adsorber los agentes químicos sobrantes que tengan mayor dificultad en ser removidos.

## 11. RECOMENDACIONES

Se recomienda para una futura investigación el desarrollo de filtros de carbón activado a partir de guadua, ya que este amplio tema se encuentra sin llevarse a cabo y se podrían implementar en la industria colombiana. Actualmente, varias industrias producen los componentes químicos que se investigaron en el presente proyecto y se podría implementar un sistema de mitigación en las aguas contaminantes. Algunos ámbitos como los textiles y las curtiembres, no cuentan con un plan de manejo de aguas residuales producto de su actividad, en vez de eso, las aguas contaminadas son arrojadas a las fuentes hídricas cercanas o son arrojadas a los sistemas de alcantarillado.

Se recomienda investigar en bases de datos diferentes a INTELLIGO ya que la información de artículos científicos relacionados con la eficiencia de remoción de agentes contaminantes con carbón activado a base de guadua, es muy diversa y se pueden encontrar en artículos en idiomas diferentes al español y al inglés.

Se recomienda investigar otros tipos de carbones activados ya que hay gran variedad de precursores, que pueden ser muy eficientes a la hora de remover agentes contaminantes de aguas de uso industrial.

USO DE CARBON ACTIVADO DE GUADUA PARA EL TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES: REVISION Y VIGILANCIA TECNOLOGICA



---

Jhoan Nicolás Ortiz Quintero  
jnortiz20@ucatolica.edu.co



---

Nelson Fabián Puerto Angarita  
nfpuerto43@ucatolica.edu.co



---

DIRECTOR:  
ELIANA YINETH ORTIZ MUÑOZ  
Ingeniera Ambiental

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AENOR. (2011). *Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia tecnológica e inteligencia*. Madrid: UNE 166006.
- Añazco, M., & Rojas, S. (2015). ESTUDIO DE LA CADENA DESDE LA PRODUCCIÓN AL CONSUMO DEL BAMBÚ EN ECUADOR CON ÉNFASIS EN LA ESPECIE *Guadua angustifolia*. *INVAR*.
- Arboleda Valencia, J. (2000). Control del proceso de coagulación-floculación. En M. GrawHill, *Teoría y práctica de la* (págs. 163-170). Bogotá.
- Asada, T., Ohkubo, T., Kawata, K., & Oikawa, K. (2006). Ammonia Adsorption on Bamboo Charcoal with Acid Treatment. *JOURNAL OF HEALTH SCIENCE*, 52(5), 585-589.
- Babel, S., & Kurniawan, T. (28 de 2 de 2003). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. *Journal of Hazardous Materials*, 97(1-3), 219-243.
- Bambú en Chile. (2003). *Boletín Informativo N° 4. Carbón de Bambú*. Recuperado el 16 de 09 de 2018, de Boletín Informativo N° 4. Carbón de Bambú: <http://infomadera-ei.blogspot.com/2012/06/bambu-en-chile-boletin-n-4.html>
- BRITER-WATER. (2013). *CORDIS – Community Research and Development Information Service*. Obtenido de CORDIS – Community Research and Development Information Service: [https://cordis.europa.eu/news/rcn/36167\\_es.html](https://cordis.europa.eu/news/rcn/36167_es.html)
- Cardozo, D. (2017). *Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva para productos agroindustriales y artesanales en guadua (Guadua Angustifolia Kunth) para fortalecer la consolidación de la cadena productiva en la zona sur del departamento del Huila*. Huila: Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.
- Carriazo, J., Saavedra, M., & Molina, M. (1 de 7 de 2010). Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *Educación Química*, 21(3), 224-229.
- Centro Virtual de Noticias de la Educación. (12 de 02 de 2009). *Ecogúa trabaja con residuos de guadua*. Obtenido de Ministerio de Educación de Colombia: <https://www.mineduccion.gov.co/cvn/1665/w3-article-182891.html>
- Chan, L., Cheung, W., & McKay, G. (5 de 1 de 2008). Adsorption of acid dyes by bamboo derived activated carbon. *Desalination*, 218(1-3), 304-312.
- Chuang, C., Wang, M.-K., Ko, C.-H., Ou, C.-C., & Wu, C.-H. (1 de 3 de 2008). Removal of benzene and toluene by carbonized bamboo materials modified with TiO<sub>2</sub>. *Bioresource Technology*, 99(5), 954-958.

- Clemente, A. R., Arrieta, E. L., & Mesa, G. A. (2013). Procesos de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 8p.
- Cooney, D. (1999). Adsorption design for wastewater treatment. *Lewis Publishers*, 30.
- Di Bernardo, L. (1993). *Métodos e técnicas de tratamento de água. III ed.* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Escuela de Administración y Mercadotecnia de Quindío. (2009). *Proceso de elaboración de láminas pulpables a partir del aprovechamiento de residuos de guadua.* Quindío: EAM.
- Fan, Y., Wang, B., Yuan, S., Wu, X., Chen, J., & Wang, L. (1 de 10 de 2010). Adsorptive removal of chloramphenicol from wastewater by NaOH modified bamboo charcoal. *Bioresource Technology*, 101(19), 7661-7664.
- Forero, G., & Souza, H. (2014). *La Guadua un Sistema innovador para la construcción de vivienda en Anapoima Cundinamarca.* Recuperado el 15 de 09 de 2018, de La Guadua un Sistema innovador para la construcción de vivienda en Anapoima Cundinamarca.: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/2177/T91.08%20F761g.pdf>
- Fu, D., Zhang, Y., Lv, F., Chu, P., & Shang, J. (15 de 6 de 2012). Removal of organic materials from TNT red water by Bamboo Charcoal adsorption. *Chemical Engineering Journal*, 193-194, 39-49.
- García, J., Paredes, D., & Cubillos, J. (1 de 9 de 2013). Effect of plants and the combination of wetland treatment type systems on pathogen removal in tropical climate conditions. *Ecological Engineering*, 58, 57-62.
- Ghosh, S., & Bandyopadhyay, A. (1 de 12 de 2017). Adsorption of methylene blue onto citric acid treated carbonized bamboo leaves powder: Equilibrium, kinetics, thermodynamics analyses. *Journal of Molecular Liquids*, 248, 413-424.
- Gómez, A., Rincón, S., & Klose, W. (2010). *Carbón activado con cuescos de palma: Estudio de termogravimetría y estructura.* Recuperado el 16 de 09 de 2018, de Carbón activado con cuescos de palma: Estudio de termogravimetría y estructura.: <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-820-0.volltext.frei.pdf>
- González, E. (2005). *Elaboración de una propuesta para el Aprovechamiento y la Transformación del Bambú en el Ámbito del PRODAPP (Puerto Inca-Oxapampa).* Lima: Informe Final. PE. 122p.
- Hameed, B., Din, A., & Ahmad, A. (22 de 3 de 2007). Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: Kinetics and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials*, 141(3), 819-825.
- Hidalgo, O. (2003). *Bamboo: the gift of the gods.* Bogota: 1 ed.

- Katheresan, V., Kansedo, J., & Lau, S. (1 de 8 de 2018). Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 4676-4697.
- Khandaker, S., Kuba, T., Kamida, S., & Uchikawa, Y. (1 de 4 de 2017). Adsorption of cesium from aqueous solution by raw and concentrated nitric acid–modified bamboo charcoal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(2), 1456-1464.
- Khandaker, S., Toyohara, Y., Kamida, S., & Kuba, T. (1 de 6 de 2018). Adsorptive removal of cesium from aqueous solution using oxidized bamboo charcoal. *Water Resources and Industry*, 19, 35-46.
- La Republica. (2013). *Residuos de guadua, materia prima para nuevos productos*. Bogotá: La República S.A.S.
- Lavado, Á., Peña, L., Soto, D., Soto, M., Soto, D., Torres, J., & Gonzales, O. (2012). Elaboración de un conglomerado con uso de residuos de guadua. En F. d. Grupo de Investigación en Materiales y Medio Ambiente, *Acta Agronómica, Número especial* (pág. 237). Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Leyva Ramos, R. (2007). Importancia y Aplicaciones de la Adsorción en fase líquida, En sólidos porosos. En J. M. Piraján, *Preparación, caracterización y aplicaciones* (págs. 155-207). Bogotá: Ediciones Uniandes.
- Liao, P., Malik Ismael, Z., Zhang, W., Yuan, S., Tong, M., Wang, K., & Bao, J. (1 de 7 de 2012). Adsorption of dyes from aqueous solutions by microwave modified bamboo charcoal. *Chemical Engineering Journal*, 195-196, 339-346.
- Liao, P., Yuan, S., Zhang, W., Tong, M., & Wang, K. (15 de 9 de 2012). Mechanistic aspects of nitrogen-heterocyclic compound adsorption on bamboo charcoal. *Journal of Colloid and Interface Science*, 382(1), 74-81.
- Liao, P., Zhan, Z., Dai, J., Wu, X., Zhang, W., Wang, K., & Yuan, S. (15 de 7 de 2013). Adsorption of tetracycline and chloramphenicol in aqueous solutions by bamboo charcoal: A batch and fixed-bed column study. *Chemical Engineering Journal*, 228, 496-505.
- Liu, Q.-S., Zheng, T., Li, N., Wang, P., & Abulikemu, G. (1 de 3 de 2010). Modification of bamboo-based activated carbon using microwave radiation and its effects on the adsorption of methylene blue. *Applied Surface Science*, 256(10), 3309-3315.
- Lo, S.-F., Wang, S.-Y., Tsai, M.-J., & Lin, L.-D. (1 de 9 de 2012). Adsorption capacity and removal efficiency of heavy metal ions by Moso and Ma bamboo activated carbons. *Chemical Engineering Research and Design*, 90(9), 1397-1406.
- Londoño, X. (2011). *El bambú en Colombia*.

- Lozada, C. (2012). *Determinación experimental de la durabilidad de tableros derivados del bambú (Guadua angustifolia Kunth) mediante pruebas de envejecimiento aceleradas*. Guayaquil: Tesis Ing. Química.
- Luteral, E. (1940). *Carbones Activos*. Buenos Aires, AR: 173 p.
- Manual del Carbón Activo. (2009). Sevilla, ES, US.: 89 p.
- Marsh, H., Heintz, E., & Rodriguez-Reynoso, F. (2001). *Introduction to Carbon Technologies*. Alicante, España: Universidad de Alicante.
- Martín, J. (1990). *Adsorción física de gases y vapores por carbones*. Alicante. ES.: Espagrafic. 80 p.
- Meggs, F. (1968). *Manufactured Carbon. Active carbon*. Pergamon Press.
- Menéndez, J. (2008). *Residuos de biomasa para la producción de carbones activos y otros*. Oviedo, ES.: UNIOVI. 10 p.
- MINAG. (2008). *Plan Nacional de Promoción del Bambú 2008 - 2020*. Lima: PE 33p.
- Mizuta, K., Matsumoto, T., Hatate, Y., Nishihara, K., & Nakanishi, T. (1 de 12 de 2004). Removal of nitrate-nitrogen from drinking water using bamboo powder charcoal. *Bioresource Technology*, 95(3), 255-257.
- Morais, F., Pereira da Silva, F., Carvalho, M., & Gualberto, A. (2003). *Desenvolvimento e criação de uma unidade produtiva de carvão ativado*. Recuperado el 16 de 09 de 2018, de *Desenvolvimento e criação de uma unidade produtiva de carvão ativado*: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003\\_TR0502\\_0601.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0502_0601.pdf)
- Mui, E., Cheung, W., Lee, V., & McKay, G. (8 de 2008). Kinetic Study on Bamboo Pyrolysis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47(15), 5710-5722.
- Nitayaphat, W., & Jintakosol, T. (15 de 1 de 2015). Removal of silver(I) from aqueous solutions by chitosan/bamboo charcoal composite beads. *Journal of Cleaner Production*, 87, 850-855.
- Palop, F., & Martínez, J. (2012). *Guía Metodológica de Práctica de la Vigilancia 4*. Recuperado el 15 de 09 de 2018, de *Guía Metodológica de Práctica de la Vigilancia 4*: [www.aecid.org.co/?idcategoria=2087](http://www.aecid.org.co/?idcategoria=2087)
- Peng, X., Hu, F., Lam, F.-Y., Wang, Y., Liu, Z., & Dai, H. (15 de 12 de 2015). Adsorption behavior and mechanisms of ciprofloxacin from aqueous solution by ordered mesoporous carbon and bamboo-based carbon. *Journal of Colloid and Interface Science*, 460, 349-360.
- Perez, C., & Espinoza, D. (2003). *DOCUMENTO DE TRABAJO No.35 LA CADENA DE LA GUADUA EN COLOMBIA*. Bogota, Colombia: Observatorio Agrocadenas Colombia.
- Prías, J. R. (2011). Identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado partir del precursor *Guadua angustifolia Kunth*. *Revista académica colombiana de ciencias* 35, 135.

- Qian, W.-C., Luo, X.-P., Wang, X., Guo, M., & Li, B. (15 de 8 de 2018). Removal of methylene blue from aqueous solution by modified bamboo hydrochar. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 157, 300-306.
- Quiminet. (01 de 09 de 2004). *Quiminet.com*. Obtenido de Glosario de términos relacionados con el carbón activado : <https://www.quiminet.com/articulos/glosario-de-terminos-relacionados-con-el-carbon-activado-a-c-486.htm>
- Quintero, L. J., Prías-Barragán, J. J., Montoya, N. A., & H. A.-C. (2014). *CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN DISPOSITIVO EMISOR EN EL INFRARROJO BASADO EN NANOPLAQUETAS DE CARBÓN DE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH*. Quindío: Researchgate.
- Rodríguez, C. (2017). *Visitando Colombia*. Obtenido de Visitando Colombia: <http://visitandocolombia.com/destino/quindio/paraiso-bambu-guadua/>
- Rozas, P. (2008). *Estudio de adsorción para Cr (VI) utilizando chacay (Ulex europaeus) como carbón activado recubierto con quitosán*. Puerto Montt, CL, ULAGOS. 79 p.: Seminario Ing. en Medio Ambiente.
- Saini, S., Arora, S., Kirandeep, Singh, B., Katnoria, J., & Kaur, I. (1 de 4 de 2018). Nitriiotriacetic acid modified bamboo charcoal (NTA-MBC): An effective adsorbent for the removal of Cr (III) and Cr (VI) from aqueous solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 2965-2974.
- Sanchez, C. (2018). *CARACTERIZACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE BAMBÚ "GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH" UTILIZANDO EL MÉTODO QUÍMICO*. Lima - Peru: Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal.
- Shen, B., Liu, Z., Xu, H., & Wang, F. (1 de 1 de 2019). Enhancing the absorption of elemental mercury using hydrogen peroxide modified bamboo carbons. *Fuel*, 235, 878-885.
- Smisek, M., & Cerny, S. (1970). *Active Carbon: Manufacture, properties and applications*. American-Elsevier Publishing Co., 479 p.
- Tan, Z., Niu, G., & Chen, X. (1 de 11 de 2015). Removal of elemental mercury by modified bamboo carbon. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 23(11), 1875-1880.
- Tan, Z., Qiu, J., Zeng, H., Liu, H., & Xiang, J. (1 de 4 de 2011). Removal of elemental mercury by bamboo charcoal impregnated with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Fuel*, 90(4), 1471-1475.
- Vaishakh, N., & Vinu, R. (2016). *Peroxide-assisted microwave activation of pyrolysis char for adsorption of dyes from wastewater*. 216, 512: Bioresource Technology.
- Valencia, M. (27 de 09 de 2018). *Las persistentes amenazas al río Tunjuelo*. Obtenido de El espectador: <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/las-persistentes-amenazas-al-rio-tunjuelo-articulo-814828>

- Varriano, N., Gil, M., Cozzarín, R., Pereyra, A., Balasini, J., Alberino, J., . . . Pucacco, S. (2013). *Producción sustentable de carbón activado a partir de caña de bambú*. Recuperado el 16 de 09 de 2018, de Producción sustentable de carbón activado a partir de caña de bambú: [http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini\\_2013/trabajos/COE01\\_TC.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2013/trabajos/COE01_TC.pdf)
- Velásquez. (2010). Optimización de la producción de carbón activado a partir de Bambú. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*.
- Velázquez-Trujillo, A., Bolaños-Reynoso, E., & Pliego-Bravo, Y. (2010). OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE BAMBÚ. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 9(3), 359-366.
- Vera, B. d. (08 de 08 de 2018). *¿Por qué la industria textil es la más contaminante después del sector petrolero?* Obtenido de El Espectador: <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/por-que-la-industria-textil-es-la-mas-contaminante-despues-del-sector-petrolero-articulo-805061>
- Villegas, M. (2003). *Guadua, Arquitectura y Diseño*. Colombia: Villegas Editores.
- Wang, F., Wang, H., & Ma, J. (15 de 5 de 2010). Adsorption of cadmium (II) ions from aqueous solution by a new low-cost adsorbent—Bamboo charcoal. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1-3), 300-306.
- Wang, L.-G., & Yan, G.-B. (1 de 7 de 2011). Adsorptive removal of direct yellow 161 dye from aqueous solution using bamboo charcoals activated with different chemicals. *Desalination*, 274(1-3), 81-90.
- Wang, M., Huang, Z.-H., Liu, G., & Kang, F. (15 de 6 de 2011). Adsorption of dimethyl sulfide from aqueous solution by a cost-effective bamboo charcoal. *Journal of Hazardous Materials*, 190(1-3), 1009-1015.
- Wang, S.-Y., Tsai, M.-H., Lo, S.-F., & Tsai, M.-J. (1 de 10 de 2008). Effects of manufacturing conditions on the adsorption capacity of heavy metal ions by Makino bamboo charcoal. *Bioresource Technology*, 99(15), 7027-7033.
- Wang, W., Wang, X., Wang, X., Yang, L., Wu, Z., Xia, S., & Zhao, J. (1 de 9 de 2013). Cr(VI) removal from aqueous solution with bamboo charcoal chemically modified by iron and cobalt with the assistance of microwave. *Journal of Environmental Sciences*, 25(9), 1726-1735.
- Wang, Y., Wang, X., Liu, M., Wang, X., Wu, Z., Yang, L., . . . Zhao, J. (1 de 9 de 2012). Cr(VI) removal from water using cobalt-coated bamboo charcoal prepared with microwave heating. *Industrial Crops and Products*, 39, 81-88.
- Wang, Y., Wang, X., Wang, X., Liu, M., Wu, Z., Yang, L., . . . Zhao, J. (25 de 1 de 2013). Adsorption of Pb(II) from aqueous solution to Ni-doped bamboo charcoal. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(1), 353-359.

- Wang, Y., Wang, X., Wang, X., Liu, M., Yang, L., Wu, Z., . . . Zhao, J. (20 de 11 de 2012). Adsorption of Pb(II) in aqueous solutions by bamboo charcoal modified with KMnO<sub>4</sub> via microwave irradiation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 414, 1-8.
- Wendimu, G., Zewge, F., & Mulugeta, E. (1 de 4 de 2017). Aluminium-iron-amended activated bamboo charcoal (AIAABC) for fluoride removal from aqueous solutions. *Journal of Water Process Engineering*, 16, 123-131.
- Wu, G.-Q., Zhang, X., Hui, H., Yan, J., Zhang, Q.-S., Wan, J.-L., & Dai, Y. (15 de 3 de 2012). Adsorptive removal of aniline from aqueous solution by oxygen plasma irradiated bamboo based activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, 185-186, 201-210.
- Wu, Y., Ming, Z., Yang, S., Fan, Y., Fang, P., Sha, H., & Cha, L. (25 de 2 de 2017). Adsorption of hexavalent chromium onto Bamboo Charcoal grafted by Cu<sup>2+</sup>-N-aminopropylsilane complexes: Optimization, kinetic, and isotherm studies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 46, 222-233.
- Xuemin, X., Dandan, L., Yujun, Y., Zhilin, W., Zhansheng, W., & Giancarlo, C. (2015). *Preparation of activated carbon mineral from Xinjiang region coal by microwave activation and its application in naphthalene, phenanthrene, and pyrene adsorption*. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers.
- Zhang, Y.-J., Ou, J.-L., Duan, Z.-K., Xing, Z.-J., & Wang, Y. (20 de 9 de 2015). Adsorption of Cr(VI) on bamboo bark-based activated carbon in the absence and presence of humic acid. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 481, 108-116.
- Zhao, R., Wang, X., Wang, X., Lin, J., Yuan, J., & Chen, L. (2008). Using bamboo charcoal as solid-phase extraction adsorbent for the ultratrace-level determination of perfluorooctanoic acid in water samples by high-performance liquid chromatography-mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*.
- Zhao, R.-S., Yuan, J.-P., Jiang, T., Shi, J.-B., & Cheng, C.-G. (15 de 8 de 2008). Application of bamboo charcoal as solid-phase extraction adsorbent for the determination of atrazine and simazine in environmental water samples by high-performance liquid chromatography-ultraviolet detector. *Talanta*, 76(4), 956-959.