

**OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CÁSCARA DE  
MANGOSTINO PARA SER UTILIZADO EN LA RETENCIÓN DE  $Al^{3+}$  EN AGUAS  
POTABLES**

**DIANA LORENA RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ  
JHON ALEXANDER LEITÓN DUCUARA  
ISABEL VÉLEZ BOHÓRQUEZ**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2020**

**TRABAJO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR:**

**Dr. RAFAEL ALBERTO FONSECA CORREA**

**CO- DIRECTOR:**

**Dr. PABLO DANILO HÚMPOLA**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

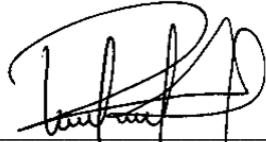
Una vez realizada la revisión metodológica y técnica del documento final de proyecto de grado, doy constancia de que el (los) estudiante (s) ha cumplido a cabalidad con los objetivos propuestos, cumple a cabalidad con los Lineamientos de Opción de Grado vigentes del programa de Ingeniería Civil y con las leyes de derechos de autor de la República de Colombia, por tanto, se encuentra(n) preparado(s) para la defensa del mismo ante un jurado evaluador que considere idóneo el Comité de Investigaciones del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia.



---

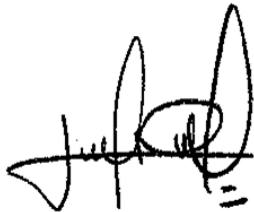
Dr Rafael Alberto Fonseca Correa  
Director del Proyecto

**INTEGRANTES**



---

**DIANA LORENA RODRIGUEZ RODRIGUEZ**  
Estudiante de Ingeniería Civil



---

**JHON ALEXANDER LEITÓN DUCUARA**  
Estudiante de Ingeniería Civil



---

**ISABEL VÉLEZ BOHÓRQUEZ**  
Estudiante de Ingeniería Civil

## CONTENIDO

1. GLOSARIO.....	9
2. RESUMEN.....	11
3. ABSTRACT .....	12
4. AGRADECIMIENTOS .....	13
5. INTRODUCCIÓN .....	14
6. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN .....	15
7. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
8. JUSTIFICACIÓN.....	17
9. ANTECEDENTES.....	18
10. OBJETIVOS.....	21
a. Objetivo general.....	21
b. Objetivos específicos .....	21
11. MARCO GEOGRÁFICO .....	22
a. Historia.....	23
b. Población.....	23
c. Aspectos socio económicos.....	24
d. Malla Vial .....	25
e. Uso suelo.....	25
12. MARCO CONCEPTUAL.....	26
a. Agua Potable.....	26
b. Agua Cruda.....	27
c. Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) .....	27
d. Acueducto veredal.....	28
e. Filtración .....	28
f. Alcalinidad.....	28
g. Acidez .....	29
h. Calidad del agua.....	29
i. Fuente de abastecimiento .....	29
j. pH óptimo .....	30
k. Turbiedad .....	30
l. Acualcos.....	30
13. MARCO TEÓRICO .....	35
a. Mangostino.....	35
b. Carbón activado .....	37
i. Historia del carbón activado.....	38
ii. ¿Cómo se produce el carbón activado? .....	39
iii. Precursores .....	41
iv. Adsorción de compuestos en sólidos porosos.....	41
v. Área superficial .....	42

vi.	Temperatura .....	43
vii.	Porosidad.....	43
viii.	Tipos de carbón activado .....	44
ix.	Activación química .....	45
x.	Activación física .....	46
xi.	Tipos de activación según el precursor .....	46
xii.	Fabricación carbón industrial .....	47
c.	Cuerpos de agua localidad de chapinero .....	48
14.	MARCO LEGAL .....	49
15.	MÉTODO Y METODOLOGÍA .....	49
a.	Fase I. Recopilación de La información .....	49
b.	Fase II. Obtención del material convencional para la fabricación del carbón .....	50
c.	Fase III: Proceso de Carbonización del material precursor y activación del carbón.....	51
d.	Carbonización y activación física del material precursor seleccionado.....	51
e.	Carbonización y activación Química del material precursor seleccionado.....	52
f.	Carbonización y activación Alcalina del material precursor seleccionado.....	54
g.	Fase IV: montaje de columnas de carbones activados .....	55
h.	Fase V: Prueba del montaje de las columnas de carbón activado .....	57
i.	FASE VI: Análisis de datos .....	60
16.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	61
17.	CONCLUSIONES .....	82
18.	RECOMENDACIONES .....	83
19.	REFERENCIAS .....	84
20.	BIBLIOGRAFÍA.....	88

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Datos de Mapa de Riesgos de la Calidad de Agua Rio Teusacá. [4].	19
Ilustración 2. UPZ 89-San Isidro-Patios [5].	22
Ilustración 3. Barrios de UPZ 89 [7].	23
Ilustración 4. Pirámide Poblacional San Isidro-Patios [8].	24
Ilustración 5. Ingreso mensual promedio por Hogar [8].	24
Ilustración 6. Malla Vial Sector San Isidro [9].	25
Ilustración 7. Usos de San Isidro-Patios [5].	26
Ilustración 8. Esquema planta de tratamiento de agua potable[11].	27
Ilustración 9. ACUALCOS. Fuente[Propia]	31
Ilustración 10. Fuente de abastecimiento [19]	32
Ilustración 11. Bocatoma Rio Teusacá [19].	33
Ilustración 12. Primera etapa de tratamiento ACUALCOS. Fuente[Propia]	34
Ilustración 13. Segunda etapa de tratamiento ACUALCOS. Fuente[Propia]	34
Ilustración 14. Flor Mangostino [23].	37
Ilustración 15. Modelo esquemático de la estructura del carbón activado.[27]	38
Ilustración 16. Mascaras con filtro de Carbón[28].	39
Ilustración 17. Esquema de los principales grupos superficiales presentes en el carbón [32].	41
Ilustración 18. Carbón activado pulverizado [38].	44
Ilustración 19. Carbón activado granular [39].	45
Ilustración 20. Método de activación según la materia prima [37]	46
Ilustración 21. Horno Rotatorio para activación de carbón activado [41]	48
Ilustración 22. Proceso de un Horno Rotatorio para activación de carbón activado [42].	48
Ilustración 23. Tipos de carbones activados, resultado proceso de fabricación. Fuente [Propia]	52
Ilustración 24. Lavado de carbones activados. Fuente [Propia].	52
Ilustración 25. Estabilización del pH para carbón con activación de Ácido Fosfórico. Fuente[Propia]	53
Ilustración 26. Estabilización del pH para los carbones activados. Fuente[Propia].	55
Ilustración 27. Prueba inicial montaje de carbones. Fuente[Propia].	55
Ilustración 28. llenado de carbón activado en la pipeta. Fuente [Propia]	56
Ilustración 29. Montaje de Carbones activados. Fuente [Propia]	57
Ilustración 30. : punto de muestra agua potable Acualcos Fuente [Propia].	58
Ilustración 31. Punto de muestra agua cruda Acualcos Fuente [Propia].	58
Ilustración 32. Pruebas de muestras de agua en carbones activados. Fuente [Propia].	59
Ilustración 33. Análisis de parámetros fisicoquímicos del agua en Acualcos. Fuente[Propia].	60
Ilustración 34. Granulo de carbón activado.[43].	62

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características químicas del agua [13].....	27
Tabla 2. Datos generales ACUALCOS [20]......	31
Tabla 3. Caudal otorgado por la CAR. [21]......	32
Tabla 4. Químicos utilizados en la PTAP Acualcos. [21].....	35
Tabla 5. Información reportada por la SUI referente a la distribución de agua [22]. .....	35
Tabla 6. Pesos de carbones activados. Fuente[Propia].....	57
Tabla 7. Parámetros Físicoquímicos analizados en la PTAP Acualcos. Fuente [Propia] .....	58
Tabla 8. Parámetros físicoquímicos de la muestra 1. Fuente[Propia].....	61
Tabla 9. Parámetros físicoquímicos de la muestra 2. Fuente. [Propia].....	61
Tabla 10. Parámetros físicoquímicos de la muestra 3. Fuente [Propia].....	62
Tabla 11. % Perdida mediante la carbonización. Fuente[Propia] .....	64
Tabla 12. pH en agua tratada. Fuente.[Propia].....	64
Tabla 13. pH en agua cruda. Fuente.[Propia].....	65
Tabla 14. Turbiedad en agua cruda . Fuente[ Propia].....	66
Tabla 15. Aluminio en agua tratada. Fuente[Propia] .....	68
Tabla 16. Cloro Libre en agua tratada. Fuente[Propia].....	79
Tabla 17. Nivel de riesgo para IRCA según resultados[49].....	80
Tabla 18. Parámetros físicoquímicos de muestras tomadas en la PTAP Acualcos. Fuente[Propia].....	81

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Retención de $Al^{3+}$ en la muestra 1. Fuente[Propia].....	68
Gráfico 2. Retención de $Al^{3+}$ en la muestra 2. Fuente[Propia].....	69
Gráfico 3. Retención de $Al^{3+}$ en la muestra 3. Fuente[Propia].....	70
Gráfico 4. Análisis de $Al^{3+}$ en los distintos tipos de carbón activado. Fuente[Propia] .....	71
Gráfico 5. Turbiedad de muestra 1.Fuente[Propia].....	72
Gráfico 6. Turbiedad de muestra 2.Fuente[Propia].....	73
Gráfico 7. Turbiedad de muestra 3.Fuente[Propia].....	74
Gráfico 8. Análisis de Turbiedad en los distintos tipos de carbón activado. Fuente[Propia] .....	74
Gráfico 9. pH de la muestra 1.Fuente[Propia] .....	75
Gráfico 10. pH de la muestra 2. Fuente[Propia] .....	76
Gráfico 11. pH de la muestra 3. Fuente[Propia] .....	77
Gráfico 12. Análisis de pH en los distintos tipos de carbón activado. Fuente[Propia] .....	78

## 1. GLOSARIO

- **Acidez:** Sustancia orgánica o inorgánica que contiene hidrogeno junto con un elemento no-metal y que produce hidrógenos al diluirse con el agua.
- **Alcalinidad:** Capacidad del agua para neutralizar ácidos, la alcalinidad indica la cantidad de cambio que ocurrirá en el pH con la adición de cantidades moderadas de ácido.
- **Aluminio  $Al^{3+}$ :** Remanente de sulfato de aluminio como compuesto químico utilizado para el proceso de coagulación del tratamiento de agua potable.
- **Bocatoma:** Estructura hidráulica destinada a derivar parte del agua disponible desde un curso de agua (rio, arroyo, o canal), desde un lago o incluso desde el mar.
- **Conductividad:** Propiedad de los cuerpos para transmitir calor o la electricidad. Esta medida está relacionada con la concentración de iones en el agua, sus concentraciones, movilidad y valencia, así como la temperatura en la que se encuentra el medio líquido.
- **Carbonización:** Es el proceso de transformación por las sustancias orgánicas, que se encuentran en la corteza terrestre, pueden aumentar sus niveles de carbono. Los materiales como los fósiles vegetales o animales pierden lentamente componentes como el hidrogeno, el oxígeno y el nitrógeno, pero ganan carbono.
- **Coagulante:** Proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.
- **Filtro:** Sistema fabricado para retener partículas y depurar un fluido que lo atraviesa.
- **Impregnación:** Hacer que una sustancia, generalmente un líquido, quede adherida a la superficie de un cuerpo.
- **Lignoceluloso:** Se refiere a la materia seca vegetal (biomasa), llamada biomasa lignocelulósica. Es la materia prima más abundante disponible en la tierra para la producción de biocombustibles, principalmente bioetanol.
- **Mesoporo:** Se denomina a los poros de un carbón que tienen un tamaño entre 2 y 50 nm.
- **Oxidación:** Son las reacciones químicas en las que el oxígeno se junta con otras sustancias, formando moléculas llamadas óxidos. Esto es particularmente frecuente en el mundo de los metales, aunque para nada exclusivo de ellos, y en términos químicos

se entiende como la pérdida de electrones de un átomo, aumentando su carga positiva.

- **PTAP:** Planta de tratamiento de agua potable.
- **Subcuenca:** Ríos secundarios que desaguan en el río principal, cada afluente tiene su respectiva cuenca.

## 2. RESUMEN

En la actualidad para el proceso de potabilización de agua, se somete el líquido a diferentes sistemas de tratamiento con el fin de retener los contaminantes que puedan afectar la salud de quien la consume. La resolución 2115 de 2007 establece los máximos aceptables en cada uno de los parámetros fisicoquímicos que deben ser analizados por las plantas de tratamiento de agua potable.

En la ciudad de Bogotá, en el barrio san Luis se encuentra ubicado una planta de tratamiento de agua potable “Acualcos”, un acueducto veredal que ha sido construido por la comunidad debido a la falta del suministro de agua potable para la población, se ha evidenciado que en algunas ocasiones el agua presenta valores de Aluminio ( $Al^{3+}$ ) por encima del valor estipulado por la norma debido al proceso de coagulación al que es sometida el agua.

Debido a esto, se determinó realizar el estudio de carbón activado a partir de cascara de mangostino para la retención de  $Al^{3+}$ ; este material orgánico genera grandes beneficios para la retención de Aluminio, debido a que aproximadamente el 70% del fruto es cascara y posee características como dureza y resistencia.

Se realizó la activación de tres carbones con diferentes tipos de agentes químicos, entre los que están: carbón de carácter físico activado con  $CO_2$ , carbón de carácter ácido activado con ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) y carbón de carácter alcalino activado con hidróxido de sodio ( $NaOH$ ); una vez fabricados, se sometieron a diferentes pruebas de muestra de agua de la PTAP Acualcos con el fin de estudiar cuál de ellos presenta un mejor comportamiento respecto a la retención de contaminantes, especialmente en  $Al^{3+}$ .

Palabras Clave: Aluminio, Acualcos, Carbón activado, Agua cruda, Agua tratada

### 3. ABSTRACT

Currently for the water purification process, the liquid is subjected to different treatment systems in order to retain contaminants that may affect the health of the person who consumes it. Resolution 2115 of 2007 sets the maximum acceptable values in each of the physicochemical parameters to be analysed by drinking water treatment plants.

In Bogotá city, San Luis neighborhood is located a drinking water treatment plant "Acualcos", a veredal aqueduct that has been built by the community due to the lack of drinking water supply for the population, it has been shown that in sometimes water has Aluminium ( $Al^{3+}$ ) values above the value stipulated by the standard due to the coagulation process to which the water is subjected.

Because of this, it was determined to conduct the study of activated carbon from mangostine shell for the retention of  $Al^{3+}$ ; this organic material generates great benefits for the retention of Aluminum, because approximately 70% of the fruit is shell and has characteristics such as hardness and strength.

The activation of three carbons was done with different types of chemical agents, among which are: carbon of a physical character activated with  $CO_2$ , acid carbon activated with phosphoric acid ( $H_3PO_4$ ) and alkaline carbon activated with sodium hydroxide ( $NaOH$ ); once manufactured, they underwent different water sample tests of the PTAP Acualcos in order to study which of them has the best behavior regarding the retention of contaminants, specially in  $Al^{3+}$ .

Keywords: Aluminum, Acualcos, Activated Carbon, Raw Water, Treated Water

#### **4. AGRADECIMIENTOS**

Las siguientes líneas sirven para expresar nuestro más sincero y profundo agradecimiento a todas aquellas personas que con su apoyo han servido de ayuda para la elaboración de este gran proyecto de grado; Principalmente a nuestro director de proyecto Rafael Fonseca en colaboración con nuestro Tutor el Dr Pablo Danilo Húmpola los cuales nos acompañaron en este camino de aprendizaje y nos compartieron sus grandiosos conocimientos en tan maravilloso proyecto el cual ha sobresalido de manera positiva a nivel nacional; de corazón muchas gracias por el apoyo en cada paso que dimos.

También queremos agradecerles a nuestros padres; Con su esfuerzo, formación y enseñanzas nos brindan las bases fundamentales para que cada día seamos personas más integras de confianza que pueden lograr todos los objetivos propuestos. Gracias por confiar en nosotros y enseñarnos que el trabajo y la constancia hacen que alcancemos cada meta que nos proponamos.

A todas las directivas de la Universidad Piloto de Colombia en especial aquellas que conforman el proyecto curricular de Ingeniería Civil, cada persona que conocimos y amigos de esta institución; nuestros más sinceros agradecimientos por hacer parte de esta gran familia en la cual encontraremos apoyo cuando lo necesitemos.

Y por último y no menos importante queremos dar gracias a Dios, por brindarnos la vida, por guiarnos en este camino, llenarnos de sabiduría y día a día enseñarnos algo nuevo en nuestra formación como personas, gracias por estar ahí cuando más necesitamos y por llenarnos de bendiciones y fortalezas.

A TODOS Y A CADA UNO DE ELLOS, MIL GRACIAS...

## 5. INTRODUCCIÓN

El agua se considera el recurso hídrico más importante del planeta, sus componentes son esenciales para el desarrollo de la vida, por esta razón la importancia de su cuidado y tratamiento adecuado. A pesar de la abundancia de este compuesto químico, a lo largo de los años se ha visto afectado por el cambio climático y la alta contaminación, generando disminución en la disponibilidad para el consumo humano. El uso del agua a nivel mundial se distribuye entre doméstico, industrial y agrícola, en el caso de países desarrollados el 11% se utiliza para fines domésticos, el 59% para la industria y 30% para la agricultura, mientras que para los países en vía de desarrollo sólo el 8% tiene uso doméstico, el 10% para la industria y el 82% para la agricultura. A nivel global el 70% del agua dulce es demandada por la agricultura y el 22% por la industria. [1].

Colombia es el sexto país con mayor oferta hídrica en el mundo, pero el Ministerio de Medio Ambiente calcula que más de la mitad de los recursos hídricos tienen problemas de calidad. Se estima que la industria, el sector agropecuario y las aguas domésticas generan 9 mil toneladas de materia orgánica contaminante en los acuíferos. [2] En la actualidad las comunidades en desarrollo han implementado sistemas de purificación convencionales para acceder a este recurso hídrico, sin embargo, con el tiempo el sistema tiende a presentar deficiencias en su funcionamiento que afectan las características del agua, producto del aumento de la demanda poblacional.

Con la presente investigación, se propone la alternativa de la implementación de un filtro de carbón activado orgánico en el acueducto ACUALCOS, el cual buscara realizar la retención de contaminantes ya que, Según la secretaria Distrital de salud de Bogotá “el acueducto ACUALCOS durante el año 2014 suministro solo el 40% de agua sin riesgo alguno, el 60% restante se encontró en un riesgo medio o alto afectando a la población que la consume [3]”, por esto es importante llevar a cabo un estudio que permita determinar la composición del agua en la fuente abastecedora y de esta manera definir los procesos adecuados para su tratamiento y así poder ofrecer a la población un agua dentro de los parámetros aceptables por el IRCA (Índice de riesgo de calidad del agua).

La pertinencia académica del presente estudio es la investigación a fondo de las características del agua potable según los rangos de la Resolución 2115 de 2007 .Con este estudio se afianzarán y aplicaran conocimientos sobre el agua cruda y su correcta

potabilización, buscando la formación en investigación de los estudiantes que participan en el proyecto y así conocer como es el proceso y sus características, para que sea una fuente de abastecimiento a una comunidad en este caso a los barrios de San Luis y San Isidro, que suministra el acueducto ACUALCOS.

## **6. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

- Grupo de investigación: GUÍAS.
- Línea de Investigación Institucional: Hábitat, biodiversidad y tecnologías sostenibles – HBTS.
- Línea de Investigación del programa: Sostenibilidad de la Infraestructura.
- Línea de Investigación grupo de Investigación: Gestión y tecnologías del agua.
- Nombre del semillero de Investigación: Gestión de la Infraestructura para el desarrollo.

## 7. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

San Luis Altos del Cabo se encuentra localizado en los cerros nor-oriental de la localidad de Chapinero haciendo parte del 21.2% del área rural que actualmente se encuentra en área protegida, con el nombre de Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental; fue fruto de los fenómenos demográficos de la conformación del siglo XX, iniciando desde el año 1970 en el desarrollo demográfico que configuro las ciudades que contribuyeron a procesos de urbanización y barrios que años atrás fueron invadidos, por medios y poblados de campesinos procedentes de municipios que resultaron afectados por el conflicto interno del país.

En el año 1973 una población aledaña llamada San Isidro, contaba con un acueducto de poca capacidad denominado “Chorroseco” el cual abastecía esta comunidad y al barrio San Luis, transportando el agua a través de mangueras superficiales, alimentadas por una quebrada nombrada “Moraci”; El suministro no era de carácter continuo y no contaba con un tratamiento de purificación, en estas condiciones la población vio la necesidad de ampliar el servicio de abastecimiento teniendo presente el crecimiento en estas zonas, así nace la Planta de tratamiento ACUALCOS aproximadamente en el año 1980, en respuesta al aumento demográfico debido a la respuesta negativa del EAABB el cual no autoriza un servicio de suministro en la zona debido a que las poblaciones se encontraban por encima de la cota límite de servicio para Bogotá.

En los años de 1982-1985 se construye la bocatoma con red de conducción de 14 Km desde la vereda Verjón Alto (Municipio de Choachí) trayendo el agua desde la parte más alta del río Teusacá hasta el tanque de almacenamiento en el Barrio San Luis; En el año de 1991 esa PTAP obtiene un reconocimiento por parte de la Alcaldía Mayor de Bogotá como una asociación comunitaria; actualmente Acualcos abastece aproximadamente 17.088 personas; Esta asociación comunitaria es denominada actualmente como una empresa prestadora de servicio.

Actualmente en Acualcos, se evidencian varios problemas que se ven aumentados en épocas de lluvia, afectando algunas características físicas del agua como son la turbidez, color, olor y sabor, por consiguiente, la calidad del agua puede afectar la salud de quien la consume. Para mitigar estas características físicas del agua, Acualcos dispone de un sistema de tratamiento continuo con varias operaciones unitarias, en donde para el sistema de

coagulación/floculación se utiliza Sulfato de Aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ).

Existe una recomendación de la Organización mundial de la salud (OMS), sobre el contenido de Sulfato Aluminio en el agua potable proveniente de plantas de tratamiento, en donde se afirma que “La presencia de aluminio en concentraciones mayores que 0,1–0,2 mg/L [2], suelen ocasionar quejas de los consumidores como consecuencia de la precipitación del floculo de hidróxido de aluminio en los sistemas de distribución y el aumento de la coloración del agua y turbidez. Por lo tanto, es importante mejorar los procesos de tratamiento, con el fin de reducir al mínimo la presencia de residuos de aluminio en el sistema de abastecimiento” [2]. En la actualidad, en la PTAP (Planta de tratamiento de agua potable) debido a los altos niveles de turbiedad y a la alta variación de la calidad del agua cruda, debido a la variabilidad del clima de la zona, se está excediendo la dosificación del coagulante, existiendo residuos del químico en el proceso de potabilización del agua, lo cual afecta el agua dirigida hacia la red de distribución.

Con base a lo anterior, se plantea las siguientes preguntas problema: ¿Qué procesos es posible implementar en la PTAP, de tal forma que se logre disminuir a niveles adecuados que dicte la norma los residuos de aluminio presente en el agua?, ¿utilizando materiales alternativos reutilizables en el proceso de filtración, se minimizarán los impactos negativos tanto ambiental, social y económico para la planta, su entorno y sus beneficiarios?

## **8. JUSTIFICACIÓN**

Acualcos es el acueducto comunitario de la zona rural de la localidad de Chapinero. Nació hace unos 37 años en vista de que en el sector no contaba con disponibilidad de agua de la Empresa de Acueducto de Bogotá, este abastece a más de 17.000 usuarios de los barrios San Luis, San Isidro I y II, así como La Sureña, sobre los cerros orientales, a un costado de la vía que de Bogotá conduce al municipio de La Calera. Las aguas son captadas en la parte alta del río Teusacá, desde donde se conduce hasta la planta de tratamiento. [3].

En los últimos años, el área ha sido altamente intervenida y urbanizada, a pesar de que existe un proceso natural de restauración ecológica, siendo una zona de reserva forestal. Este escenario ha conducido a que la disponibilidad de agua no satisfaga la demanda actual de la población en crecimiento. Además de que el agua actualmente suministrada por el acueducto en tiempos de lluvia tiende a variar su caracterización afectando la salud de la

población que de ella se abastece.

La finalidad es implementar el uso de un filtro de carbón activado obtenido a partir de la cascara de mangostino, como materia prima, teniendo en cuenta sus propiedades como su dureza y resistencia. Este material se desarrolló en la Universidad de los Andes, universidad que tiene un convenio de colaboración en el marco de desarrollo del proyecto de investigación. Con la Dirección de Investigaciones titulado “Diseño e implementación de estrategias técnicas de mejoramiento en el sistema de aprovisionamiento veredal de agua potable para el sector de San Luis localidad No 2 Chapinero Bogotá” el material desarrollado, se utilizó para las pruebas en la retención de las impurezas, principalmente las de aluminio ( $Al^{3+}$ ).

Si la obtención de carbón activado mediante la cáscara de mangostino funciona, no solo mejorará la calidad del agua de la zona rural de Chapinero, sino que podría impactar todos los acueductos de Colombia y el mundo ya que con este material se disminuyen costos y la absorción y durabilidad es mayor a la de un carbón industrial. Otro aporte importante, es garantizar a la comunidad que es abastecida por un sistema de tratamiento con filtros de carbón activado a base de mangostino el cumplimiento de las características fisicoquímicas según el IRCA.

## **9. ANTECEDENTES**

Acualcos es denominada como una Asociación de Servicios Públicos Comunitarios de los barrios San Isidro I y II, San Luis, la Sureña, los cuales se encuentran localizados dentro de la UPZ 89 de la localidad de Chapinero, la cual contiene una población de aproximadamente 17.088 habitantes. Inicialmente se vio la necesidad de tener un acueducto, debido a que existía insuficiencia en el suministro para la población. “Este proceso de dio a partir de esfuerzo y perseverancia de pocos habitantes del sector, especialmente de las personas originarias que traían agua “del rio Teusacá. La Bocatoma se ubica en la vereda el Verjón, del municipio de Choachí, a una cota de 3500 msnm [4]. se muestra la relación de variables que abastecen al acueducto Acualcos en relación con el rio Teusacá.

<b>Microcuenca</b>	<b>Rio Teusacá</b>
Área (m2)	5.878.280,67
Perímetro (m)	10.699,59
Longitud (m)	3.120,29
Ancho (m)	1.883,89
K	1,23
K	0,6

*Ilustración 1. Datos de Mapa de Riesgos de la Calidad de Agua Rio Teusacá. [5].*

El objetivo de Acualcos es administrar el servicio Público de Agua y Alcantarillado, fomentando la protección del recurso hídrico, a través de participaciones activa y educación, así se promueven capacitaciones, concientizando a la población acerca del cuidado del agua y sus fuentes de nacimiento. Hoy en día “ Acualcos cubre la demanda de cerca de mil novecientas familias, ampliando su capacidad a dos mil doscientas” [6], donde hay aproximadamente 2463 puntos legalizados, la PTAP cuenta con un laboratorio especializado en el cual se verifica la calidad del agua para que sea potable y apta para el consumo humano; La secretaria de salud hace visitas periódicas llevando el control de la calidad de agua como también practicando análisis de laboratorio y verificando el estado de la misma” [7].

Ahora bien, existen miles de PTAP (Plantas de Tratamiento de Agua Potable) que en su proceso de purificación de agua, emplean en su proceso de filtración Carbón activado de distintos materiales los cuales retienen partículas contaminantes dentro de sus paredes dejando así el agua prácticamente libre de estos compuestos y a su vez puede destruir el cloro libre residual que no reacciona después de que este compuesto realiza una acción desinfectante; Este material se ha considerado una tecnología rentable, debido a esto, muchas industrias que requieren agua potable como recurso para sus procesos, utilizan carbón activado como elemento básico de purificación.

Según la Escuela Universitaria Politécnica “En cuanto a las plantas potabilizadoras municipales, existen dos realidades: la de los países “desarrollados” y las de países “en desarrollo”. En los primeros, el carbón activado se aplica en casi todas las plantas. En los segundos, se aplica más bien cuando existen problemas de olor y sabor. Los primeros potabilizan el agua con carbón activado debido a que en los últimos años se ha encontrado que prácticamente ya no existe río, lago ni pozo cuya agua se encuentre libre de

contaminantes orgánicos sintéticos. Por otro lado, han surgido evidencias de que estos compuestos, aunque están presentes en muy bajas concentraciones, a largo plazo, causan graves trastornos a la salud (entre ellos algunos tipos de cáncer).”

La materia prima que va a ser utilizada para la obtención de carbón activado debe ser analizada y tener buenas propiedades como dureza, abundancia, alto contenido de carbono, estructura inherente de poros y rendimiento de masa durante el proceso de carbonización; elementos como la madera, frutas como el coco y las olivas, presentan buenas propiedades para los diferentes tipos de activaciones.

Gómez, 2016 menciona que las cascaras de frutas pueden ser utilizadas como bioadsorbentes (materiales orgánicos vivos o inertes, en el cual en su superficie se adhiere iones como los metales pesados). Solís et al,2012 realiza estudios de los carbones activados de cascara de Naranja, bagazo de Caña y cascarilla de Café, determinando sus propiedades fisicoquímicas y capacidad de adsorción; los resultados mostraron que los carbones activados químicamente produjeron mayores rendimientos de carbón activado a partir de los tres residuos estudiados. Medina 2017, anuncia La fruta Mangostán como: “El mangostán es una fruta, conocida como la “reina de las frutas” cultivada principalmente en el Tolima, que posee aproximadamente un 20% en peso de pulpa fresca, y lo demás (la cáscara y semillas) es desechado, perdiendo la oportunidad de aprovechar el 80% restante. Mediante este proyecto se estudiaron sus características y propiedades por medio de una caracterización fisicoquímica, para posteriormente proponer estrategias de aprovechamiento para toda la fruta. Se encontró que la pulpa, la semilla y la cáscara representan el 30,65%, 5,15% y 62,24% respectivamente. El fruto presenta alta humedad mayor al 50%; la cáscara posee alta cantidad de polifenoles respecto a otras matrices como la cáscara de cacao, y la semilla contiene ácidos grasos tanto insaturados como saturados, siendo el 36% en peso seco de ésta.

Esta información fue utilizada como precursora de investigación de metodologías para diseñar distintos tipos de productos que fueran aprovechable mediante los residuos de esta fruta, obteniendo como resultados, pulpa procesada, snack de semilla tostada y extracción de polifenoles de la cascara. Finalmente se eligieron los equipos más importantes para procesar hasta el 25% de la producción anual de mangostán, encontrando que el fruto tiene características atractivas para su transformación, posibles de aprovechar existiendo así la tecnología para hacerlo.

Rodríguez y Molina 2004, indican que los agentes químicos más empleados utilizados para el proceso de activación química son  $ZnCl_2$ ,  $H_3PO_4$  y  $KOH$ . Los dos primeros son agentes deshidratantes que producen un hinchamiento de las partículas durante el proceso de impregnación; existe una diferencia entre ellos: el agente  $KOH$  produce un ensanchamiento del tamaño de los microporos, el agente  $ZnCl_2$  una produce una microporosidad de tamaño uniforme y genera un pequeño desarrollo de la meso porosidad, y el agente  $H_3PO_4$  conduce a una distribución de tamaño de poros más heterogénea.

Uno de los mayores desinfectantes de cloro en el agua y de otros residuos es la aplicación de carbón activado, el cual es orientado a la eliminación de componentes orgánicos en el agua, sin embargo se debe tener en cuenta el proceso de decloración el cual constituye una excepción debido a que es un proceso el cual el hombre agrega un desinfectante; Varnam y Sutherland (1997), mencionan que toda agua utilizada debe ser potable y no tener ningún efecto adverso sobre las características o sobre la calidad del producto final.

## **10. OBJETIVOS**

### **a. Objetivo general**

Implementar un proceso que permita disminuir los residuos de  $Al^{3+}$  presente en el agua, mediante el uso de carbón activado obtenido a partir de materiales reutilizables, como es la cáscara de mangostino.

### **b. Objetivos específicos**

- Producir un carbón activado a partir de la cáscara de mangostino para ser utilizado como filtro en la remoción de  $Al^{3+}$  en las aguas tratadas de la PTAP.
- Utilizar la técnica de análisis para la cuantificación de  $Al^{3+}$  en muestras de agua en el laboratorio de ACUALCOS mediante espectroscopia UV-VIS.
- Comprobar la eficiencia del carbón activado como filtro para retener  $Al^{3+}$  presente en el agua.

## 11. MARCO GEOGRÁFICO

El territorio social San Isidro patios se encuentra ubicado en los cerros orientales de la ciudad dentro de la localidad de chapinero ubicada al Norte y Centro de la ciudad de Bogotá, denominada como la localidad número dos de la ciudad; limita con:

**Norte-** Limite Distrital perímetro urbano, municipio de la calera

**Sur-** Área de reserva forestal de los cerros orientales

**Este-** Área de reserva forestal

**Oeste-** Localidad de Usaquéen

**Coordenadas-** Latitud: 4.667843, Longitud: -74.027955

**Área Total-** 113.02 Ha

**Área Protegida-** 109.73 Ha

El territorio social San Isidro patios se encuentra ubicado en los cerros orientales de la ciudad, la mayoría del territorio se encuentra en área protegida y tan solo 3.29 Ha en zona no protegida, es por esto que los 4 Barrios que comprenden la zona se encuentran en estado no Legalizado.

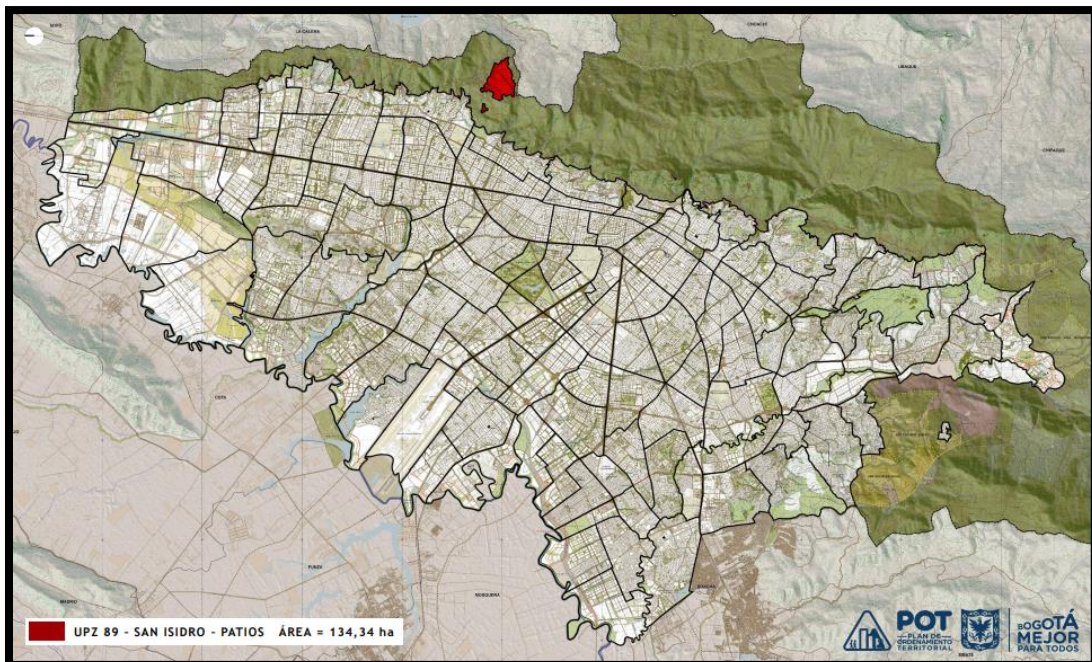


Ilustración 2. UPZ 89-San Isidro-Patios [8].

### a. Historia

Entre las décadas del 60 y 80, la Vereda El Páramo empieza a fraccionarse y a acoger a quienes levantaron allí sus viviendas y construyeron en equipo todo el sistema de servicios de agua, transporte, comunicaciones, educación y salud. San Isidro fue el primero de los barrios en formarse en ese territorio, hacia 1967. Allí se construyeron unas 60 casas como parte de su proyecto de vivienda popular.

Entre 1971 y 1973, los dueños de las fincas que quedaban en la vereda vendieron sus tierras a la urbanizadora San Luis Altos del Cabo. En ese periodo se da con mayor fuerza una migración de personas de otros sectores de Bogotá y de algunas regiones, que llegan allí para construir sus viviendas. Es así como nace el barrio San Luis.

Para entonces, ya estaban constituidas las juntas de acción comunal de San Isidro, San Luis y La Sureña, a las cuales se les llamaba ‘Las tres eses’. Dichas asociaciones empiezan un arduo trabajo para lograr la legalización de sus territorios ante el Distrito, proceso que aún está vigente y que apenas, después de 40 años, está dando asomos de buenas nuevas para la comunidad.[9].

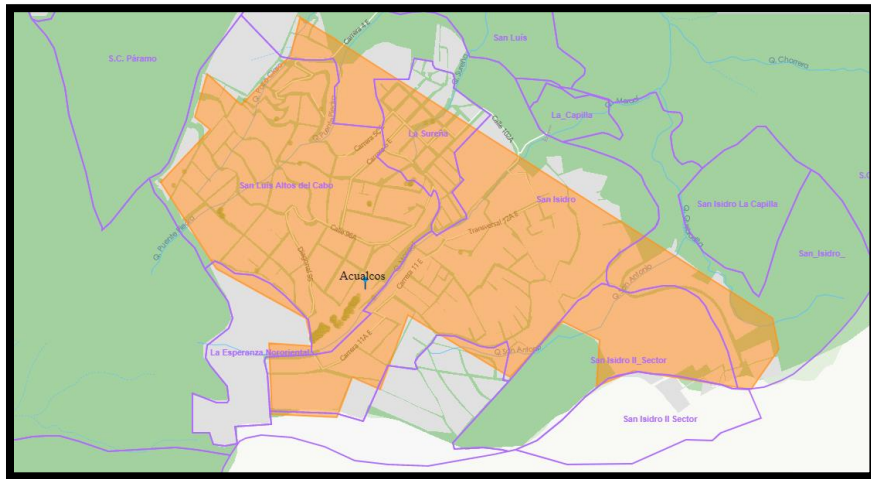


Ilustración 3. Barrios de UPZ 89 [10].

### b. Población

La UPZ de San Isidro-Patios tiene aproximadamente 17.088 habitantes que se encuentran distribuidos en los barrios de San Luis, San Isidro I y II y la Sureña, con una densidad

poblacional de 154 Hab/Ha y un promedio de 3.02 personas por Hogar según la encuesta Multipropósito de Bogotá 2017.

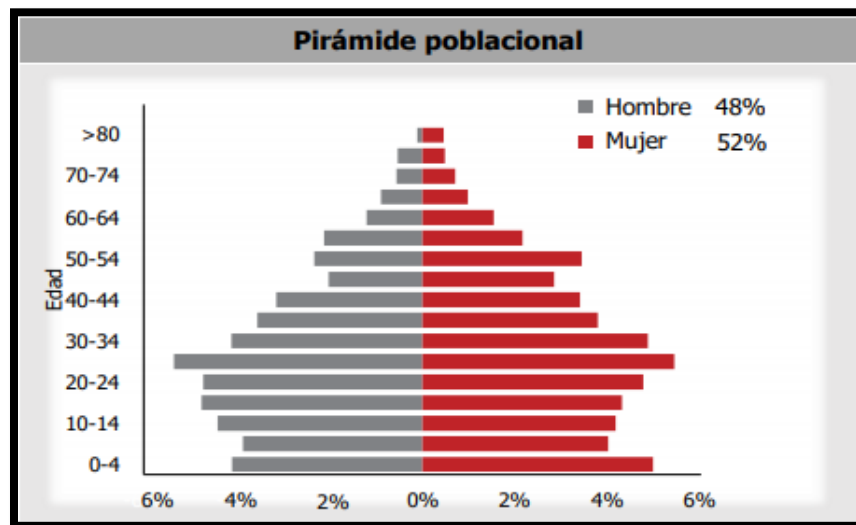


Ilustración 4. Pirámide Poblacional San Isidro-Patios [11].

### c. Aspectos socio económicos

La UPZ 89 está dentro del estrato socioeconómico 1 y 2, el ingreso mensual promedio de los Habitantes oscila alrededor de \$500.536, teniendo en cuenta que algunas personas no poseen entrada económica alguna y dependen de sus familias.

El 85% recibe ayuda familiar ya sea por estar viviendo con la familia extensa en la misma casa o porque es el estilo de vida de la población, el 45% demuestra tener ayuda por subsidios de familias en acción y un 16.66% reciben apoyo de la red de mujeres. [8].

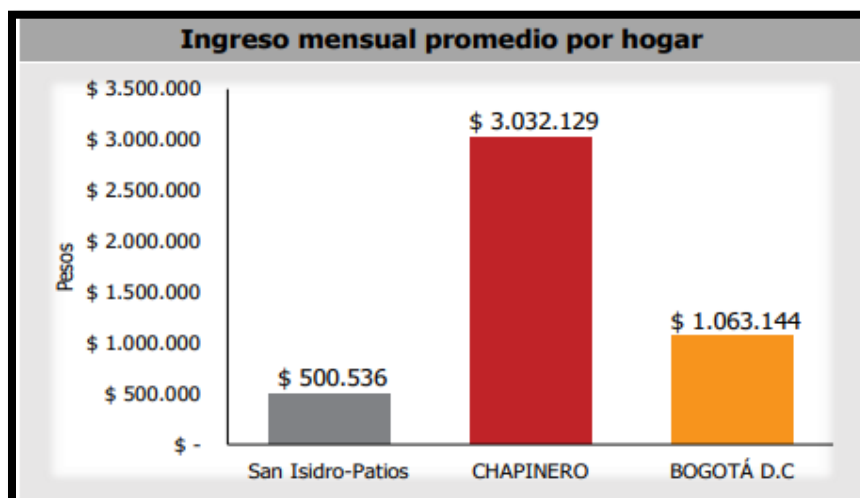


Ilustración 5. Ingreso mensual promedio por Hogar [11].

#### d. Malla Vial

El territorio contempla dos (2) vías principales que están conformadas por el anillo vial, que empieza desde la Capilla, atraviesa el barrio la Sureña, sigue el barrio San Luís CII100 con Kr 6 y llega hasta el barrio Morací. Por otro lado, algunas calles del territorio se encuentran en mal estado, ya que no están pavimentadas y no se cuenta con andenes, lo que dificulta la accesibilidad a los hogares.

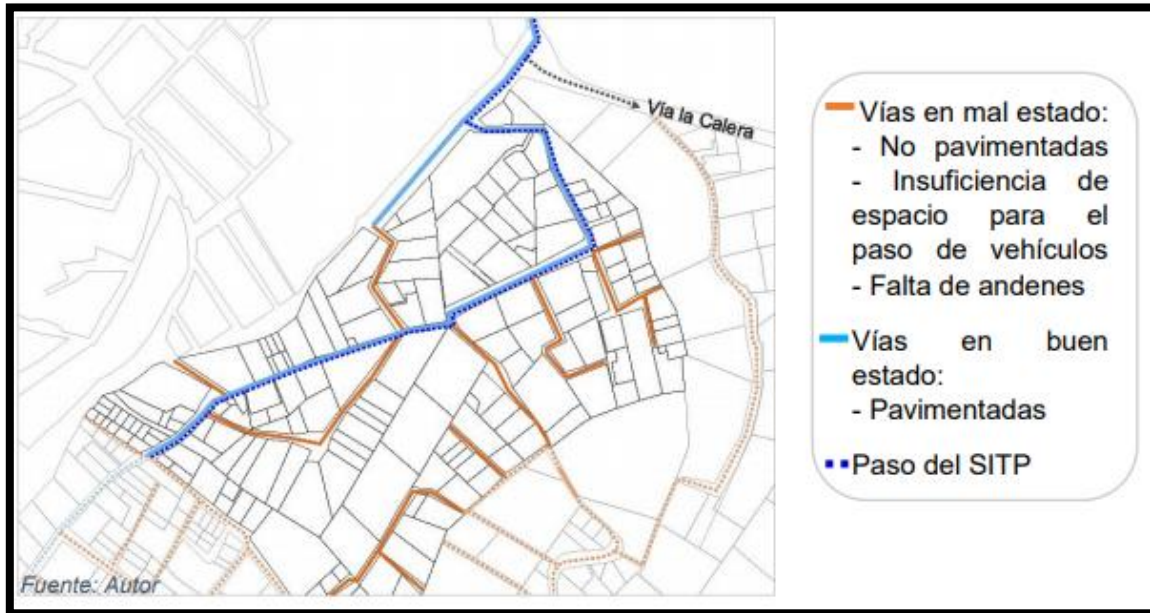


Ilustración 6. Malla Vial Sector San Isidro [12].

#### e. Uso suelo

En la UPZ San Isidro-Patios predomina el uso Residencial con 5812 viviendas y una densidad de 73 viviendas por Ha útil según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT).

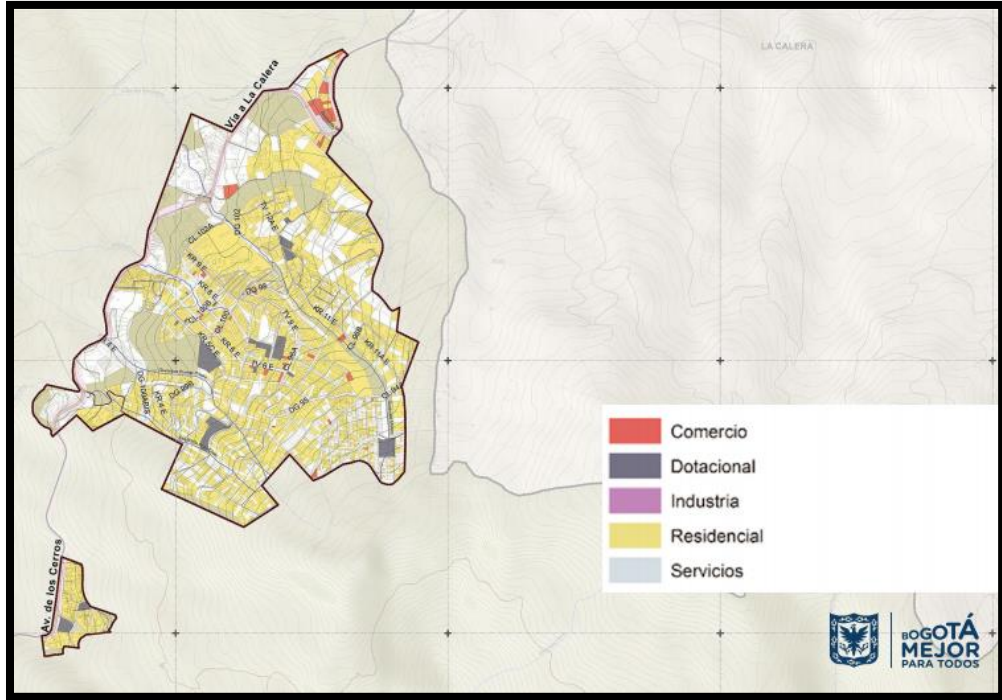


Ilustración 7. Usos de San Isidro-Patios [8].

## 12. MARCO CONCEPTUAL

### a. Agua Potable

El agua potable es aquella que cumple con las condiciones y características que permiten que sea consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud. Es utilizada para las actividades de la vida diaria de cada una de las personas como hidratarse, preparar alimentos o higiene personal.

La normativa para la potabilización del agua se encuentra regulada por el decreto 2115 de 2007, allí se describen las características físicas y químicas junto con sus valores máximos aceptables para el cumplimiento de la norma como:

Características físicas

- ✓ Turbiedad.
- ✓ Sólidos solubles e insolubles.
- ✓ Color.
- ✓ Olor y sabor.
- ✓ Temperatura.
- ✓ pH

## Características Químicas

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO <sub>3</sub>	200
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	250
Aluminio	Al <sup>3+</sup>	0,2
Dureza Total	CaCO <sub>3</sub>	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,5

Tabla 1. Características químicas del agua [13]

### b. Agua Cruda

El agua cruda es aquella que se recolecta de reservas naturales, manantiales subterráneos o de la superficie y la lluvia, esta agua no ha recibido ningún tipo de tratamiento para su debida potabilización, por tanto, se considera que no es apta para el consumo humano ya que puede contener sustancias extrañas como: Animales en estado de descomposición, Residuos fisiológicos, productos agrícolas, químicos, bacterias, etc.

Si una persona bebe este tipo de agua puede traer consecuencias fatales para su organismo como diarrea, cólera, paludismo, tifoidea, tracoma o incluso la muerte. La Organización Mundial de la Salud (OMS) calcula que cada año mueren más de 800 mil personas en todo el mundo debido a la insalubridad del agua.

### c. Planta de tratamiento de agua potable (PTAP)

Es un conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.

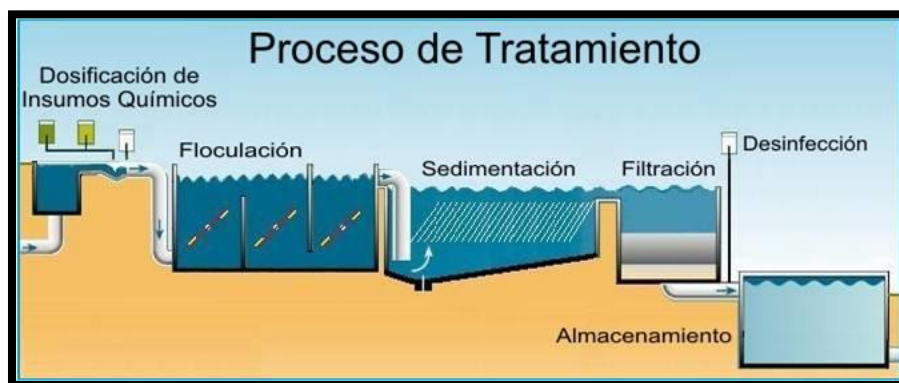


Ilustración 8. Esquema planta de tratamiento de agua potable [14].

Para el desarrollo de una planta de tratamiento de agua potable es necesario tener en cuenta estudios y diseños de los componentes de un sistema de potabilización de agua, dirigido ya sea a la construcción de obras nuevas, ampliaciones y/u optimización de las ya existentes: prefiltros, microtamices, trampa de grasas, aireadores, unidades de mezcla rápida, floculadores, sedimentadores, flotación, filtración, desinfección, estabilización, ablandamiento, adsorción sobre carbón activado, desferrización, desmagnetización, manejo de lodos, tanque de contacto del desinfectante, dispositivos de control de las unidades de la planta e instrumentación, laboratorios, salas de dosificación, almacenamiento de los productos, igualmente se deben referenciar los productos químicos que pueden ser empleados en el tratamiento de agua potable. [15].

#### **d. Acueducto veredal**

Los acueductos veredales o rurales son un sistema de transporte de agua por canales cubiertos o tuberías que sirven para llevar el agua de un lugar a otro, el agua desciende naturalmente por el canal con cierta pendiente. Los acueductos veredales han surgido debido a la necesidad de las comunidades del preciado líquido, ya que no cuentan con recursos económicos optan por crear un acueducto fácil y económico.

#### **e. Filtración**

La filtración es un método que se aplica en la potabilización del agua para la retención de sólidos en suspensión que transporta el agua que antes ha pasado por otros procesos de potabilización como la decantación o coagulación, el medio poroso este compuesto generalmente por arena + antracita o bien carbón activado en grano. Para que una filtración sea eficaz se requiere que los sólidos suspendidos puedan penetrar profundamente el lecho filtrante y no bloquearlo en la superficie.

Los filtros de las plantas de tratamiento generalmente son abiertos, con velocidades de filtración que oscilan entre 6 y 15 m/h. Se emplea el uso del carbón activado en grano en los filtros para aprovechar la capacidad de adsorción de retener sustancias e impurezas orgánicas.

#### **f. Alcalinidad**

La alcalinidad del agua es su capacidad de neutralizar ácidos, y es la suma de todas las bases titulables; el valor medido puede variar significativamente con el pH de punto final

empleado. La alcalinidad es una medida de una propiedad agregada del agua y se puede interpretar en términos de sustancias específicas solo cuando se conoce la composición química de la muestra. Debido a que la alcalinidad de muchas aguas superficiales es primariamente una función del contenido de carbonato, bicarbonato e hidróxido, se toma como un indicador de la concentración de estos constituyentes. Los valores medidos también pueden incluir contribuciones de boratos, fosfatos, silicatos, u otras bases que estén presentes. [16].

#### **g. Acidez**

La acidez de un agua es su capacidad cuantitativa para reaccionar con una base fuerte hasta un pH designado. Por tanto, su valor puede variar significativamente con el pH final utilizado en la valoración. Se puede deber a la presencia entre otros, de dióxido de carbono no combinado, de ácidos minerales o de sales de ácidos fuertes y bases débiles. En muchas aguas naturales, que se usan para propósitos potables, existe un equilibrio entre carbonato, bicarbonato y dióxido de carbono. Los contaminantes ácidos que entran a los abastecimientos de aguas en cantidad suficiente pueden alterar el equilibrio carbonato - bicarbonato - dióxido de carbono y se pueden estimar por titulación con un álcali valorado a los virajes de pH de 3.7 y 8.3. [17].

#### **h. Calidad del agua**

El termino calidad de agua es un término usado para describir las características fisicoquímicas de agua superficial o subterránea por lo tanto depende de los factores naturales o la acción humana, por lo general la calidad se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra teniendo en cuenta los directrices de calidad en la resolución 2115 de 2007, esta norma se basa principalmente en los niveles de toxicidad científicamente aceptables para el consumo humano.

El deterioro de la calidad de agua depende principalmente de la acción humana y la contaminación que ha generado la población debido a la expansión industrial y agrícola junto con la amenaza del cambio climático que alteran profundamente el ciclo hidrológico del planeta.

#### **i. Fuente de abastecimiento**

Se entiende por fuente de abastecimiento de agua un punto o fase de ciclo hidrológico que

almacena agua ya sea subterráneo o superficial, los abastecimientos subterráneos constituyen una fuente de agua dulce con un menor grado de impurezas a la superficial, pero uno de los inconvenientes para recolectar esta agua es que se encuentra demasiado profunda, las fuentes de abastecimiento subterráneas se clasifican en pozos poco profundos, pozos profundos y manantiales.

Los abastecimientos superficiales son principalmente los usados para recolectar agua para las grandes ciudades, debido a la contaminación por las actividades humanas esta debe ser sometida a cierto tratamiento para su potabilización y que pueda ser consumida sin afectar la salud de las personas. Se clasifican principalmente en ríos, lagos, embalses y escurrimiento.

#### **j. pH óptimo**

El pH es una medida de acidez o alcalinidad que indica la cantidad de hidrogeno presente en una solución o sustancia principalmente en el agua, este maneja una escala de valor numérico que mide las soluciones acidas y alcalinas en un rango de 0 a 14 siendo acida el valor entre 0 y 6 y alcalina el valor entre 9 y 14.

El pH optimo se encuentra dentro del rango de 6.5 a 9, recibe el nombre de optimo ya que es el rango aceptable para el consumo humano.

#### **k. Turbiedad**

La turbiedad es una medida de la transparencia de un líquido y el agua potable, es uno de los indicadores más importantes en la potabilización del agua ya que determina la presencia de sólidos en suspensión que pueden ser de origen mineral o vegetal.

Eliminar la turbiedad del agua destinada para el consumo humano es de suma importancia para asegurar que no tendrá efectos negativos en quien la consuma, los valores máximos de turbiedad se establecen en la resolución 2115 de 2007 que es de 2NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

#### **l. Acualcos**

Para el año 1973 la población de San Isidro contaba con un acueducto de poca capacidad llamado “Chorroseco” el cual abastecía la comunidad de San Isidro y San Luis por medio de mangueras superficiales alimentadas por la quebrada Moraci, el servicio no era de forma continua y no contaba con tratamiento para su potabilización. [18].

En el año 1985 debido al crecimiento de la población la comunidad se enfocó en buscar más

fuentes hídricas con un mayor caudal. Los señores Manuel Ruiz, Miguel Cortez y Manuel Pedraza decidieron realizar un recorrido por la cordillera en busca de una nueva fuente hídrica, es así como llegaron al municipio de Choachí y encontraron el nacimiento del río Teusacá. [19].



*Ilustración 9. ACUALCOS. Fuente [Propia]*

Es así como surge la empresa comunitaria de alcantarillado ACUALCOS con personería jurídica N.º 00242 del 4 de abril de 1991 otorgada por el Ministerio de Agricultura.

<b>ID</b>	1922
<b>Razón social</b>	ASOCIACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS COMUNITARIOS SAN ISIDRO I Y II SECTOR SAN LUIS Y LA SUREÑA ESP- ACUALCOS
<b>Tipo de prestador</b>	Organización autorizada
<b>Área de prestación</b>	Prestador área o zona urbana estrato 2
<b>Servicios prestados</b>	Acueducto y alcantarillado
<b>Fecha registro RUPS</b>	14 de Julio de 2006
<b>Fecha última actualización RUPS</b>	12 de Febrero de 2019
<b>Fecha constitución</b>	04 de Abril de 1991
<b>Fecha inicio de operaciones</b>	04 de Abril de 1991
<b>Nombre representante legal</b>	Luis Alipio Rangel
<b>Nit</b>	800126880-9
<b>Dirección</b>	C195A 8-31 Este
<b>Teléfono</b>	5200713
<b>E-mail</b>	<a href="mailto:ACUALCOSsec@hotmail.com">ACUALCOSsec@hotmail.com</a>

*Tabla 2. Datos generales ACUALCOS [20].*

Según información proporcionada por el prestador para el mes de enero de 2019 se tenían 2412 suscriptores para el servicio de acueducto lo cual comprende aproximadamente 17.000 personas.

ACUALCOS se abastece de tres fuentes hídricas que forman parte de la subcuenca del río Teusacá ubicada en el municipio de Choachí-Cundinamarca en la vereda el Verjón aproximadamente en el kilómetro 14 de la vía que comunica a Bogotá con Choachí.

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR otorga a ACUALCOS una concesión de agua mediante la resolución 324 de 27 de marzo de 2017 por un término de 10 años así:

<b>Fuente</b>	<b>Caudal (L/s)</b>
Río Teusacá	9
Quebrada Amarilla	6.5

*Tabla 3. Caudal otorgado por la CAR. [21].*

### **Captación**

La captación del Río Teusacá se realiza mediante una bocatoma lateral. En este punto se construyó un muro de contención en concreto de 7 metros de largo por 1.2 de alto, que conduce las aguas hacia la cámara de recolección en una tubería de 8”, posteriormente llega al primer desarenador y de ahí hace un recorrido en tubería de 6”, aproximadamente 12 kilómetros hasta llegar al segundo desarenador.[22].



*Ilustración 10. Fuente de abastecimiento [22]*



*Ilustración 11. Bocatoma Rio Teusacá [22].*

La captación de la Quebrada Amarilla se realiza por medio de una cámara lateral por medio de una tubería de 3”, y de manera posterior se conecta a la tubería de 6” para llegar al desarenador ubicado en las instalaciones de la PTAP nueva. [22].

La captación del Nacedero Las Moyas, se realiza mediante una tubería de 3” que conduce el agua hacia un tanque de almacenamiento ubicado en las instalaciones administrativas del prestador, denominado Tanque Las Moyas. [22].

### **Tratamiento**

Se cuenta con un desarenador ubicado en la bocatoma, el cual es una infraestructura realizada en acero inoxidable con una longitud de 8 metros por una altura de 1.5 metros y ancho de 2 metros que tiene como fin retener sólidos en el agua que puedan obstruir el paso del agua por la tubería. La planta de tratamiento funciona bajo el principio de filtración directa en dos etapas con una adición dosificada de floculante.

La primera etapa de Clarificación/Floculación consta de tres unidades (arena de cristal de cuarzo y carbón activado) con una eficiencia de retención del 80%.



*Ilustración 12. Primera etapa de tratamiento ACUALCOS. Fuente[Propia]*

La segunda etapa de filtración profunda consta de cuatro unidades (arenas y carbón de media y baja granulometría); posterior a esto el agua pasa por un proceso de desinfección mediante hipoclorito de calcio.



*Ilustración 13. Segunda etapa de tratamiento ACUALCOS. Fuente[Propia]*

El caudal de diseño de la Planta de tratamiento de agua potable es de 16-20 L/s, de acuerdo con información registrada en la PUEAA, en momento de alta demanda se puede llevar hasta 22 L/s, no obstante, se manejan 16L/s en operabilidad normal.

## Químicos utilizados para el tratamiento

Para el proceso de potabilización se emplea el uso de Sulfato de Aluminio tipo A en polvo como coagulante, soda caustica como alcalinizante e hipoclorito de sodio como desinfectante.

Floculante	Alcalinizante	Desinfectante
Sulfato de Aluminio tipo A	Soda cáustica	Hipoclorito de calcio granulado
Concentración: 15-20%	Concentración: 4-5%	Concentración: 2-4%
Flujo de inyección: 2 Lt/hora	Flujo de inyección: 4-6 Lt /hora	Flujo de inyección: 2 Lt/hora

Tabla 4. Químicos utilizados en la PTAP Acualcos. [21]

## Red de distribución

La red de distribución de ACUALCOS se realiza por gravedad en toda la red, se manejan diámetros de 3,4, ½, 2 ½, 2, 1 ½ en PVC con 250 km en redes para abastecer a la población de San Isidro I y II, San Luis y la Sureña.

A continuación, se presenta la distribución de agua potable de ACUALCOS y el volumen manejado reportado por la SUI.

Empresa	Modo de distribución	Volumen de agua distribuida por bombeo (m3/año)	Volumen de agua distribuida por gravedad (m3/año)	Volumen de agua tratada en bloque suministrada por otra entidad (m3/año)	Entidad que suministra el agua en bloque	Volumen de agua distribuida en pilas públicas (m3/año)	Volumen de agua distribuida en carrotaques (m3/año)	Volumen de agua distribuida en red (m3/año)	Volumen total de agua producida (m3/año)
ASOCIACION DE SERVICIOS PÚBLICOS COMUNITARIOS SAN ISIDRO I Y II SECTOR SAN LUIS Y LA SUREÑA ESP	Directo	477532	477532	0		0	0	955064	

Tabla 5. Información reportada por la SUI referente a la distribución de agua [22].

## 13. MARCO TEÓRICO

### a. Mangostino

*Garcinia mangostana* Linn, conocida como mangostán o mangostino (en Colombia), es una fruta de origen asiático, que ha sido llamada la “reina de las frutas” por su sabor y olor [20]. [23]. En Colombia su producción se concentra en el departamento del Tolima, principalmente en el municipio de Mariquita, donde se ha convertido en símbolo del lugar, llegando a ser llamada nacionalmente “la capital del mangostino”, los cultivos de mangostán representan el

0,13% de la producción frutal del país con 475 ha sembradas, y la producción al año en el 2015 fue de 546 toneladas. [25].

Colombia presentó en el 2013 una producción de 420 toneladas de mangostino. Entre 2011 y 2012, la producción nacional de este fruto tuvo un incremento del 269%, esta información suministrada por la Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario - AGRONET, explica que el potencial que tiene el cultivo de este fruto en el país es muy alto, a pesar de existir ciertos obstáculos en la producción del fruto relacionados con limitantes sanitarios y de producción limpia, siendo la causa principal la mosca de fruta, lo que según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural , provoca un condicionamiento negativo en la producción y crecimiento del mangostino. Sin embargo, esto también es resultado de la falta de interés en implementar procesos de innovación en los lugares de cultivo, dado que la utilidad que perciben los productores puede llegar a presentar un comportamiento muy variable, debido a la volatilidad de los precios del fruto, estos condicionados por la ley de oferta y demanda, lo cual se convierte en un desincentivo para mejorar las prácticas de producción, [26].

El mangostán es un árbol perenne de crecimiento lento, que puede medir de 7 a 25m de altura, con las siguientes características:

- **Tallo:** Presentan un tallo principal de gran grosor. Tanto del troco como de las ramas principales, la planta segrega un látex muy denso y de color amarillento.
- **Hoja:** Presenta hojas simples, opuestas, grandes y gruesas, de peciolo corto y forma elíptico-ovada con el ápice acuminado. El color de las hojas puede ser verde claro u oscuro, pero su aspecto siempre es brillante en el haz.
- **Flor:** Las flores pueden ser masculinas o hermafroditas. Las flores masculinas se disponen en grupos de 3-9 en el extremo de las ramas, mientras que las hermafroditas lo hacen en parejas o incluso solitarias.

Presentan cuatro sépalos y cuatro pétalos gruesos, de aspecto carnosos y color verdoso en el centro y rosado en el extremo. En la madurez, éstos toman un color rojizo [27].



*Ilustración 14. Flor Mangostino [28].*

El mangostino, aunque es una fruta que lleva tiempo su producción, es una fruta que posee un 70% de cascara y un 30% de fruto; Este material orgánico después de ser consumida se convierte en un desecho sin uso. De allí la idea de que este material se convierta en un componente con alto rendimiento para la producción de carbón activado.

En la actualidad los residuos del mangostino son habitualmente usados para la producción de compost, biocombustibles y biofertilizantes tanto a nivel nacional como internacional. [29].

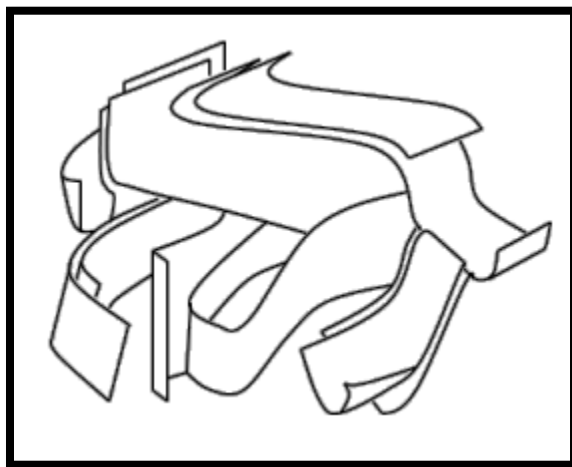
#### **b. Carbón activado**

El carbón activado está dentro de los adsorbentes comerciales que son más comúnmente utilizados en el tratamiento de aguas. Es un término que se le da a un amplio grupo de materiales carbonosos adsorbentes, los cuales han desarrollado una elevada porosidad y alta área superficial.

El carbón activado es una serie de carbones porosos los cuales son sometidos a procesos de activación para que exhiban un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna. Estas características son las responsables de sus propiedades adsorbentes, que son utilizadas ampliamente en muchas aplicaciones tanto en fase de gas como en fase líquida [31].

Es reconocido por remover una numerosa cantidad de contaminantes orgánicos debido a su alto desarrollo de porosidad, su gran área superficial y la variable gama de química y reactividad superficial que se pueden obtener dependiendo de la materia prima y la activación que se emplea. Por su parte, la adsorción de metales en carbón activado es un proceso más

complejo que la retención de compuestos orgánicos, ya que, la carga de los metales afecta la cinética de adsorción en solución y al igual que para todo adsorbente, la capacidad máxima de adsorción de un carbón activado depende de las propiedades químicas del adsorbato, la temperatura, el pH y la presencia de otros iones en la solución [32].



*Ilustración 15. Modelo esquemático de la estructura del carbón activado.[33]*

#### **i. Historia del carbón activado**

Los primeros usos de materiales a base de carbón fueron en aplicaciones médicas. Para ello se usaba carbón vegetal como adsorbente preparado a partir de madera carbonizada, así lo describen los griegos en un papiro encontrado en Tebas que data de 1550 a.C. Posteriormente, los griegos amplían su uso para filtrar el agua, con el fin de eliminar malos olores y sabores y prevenir enfermedades.

De igual forma, se sabe que los barcos fenicios almacenaban el agua para beber en barriles de madera parcialmente quemados en su interior. Sin embargo, la primera aplicación documentada del uso de carbón activado en fase gas, se da en 1793 por el Dr. D. M. Kehl quien usa carbón vegetal para eliminar olores emanados por la gangrena. El mismo doctor lo usaba también para filtrar el agua para beber.

La primera aplicación industrial del carbón activa tuvo lugar en 1794, en Inglaterra, utilizándose como agente decolorizante en la industria del azúcar. Esta aplicación permaneció en secreto por 18 años hasta que en 1812 apareció la primera patente. En 1854 tiene lugar la primera aplicación a gran escala del carbón activado en fase gas, cuando el alcalde de Londres ordena instalar filtros de carbón vegetal en los sistemas de ventilación de las cloacas. En 1872 aparecen las primeras máscaras con filtros de carbón activado utilizadas

en la industria química para evitar la inhalación de vapores de mercurio.

Sin embargo, el término adsorción no fue utilizado hasta 1881 por Kayser para describir como los carbonizados atrapaban los gases. Aproximadamente por estas fechas R. von Ostrejko, considerado el inventor del carbón activado, desarrolla varios métodos para producir carbón activado tal y como se conoce en nuestros días, más allá de simples carbonizados de materiales orgánicos o del carbón vegetal [34].



Ilustración 16. Mascaras con filtro de Carbón [35].

Así, en 1901 patentó dos métodos diferentes para producir carbón activado. El primero consistía en la carbonización de materiales lignocelulósicos con cloruros de metales; lo cual resulto la base de lo que hoy en día es la activación química. En el segundo, proponía una gasificación suave de materiales previamente carbonizados con vapor de agua o  $\text{CO}_2$ ; es decir una activación física, o más correctamente térmica. [36].

## ii. ¿Cómo se produce el carbón activado?

El carbón activado se puede producir a partir de cualquier material que tenga un alto contenido de carbono y baja proporción de material inorgánico. Se han utilizado precursores como la madera, la coraza de coco, carbón mineral y en los últimos años, se ha incrementado el interés por buscar en los subproductos de la industria y agroindustria como nuevos precursores para el desarrollo de materiales porosos como el carbón activado.

Sin importar el precursor utilizado para la producción de carbón activado, la activación del material inicial se puede llevar a cabo de dos maneras diferentes, las que se denominan activación química y activación física. Los dos métodos de activación son precedidos por una etapa de carbonización, por la cual se libera el material volátil, aumenta el carbono fijo

y se desarrolla una porosidad primitiva [31].

En la activación química se impregna la materia prima con un agente químico, un deshidratador (por lo general  $ZnCl_2$ ,  $H_3PO_4$ , hidróxidos alcalinos), posteriormente se realiza una carbonización (pirólisis) a altas temperaturas y por último un lavado al producto final para eliminar el exceso del agente deshidratador; siendo este tipo de activación la menos amigable con el medio ambiente

La activación física es una gasificación parcial del material carbonoso con un agente oxidante, que puede ser el vapor de agua,  $CO_2$ , aire o una mezcla de estos, siendo los más utilizados los dos primeros. Las reacciones que se llevan a cabo en la gasificación son en su mayoría endotérmicas [31].

Como las reacciones son endotérmicas, se hace necesaria la adición de energía; la cual se puede hacer por la combustión de parte del material carbonoso a activar (autotérmico), o de los gases producidos en la gasificación como el  $CO$  y  $H_2$ .

El carbón activado obtenido ya sea con activación física o activación química, las cuales fueron explicadas anteriormente, posee una estructura de sólido muy desordenado constituido fundamentalmente por átomos de carbón, presenta un elevado grado de porosidad y una elevada área superficial interna que se aplica principalmente en procesos de adsorción y catálisis, lo que hace del carbón activado un compuesto fundamental para la retención de materia orgánica y metales pesados en el agua, y en la aplicación de filtros en plantas de tratamiento, ya sean residuales o de agua potable.

Se ha encontrado que llevar a cabo las etapas de carbonización y de gasificación en simultánea, es decir un solo proceso de activación, beneficia la obtención de carbones activados con mayor microporosidad y área superficial; es preferible al momento de activar partículas de gran tamaño y también se obtiene mayores rendimientos [37].

El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito, diferenciándose el carbón del grafitico en el orden de su estructura, ya que es menos perfecta la del carbón activado; el carbón activado es extremadamente poroso como se explicó anteriormente y puede llegar a desarrollar áreas superficiales de orden de 500 a 1500  $m^2/g$  de carbón, esta área de superficie varía dependiente de la materia prima y del proceso de activación.

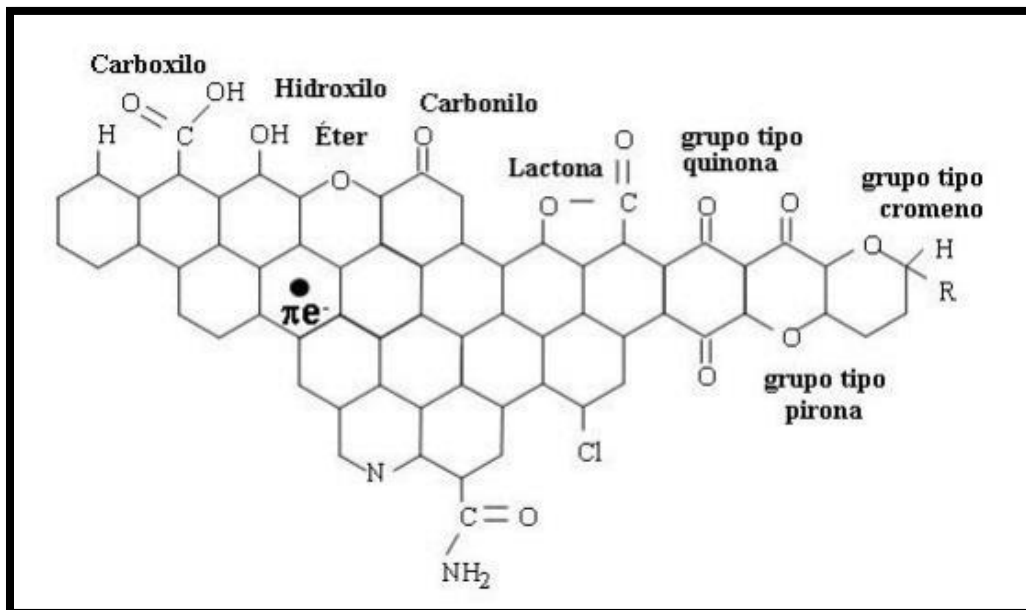


Ilustración 17. Esquema de los principales grupos superficiales presentes en el carbón [38].

### iii. Precursores

Para la producción de carbón activado se ha utilizado diferentes subproductos agroindustriales (biomasa, biosólidos) que no presentan beneficios aparentes para el generador, y que, por el contrario, es necesario se apliquen procesos de disposición. Elementos como bagazo de caña, cascara y paja de arroz, cascara de diferentes productos, semilla y madera han sido utilizadas como precursores de carbón activado.

Otra desventaja de algunos productos biomásicos, aparte de la baja dureza y densidad, es el alto contenido de volátiles y cenizas y el bajo contenido de carbono fijo. La cantidad de material volátil promedio es del 70%, una proporción de carbono fijo del 15% y un contenido de material mineral cercano al 8%, y puede alcanzar hasta 35%.

La diferencia al activar biomasa o carbón mineral es básicamente se defina básicamente en el rendimiento, la velocidad de activación y el área superficial. La pérdida de masa es mayor en la biomasa que en los carbones y en estos últimos la pérdida de masa es mayor cuando el carbón es de bajo rango, estos carbones cuyo poder calorífico en base húmeda, sea menor a 26,8MJ/kg (11500 BTU/lbm) se encuentran en el rango de carbones denominados sub-bituminosos y los lignitos. [37].

### iv. Adsorción de compuestos en sólidos porosos.

El carbón activado es un adsorbente que presenta un elevado y variado grado de porosidad,

una considerable superficie interna y un cierto contenido de grupos químicos superficiales; estas características son las responsables de sus propiedades adsorbentes, utilizadas en aplicaciones tanto en fase gaseosa como en fase líquida. El carbón activado es un adsorbente muy versátil, porque el tamaño y distribución de sus poros en la estructura carbonosa pueden ser controlados para satisfacer las necesidades de purificación en fase gaseosa y líquida. [40].

La eliminación de los compuestos contaminantes presentes en el agua se realiza mediante procesos fisicoquímicos, químicos, físicos y biológicos, en la actualidad el más usado es el método fisicoquímico de adsorción, con el uso de productos como la sílice, las zeolitas y el carbón activado, entre otros, el uso de estos productos ha incrementado por su alta efectividad en el tratamiento de aguas.

La capacidad de adsorción es la propiedad más importante y fundamental de los adsorbentes; la capacidad de adsorción de este producto está directamente relacionado con el área superficial, porosidad y química superficial del sólido poroso en este caso el carbón activado. Cuando un sólido se sumerge en una solución acuosa, se genera una carga eléctrica sobre la superficie mediante la disociación de grupos funcionales superficiales, o bien mediante la adsorción de iones de la solución. La carga superficial depende del pH de la solución y de las características del sólido. Es necesario conocer las características superficiales de los adsorbentes a utilizar como son el área superficial, porosidad y química superficial. El estudio de la capacidad de adsorción de los adsorbentes se realiza mediante la determinación de las isotermas de adsorción de los iones en las condiciones de pH, fuerza iónica y temperaturas definidas. La isoterma de adsorción describe el equilibrio de la adsorción de un material en una superficie a temperatura constante, se utiliza generalmente como herramienta para discriminar entre diferentes sólidos [40].

#### **v. Área superficial**

El área superficial específica es aquella que se constituye en el área total por unidad de masa para un sólido. Para el caso de sólidos porosos incluye el área superficial formada por la estructura porosa del material. Para la determinación de esta área se realiza a partir de mediciones experimentales de isotermas de adsorción y cálculos de la cantidad máxima adsorbida en monocapa.

Para los carbones activados pueden presentar superficies específicas del orden de 500 m<sup>2</sup>/g a 2000 m<sup>2</sup>/g e incluso llegar a 3000 m<sup>2</sup>/g. los valores elevados de superficie específica se

deben a la porosidad que tienen los carbones activados.

Según teoría y lo anteriormente expuesto, se podría afirmar que a mayor superficie específica mejores serán las características de adsorción de los carbones activados, ya que existiría un mayor número de centros para adsorber el adsorbato, Sin embargo, esto no siempre es cierto ya que dependiendo del tamaño de las moléculas del adsorbato (puede suceder que éstas sean mayores que algunos de los poros) la superficie sea accesible.

El área específica es muy importante de analizar así se obtienen porcentajes de adsorción del carbón activado fabricado según la materia prima usada como precursor, con esto se analiza cual es el carbón activado más eficiente para cierta actividad de adsorción, en nuestro caso, cual es el carbón activado con mayor adsorción de metales pesados.

#### **vi. Temperatura**

La temperatura un factor importante ya que con la disminución de esta aumenta la adsorción debido a que las relaciones de adsorción son exotérmicas. Por otro lado, el aumento de la temperatura incrementa el grado de difusión del soluto en la fase líquida hacia los centros de adsorción, lo que nos conduciría a una adsorción mayor, esto depende principalmente de la materia prima y del método de activación del carbón activado.

Una diferencia importante de la adsorción en solución con respecto a la gaseosa se encuentra en el rol de la temperatura, un aumento de la temperatura incrementa la tendencia de un gas a escapar de la interfaz, lo que provoca una reducción de la adsorción. Sin embargo, en adsorción desde líquidos, la influencia de la temperatura en la afinidad de los disolventes es dominante. [41].

#### **vii. Porosidad**

Los poros de adsorción son las únicas regiones de una partícula de carbón activado con suficiente fuerza de adsorción para adsorber impurezas, como lo son los metales pesados. Son estos poros más pequeños los cuales consisten en orificios entre 1 o 5 moléculas de diámetro, situadas entre placas de grafito. Todos los poros con fuerza adsorbente se llenarán con moléculas como lo son los contaminantes del agua, por lo anterior el volumen de todos los poros de adsorción de un carbón activado determinado se puede calcular exponiendo el carbono a gas o a una solución casi saturada. En la actualidad las pruebas estándar aplicadas en la industria del carbón activado como el índice de yodo, el número de tetracloruro de

carbono o el número de butano miden el volumen total de poros de adsorción.

Existe un segundo tipo poros, los poros de transporte; Son los más amplios del carbón activado, y van desde 5 moléculas de diámetro a grietas y rendijas visibles. Los poros de transporte consisten en una amplia variedad de estructuras de tamaños y formas en una única partícula de carbón activado. [42].

Según la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada), existen tres tipos de grupos de poros según su tamaño estos son:

- Macroporos (> 50 nm diámetro)
- Mesoporos (2-50 nm diámetro)
- Microporos (> 2 nm diámetro)

#### **viii. Tipos de carbón activado**

En la actualidad existen dos tipos de carbones activado, uno granular y otro pulverizado, en el presente proyecto se realizará énfasis en el carbón activado granular.

##### **✚ Carbón activado pulverizado**

El carbón activado pulverizado por tener tamaños de gránulos comprendidos de 140 a 200 mallas ASTM, deben ser altamente porosos, relativamente blandos y deben poseer poros grandes. Los buenos carbones pulverizados son empleados como decolorantes debido a que estos carecen de estructura definida y en especial son usados en fase líquida.[43].

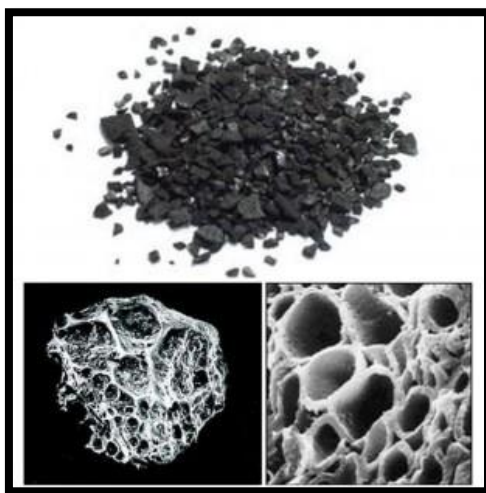


*Ilustración 18. Carbón activado pulverizado [44].*

## ✚ Carbón activado granular

Es un tipo de carbón amorfo que se produce al calentar madera u otro material orgánico en ausencia de aire. Su estructura es microporosa y esta característica lo hace absorber moléculas orgánicas tanto gaseosas como las disueltas en los líquidos. En el caso de los procesos de purificación de aguas sirve para eliminar las sustancias orgánicas disueltas que producen olor y color. El carbón activado granular tiene un proceso físico químico posterior: lavado con vapor sobrecalentado para lixiviar los compuestos solubles. Solventes para eliminar las grasas. Lavados ácidos para disolver metales y otros elementos poco solubles como metales pesados, hierro, calcio, y otros. Y por último se calienta de nuevo sin presencia de oxígeno para eliminar los residuos volátiles de las sustancias de lavado que han quedado dentro de sus poros. [43].

El tamaño apropiado es como mínimo de 4 mm de diámetro. Los hay con forma de tacos cilíndricos formados a partir de polvo de carbón que se moldea a presión y hay otros de forma irregular, pues son producto del proceso de triturado y cribado diseñados para distintos fines. [44].



*Ilustración 19. Carbón activado granular [45].*

### **ix. Activación química**

Consiste en poner el precursor carbonoso con un agente activador, tras lo cual se lleva a cabo un tratamiento térmico entre 400 y 800 °C bajo una atmósfera inerte para generar porosidad. Los agentes comúnmente utilizados son: cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ ), hidróxido de potasio (KOH), ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) y Sulfuro de potasio.

Es un método típico se mezclan varias partes de solución concentrada de cloruro de Zinc con una parte del material carbonoso se calienta la mezcla en un horno rotatorio durante varias horas a una temperatura de 600 – 700°C en ausencia de aire y después se lava el producto para separar la solución de cloruro de Zinc con el fin de utilizarlo de nuevo; otro método consiste en saturar la materia prima con ácido fosfórico concentrado y calentarlo durante varias horas a 500°C de temperatura. [43].

#### x. Activación física

Proceso de activación que consiste en el tratamiento con gases oxidantes. La gasificación controlada del carbonizado bajo una atmósfera oxidante tal como dióxido de carbono, vapor de agua u oxígeno. En esta etapa se elimina selectivamente los átomos más reactivados de la estructura carbonosa aumentado, por tanto, el volumen de poros y el área superficial específica. Ambos procesos se realizan habitualmente a temperaturas que oscilan entre 600 y 900°C. [43].

#### xi. Tipos de activación según el precursor

En la actualidad existe una tabla de cuál es la activación óptima para cada precursor, en esta tabla están los materiales más comúnmente usados.

Materia Prima	Tipo de Activación
• Carbón de leña	• Física
• Aserrín de madera	• Química
• Virutas de residuo de resina	• Química
• Cascara de cocos y nueces	• Física
• Semilla de frutas	• Química
• Cascara de arroz	• Química
• Bagazo de caña	• Química
• Carbón de turba	• Química
• Semicoque de turba	• Física
• Lignito	• Física y/o Química
• Hulla o antracita	• Física y/o Química
• Carbón bituminosos	• Física y/o Química
• Huesos y conchas	• Física
• xilenios	• Química

*Ilustración 20. Método de activación según la materia prima [43]*

En la activación ya sea química o física se presentan inconvenientes como lo son los

rendimientos ya que según resultados obtenidos en distintas investigaciones se evidencio mayor rendimiento en tiempos y cantidad de material en la activación química, aunque esta tiene una desventaja por los componentes químicos empleados y por un tratamiento posterior térmico lo que hace que a la vista del medio ambiente no sea un proceso que se pueda realizar a gran escala.

## **xii. Fabricación carbón industrial**

En la actualidad la fabricación del carbón activado industrial se realiza a base de precursores ricos en carbono, para la industria los materiales lignocelulósicos como lo son los maderos, hueso, cascaras de frutas entre otros, estos son los materiales más usados en la actualidad para la fabricación de carbón activado; para la selección del precursor adecuado para los requerimientos de uso del carbón activado se emplean los siguientes criterios:

- Disponibilidad y bajo costo
- Bajo contenidos de componentes orgánicos
- No sufrir degradación durante el almacenamiento
- Facilidad de activación
- Que conduzca a buenos adsorbentes

Los materiales lignocelulósicos corresponden al 47% del total de precursores utilizados a nivel mundial en la fabricación de carbón activado y van seguidos de carbón mineral (alrededor del 30%) y turba. La producción mundial controlada es aproximadamente de 400.000 toneladas/año, cantidad a la que hay que añadir la correspondiente a China y otros países de los que no se dispone de datos fiables [46].

Se pueden utilizar diferentes tipos de hornos para los procesos de carbonización y activación (rotatorio, solera múltiple y lecho fluidizado), el más utilizado es el horno rotatorio.



Ilustración 21. Horno Rotatorio para activación de carbón activado [47]

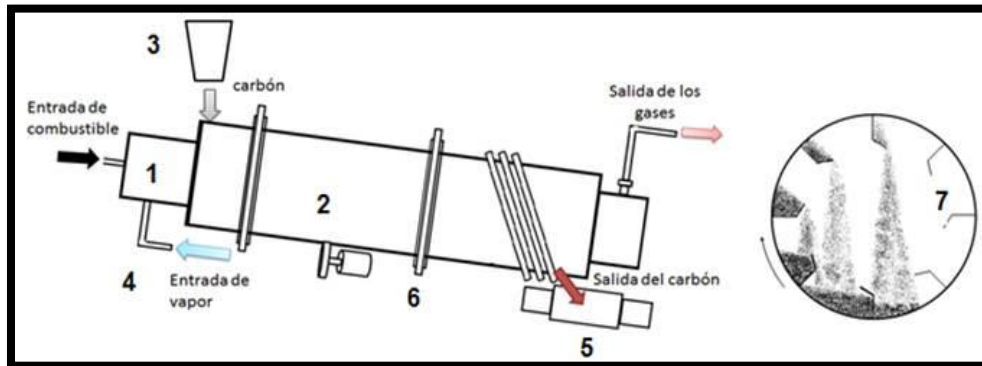


Ilustración 22. Proceso de un Horno Rotatorio para activación de carbón activado [48].

### c. Cuerpos de agua localidad de chapinero

Parte del territorio de la localidad de Chapinero comprende los Cerros Orientales donde nacen las quebradas que la atraviesan y conforman la cuenca media del río Bogotá y la cuenca alta del río Teusacá. Entre las principales corrientes se encuentran el río Arzobispo y las quebradas Las Delicias, Los Rosales, Chicó, Chorrera y La Vieja, que surten sus aguas a la cuenca media del río Bogotá. Las quebradas de Gallinas, Parías, La Esperanza, El León, El Amoladero, El Turín, El Carrizal y Santos desembocan en la cuenca alta del río Teusacá. De acuerdo con el Plan de Manejo de los Cerros Orientales la precipitación media multianual corresponde a 916 mm, con dos periodos húmedos en el año. Entre abril y mayo se registra el primero de ellos y el segundo, entre octubre y noviembre. En la zona norte la altura máxima

se presenta en la cuenca de la quebrada La Vieja.[39].

#### **14. MARCO LEGAL**

- Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico RAS 2000.
- Resolución 2115 de 2007, del Ministerio de la Protección Social ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

#### **15. MÉTODO Y METODOLOGÍA**

La metodología de este proyecto plantea distintas fases que recopila todas las actividades desarrolladas con las cuales se lograron los resultados propuestos; Así, se explicara de una manera detallada el procedimiento realizado.

##### **a. Fase I. Recopilación de La información**

Se establecen consultas de estado del arte acerca de la elaboración de carbón activado, en los cuales se encuentran información específica de sus características, producción y materiales precursores para la fabricación de este material; una vez obtenido el conocimiento respecto a estos procedimientos, se procede a obtener información acerca del material que será utilizado como materia prima de la elaboración del carbón activado; El Mangostino. Se consulta la producción de cultivo, características de aprovechamiento y propiedades para proponer estrategias de metodologías en su uso.

Seguidamente se realiza una investigación acerca de los tipos de activación existentes del carbón activado, verificar que método es más conveniente, conocer los procesos y elementos que pueden ser útiles para el proceso de activación; Obtenida esta información se procede a complementar la información ya conocida acerca de la PTAP ACUALCOS en la cual se desarrolla el proyecto, además de implementar pruebas y ensayos para definir el funcionamiento de carbón activado como filtro y retenedor de contaminantes esta planta de tratamiento de agua potable.

## **b. Fase II. Obtención del material convencional para la fabricación del carbón**

Como se mencionó inicialmente el material precursor para la preparación del carbón activado es la cascara de fruta del Mangostino, la cual es cultivada principalmente en el Tolima, posee aproximadamente un 20% de pesos de la pulpa, lo demás como es la cascara y semillas es desechado, por lo cual aproximadamente el 70% de la fruta la hace la cascara haciéndola un material que es desechado sin ninguna metodología de uso.

Una vez conseguido la cantidad necesaria de cascara de mangostino, el procedimiento consiste en secar la cascara de mangostino a una temperatura aproximada de 60 a 70 °C en una estufa de laboratorio durante 48 horas con el fin de eliminar el exceso de agua en la cascara y evitar su descomposición como proceso natural de material orgánico.

Secada la cascara de mangostino, el siguiente paso consiste en moler el material mediante un molino mecánico hasta un tamaño de partícula final, el cual seguidamente debe ser pasado mediante tres tipos distintos de tamices, los tamices usados son los siguientes:

**Macroporos tamiz # 4:** Obteniendo poros demasiado grandes los cuales hacen que el agua muestra a pasar por carbón no retenga contaminantes debido a su amplia estructura

Descrita la estructura del carbón mediante el procedimiento de selección de partículas, según su estructura, el tamiz apropiado seleccionado para obtener el material para carbonizar es el tamiz N. 6 el cual referencia la estructura como estructura ideal para la selección de partículas.

**Mesoporos Tamiz # 6:** los cuales poseen una estructura con características de tamaño ideal que lo hace muy funcional, debido a que, al pasar la muestra de agua por este tipo de carbón, pasara por el material, filtrando el agua y reteniendo la mayoría de contaminantes que posea la muestra de agua.

**Microporos Tamiz # 10:** los cuales tienen una estructura tan pequeña que el material pasado por este Tamiz prácticamente es polvo y el agua muestra a pasar por el carbón retendrá tanto el agua como los contaminantes incluidos en la muestra.

**c. Fase III: Proceso de Carbonización del material precursor y activación del carbón**

Una vez seleccionada la estructura de poros del material triturado mediante el tamiz seleccionado, el paso a seguir es obtener distintos tipos de carbones mediante agentes como gases oxidantes o la impregnación del material lignocelulósico por medio de agentes químicos deshidratantes; Así se describe el procedimiento con el cual se obtuvieran tres tipos de carbones con activaciones distintas después de su proceso de carbonización.

**d. Carbonización y activación física del material precursor seleccionado**

1. Se llena la celda correspondiente al horno piro tubular horizontal marca carbolite con el material precursor del tamiz escogido y se introduce en el horno mencionado; Enseguida el material debe someterse a un flujo de nitrógeno con una temperatura de 5°C/min hasta alcanzar 800°C; Alcanzada la temperatura, dejar constante el material con esta temperatura durante 3 horas con el fin de que el material se carbonice.
2. Al transcurrir las 3 horas, el material carbonizado debe enfriarse a una temperatura ambiente sin retirar el flujo de Nitrógeno colocado desde el inicio desde su proceso de carbonización. Enseguida de que el material se encuentre a una temperatura ambiente, extraer el Flujo de Nitrógeno y someterlo ahora a un flujo de CO<sub>2</sub> para su activación teniendo en cuenta las mismas características de calentamiento con una temperatura de 5°C/min hasta alcanzar 800°C. dejando constante el material con dicha temperatura. Alcanzado este punto máximo de calentamiento. Repetir el procedimiento de secado a temperatura ambiente teniendo en cuenta que el flujo de CO<sub>2</sub> no debe ser retirado hasta su secado.
3. Una vez secado el material a temperatura ambiente mediante el flujo de CO<sub>2</sub>, extraer el carbón activado del horno piro tubular horizontal marca Carbolite. Luego colocar en un recipiente y someter el material a un lavado exhaustivo durante varios días con agua destilada caliente hasta que su pH sea constante en este caso el valor se estableció en 8.2, con el fin de que, al pasar la muestra de agua provenientes de la PTAP, no se alteren las características fisicoquímicas respecto a la muestra original.



*Ilustración 23. Tipos de carbones activados, resultado proceso de fabricación. Fuente [Propia]*

4. Finalmente, establecido el pH del carbón activado mediante el lavado con agua destilada, el material debe ser secado en un horno de laboratorio a una temperatura a 60°C durante 24 horas para utilizar en las pruebas del proyecto.



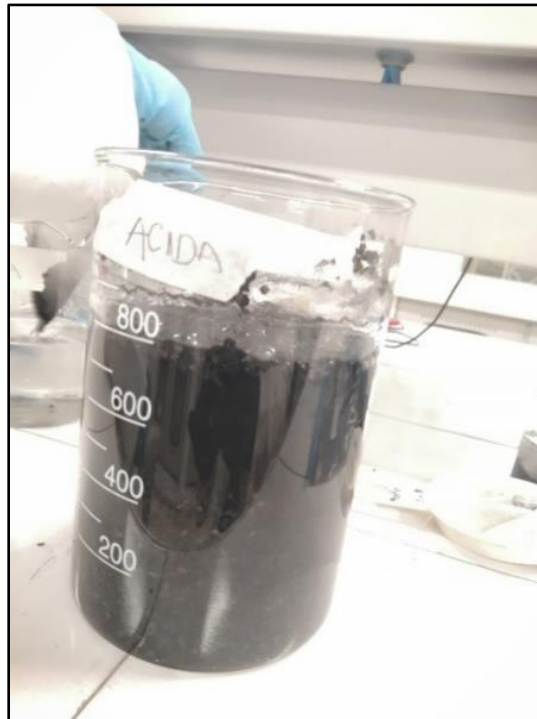
*Ilustración 24. Lavado de carbones activados. Fuente [Propia]*

**e. Carbonización y activación Química del material precursor seleccionado**

1. Se toma el material precursor crudo mediante la selección del tamizado en el proceso anterior, y se realizar la impregnación del material mediante el agente químico ácido

fosfórico ( $H_3PO_4$ ) con una concentración del 30% y una relación 1:5 m/m (Material seco: Ácido) durante 24 horas; Posteriormente retirar el material extrayendo el exceso del agente químico.

2. Ocupar la celda con el material correspondiente al horno piro tubular horizontal marca Carbolite con el material impregnado mediante el agente químico e introducir en el horno; enseguida someter el material a un flujo de nitrógeno con una temperatura de  $5^{\circ}C/min$  hasta alcanzar  $800^{\circ}C$ , después de alcanzar esta temperatura se deja constante durante 3 horas con el fin de que el material se carbonice.
3. Al trascurrir las 3 horas, el material carbonizado debe enfriarse a una temperatura ambiente sin quitar el flujo de Nitrógeno colocado desde el inicio desde su proceso de carbonización; Una vez secado el material a temperatura ambiente, retirar el flujo de Nitrógeno y retirar el carbón activado del horno piro tubular horizontal marca Carbolite. Extraído el material de la celda del horno, se debe colocar en un recipiente y someter el material a un lavado exhaustivo durante varios días con agua destilada caliente hasta que su pH sea constante; En este caso el valor se estableció en 6.0 a fin de que, al pasar la muestra de agua provenientes de la PTAP, no se alteren las características fisicoquímicas respecto a la muestra original.



*Ilustración 25. Estabilización del pH para carbón con activación de Ácido Fosfórico. Fuente [Propia]*

4. Finalmente, establecido el pH del carbón activado mediante el lavado con agua destilada el material debe ser secado en un horno de laboratorio a una temperatura a 60°C durante 24 horas para poder utilizar en las pruebas del proyecto.

**f. Carbonización y activación Alcalina del material precursor seleccionado**

1. Se toma el material precursor crudo mediante la selección del tamizado en el proceso anterior, realizar la impregnación del material mediante el agente químico Hidróxido de sodio (NaOH) con una concentración del 10% y una relación 1:5 p/p (Material seco: Ácido) durante 24 horas; Posteriormente se retira el material extrayendo el exceso del agente químico.
2. Se llena la celda con el material correspondiente al horno piro tubular horizontal marca Carbolite con el Material impregnado mediante el agente químico y se introduce en el horno; Enseguida someter a flujo de nitrógeno con una temperatura de 5°C/min hasta alcanzar 800°C; Después de alcanzar esta temperatura, dejar constante durante 3 horas con el fin de que el material se carbonice.
3. Al trascurrir las 3 horas, el material carbonizado debe enfriarse a una temperatura ambiente sin quitar el flujo de Nitrógeno colocado desde el inicio desde su proceso de carbonización. Una vez secado el material a temperatura ambiente, retirar el flujo de nitrógeno y sacar el carbón activado del horno piro tubular horizontal marca Carbolite. Extraído el material de la celda del horno, se debe colocar en un recipiente y someter el material a un lavado exhaustivo durante varios días con agua destilada caliente hasta que su pH sea constante; En este caso el valor se estableció en 8.6, con el fin de que, al pasar la muestra de agua provenientes de la PTAP, las características fisicoquímicas no sufran alteraciones respecto a la muestra original.



*Ilustración 26. Estabilización del pH para los carbones activados. Fuente [Propia]*

4. Finalmente, establecido el pH del carbón activado mediante el lavado con agua destilada el material debe ser secado en un horno de laboratorio a una temperatura a 60°C durante 24 horas para poder utilizar en las pruebas del proyecto.

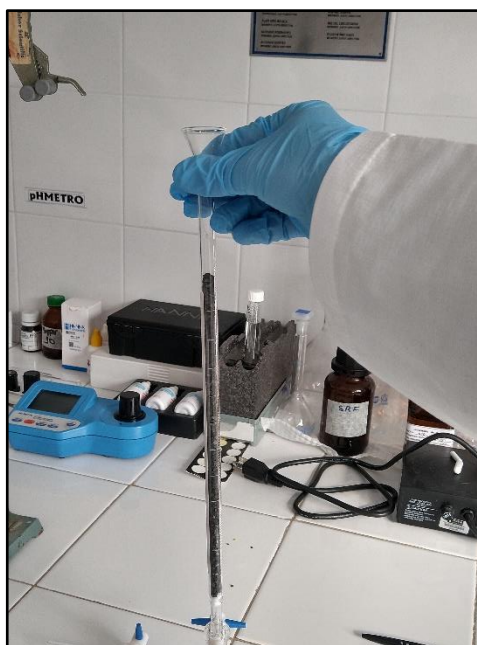
**g. Fase IV: montaje de columnas de carbones activados**



*Ilustración 27. Prueba inicial montaje de carbones. Fuente [Propia]*

Una vez obtenido los carbones respectivos mediante sus distintos tipos de activación, se procede a realizar el montaje de las columnas de carbones activados con buretas para realizar las pruebas mediante el traspaso de muestras de agua, tanto cruda como potable proveniente de la Planta de Tratamiento de Agua potable Acualcos y con el fin de analizar el comportamiento de los carbones activados. El procedimiento a seguir es:

1. Obtener cierta cantidad de carbón activado mediante el peso adecuado de cada tipo, los cuales se depositarán en recipientes individuales con el fin de realizar montajes separados de acuerdo al carbón activado.
2. Una vez obtenida una muestra con su respectivo peso, se procede a realizar el llenado de cada una de las buretas, teniendo en cuenta una altura adecuada para todas con el fin de que, en el momento de hacer el paso de la muestra de agua, las pipetas no se saturen de acuerdo con sobre-excesos de llenado del material.



*Ilustración 28. Llenado de carbón activado en la pipeta. Fuente [Propia]*

3. En total se utilizará 6 buretas, con dos muestras por cada carbón activado fabricado; en las cuales, por una de ellas se pase una muestra de agua cruda y en la otra una muestra tratada para observar la variación de cambios del agua una vez filtrada por los carbones activados.

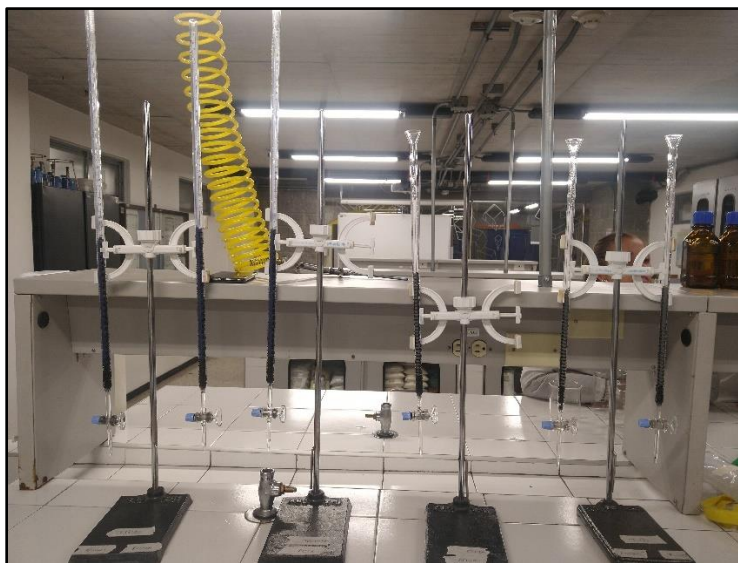


Ilustración 29. Montaje de Carbones activados. Fuente [Propia]

4. Llenadas las buretas con las muestras respectivas de cada carbón activado, identificar cada una de las buretas con la relación respectiva de cada material, de la manera más explícita posible.
5. Si en el llenado de las buretas con los carbones activados, queda en el recipiente inicial muestra de carbón, se debe pesar estos, realizando una suma algebraica para obtener el peso final de cada carbón activado.

Finalmente se muestra a continuación los pesos de los carbones activados utilizados para las pruebas de laboratorio.

	ACTIVACIÓN FÍSICA		ACTIVACIÓN ACIDA		ACTIVACIÓN ALCALINA	
	Agua Cruda	Agua Tratada	Agua Cruda	Agua Tratada	Agua Cruda	Agua Tratada
<b>Peso Carbón (gr)</b>	5.1	8.7	5	8.1	5.4	8.5
<b>Altura Carbón Bureta (cm)</b>	19.2	25.4	19.5	25.5	19.2	25.4

Tabla 6. Pesos de carbones activados. Fuente [Propia]

Cuando el montaje de las columnas de carbón activado de las buretas esté finalizado, uno de los procedimientos finales del proyecto, consiste en realizar las pruebas con muestras de agua tanto cruda como tratada obtenidas de la PTAP ACUALCOS

#### **h. Fase V: Prueba del montaje de las columnas de carbón activado**

En esta fase se consolida la información presentada después de pasar las muestras de agua obtenidas en la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS para realizar sus respectivos análisis. El procedimiento para realizar estos ensayos es el siguiente:

1. Obtener en la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS en los puntos de muestreo, una muestra suficiente de agua cruda y una muestra de agua potable después del tratamiento. Obtenidas las muestras, en el laboratorio de la PTAP.



Ilustración 30.: punto de muestra agua potable Acualcos. Fuente [Propia]



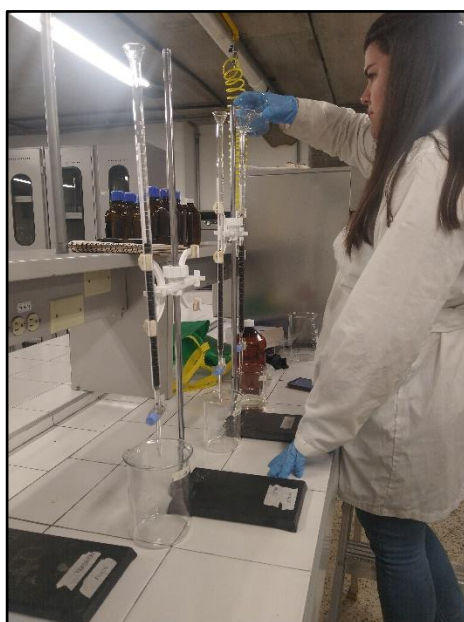
Ilustración 31. Punto de muestra agua cruda Acualcos. Fuente [Propia]

Se analizan los parámetros fisicoquímicos que usualmente realizados en la planta de tratamiento de agua potable de acuerdo con su metodología ; Con la finalidad de que los resultados obtenidos estén de acuerdo con los lineamientos de ACUALCOS. A continuación, se muestra un listado de los parámetros que se realizaron en la planta de tratamientos ACUALCOS.

PARÁMETROS PTAP ACUALCOS
pH
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
Solidos Disueltos (ppm)
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
Turbiedad (FAU)
Color Verdadero (HZ)
Aluminio (mg/L)
Cloro Libre (mg/L)

Tabla 7. Parámetros Fisicoquímicos analizados en la PTAP Acualcos. Fuente [Propia]

2. Una vez analizada las muestras de agua, tanto cruda como tratada, se procede a registrar muestras de 200 mL en Beakers, asignando cada una de ellas en una columna de carbón activado, así las cosas, se deberán obtener tres muestras de 200 mL para agua cruda y tres muestras para agua tratada. Separadas en distintos recipientes, lo siguiente es pasar cada una de estas por los distintos tipos de carbones activados (físico, ácido, alcalino), a su vez se deberá tomar el tiempo de retención que posee cada uno de los carbones, con el fin de obtener un registro que verifique que tiempo se demora una muestra de agua en pasar por cada una de las columnas de carbón.



*Ilustración 32. Pruebas de muestras de agua en carbones activados. Fuente [Propia]*

3. Obtenidos los tiempos de retención y una vez traspasada el agua mediante las columnas de carbón, cada una de las muestras se envasan en un recipiente previamente identificado, con el nombre del carbón por el cual se pasó, que tipo de agua es y la fecha inicial de la muestra tomada en la PTAP. Finalmente se vuelven a analizar los parámetros fisicoquímicos de las muestras pasadas por el carbón, para comprobar la efectividad del material, seguidamente observar los cambios encontrados y analizar las variaciones una vez realizadas las pruebas. Esta metodología debe practicarse al menos en tres ensayos respecto a tres días diferentes, obtenidas las muestras iniciales de la Planta de tratamiento de agua potable y realizando el pasado de estas muestras por los carbones activados para analizar su eficiencia, tanto en muestras de agua cruda como tratada para observar el comportamiento del carbón

una vez se realizan el traspaso de estas.



*Ilustración 33. Análisis de parámetros fisicoquímicos del agua en Aqualcos. Fuente [Propia]*

#### **i. FASE VI: Análisis de datos**

Obtenidos los parámetros fisicoquímicos iniciales y finales después de pasar la muestra de agua por los carbones activados de la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS, se relacionan los resultados mediante un análisis cuantitativo para conocer y apreciar de mejor manera las variables obtenidas de los parámetros analizados en el agua, con el fin de realizar los análisis pertinentes y estudiar los comportamientos que tuvieron las muestras de agua una vez pasados por las columnas de carbón activado. Así se muestran los resultados de las pruebas a continuación.

## 16. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se les realizo diferentes análisis a las muestras de agua tratada y cruda previos al paso por el carbón activado para establecer el cambio que presentan las características fisicoquímicas; La información recolectada se presenta a continuación.

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS MUESTRA 1								
Parámetro	MUESTRA INICIAL		CARBÓN ÁCIDO		CARBÓN FÍSICO		CARBÓN ALCALINO	
	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada
Tipo de Agua								
pH	6.2	7.6	6.2	6.9	9.3	9.2	10	10.3
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	0	30	20	150	80	170	150	300
Solidos Disueltos (ppm)	0	0.1	0.1	0.7	0.4	0.8	0.7	150
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	11	11	16	16	16	15	14	14
Turbiedad (FAU)	3	< 1	1	<1	3	< 1	2	2
Color Verdadero (HZ)	5.5	< 0.2	4.4	<0.2	8.1	< 0.2	10	< 0.2
Aluminio (mg/L)	< 0.1	0.4	<0.1	0.15	< 0.1	0.23	<0.1	0.2
Cloro Libre (mg/L)	0.06	0.95	0.13	0.28	0	0.17	0.5	0.3
% Retención Aluminio				62.5		42.5		50.0

Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos de la muestra 1. Fuente [Propia]

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS MUESTRA 2								
Parámetro	MUESTRA INICIAL		CARBÓN ÁCIDO		CARBÓN FÍSICO		CARBÓN ALCALINO	
	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada
Tipo de Agua								
pH	6.5	6.9	6.5	6.5	8.7	8.0	9.5	9.6
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	0	20	20	50	60	70	130	130
Solidos Disueltos (ppm)	0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.6	0.6
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	13	13	15	15	15	15	15	15
Turbiedad (FAU)	2	<1	0.8	<1	1	<1	2	<1
Color Verdadero (HZ)	3.2	< 0.2	4	<0.2	4.6	<0.2	3.9	<0.2
Aluminio (mg/L)	<0.1	0.35	<0.1	0.15	<0.1	0.20	<0.1	0.18
Cloro Libre (mg/L)	0.18	0.53	0.2	0.05	0.09	0.51	0.09	0.13
% Retención Aluminio				57.1		42.9		48.6

Tabla 9. Parámetros fisicoquímicos de la muestra 2. Fuente. [Propia]

PARÁMETROS FISIQUÍMICOS MUESTRA 3								
Parámetro	MUESTRA INICIAL		CARBÓN ÁCIDO		CARBÓN FÍSICO		CARBÓN ALCALINO	
	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada
Tipo de Agua								
pH	6.4	6.4	6.5	6.6	8.5	8.0	9.2	8.9
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	20	30	30	40	50	70	60	100
Sólidos Disueltos (ppm)	0	0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	15	15	15	15	15	15	15	15
Turbiedad (FAU)	3	<1	2	<1	1	<1	3	<1
Color Verdadero (HZ)	4.5	<0.2	1.8	<0.2	<1	<0.2	2.7	<0.2
Aluminio (mg/L)	<0.1	0.14	<0.1	0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.13
Cloro Libre (mg/L)	0	0.46	0	0.21	0	0.2	0	0.01
% Retención Aluminio				28.6		28.6		7.1

Tabla 10. Parámetros físicoquímicos de la muestra 3. Fuente [Propia]

Para el carbón activado a partir de cascara de mangostino cuya función principal es retener partículas de Aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) presentes en el agua, se desarrolló su activación con una porosidad de tamaño 2-50 nm que corresponde a los mesoporos, el proceso de adsorción de los mesoporos consiste en espacios entre placas gráficas que están lo suficiente cerca para ejercer tracción sobre el adsorbato y así retenerlo con mayor fuerza.

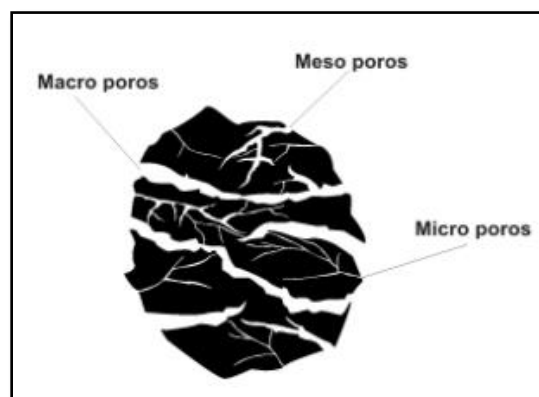


Ilustración 34. Grano de carbón activado.[49].

A diferencia de los microporos que, aunque su separación entre placas es bastante reducida se podría creer que ayudara más en el proceso de adsorción, pero, debido a su tamaño, estos retienen partículas más pequeñas que corresponden a compuestos más volátiles que el agua como olores y sabores. Los macroporos atrapan partículas que exceden el tamaño del Aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) como colores intensos o sustancias húmicas, si uno de estos fuera usado en la retención de Aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) el tamaño de los poros impedirá el paso del agua o su poder adsorbente se vería afectado debido a la alta

separación entre placas.

- Realizada la activación del carbón como material precursor a partir de la cascara de mangostino en los cuales se definieron, el agente de gasificación para la activación física y los agentes químicos para la activación química del carbonizado resultante; el material es colocado a pruebas de paso de muestra de agua en condiciones reales de acuerdo a las muestras obtenidas en distintas fechas de operabilidad. Obtenidos los resultados una de las variables más importantes a analizar es el porcentaje de Retención de cada uno de los carbones en su prueba inicial para muestras de agua que han tenido todo el proceso de potabilización en la planta de tratamiento Acualcos.

Dentro de los porcentajes obtenidos de retención de contaminantes, principalmente los residuos de  $Al^{3+}$  el carbón con mejor comportamiento es el elaborado mediante activación química con el agente ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) el cual, en la muestra inicial presento un valor de 62.5%. Dicho lo anterior, una de las posibles causas de este efecto es atribuible a los agentes químicos utilizados en el proceso de activación, y a su desarrollo en el área superficial del carbón.

El ácido fosfórico a diferencia de otros agentes genera un gran desarrollo de poros, presentando una distribución más heterogénea en la estructura interna del material respecto a otros agentes, asimismo el incremento de concentración del agente activante no solo produce una mayor área superficial si no que al mismo tiempo que genera un mayor volumen en los poros, presenta una mayor interacción con el agente lignocelulósico el cual posee la capacidad de incrementar el tamaño de estos poros, pasando de un microporo a un mesoporo. Por otro lado, el carbón mediante activación de agente ácido es más útil para la retención de contaminantes en el agua. El pH obtenido del carbón después del proceso de lavado con agua destilada en el que se estabilizo llego a obtener un valor de 6.0; Según Rodríguez (2013) indica que un pH mayor a 6.0 incrementa la capacidad de adsorción del carbón, estableciéndolo como un parámetro sensible y manejable de acuerdo al tipo de carbón que se desee fabricar.

✚ Para la activación del carbón activado es necesario someter el material a un proceso de carbonización hasta la temperatura de 800 °C, durante este proceso el material precursor tiende a volverse volátil y cenizas generando una pérdida de material, esta pérdida es variable según el tipo de material y depende de la resistencia mecánica de cada uno, en este caso el mangostino presentó una pérdida considerable entre el 60% y 70% debido a la alta temperatura a la que fue sometido.

En la tabla 11 se refleja el porcentaje de pérdida de cada uno de los carbones, el carbón de carácter físico presentó una pérdida de material del 65%, el carbón de carácter ácido presentó una pérdida de material del 68% y el carbón de carácter alcalino una pérdida del 68%. Considerando así que el carbón con mayor rendimiento de material es el de carácter físico, aunque la diferencia entre el rendimiento de los otros carbones sea tan solo del 3%.

TIPO DE CARBÓN	CANT. MATERIAL (g)	CANT. CARBONIZADO (g)	% DE PERDIDA
FÍSICO	64.22	22.67	65%
ÁCIDO	69.48	22.25	68%
ALCALINO	72.91	23.56	68%

Tabla 11. % Pérdida mediante la carbonización. Fuente [Propia]

Para producir un kilogramo de carbón activado será necesario 3 kg de cascara de mangostino aproximadamente, por esto es importante incentivar la producción de carbón activado a partir de cascara de mangostino en Colombia.

✚ Otros de los parámetros importantes a analizar respecto a las muestras de carbón activado, es el pH tanto inicial de la muestra de agua como el resultado obtenido después de filtrar dicha muestra por el material; ya que como se mencionó anteriormente el pH es una característica variable en relación al tipo de carbón con el cual se desarrolle la prueba del paso de muestra de agua para el análisis correspondiente.

pH EN AGUA TRATADA				
	MUESTRA INICIAL	CARBÓN ÁCIDO	CARBÓN FÍSICO	CARBÓN ALCALINO
MUESTRA 1	7.6	6.9	9.2	10.3
MUESTRA 2	6.9	6.5	8.0	9.6
MUESTRA 3	6.4	6.6	8.0	8.9

Tabla 12. pH en agua tratada. Fuente. [Propia]

<b>pH EN AGUA CRUDA</b>				
	<b>MUESTRA INICIAL</b>	<b>CARBÓN ÁCIDO</b>	<b>CARBÓN FÍSICO</b>	<b>CARBÓN ALCALINO</b>
MUESTRA 1	6.2	6.2	9.3	10
MUESTRA 2	6.5	6.5	8.7	9.5
MUESTRA 3	6.4	6.5	8.5	9.2

Tabla 13. pH en agua cruda. Fuente. [Propia]

Como se observa en las tablas 12 y 13, en las cuales se puede observar los datos de pH iniciales en los distintos días los cuales se realizaron los análisis de parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua cruda y potable tomadas en la planta de tratamiento de agua potable Acualcos, al igual que se exponen estos mismos valores una vez filtrada el agua en los diferentes carbones fabricados para su análisis.

La tabla 12 muestra que, una vez filtrada las muestras de agua potable para cada uno de los carbones activados, esta característica en algunas de las muestras produce variaciones respecto al valor inicial, como se puede observar las muestras de agua pasada por los carbones mediante activación física y alcalina incrementaron su valor de pH de una manera considerable, en tanto el carbón con activación con agente ácido tuvo una mínima variación descendiente respecto al pH inicial.

Como es conocido el carbón activado es fabricado del material precursor del fruto mangostino, especialmente de la cascara el cual representa el 70 % de la fruta como tal, una vez realizado los procesos de moler, carbonizar e impregnar mediante un agente químico o un gas, algunas propiedades medicinales que posee este fruto pueden ser cambiantes y no tener el mismo efecto transformado el material; sin embargo Los polifenoles como grupo de sustancias químicas presentados en la fruta, son conocidos por el potencial antioxidante lo cual es aprovechable en la salud humana, según Reyes, 2014 *los polifenoles son compuestos ácidos, debido a su naturaleza del grupo fenólico y carboxílico. Esta propiedad presentan una mayor estabilidad con sustancias o elementos en pH ácidos*, por ende las variaciones de estas características de los carbones con activación física y alcalina en sus estructura interna pueden presentar un cambio y aumentar el pH propio de cada uno de estos materiales de acuerdo a los agentes químicos que se usaron para su activación; se deduce que al pasar una muestra de agua por los carbones, El pH que posee el material debido a la reacción del agente químico de activación con los polifenoles propiedad de la fruta transfieren a el agua afectando la

característica de pH que poseía el agua en su primer análisis: Así se incrementan o disminuyen los valores de este parámetro una vez se analiza la muestra nuevamente.

Cabe mencionar que respecto a la cantidad de veces que se pasan más muestras de aguas potables por los carbones activados, los valores analizados posteriormente coinciden más con el pH inicial de la muestra inicial; Esto se debe a la saturación que presentan los carbones por el paso de varias muestras; Mientras el pH se estabiliza de acuerdo al rango establecido en la norma 2115 de 2007, otros parámetros fisicoquímicos analizados no son retenidos con la misma efectividad que poseía el material precursor virgen al pasar la primera muestra de agua. El valor de un pH estable es efectivo en función del desgaste del carbón activado con el paso de varias muestras de agua.

- El proceso de carbonización del material se lleva a cabo a una temperatura constante de 5 °C/minuto hasta obtener los 800 °C, el manejo de la temperatura es importante ya que si se maneja una temperatura menor el proceso se vuelve cuasi estático lo que permitirá que los poros del carbón se desarrollen mejor, pero, energéticamente se convierte en un proceso demasiado costoso.

Por otro lado, si se maneja una temperatura mayor el proceso será mucho más rápido y los gases presentes en el material saldrán rápidamente generando el rompimiento de la molécula de carbono, de esta manera se incrementarán los mesoporos presentes en el carbón, los cuales afectarán la retención del material y su finalidad para la que ha sido activado.

- Otro parámetro que es importante es el referente a la turbiedad como parámetro fisicoquímico de acuerdo a los sólidos que se encuentran en suspensión del agua, inicialmente mediante la tabla 14.

<b>TURBIEDAD EN AGUA CRUDA</b>				
	<b>MUESTRA INICIAL (FAU)</b>	<b>CARBÓN ÁCIDO (FAU)</b>	<b>CARBÓN FÍSICO (FAU)</b>	<b>CARBÓN ALCALINO (FAU)</b>
MUESTRA 1	3	1	3	2
MUESTRA 2	2	0.8	1	2
MUESTRA 3	3	2	1	3

Tabla 14. Turbiedad en agua cruda. Fuente [ Propia ]

Las muestras iniciales de agua cruda analizadas en los laboratorios de la PTAP Acualcos presentan valores de turbiedad por encima de la norma 2115 de 2007 la cual establece un valor máximo hasta de 2 UNT. De acuerdo con la normativa establecida en la Planta de tratamiento de agua potable de Acualcos el agente químico usado en el proceso de Coagulación y agente floculante para la agrupación de solidos suspendidos y remoción de turbiedad es el sulfato de aluminio en una concentración de 15-20% en un flujo de inyección de 2L/hora, la cual es capaz de modificar y mejorar este tipo de parámetros dejando un agua apta para el consumo humano.

Como se mencionó anteriormente las muestras de agua inicial de agua cruda en su mayoría presentaron valores altos por encima de la norma establecida de acuerdo a los análisis tomados; una vez pasada estas muestra de agua por los diferentes tipos de carbones activados estos presentan una reducción de este valor de una manera considerable y estableciendo este parámetro en términos de la norma, Sin embargo en el marco de los nuevos análisis presentados el carbón con mayor eficiencia es el activado mediante agente químico ácido (Ácido Fosfórico- $H_3PO_4$ ); en las tres muestras analizadas es en el que mejor se observa un comportamiento reductor en distintas variables, por lo cual hace de este el carbón ideal para creación de filtros y pruebas en ellos.

Por otra parte una posible solución es indicar la creación de un filtro inicial antes del proceso que desarrolla el agua dentro de la PTAP Acualcos, con el fin de remover gran mayoría de contaminantes iniciales que vienen emergentes en la muestra inicial, con el fin de ahorrar costos y obtener un tratamiento inicial libre de agentes contaminantes; Por una parte, la concentración inicial de sulfato de aluminio puede disminuir de acuerdo a que los valores de turbiedad disminuyen con la filtración de muestras de agua cruda por el paso de la mayoría de los carbones activados. Así mismo la implementación de un filtro de cascara de mangostino mediante activación con agente químicos después del proceso que tiene actualmente Acualcos asegurara que el agua potable producto del tratamiento no continúe con algunos remanentes en algunos casos como se ha mostrado en los análisis de las muestras iniciales en las gráficas Nos. 4 y 8 y que por ende son valores que no cumplen con la norma que establece la vigilancia para el control del agua.

✚ La resolución 2115 de 2007 establece que el valor máximo aceptable del residual de

aluminio derivado de su uso como coagulante en el tratamiento de agua para consumo humano en su forma  $Al^{3+}$  es de 0.2 mg/L.

<b>ALUMINIO EN AGUA TRATADA</b>				
	<b>MUESTRA INICIAL (mg/L)</b>	<b>CARBÓN ÁCIDO (mg/L)</b>	<b>CARBÓN FÍSICO (mg/L)</b>	<b>CARBÓN ALCALINO (mg/L)</b>
MUESTRA 1	0.4	0.15	0.23	0.2
MUESTRA 2	0.35	0.15	0.20	0.18
MUESTRA 3	0.14	0.1	0.1	0.13

Tabla 15. Aluminio en agua tratada. Fuente [Propia]

Mediante la activación de los tres carbones de carácter ácido, físico y alcalino sometidos a diferentes pruebas para evaluar su comportamiento en la retención de impurezas en el agua, se evidencia que los tres carbones retienen un porcentaje considerable de  $Al^{3+}$ , como se muestra en la tabla 15.

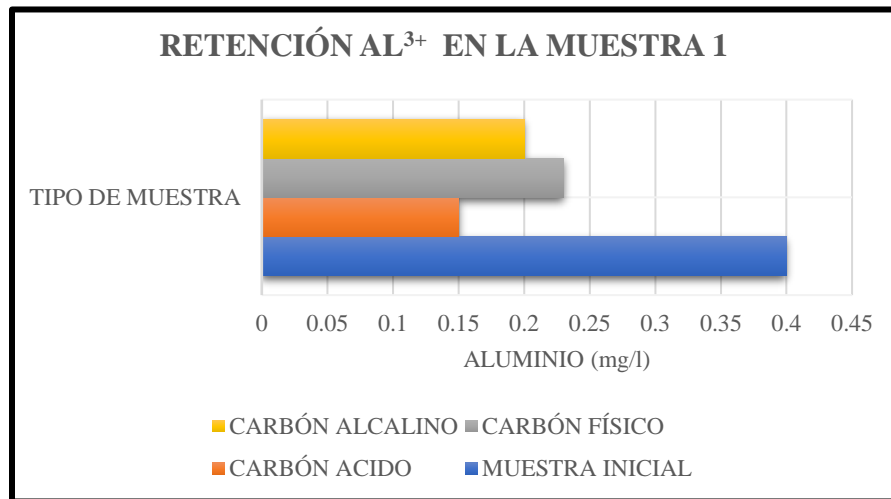


Gráfico 1. Retención de  $Al^{3+}$  en la muestra 1. Fuente [Propia].

En la gráfica 1, se refleja la retención de  $Al^{3+}$  en cada uno de los carbones de la muestra 1, la muestra inicial sin ser sometida a ningún proceso de filtración por carbón activado con cascara de mangostino es de 0.4 mg/L, es decir, se encuentra fuera del rango establecido por la norma. Al pasar el agua por las columnas de carbón activado de carácter físico se obtuvo un valor final de 0.23 mg/L, el carbón de carácter ácido obtuvo un valor de 0.15 mg/L y el carbón de carácter alcalino obtuvo un valor de 0.2 mg/L.

El carbón de carácter ácido es el que mejor comportamiento presenta en la retención

de  $Al^{3+}$  disminuyendo aproximadamente el 62% del valor inicial, mientras que el carbón físico redujo un 42% y el alcalino el 50% como se puede observar en la tabla 8.

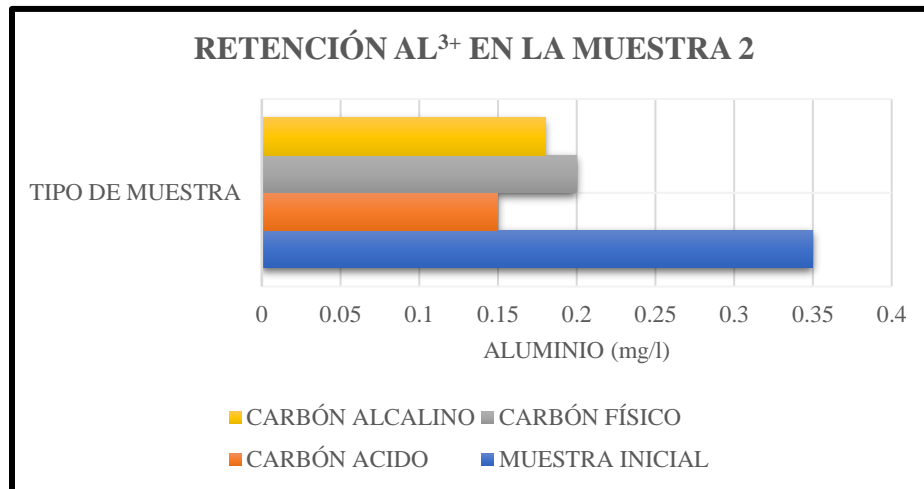


Gráfico 2. Retención de  $Al^{3+}$  en la muestra 2. Fuente [Propia].

En la gráfica 2, se refleja la retención de  $Al^{3+}$  en cada uno de los carbones de la muestra 2, la muestra inicial sin ser sometida a ningún proceso de filtración por carbón activado con cascara de mangostino es de 0.35 mg/L, es decir, se encuentra fuera del rango establecido por la norma. Al pasar el agua por las columnas de carbón activado de carácter físico obtuvo un valor final de 0.20 mg/L, el carbón de carácter ácido obtuvo un valor de 0.15 mg/L y el carbón de carácter alcalino obtuvo un valor de 0.18 mg/L.

Como se puede observar en la tabla 9, el carbón de carácter ácido es el que mejor comportamiento presenta en la retención de  $Al^{3+}$  del 57% del valor inicial, mientras que el carbón físico redujo un 43% y el alcalino el 49%. El carbón poco a poco presenta saturación, lo cual se refleja al disminuir su capacidad de retención.

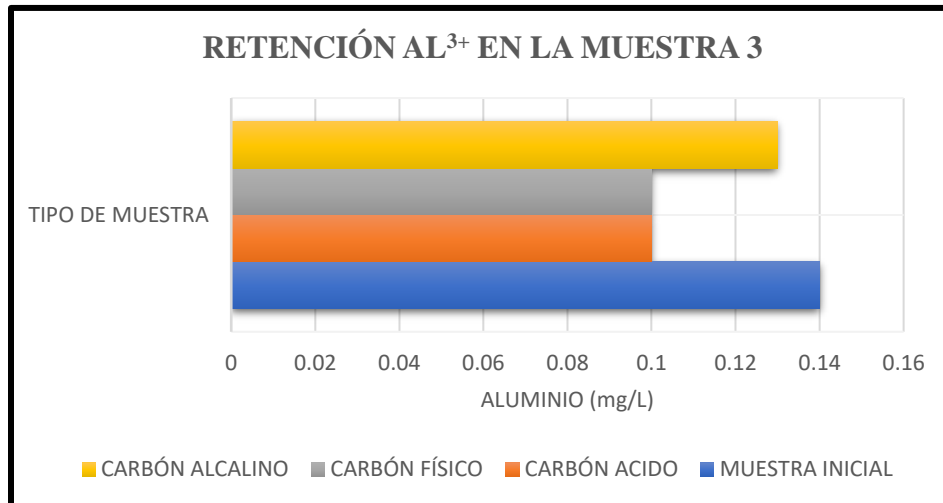


Gráfico 3. Retención de  $Al^{3+}$  en la muestra 3. Fuente [Propia].

En la gráfica 3, se refleja la retención de  $Al^{3+}$  en cada uno de los carbones de la muestra 3, la muestra inicial sin ser sometida a ningún proceso de filtración por carbón activado con cascara de mangostino es de 0.14 mg/L, es decir, se encuentra dentro del rango establecido por la norma. Aun así, al pasar el agua por las columnas de carbón activado de carácter físico obtuvo un valor final de 0.1 mg/L, el carbón de carácter ácido obtuvo un valor de 0.10 mg/L y el carbón de carácter alcalino obtuvo un valor de 0.13 mg/L.

Aunque en la muestra 3 la cantidad de partículas es menor y la retención se hace más difícil, el carbón de carácter ácido retuvo aproximadamente el 28% como se indica en la tabla 10, reduciendo el valor de Aluminio a la mitad de lo que exige la norma.

El carbón de carácter Ácido, activado con Ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), presenta una retención de  $Al^{3+}$  del 60% aproximadamente, siendo este el que mejor comportamiento tuvo durante los análisis.

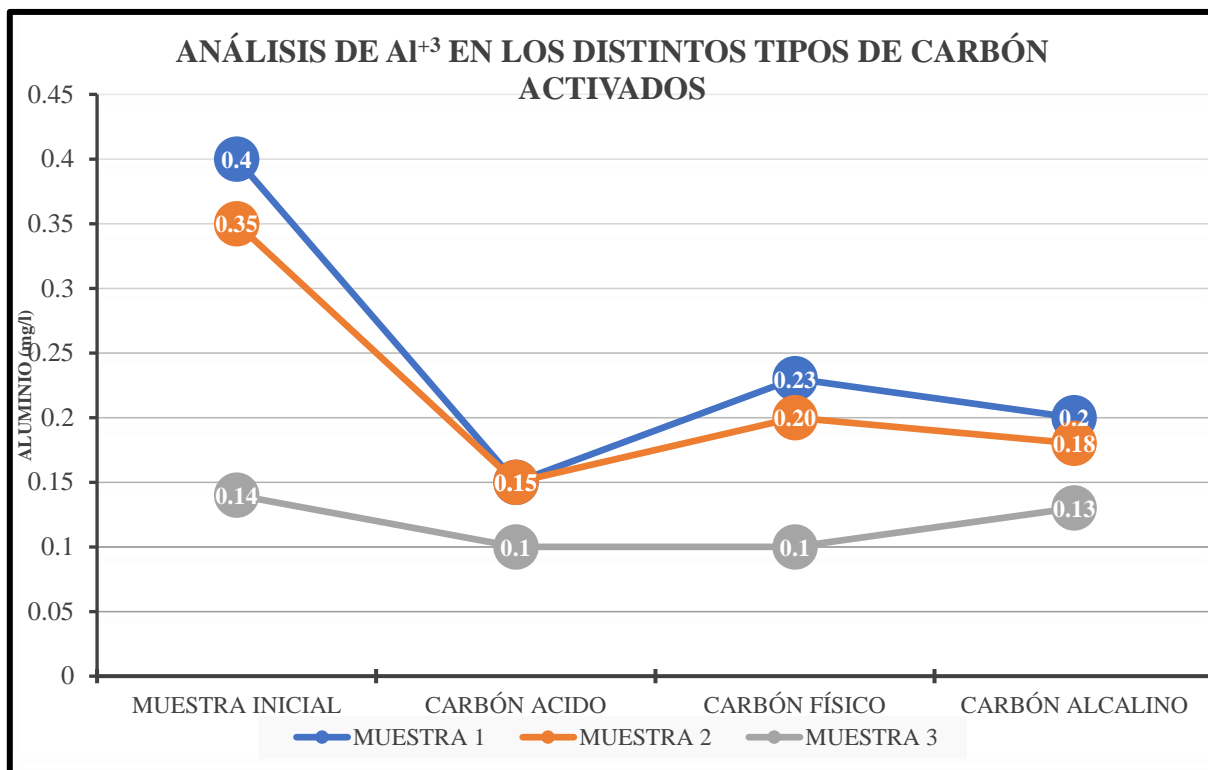


Gráfico 4. Análisis de  $Al^{3+}$  en los distintos tipos de carbón activado. Fuente [Propia]

La retención de  $Al^{3+}$  en el carbón activado se debe principalmente a la lignina; una sustancia natural que forma parte de la pared celular de muchas células vegetales, a las cuales da dureza y resistencia. Se considera que los materiales lignocelulósicos están constituidos por un 25% de lignina.

Según Navarro,2006 “la capacidad de adsorción de metales de la lignina se debe a los fenoles y otros grupos funcionales presentes en su superficie”. Cuando el material lignocelulósico entra en contacto con ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), esta solución se encarga de aumentar el carácter ácido de los grupos funcionales en su superficie y por ende de la lignina.

El carácter ácido de la superficie del carbón activado permite que la adsorción de iones metálicos sea mayor por medio de un intercambio catiónico.

Además, grupo TERMA,2009 afirma que “En el caso concreto de la activación con ácido fosfórico se obtienen carbones con una elevada acidez superficial y resistencia a la oxidación como consecuencia del fósforo, en forma de fosfatos, que permanece ligado de forma estable a la superficie. Esto hace que estos carbones sean muy apropiados para ciertas aplicaciones catalíticas”.

- La turbidez en el agua se genera por la presencia de partículas en suspensión. La naturaleza de las partículas puede ser inorgánica (arcillas, fangos y óxidos minerales), estas provienen de la erosión del suelo, otras son de naturaleza orgánica (bacterias, parásitos, algas, zooplancton, ácidos fúlvicos y coloides húmicos), a su vez el origen de algunas partículas es de las actividades humanas generando efluentes que interactúan en el agua como lo son virus entéricos, contaminantes químicos, cloro etc.

<b>TURBIEDAD EN AGUA CRUDA</b>				
	<b>MUESTRA INICIAL (FAU)</b>	<b>CARBÓN ÁCIDO (FAU)</b>	<b>CARBÓN FÍSICO (FAU)</b>	<b>CARBÓN ALCALINO (FAU)</b>
MUESTRA 1	3	1	3	2
MUESTRA 2	2	0.8	1	2
MUESTRA 3	3	2	1	3

Tabla 15. Turbiedad en agua cruda. Fuente [Propia]

La resolución 2115 de 2007, plantea un máximo de turbiedad de 2 Unidades Nefelométricas de turbiedad (FAU). Una alta turbidez en el agua refleja un tratamiento insuficiente o que el sedimento ha quedado nuevamente en suspensión en el sistema de distribución.

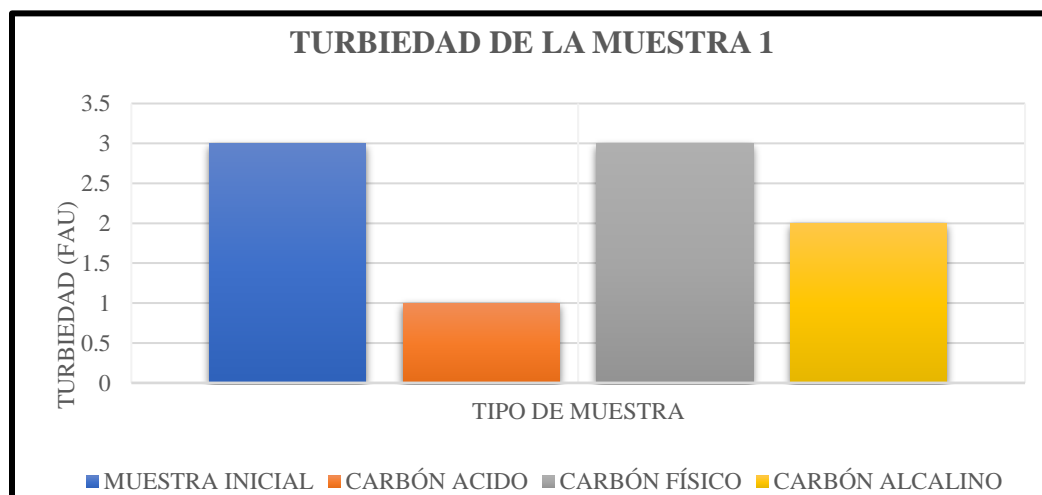


Gráfico 5. Turbiedad de muestra 1. Fuente [Propia]

La grafica 5 refleja la reducción de turbiedad en la muestra 1, el agua antes de ser sometido a la filtración se encuentra fuera de la norma con un valor de 3 FAU. Verificando los resultados, se observa que a medida que el agua pasa por cada uno de los carbonos estos retienen diferentes impurezas presentes en el agua; el carbón de

carácter físico obtiene como resultado una turbiedad de 3 FAU, es decir no presenta retención de partículas, el carbón de carácter alcalino presentar una reducción de la turbiedad a 2 FAU dejando la turbiedad dentro del valor permitido por la norma, por último, el carbón de carácter ácido resulta con un valor de 1 FAU. Se evidencia que el carbón activado que disminuye en mayor proporción es el carbón activado (Ácido), este presenta una retención aproximadamente del 66% de las partículas suspendidas presentes en el agua.

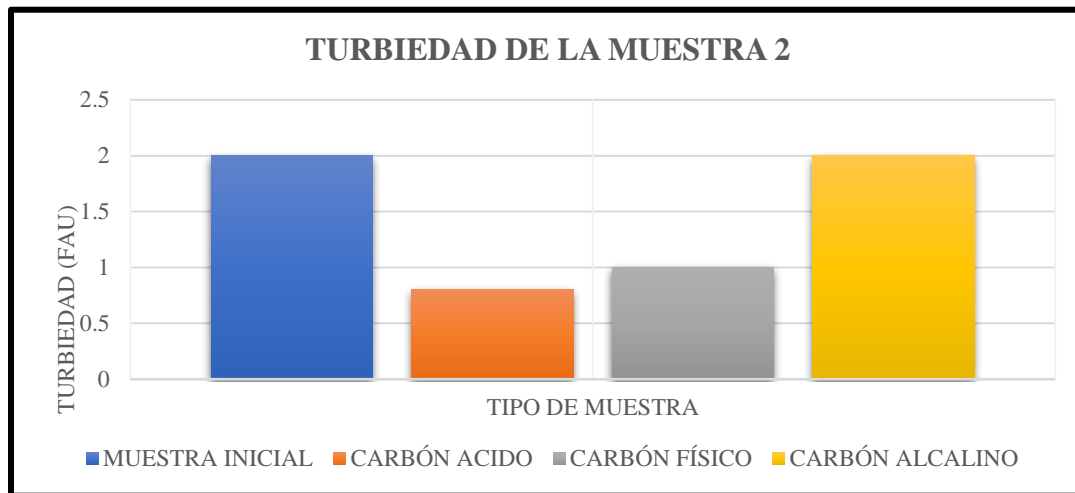


Gráfico 6. Turbiedad de muestra 2. Fuente [Propia]

La grafica 6 refleja que la muestra inicial cuenta con un valor de turbiedad en el rango máximo permitido, al pasar el agua por cada carbón se evidencia que nuevamente el carbón que más retiene turbiedad es el carbón ácido en un 40%, aunque en este caso el carbón activado (Físico), el cual en la muestra anterior no había retenido partículas contaminantes del agua, presenta un porcentaje de adsorción del 50% aproximadamente, por esto podemos concluir que el carbón activado (Físico) es apto para retener partículas contaminantes suspendidas en el agua, esto se puede deber a que los poros que se generan mediante esta activación son pequeños y para que el agua llegue hasta ellos se debe pasar un porción considerable de agua para generar saturación en el carbón activado. Cabe resaltar que después de pasar esta muestra el carbón activado aumento el porcentaje de retención de partículas suspendidas en el agua.

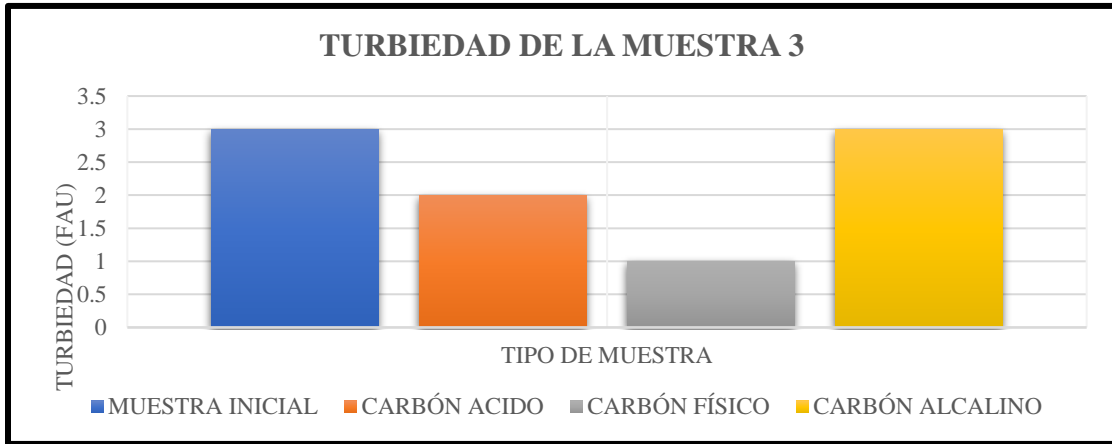


Gráfico 7. Turbiedad de muestra 3. Fuente [Propia]

En el gráfico 7 se evidencia que los carbones que presentan retención de partículas suspendidas siguen siendo el carbón de carácter físico y el carbón de carácter ácido, el carbón de carácter alcalino no presenta retención de partículas y por ende no modifica el parámetro de turbiedad, esto se debe a que los grupos básicos que se agregan al carbón activado repelen estas partículas orgánicas lo que hace que estas pasen por el carbón y no presenten retención de partículas las cuales se encargan de generar turbiedad en el agua, por consiguiente este carbón no es recomendable para la retención de agentes contaminantes.

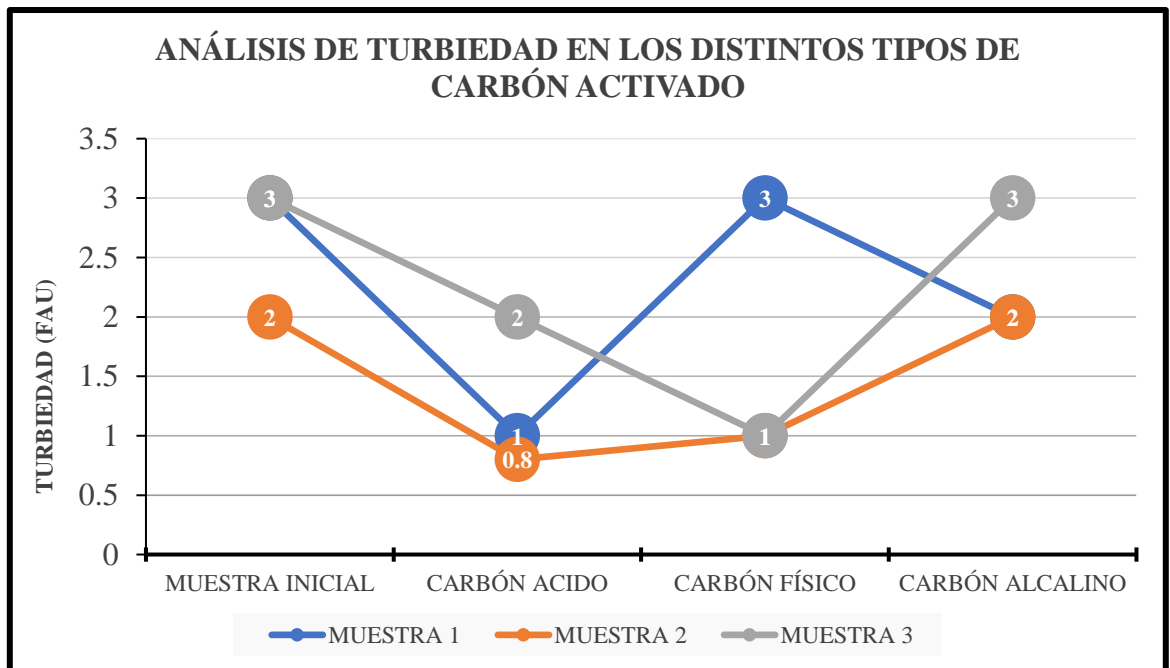


Gráfico 8. Análisis de Turbiedad en los distintos tipos de carbón activado. Fuente [Propia]

Consolidando los resultados obtenidos en la planta de tratamiento de aguas Acualcos, se puede analizar que los tres carbones son retenedores de partículas contaminantes unos en mayor proporción que otros, dependiendo esto de la activación y la cantidad y tamaño de los poros que presente el carbón. Se evidencia que el carbón que menos partículas suspendidas retiene es el carbón alcalino, por otro lado, el carbón activado que más retiene estas partículas suspendidas y disminuye el valor de turbiedad es el carbón ácido dejando la turbiedad aproximadamente en 1 FAU, un valor que se encuentra dentro de la norma haciendo el agua apta para el consumo humano.

- La resolución 2115 de 2007 establece un rango comprendido entre 6.5-9.0 el valor apto para el consumo del potencial de hidrogeno pH en muestras de agua potable.

pH EN AGUA TRATADA				
	MUESTRA INICIAL	CARBÓN ÁCIDO	CARBÓN FÍSICO	CARBÓN ALCALINO
MUESTRA 1	7.6	6.9	9.2	10.3
MUESTRA 2	6.9	6.5	8.0	9.6
MUESTRA 3	6.4	6.6	8.0	8.9

Tabla 13. pH en agua tratada. Fuente. [Propia]

Mediante los análisis obtenidos de las muestras de agua potable una vez pasada por los tipos de carbones activados fabricados de la cascara de mangostino se observa que los pH presentan algunas variaciones respecto al valor obtenido de la muestra inicial de agua potable en los análisis realizados en la PTAP Acualcos.

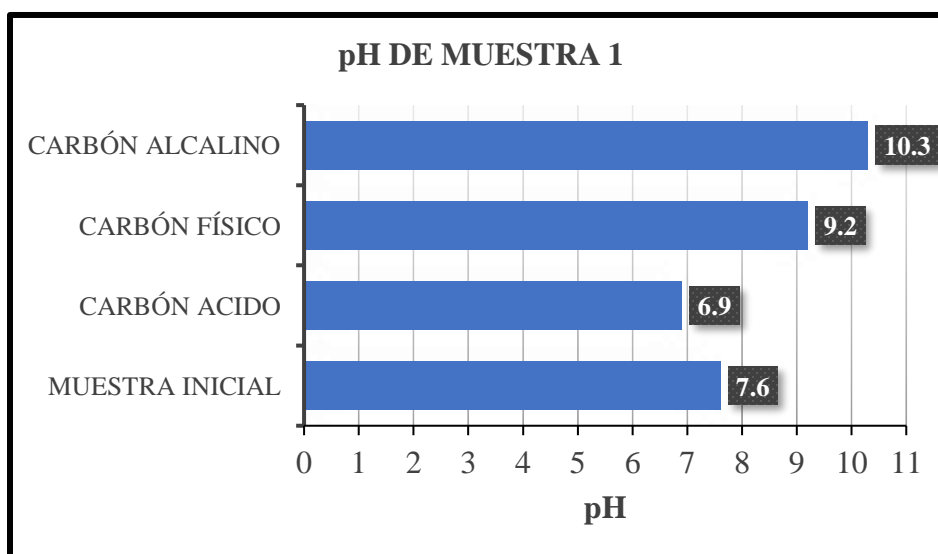


Gráfico 9. pH de la muestra 1. Fuente [Propia]

El valor inicial de pH analizado para la muestra 1 en la gráfica 9 arroja un valor de 7.6. En el proceso de filtración de dicha muestra de agua por los distintos tipos de carbones fabricados algunos de los valores empiezan a presentar un incremento respecto a su valor inicial; el carbón activado mediante agente químico NaOH presenta un valor de pH de 10.3 y el carbón activado mediante CO<sub>2</sub> obtuvo un valor pH de 9.2; sin embargo el carbón activado mediante agente químico H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> tuvo una variación mínima en este valor, presenta un resultado de 6.9 considerándolo apto según la norma 2115 de 2007.

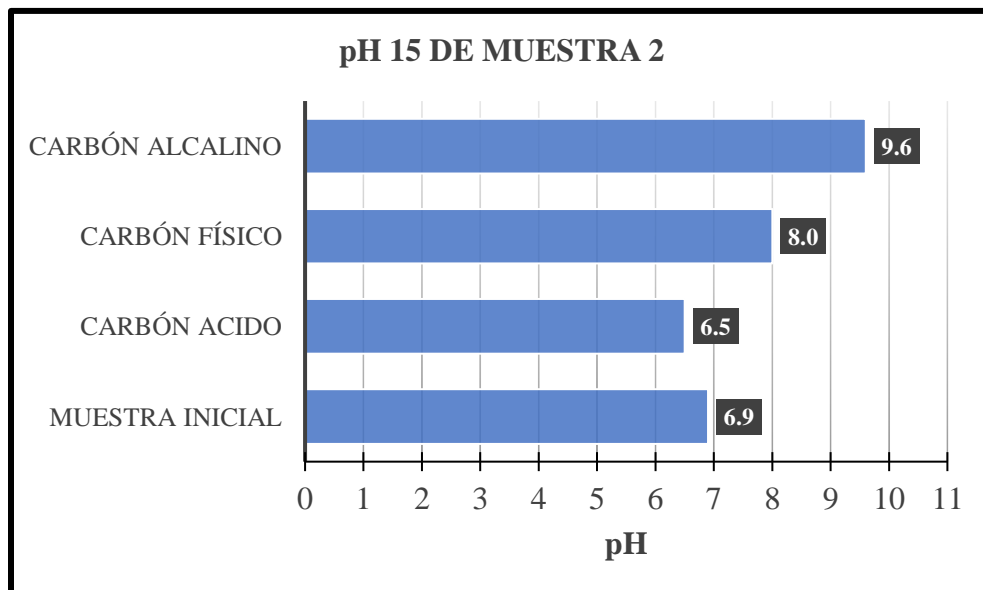


Gráfico 10. pH de la muestra 2. Fuente [Propia]

En la muestra inicial de agua potable obtenida para la muestra 2 en la gráfica 10, el valor inicial de pH de 6.9, la cual se encuentra en el rango de la norma 2115 de 2007. Los valores obtenidos para los carbones de activación alcalina, física y ácida fueron de valores de pH de 9.6, 8.0, y 6.5; Los valores de pH de los dos carbones iniciales aunque presentaron valores elevados en los análisis posteriores a la filtración de la muestra, evidencia que el carbón ya presenta una saturación mínima en tanto que estos valores presentaron una considerable disminución respecto al análisis de la muestra 1. Por otra parte el carbón con activación por agente de componente ácido mostró una variación muy pequeña respecto a la muestra inicial, confirmando que puede ser utilizado como el carbón ideal para el tratamiento final de agua potable en la PTAP Aqualcos.

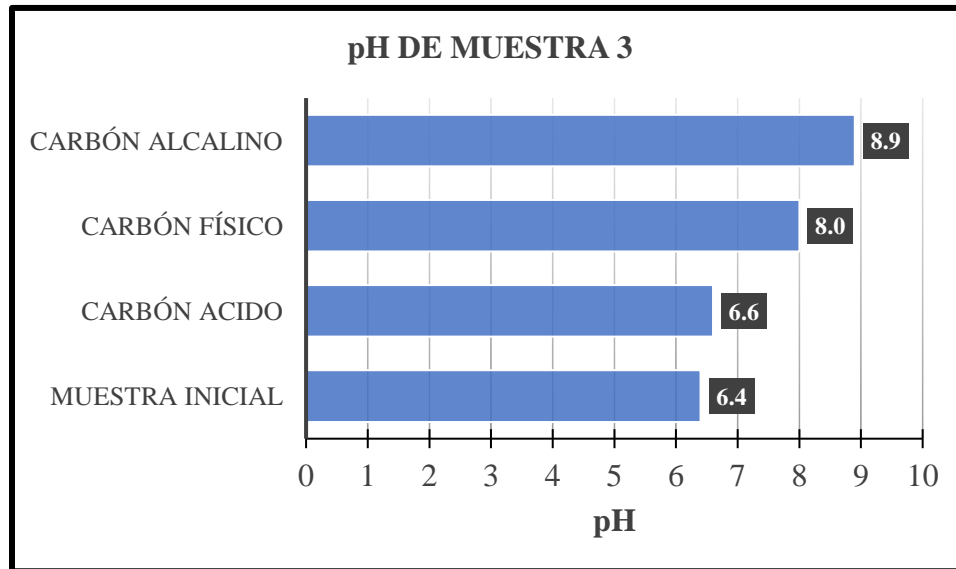


Gráfico 11. pH de la muestra 3. Fuente [Propia]

Finalmente, para la muestra inicial de agua potable de la muestra 3 en la gráfica 11, obtuvo un valor inicial pH de 6.4, este valor se encuentra dentro de los rangos permitidos de pH según la resolución 2115 de 2007, al igual que los valores obtenidos de las muestras iniciales 1 y 2, esto nos indica que el agua proveniente de esta planta es de buena calidad respecto a el pH. Los valores finales de pH de los carbones de activación alcalina, física y ácida presentados en la gráfica 11 fueron de: 8.9, 8.0 y 6.6; Finalmente todos los carbones presentaron valores de pH que se adaptan de acuerdo a la norma 2115, sin embargo es de aclarar que el pH que presento una mayor estabilidad respecto a los demás es el carbón con activación ácida, el cual no tuvo una gran variación de este parámetro en los días que se analizó la muestra de agua.

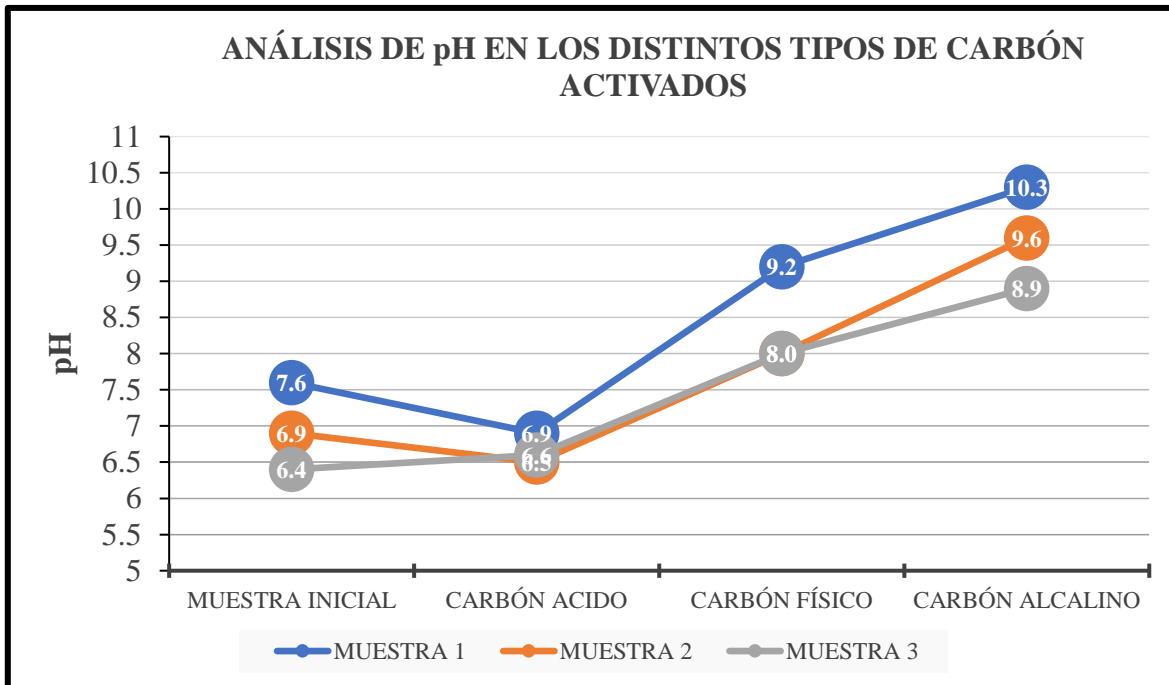


Gráfico 12. Análisis de pH en los distintos tipos de carbón activado. Fuente[Propia]

Según Bansal, 1998, “en el caso de un carbón que se activa con ácido fosfórico, el producto que sale del proceso de fabricación tiene fosfatos que al disolverse en agua se convierte en ácidos y por tanto disminuye el pH” ; En otro ejemplo el carbón que es activado sin la intervención de reactivos químicos, y contiene otros tipos de compuestos, al disolverse en agua, forman hidróxidos que aumentan el pH en la misma; es de deducir que el comportamiento de los carbones respecto al pH es variable a medida que se van filtrando muestras de agua en cada uno de ellos, como se observó en la gráfica 12, los valores de este parámetro para los tipos de carbones de activación física y alcalina presentan un valor alto en esta característica con la primera muestra que se filtra por estos materiales mientras que el carbón ácido trata de mantener un pH estable respecto a los otros dos; Reinoso, 2003 menciona que cuando el pH de un carbón es diferente al de la muestra acuosa a tratar, solo se modifica este parámetro en los primeros litros tratados. Como se observa en la gráfica 12 las muestras posteriores de agua los carbones activados estabilizan este parámetro, aunque con la saturación del área superficial de estos materiales cada vez que se filtra más agua, pierden efectividad respecto a la adsorción las demás características; un ejemplo claro es el porcentaje de retención de  $Al^{3+}$  que a medidas

que se filtra agua por este material este porcentaje tiende a disminuir, llevando el material a un agotamiento por lo cual se debe tener una reactivación por los diferentes métodos para volver a ser utilizado y comprobar su efectividad una vez ejecutado este proceso.

Una de las alternativas finales es manejar los distintos tipos de carbones con los pH que se estabilizaron mediante el lavado con agua destilada y una vez pasada las muestras de aguas por este filtro, agregar algún compuesto que disminuya los rangos altos de alcalinidad de esta característica y conserven su rango de parámetro de acuerdo a la norma de abastecimiento de calidad de agua; En este caso aplica para los carbones con activaciones físicas y mediante el agente alcalino.

✚ Cuando el carbón entra en contacto con el cloro libre, se llevan a cabo diferentes reacciones que poco a poco van ocupando espacios presentes en el filtro de carbón activado. El cloro se acumula en la superficie del carbón durante los primeros instantes de la operación, al continuar la llegada de las partículas de cloro a la superficie del carbón, la retención se hace un poco más lenta y tiende a la saturación de este. Cabe aclarar que al mismo tiempo que el carbón activado actúa como declorador, adsorbe otras impurezas en el agua, pero su capacidad de adsorción de otras moléculas puede finalizar antes que su capacidad de declorar.

<b>CLORO LIBRE EN AGUA TRATADA</b>				
	<b>MUESTRA INICIAL</b>	<b>CARBÓN ÁCIDO</b>	<b>CARBÓN FÍSICO</b>	<b>CARBÓN ALCALINO</b>
MUESTRA 1	0.95	0.28	0.17	0.3
MUESTRA 2	0.53	0.05	0.51	0.13
MUESTRA 3	0.46	0.21	0.2	0.01

*Tabla 16. Cloro Libre en agua tratada. Fuente [Propia]*

En los laboratorios realizados se presentó una reducción del cloro libre de aproximadamente el 60% como se observa en la tabla 16, aunque el cloro de las muestras analizadas se encuentra dentro del rango aceptable, se demuestra que el carbón activado además de retener diferentes impurezas del agua y mejorar las propiedades organolépticas también ayuda a remover el cloro que el agua pueda contener.

- El IRCA es el índice de riesgo de calidad del agua, como el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para el consumo humanos, la resolución 2115 de 2007 de los ministerios de protección social y de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano.

Con el valor del IRCA se establece el nivel de riesgo de la calidad del agua con la siguiente escala mostrada en la siguiente tabla:

Niveles de Riesgo	IRCA
Sin Riesgo	0 - 5
Riesgo Bajo	5,1 - 14
Riesgo Medio	14,1 - 35
Riesgo Alto	35,1 - 80
Inviabile Sanitariamente	80,1 - 100

Tabla 17. Nivel de riesgo para IRCA según resultados [50]

Así se define el riesgo según los resultados obtenidos ya sean por cada muestra o mensualmente según se requiera para el control de calidad del agua para el consumo humano. A continuación, se calcula el IRCA para los análisis realizados en la PTAP ACUALCOS, así:

IRCA por muestra

$$\text{IRCA}(\%) = \frac{\sum \text{Puntaje de riesgo asignado a las características no aceptable}}{\sum \text{Puntaje de riesgo asignado a las características analizadas}} * 10$$

## DATOS:

En la PTAP Acualcos se realizaron varias visitas para recolectar muestras de agua y someterlas a diferentes análisis fisicoquímicos y de esta manera poder clasificarla en el IRCA (Índice de riesgo de calidad de agua), estas muestras no han sido sometidas a proceso de filtración en carbón activado a partir de cascara de mangostino, pues se pretende evaluar el estado actual del agua que genera la PTAP.

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS															
Parámetro	MUESTRA A			MUESTRA B		MUESTRA C		MUESTRA D		MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3	
Tipo de Agua	Bocatoma	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada
pH	5.9	5.3	6.6	6.4	7.3	6.2	7.5	6.4	8.2	6.2	7.6	6.5	6.9	6.4	6.4
Conductividad (µS/cm)	20	50	40	20	30	40	30	0	30	0	30	0	20	20	30
Sólidos Disueltos (ppm)	0.1	0.2	0.2	10	0.1	0.2	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0
Temperatura (°C)	14	13	14	12	11	12	12	13	12	11	11	13	13	15	15
Turbiedad (FAU)	> 100	4	< -1	3	1	3	< 1	5	3	3	< 1	2	< 1	3	< 1
Color Verdadero (HZ)	500	16.2	< 0.2	8.1	0.2	6.1	< 0.2	16	1	5.5	< 0.2	3.2	< 0.2	4.5	< 0.2
Aluminio (mg/L)	0.4	0.58	0.8	< 0.1	0.42	< 0.1	0.23	< 0.1	0.21	< 0.1	0.4	< 0.1	0.35	< 0.1	0.14
Cloro Libre (mg/L)	0.03	0.09	0.05	0.09	0.88	0.13	0.84	0.04	0.9	0.06	0.95	0.18	0.53	0	0.46
<b>IRCA</b>			<b>7%</b>		<b>7%</b>		<b>7%</b>		<b>7%</b>		<b>7%</b>		<b>7%</b>		<b>0%</b>

Tabla 18. Parámetros fisicoquímicos de muestras tomadas en la PTAP Acualcos. Fuente [Propia]

Como se presenta en la tabla 18 en la mayoría de muestras se evidencia un valor superior a la norma en el remanente de Aluminio (Al<sup>3+</sup>), el índice de riesgo de calidad de agua se presenta en un 7% debido a la presencia de Al<sup>3+</sup> en el agua, aunque se encuentra en un riesgo bajo según los índices establecidos por el IRCA es importante disminuir al índice de sin riesgo pues de esta manera la población no se verá expuesta a ninguna enfermedad por el consumo del líquido. Tal y como se evidencia en la muestra 3 cuando el Aluminio se encuentra dentro del valor establecido por la norma y el riesgo es igual a cero, así mismo se pretende que todas las muestras se encuentren dentro de ese valor con la ayuda del carbón activado a partir de cascara de mangostino.

## 17. CONCLUSIONES

- El mangostino es un material lignocelulósico versátil para la fabricación de carbón activado ya que el fruto está compuesto alrededor en un 70% de cascara y tan solo el 30% fruto, lo cual genera un mayor rendimiento en la producción de carbón.
- Una ventaja que ofrecen los carbones activados obtenidos de materiales orgánicos, con relación a los obtenidos de materiales inorgánicos, es que el porcentaje de cenizas es menor.
- El carbón activado fabricado a partir de la cascara de mangostino según los resultados obtenidos, es apto para la retención de aluminio en agua potable, eliminando más del 50% de sustancias con alto peso molecular que afectan la calidad del agua y por ende la salud de la población que la consume.
- Es de suma importancia que las plantas de tratamiento implementen sistemas para la retención de metales pesados, ya que su consumo provoca afectaciones en la salud de la población que la consume como: Alzheimer, enfermedades renales, cerebrales y en los huesos.
- De acuerdo a las pruebas realizadas en la PTAP de Aqualco y en la Universidad Piloto de Colombia, se concluye que el carbón que tuvo un mejor comportamiento en la retención de compuestos como el Aluminio y demás fue el carbón activado por medio de  $H_3PO_4$  (Ácido fosfórico) con un porcentaje de retención inicialmente de más del 60%.
- Otra característica del carbón activado fabricado es que se evidencia que no solo retiene aluminio sino otros componentes como el cloro libre residual, turbiedad y color.
- Se realizó el proceso de activación de tres carbones ácido, físico y alcalino, con el fin de observar los comportamientos frente a los parámetros fisicoquímicos, los agentes usados se encuentran en: las sustancias ácidas se encuentran en rango de pH de 4,0 a 6,0 y las básicas en rango de 7,0 a 10,0.
- El carbón activado cuenta con la capacidad para lograr estados de equilibrio de modo que, la concentración de los compuestos adsorbibles en el agua llegue a niveles aptos para el consumo humano. Todo esto, asociado al hecho de que las fuentes de

abastecimiento de agua potable normalmente tienen partículas contaminantes, hace del carbón activado la mejor alternativa técnica y económica para el proceso de potabilización.

- De acuerdo a las condiciones climáticas del sector, particularmente en época invernal, se presenta afectación en las propiedades fisicoquímicas del agua alterando características como la turbiedad, en estas condiciones la planta de tratamiento adiciona una mayor concentración de sulfato de aluminio, eliminando de forma instantánea la turbiedad, pero, dejando remanentes en el agua  $Al^{3+}$ .
- El carbón activado a partir de la cascara de mangostino comparado con un carbón industrial presenta un menor desperdicio y contaminación en el proceso de fabricación ya que el mangostino está clasificado como un compuesto orgánico, el cual se descompone en condiciones atmosféricas.
- Debido al gran éxito del mercado del carbón activado resulta conveniente estudiar las posibilidades de expansión en la utilidad y la producción del carbón activado a base del desecho (cascara) de mangostino.
- El área superficial del carbón ácido es mayor que los otros ya que tiene más porosidad y adsorción debido al compuesto con el cual fue impregnado para su activación.

## **18. RECOMENDACIONES**

- Una de las alternativas finales es manejar los distintos tipos de carbones con los pH que se estabilizaron mediante el lavado con agua destilada, si se desea usar los carbones mediante activación física y mediante la activación con el compuesto alcalino, se recomienda que la PTAP Acualcos implemente un sistema de dosificación de ácido ya que el carbón activado fabricado según resultados anteriores genera un aumento en el pH y es necesario un tratamiento posterior a la filtración.
- Medir los parámetros fisicoquímicos de forma inmediata a la recolección del agua para analizar, ya que algunos parámetros cambian con el tiempo como el cloro.
- Para el proceso de carbonización se recomienda que el horno piro tubular horizontal marca Carboline cuente con un sistema tres trampas de ácido, soda y agua que se encargan de evitar la salida de los gases contaminantes a la atmósfera.

- Implementar un sistema de lavado que permita la optimización de tiempo y la rápida estabilización del pH del carbón activado.
- Eliminar el exceso de agua en la cascara de mangostino para evitar su descomposición temprana y poder preservarla durante un mayor tiempo mediante un secado a 60°C en una estufa durante 24 horas.
- Mejorar el inventario de algunas herramientas para el estudio de los componentes fisicoquímicos del agua en el laboratorio de Acualcos.
- Dentro de la amplitud de este proyecto se dejan bases para futuros trabajos de investigación que ayudan a un complemento del mismo como el diseño de filtros de carbón activado en base de cascara de mangostino.
- Se recomienda la utilización de un filtro de carbón activado a partir de cascara de mangostino para la retención de metales pesados y así cumplir con los rangos máximos aceptables establecidos en la resolución 2115 de 2007.

## 19. REFERENCIAS

- [1]. Red de desarrollo sostenible, (Octubre, 2014); El 50% de agua en Colombia es de mala calidad; Bogotá Colombia, Recuperado de <https://rds.org.co/es/novedades/el-50-del-agua-en-colombia-es-de-mala-calidad>
- [2]. Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. PRIMER APÉNDICE A LA TERCERA EDICIÓN, Volumen 1. p.197
- [3]. Alcaldía Mayor de Bogotá, (mayo, 2019) MAPA DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO, SECRETARÍA DISTRITAL DE SALUD.
- [4]. Instituto Geográfico Agustín Codazzi ,1996 en Romero, 2005, recuperado de: [https://ciaf.igac.gov.co/sites/ciaf.igac.gov.co/files/revista\\_analisis\\_geograficos\\_n54\\_compressed.pdf](https://ciaf.igac.gov.co/sites/ciaf.igac.gov.co/files/revista_analisis_geograficos_n54_compressed.pdf)
- [5]. Acualcos, Asociación de servicio de acueducto comunitario San Luis, San Isidro I y II y la Sureña, por secretaria Distrital de Salud (2015).
- [6]. Ramírez, Mesa, García, & Valero, “Así se vive en los cerros” 2015, Bogotá Humana, pág. 58

- [7]. CERVANTES-ZEPEDA, A.I. et al. Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tratada en un reactor UASB escala piloto. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-27382011000100008&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382011000100008&lng=es&nrm=iso). ISSN 1665-2738.
- [8]. POT, Bogotá, “UPZ 89 San Isidro Patios”, Plan de ordenamiento territorial, 2019
- [9]. Andersen H.C (4 de septiembre, 2017). Chapinero también es rural. Recuperado de: <http://revistaelretiro.com/historias/chapinero-tambien-es-rural>.
- [10]. IDECA, “Mapa de referencia Bogotá”, Recuperado de: <https://www.ideca.gov.co/recursos/mapas/mapa-de-referencia-para-bogota-dc>
- [11]. Secretaria Distrital de Planeación, 2017 “Encuesta Multipropósito de Bogotá 2017”, Recuperado de: [http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/encuesta\\_multiproposito\\_2017\\_-\\_principales\\_resultados\\_bogota\\_region.pdf](http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/encuesta_multiproposito_2017_-_principales_resultados_bogota_region.pdf)
- [12]. Centro comunitario en el barrio san isidro-Unipiloto 2015, p.18
- [13]. Resolución 2115 de 2007. “Ministerio de la protección social ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial”, Republica de Colombia, 22 de Junio de 2007
- [14]. Periódico de Chía, 2019 “Se estudia la construcción de 38 plantas de tratamiento”, Sabana centro.
- [15]. Lectura de realidades-Territorio Social San Isidro Patios. Recuperado de: [http://old.integracionsocial.gov.co/anexos/documentos/1\\_entidad/gsi/2\\_chapinero\\_1\\_ectura\\_de\\_realidades\\_san\\_isidro.pdf](http://old.integracionsocial.gov.co/anexos/documentos/1_entidad/gsi/2_chapinero_1_ectura_de_realidades_san_isidro.pdf).
- [16]. Básico, 2000, págs. 16, Título A, 11.2
- [17]. Bojacá R. D. P.(2005). PSO DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD POR POTENCIOMETRIA.01.Pag 1-8. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Alcalinidad+total+en+agua+por+electrometr%C3%ADa..pdf/dd9a3610-8ff7-49bc-97eb-5306362466df>
- [18]. Severiche Sierra C. A. (2013). Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas. Cartagena de indias, Colombia. Recuperado de:<http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/acidez-agua.html>.
- [19]. Olarte Hernández J.A. (2012). *Diagnóstico y propuesta de mejora del acueducto*

*comunitario del barrio San Luis Altos del cabo, en la localidad de Chapinero (tesis de grado). Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, Colombia. p.64.*

[20]. SUI – RUPS (<http://www.sui.gov.co>)

[21]. Autoridad de licencias ambientales ANLA, Resolución 0324 de marzo 27 de 2017, Republica de Colombia, 17 de Marzo de 2015.

[22]. Martínez de Yuso Ariza A.(2012). EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES-SUPERINTENDENCIA DELEGADA PARA ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO. Bogotá, Colombia.

[23]. Salim, Y.W. **Chin** and A.D. **Kinghorn**, (2008), Drugs Discovery from. Plants. Ramawat K.G, Merillon Jm (eds), In Bioactive Molecules and Medicinal.

[24].Alcaldía de San Sebastián de Mariquita-Tolima, 2012). Según la Asociación Hortifrutícola de Colombia (2009

[25]. Medina Godoy D.G. (2017). Planteamiento De Estrategias Para El Aprovechamiento Integral Del Fruto Del Mangostán A Partir De Su Caracterización Físicoquímica. Universidad Industrial De Santander. Barranquilla, Colombia.

[26]. Ramírez Benavides D. (2016), Potencialidad de exportación de mangostino liofilizado con destino al mercado farmacéutico de la eurozona (tesis de grado), Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. Pag.8.

[27]. InfoAgro (2015), El cultivo de Mangostán, Recuperado de: [http://dewww.infoagro.com/documentos/el\\_cultivo\\_del\\_mangostan.asp](http://dewww.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_mangostan.asp).

[28]. El cultivo del Mangostán, AGRI-NOVA Science.

[29]. Jaramillo y Zapata, (2008); APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN COLOMBIA. UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.

[30]. Revista Mexicana de Ingeniero Química, (febrero, 2010) “Optimización de la producción de carbón activado a partir de bambú”, Instituto tecnológico de Orizaba.

[31]. J. A. Menéndez-Díaz and I. Martín-Gullón, “Chapter 1 Types of carbon adsorbents and their production,” in Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation, vol. 7, no. 4, T. J. B. B. T.-I. S. and Technology, Ed. Elsevier, 2006, pp. 1–47.

[32]. González Daniela (2017), Desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico (Tesis de grado),

Universidad de Chile, Santiago de Chile.

[33]. Giraldo, L. y Moreno, J.C., Determinación de la entalpía de inmersión de carbón activado en soluciones acuosas de fenol y su relación con la capacidad de adsorción. *Revista Colombiana de Química*, 32(1) (2003) 45-54.

[34]. Luna D., González A., Gordon M. & Martin N. (16 febrero 2007), Obtención de carbón activado a partir de la cascara de coco, México.

[35]. La historia de las máscaras de gas, su origen y evolución (2008). Recuperado de: <https://www.anfrix.com/2008/12/la-gente-el-gas-las-plagas-y-las-mascaras/>.

[36]. HISTORIA CARBÓN ACTIVADO (15 de febrero, 2008). Recuperado de: [http://carboquimica.blogspot.com/2008/02/historia\\_15.html](http://carboquimica.blogspot.com/2008/02/historia_15.html).

[37]. López, Balencia J.P (2014). Desarrollo de un carbón activado granular mediante activación física en un horno rotatorio. Universidad Nacional de Colombia.

[38]. Master en ingeniería del agua. E. U POLITÉCNICA U. SEVILLA. Recuperado de: <http://www.aguapedia.net>.

[39] Consejo Local de gestión del Riesgo y Cambio Climático, LOCALIDAD No. 2 CHAPINERO- Febrero 2018 Pág. 7.

[40]. Moreno-Castilla, 2004; Nevskaia et. al., 2004; Mozia et. al., 2005.

[41]. Ures, Suárez y Jácome, 2015, “Integrated management of water resources in urban water system” , Universidad de Coruña, Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4820619>

[42]. POROS DE CARBON ACTIVADO- ING. JEROEN CALLEWAERT 13 ENERO DE 2014 Recuperado de : <https://www.desotec.com/es/carbonologia/casos/poros-de-carb-n-activado>.

[43]. PILAR GABY CARACELA YUCRA-“EFECTO DEL CARBÓN ACTIVADO DE LENTEJA DE AGUA (Lemna sp.) EN LA REMOCIÓN DE CLORO RESIDUAL DEL AGUA EN LA INDUSTRIA DE BEBIDAS” Pag. 22.

[44]. Micro 4 LS – Carbón activado granular de concha de coco libre de solubles. Recuperado de: <https://www.carbotecnica.info/producto/carbon-activado-cascara-de-coco-sin-cenizas/>

[45]. Filtros de carbón activado –AQUAPROF. Recuperado de: <https://www.aquaprof.es/info/osmosis/mantenimiento/filtros/carbon-activado/>

[46]. Figueiredo, J. L., M. F. R., Pereira, M. M. A., Freitas, y J. J. M., Orfao. Modification of the surface chemistry of activated carbons. *Carbon* 37(9) (1999) 1379-1389.

[47].GLOBAL SOURCES Recuperado de: <https://spanish.globalsources.com/gsol/I/Active-lime/p/sm/1159483022.htm>.

[48]. Carlos Zalazar-Oliva- Modelación matemática del proceso de activación de carbón vegetal en horno cilíndrico rotatorio, Vol. 32, Issue 2.

[49]. Alicia Martínez de Yuso Ariza (2012). DESARROLLO DE CARBONES ACTIVADOS A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS PARA LA ADSORCIÓN Y RECUPERACIÓN DE TOLUENO Y N-HEXANO. Recuperado de:[http://digital.csic.es/bitstream/10261/74991/1/Tesis%20Martinez%20de%20Yuso\\_A\\_repositorio%20CSIC.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/74991/1/Tesis%20Martinez%20de%20Yuso_A_repositorio%20CSIC.pdf).

[50]. Boletín de vigilancia de la calidad del agua para el consumo humano, Instituto nacional de salud 2018.

## 20. BIBLIOGRAFÍA

- Bansal R, C., Donnet, J. B., & Stoeckli, F. (1998). Active Carbon. New York: Marcel Dekker.Canales Gutierrez.
- Reinoso, F. (2005). “Carbón activado: estructura, preparación y aplicaciones”.
- Gonzales, M., Sicial, P., Rodriguez, J., & Perez Peña, J. (2013). Preparación de carbones activados a partir de hojas de platanera mediante activación química.
- Medina Godoy D.G. (2017). Planteamiento De Estrategias Para El Aprovechamiento Integral Del Fruto Del Mangostán A Partir De Su Caracterización Físicoquímica. Universidad Industrial De Santander. Barranquilla, Colombia.
- Álvarez Villanueva D.M. (2019). Producción de carbón activado a partir de cuesco de palma de aceite para la remoción de paraquat en solución acuosa. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Batidas M. (septiembre 02, 2009). Producción de Carbón Activado a partir de Precursores Carbonosos del Departamento del Cesar, Colombia.
- García López R.A & Granillo Oporta Y.A (Abril, 2017). EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES OPERACIONALES EN EL PROCESO DE PREPARACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARA DE NARANJA VALENCIA (Citrus Sinensis Linn Osbeck), LABORATORIOS DE QUÍMICA UNAN-MANAGUA, II SEMESTRE 2016.

- Bravo Moreira K.I & Garzon Moreno A.R (Junio 2017), EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO PROCEDENTE DEL RESIDUO AGROINDUSTRIAL DE COCO (Cocos nucifera) PARA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUA. Calceta.
- Garcia Baron M.C, (24 de septiembre de 2015), CONSTRUCCIONES DE SENTIDO ALREDEDOR DE PRÁCTICAS DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN LÍDERES COMUNITARIOS DE LA ORGANIZACIÓN MESA AMBIENTAL DE CERROS ORIENTALES DE BOGOTÁ. Bogota, Colombia.
- Olarte Hernández J.A. (2012). *Diagnóstico y propuesta de mejora del acueducto comunitario del barrio San Luis Altos del cabo, en la localidad de Chapinero (tesis de grado)*. Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, Colombia. p.64.
- Caracela Yucra P.G. (2017). EFECTO DEL CARBÓN ACTIVADO DE LENTEJA DE AGUA (Lemna sp.) EN LA REMOCIÓN DE CLORO RESIDUAL DEL AGUA EN LA INDUSTRIA DE BEBIDAS. PUNO-PERU.
- Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza. (2019). Efecto del carbón activado, obtenido experimentalmente a partir de cáscara de café (Coffea Arábica L.), en la adsorción de metales pesados, en aguas del acuífero del distrito de Yantaló, Moyobamba. Peru Moyobamba.
- Reyes Aguilar L.S. (Octubre, 2014). Efecto de procesamiento sobre la estabilidad de polifenoles en extracto de mango (Mangifera indica L.). Honduras.
- Pilamonta Mañay J.V. (2013). MEJORAMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO CONTAMINADO EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE. Quito, Ecuador.
- Solis Fuentes J.A. & Morales Tellez M.(2012). Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña. Monterrey, México.
- Canales Flores R.A. (Agosto de 2018).Obtención y Caracterización de Carbones Activados a Partir de Residuos Agroindustriales. Hidalgo, México.

- Bernal Martínez L.(2010). TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL POR UN SISTEMA FISICOQUÍMICO Y OXIDACIÓN QUÍMICA EN FLUJO CONTINUO.La Serena, Chile.
- Prias Barragan J.J.(2011). IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES ÓPTIMAS PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DEL PRECURSOR GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH. Colombia.