



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

ESCUELA DE POSGRADO

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**Uso del Carbón Activado Obtenido a Partir de la Cascara de
Zapallo (*cucurbitasp.*) en la remoción de cloro total y libre en agua
potable de la Ciudad de Tumbes**

TESIS

**Para Optar el grado académico de maestro en Ciencias con
mención en Gestión Ambiental**

Autor: José Antonio Silva Chávez

TUMBES PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

ESCUELA DE POSTGRADO

**TESIS PARA OBTAR EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**Uso del carbón activado obtenido a partir de la cascara de
Zapallo (*Cucurbitasp.*) en la remoción de Cloro total y libre en
Agua Potable de la ciudad de Tumbes**

Autor, Br. José Antonio Silva Chávez

TUMBES PERÚ

2018

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, José Antonio Silva Chávez, “declaro que los resultados obtenidos en la presente investigación son productos de mi investigación personal con el aporte de terceras personas, en cuanto al análisis y conceptualización.”, “Asimismo, declaro que no existe publicación previa, parcial ni total, así como escrito sin referenciación de citas cuyo objetivo es la ampliación, ilustración o comparación. Afirmo que la información presentada sin citar a terceros, corresponde a mi autoría.” Declaro, finalmente, que la redacción de esta tesis es producto de mi trabajo con el apoyo de la directora de tesis y el jurado dictaminador correspondiente, en torno a la conceptualización y forma de presentación escrita.

José Antonio Silva Chávez

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a mi amada esposa Akemy y a mi hija María de los Ángeles, por ser la inspiración que Dios me dio en la vida.

También quiero dedicarles a mis Padres, Manuel y Victoria, este trabajo, porque ellos forjaron en mi sus almas y sus vidas, como herramientas de lucha, respeto, honestidad y sobre todo obediencia a Dios.

AGRADECIMIENTO

A DIOS, por ofrecerme la oportunidad de continuar en este mundo, y por qué es quien nos permite lograr los objetivos de mi vida y seguir creciendo como persona, padre, amigo, hermano y colega.

A MI FAMILIA, por ser el centro motor de mi motivación porque gracias a su amor y comprensión, he logrado superar esta lucha constante.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES por ser el centro de labores donde desarrollé la tesis, así como el apoyo incondicional de mis colegas.

Al Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

RESPONSABLES

Ing. JOSÉ ANTONIO SILVA CHÁVEZ

EJECUTOR

Dr. GERARDO JUAN FRANCISCO CRUZ CERRO

ASESOR

JURADO DICTAMINADOR

Dr. CARLOS ALBERTO CÁNEPA LA COTERA

PRESIDENTE

Dr. DAVID EDILBERTO SALDARRIAGA YACILA

MIEMBRO

Msc. CLEVER ANTONIO ALEMÁN GONZALES

MIEMBRO

INDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Situación problemática	15
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Justificación e importancia del problema	18
1.4. Hipótesis de trabajo.	19
1.5. Objetivos de la investigación.	19
2. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA.....	20
2.1. Antecedentes	20
2.2. Bases teóricas Científicas.....	25
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	28
3.1. Tipo de estudio	28
3.2. Población y muestra.....	28
3.3. Material y método de investigación	29
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
5. CONCLUSIONES	56
6. RECOMENDACIONES.....	57
7. BIBLIOGRAFÍA.....	58
8. ANEXOS.....	61

INDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1	Cloro y compuestos de cloro	26
Tabla 2	Coodenadas para tomar muestra de agua potable	28
Tabla 3	Propiedades textuales del carbónactivado obtenido de cascara de Zapayo	38
Tabla 4	Evaluación de cinética de adsorción de cloro libre de carbón.	46
Tabla 5	Evaluación de la cinética de absorción de cloro total por el carbón	47
Tabla 6	Modelo de difusión Intraparticular para la adsorción de Cloro Libre en las diferentes fases de adsorción	51
Tabla 7	Modelo de difusión intraparticular para la adsorción del cloro total en las diferentes fases	54
Tabla 8	Eficiencia de remoción de cloro libre por el carbon activo de cascara de zapallo	55
Tabla 9	Eficiencia de remoción de cloro total por el carbón activado de cascara de zapálo	56

INDICE DE IMÁGENES

		Página
Imagen 1	Preparación de la Cascará de zapallo (<i>Cucurbitassp</i>)	29
Imagen 2	Proceso de secado de la cascara de zapallo (<i>Cucurbitasp</i>)	30
Imagen 3	Molienda de la Cascará seca de zapallo (<i>cucurbitasp</i>)	30
Imagen 4	Tamizado de la cascara de zapallo (<i>Curcurbitasp</i>) molidad	31
Imagen 5	Pruebas de Adsorción de Carbón activado	35

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Diagrama de flujo de producción de carbón activado utilizando $ZnCl_2$ como agente químico de activación (Cruz	32

Figura 2	Fotografía de microscopía electrónica de la materia prima (cascara de zapallo).	36
Figura 3	Isoterma de adsorción de nitrógeno (-77 °C) del carbón activado obtenido de cascara de zapallo.	37
Figura 4	Fotografía de microscopía electrónica del carbón activado producido a partir de la cascara de zapallo.	39
Figura 5	Análisis de EDS de la muestra de carbón activado, producido de cascara de zapallo.	40
Figura 6	Cantidad de cloro libre adsorbido (mg/g) en las diferentes muestras de agua potable. Dosis de carbón activado de	42
Figura 7	Cantidad de cloro libre adsorbido (mg/g) en las diferentes muestras de agua potable. Dosis de carbón activado de cascara de zapallo 1,5 g/l.	43
Figura 8	Cantidad de cloro libre adsorbido (mg/g) en las diferentes muestras de agua potable. Dosis de carbón activado de cascara de zapallo 2,0 g/l.	44
Figura 9	Cantidad de cloro total adsorbido (mg/g) en las diferentes muestras de agua potable. Dosis de carbón activado decascara de zapallo 0,5 g/l.	45
Figura 10	Cantidad de cloro total adsorbido (mg/g) en las diferentes muestras de agua potable. Dosis de carbón activado de cascara de zapallo 1,5 g/l.	46
Figura 11	Cantidad de cloro total adsorbido (mg/g) en las diferentes muestras de agua potable. Dosis de carbón activado de cascara de zapallo 2,0 g/l.	46
Figura 12	Modelo de difusión Intraparticular para la adsorción de cloro libre en las diferentes fases.	51
Figura 13	Modelo de difusión Intraparticular para la adsorción de cloro total en las diferentes fases.	54

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo producir carbón activado mediante activación química de un material no convencional, residuos de cáscara de zapallo “hueso” (*Cucurbitasp.*), con la finalidad de remover el cloro total y libre del agua potable que llega a las viviendas de la ciudad de Tumbes. La activación de la biomasa residual se realizó con cloruro de zinc a 600°C durante 2 h en atmosfera de nitrógeno. El carbón activado preparado a partir de la cascara de zapallo mostró una adecuada estructura micro-mesoporosa alcanzando un área superficial de 774,6 m²/g, volumen total de poros de 0,50 cm³/g y un volumen microporoso de 0,34 cm³/g. El adsorbente producido se utilizó para remover el cloro total y libre de agua potable que llega a cinco zonas de la ciudad de Tumbes. Los datos de cinética de adsorción de cloro libre y total por parte del carbón activado producido se ajustan mejor al modelo de pseudo-segundo orden con valores máximos de capacidad de adsorción en el equilibrio (q_e) de cloro libre y total de hasta 3,6 y 3,1 mg/g respectivamente. Adicionalmente el hecho de que los datos de cinética de adsorción se ajusten al modelo de difusión intraparticular supone que este es el mecanismo que limita el proceso de adsorción. La remoción de cloro total y libre del agua potable llega a valores de hasta 100%. El carbón activado producido de cáscara de zapallo es un adsorbente promisorio para su uso en el tratamiento del agua potable.

Palabras clave: adsorbente, remoción, carbón activado, cloro libre, agua potable

ABSTRACT

This research aimed to produce activated carbon by chemical activation of an unconventional material, squash (*Cucurbita sp.*) peel residues, with the purpose of removing total and free chlorine from drinking water in Tumbes city. Activation of the residual biomass was carried out with zinc chloride at 600 °C for of 2 h in inert conditions (nitrogen flux). Prepared activated carbon depicted a good micro-mesoporous structure reaching a surface area of 774.6 m²/g, total pore volume of 0.50 cm³/g and a microporous volume of 0.34 cm³/g. The produced adsorbent was used to satisfactorily remove of total and free chlorine of drinking water in Tumbes city. The free and total chlorine adsorption kinetics data from the produced activated carbon are adjusted the best to the pseudo-second order model with maximum values of equilibrium adsorption capacity (q_e) of free and total chlorine of up to 3.6 and 3.1 mg/g respectively. Additionally, the fact that the adsorption kinetic data are adjusted to the intraparticle diffusion model assumes that this is the mechanism that limits the adsorption process. The percentages of removal of total and residual chlorine from drinking water reach values of up to 100%. Produced activated carbon from squash peel is a promising adsorbent for using in water treatment.

Keywords: Adsorbent, residual biomass, total chloride, free chloride, drinking water

1. INTRODUCCIÓN

La diversidad de actividades productivas que se realizan en el Perú, están generando un crecimiento económico en especial en la agroindustria, donde se utilizan gran cantidad de materias primas que generan residuos orgánicos. Esta materia no cuenta con un aprovechamiento y son desechados generando una serie de costos. El otro problema se deriva principalmente es la mala disposición de estos residuos, que muchas veces son eliminados bajo condiciones insalubres, generando contaminación ambiental como malos olores, problemas de lixiviación y contaminación de suelos superficiales y posiblemente de aguas subterráneas y superficiales aledañas (Cruz, La Cotera, and Aguirre 2015).

Gran parte de los productos agrícola y agroindustriales, que debido a sus características (alto contenido en hemicelulosa, lignina y celulosa) tienen un uso potencial para producción de carbón activado. Así pues, se tiene productos de desecho como las cáscaras de arroz, cacao, cáscara de coco, desechos orgánicos de plataneras, semillas de mangos, entre otros (Cruz *et al.* 2015, Adekola and Adegoke 2005, Yahaya *et al.* 2010, Ramakrishnan and Namasivayam 2009).

En la mayoría de países en vías de desarrollo, si bien es cierto se cuenta con plantas de tratamiento para la producción de agua potable, esta no es la más eficiente. Siendo necesario contar con filtros que permitan purificar el agua de consumo y eliminar compuestos remanentes que generan malos olores, sabores y que también podrían contener compuestos que no son eliminados por tratamientos convencionales, tales como contaminantes emergentes. Algunos de estos compuestos formados por la adición de cloro en la desinfección del agua pueden producir compuestos con potencial riesgo para la salud al combinarse con materia orgánica presente de manera natural en el agua. Se ha demostrado en varios estudios epidemiológicos que el consumo de agua clorada sin el adecuado tratamiento y manejo, está asociado con un

incremento en el riesgo de cáncer de recto, vejiga y gástrico (Nieuwenhuijsen et al. 2009).

“El filtro de carbón activado se ha convertido en uno de los métodos más utilizados para la purificación de aguas contaminadas tanto residuales como de origen natural, porque cuentan con una alta área superficial (de entre 900 m²/g y 1200 m²/g) que adhiere contaminantes como compuestos clorados, fenólicos, etc; también materiales de diversa naturaleza sea metales pesados compuestos inorgánica o de naturaleza orgánica.”

En la presente investigación se produjo carbón activado de un material no convencional, residuos de cáscara de zapallo “hueso” (*Cucurbitasp.*), con la finalidad de remover el cloro total y libre del agua potable que llega a viviendas de la ciudad de Tumbes.

1.1. Situación problemática

En el Perú existen gran variedad productos agrícolas que no son aprovechados eficientemente, generando problemas importantes a los productores, “el primero relacionado con las pérdidas económicas que resultan de la ineficiencia en el aprovechamiento de las materias primas, debido a que en muchos de los casos las partes como la cascara, semillas, representan más del 50% en peso de las mismas; estos materiales no tienen un uso actual y tiene que ser dispuestas, con los costos que esta acarrea.”

El otro problema se deriva principalmente de la mala disposición de estos residuos, que muchas veces son eliminados bajo condiciones insalubres, generando contaminación ambiental como malos olores, problemas de lixiviación y contaminación de suelos y posiblemente de aguas subterráneas y superficiales aledañas, proliferación de

enfermedades debido a la posibilidad de reproducción de ciertos vectores como moscas y roedores, además de los impactos de índole paisajística y contaminantes atmosférico producto de la descomposición de los mismos o de la quema en el peor de los casos. “Estos contaminantes atmosféricos son los de mayor cuidado dada la generación de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático, así como la liberación de gases como compuestos orgánicos volátiles y material particulado menor de 10 micras causantes de múltiples problemas de salud.”

Muchos son “los productos de índole agrícola y agroindustrial que son generados dentro de las regiones Tumbes y Piura que debido a sus características (alto contenido en celulosa, hemicelulosa y lignina) tienen un potencial de uso como producción de material adsorbente carbón activado”. Así pues, se tiene productos de desecho como las cascara de coco, cacao, cascara de arroz, desechos orgánicos de banano, semillas de mango, residuos de la quema de rastrojo de caña, semillas de algarroba, cascara de zapallo, entre otros.

Además, tenemos que en el mercado modelo ubicado en la ciudad de Tumbes se tiene una producción diaria de 70% de materia orgánica de un total de 8,58 Tn/día.

También que la población de Tumbes genera un 50% de materia orgánica del total de sus residuos sólidos, teniendo una generación per cápita de 0,239 Kg/Hab/día; y un total de 22645,49 Tn/día.

Todo este residuo es dispuesto de un botadero municipal ubicado en el distrito de San Juan de la Virgen, pudiendo ser reutilizados.

Si bien es cierto se cuenta con una planta de tratamiento para la producción de agua potable, esta no es la más eficiente, es necesario

contar con filtros que nos permitan purificar el agua que vamos a consumir, en la cloración del agua para consumo humano el riesgo no es “consumir agua con cloro libre ‘per se’, sino clorar cierto tipo de agua, específicamente con alto contenido de materia orgánica (más de 2 mg/L) como carbono orgánico total (TOC), relacionado con esto el tipo de compuesto químico formado ya que entre los THM’s no todos tienen la misma toxicidad y potencial de mutagenicidad y carcinogenicidad.”

Esto es preocupante ya que “los mutágenos presentes en el agua de consumo llegan continuamente a la población durante largo tiempo lo que puede ocasionar enfermedades de origen mutacional tales como tumores benignos, malignos (cáncer)” y otras patologías relacionadas “con el sistema inmune y efectos adversos en mujeres embarazadas además varios estudios epidemiológicos han demostrado que el consumo de agua clorada sin el adecuado manejo y tratamiento está asociado con un incremento en el riesgo de cáncer gástrico, vejiga y de recto.” (Nieuwenhuijsen, et al 2009).

Uno de “los métodos más utilizados para el tratamiento de aguas contaminadas tanto residuales como de origen natural es la utilización de filtro de carbón activado, el cual es un material de alta área superficial (de entre 900 y 1200 m²/g o más)” que adhiere contaminantes de diversa naturaleza sea inorgánica como metales pesados o de naturaleza orgánica como compuestos fenólicos, clorados, etc.

A pesar de “su efectividad es un método utilizado en casos solo específicos debido al alto costo del carbón, necesitándose la búsqueda de nuevas materias primas baratas que permitan disminuir los costos de estos y poder hacerlo accesible a múltiples usos”.

1.2. Formulación del problema

¿Es posible usar el carbón activado obtenido de la cascara de zapallo (*Cucurbitasp.*) en la remoción de cloro total y libre en agua potable de la ciudad de Tumbes?

1.3. Justificación e importancia del problema

Los principales aportes al conocimiento de la presente investigación serían:

- a. La utilización de un nuevo material abundante y de bajo costo, como materia prima para producir carbón activado, un producto de alto valor agregado. Este material que inicialmente es un residuo de la actividad agrícola podría ser convertido en un producto, teniendo implicancias económicas y ambientales.
- b. Permitiría obtener un ingreso adicional al agricultor por la venta de este material, además de mejorar la disposición de estos residuos, porque ahora el material ya no sería dispuesto de cualquier forma, disminuyendo el riesgo de proliferación de enfermedades y de impacto paisajístico del ambiente. Ya que la casca de zapallo representa un 18% el peso total.
- c. Puede solucionar la contaminación por metales pesados en el agua para consumo humano, producidos por la actividad minera en la cuenca alta, ubicada en el país vecino Ecuador.
- d. La investigación permitirá la búsqueda de nuevas materias primas para la producción de Carbón Activado, ya que estos residuos se pueden adquirir a bajo costo.
- e. Se realizará la caracterización de este carbón activado, ya que se necesita ver el grado de eficiencia que tendrá, ya que se puede

utilizar no solo para la purificación de aguas, aire y otros flujos líquidos.

- f. Permitirá determinar si el carbón activado reducirá la presencia del Cloro total y Libre, que son los productores de los trihalometanos, que resulta del proceso de potabilización del agua, al interactuar químicamente la materia orgánica natural con el cloro añadido como desinfectante.

1.4. Hipótesis de trabajo.

Es posible usar el carbón activado obtenido de la cascara de zapallo en la remoción de cloro total y libre en agua potable de la Ciudad de Tumbes.

1.5. Objetivos de la investigación.

General

Usar el carbón activado de Cascara de Zapallo (*Cucurbitasp.*), para la remoción de Cloro total y libre en agua potable de la Ciudad de Tumbes

Específicos

- Caracterizar el carbón activado a partir de la cascara de zapallo.
- Determinar la capacidad de remoción de cloro total y libre en agua potable.

2. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

2.1. Antecedentes

Reategui (2017), obtuvo carbón activado a partir de la cáscara del fruto de la calabaza (*Cucurbitaficifolia*). “Utilizó el método químico con dos variables: agente activante (ácido fosfórico al 30 por ciento y 60 por ciento y cloruro de zinc al uno por ciento) y tiempos de activación (45, 60 y 75 minutos).” Para obtener el óptimo tratamiento, “realizó una caracterización físico-química y una evaluación de las capacidades de adsorción en azul de metilenos y cromato en tres concentraciones distintas.” De acuerdo a los resultados obtenidos, “el carbón activado con ácido fosfórico al 30 por ciento y tiempo de activación de 60 minutos (AF30-60) presenta una buena capacidad de adsorción de azul de metileno y cromato, asimismo, cumple con los requisitos de la ASTM.” Este carbón activado “presento las siguientes características físico-químicas: porcentaje de humedad y cenizas fueron 7,33 y 4,59 por ciento respectivamente; el pH 2,32 y la densidad aparente, 0,375 g/cm³.” Por otro lado, “todos los carbones activados obtenidos presentaron una buena capacidad de adsorción de azul de metileno (90%) y solo, los carbones activados obtenidos con ácido fosfórico presentaron una buena capacidad de adsorción de cromato (85%).” Cabe resaltar que se demostró que se puede obtener un carbón activado a partir de cáscara del fruto de la calabaza (*Cucurbitaficifolia*) y se recomienda su uso para la producción de carbón activado para un aprovechamiento integral de los desechos agrícolas

Ilknur (2016) En su estudio, los carbones activados se produjeron a partir de la cascara de la semilla de calabaza por activación química. En la activación química, H₃PO₄ fue utilizado como agente químico. Se investigaron los efectos de la relación de impregnación se seleccionaron en el intervalo de 400 – 600 °C y 1-3, respectivamente. El área superficial, poro volúmenes, la distribución del tamaño de poro y el

diámetro medio de poro de los carbones activados se caracterizaron por adsorción de N_2 a $77^\circ C$. el K usado en los métodos BET, t -plot y DFT. El área de superficie BET más alta y el volumen de poro total del carbón activado eran obtenidos como 1421 m^2 , una temperatura de activación de $500^\circ C$ y a una relación de impregnación de 2. Los resultados experimentales muestran que la temperatura de activación y la relación de impregnación tienen un efecto significativo sobre la estructura de poro del carbón activado y el caparazón de la semilla de calabaza parecía ser un precursor alternativo para las producciones comerciales de carbón activado

Demiral (2015), en su estudio, el carbón activado se preparó a partir de cascara de calabaza, utilizando el producto químico $ZnCl_2$ y el carbón activado preparado se utilizó para eliminar el tinte de soluciones acuosas. En los estudios experimentales, azul de metileno, que es utilizado en muchos sectores, como la medicina, la industria textil y la producción de tina. El tiempo de equilibrio de adsorción se determinó mediante estudio cinético. Además, los efectos de la dosificación adsorbente, la concentración inicial de colorante y la temperatura en la adsorción. La tasa de adsorción se encontró que se ajustaba al modelo cinético y la ecuación de la isoterma Langmuir, mostrando mejora a $45^\circ C$. los resultados mostraron que el carbón activado conviene para la eliminación del azul de metileno.

Gin *et al.* (2014), en su estudio, comenta que la carbonización de la cascara de sandía se realizó a diferentes temperaturas, entre $200^\circ C$ y $350^\circ C$ durante 15, 30, 45 y 60 minutos para la determinación de condiciones óptimas para el pre tratamiento. El tratamiento químico del carbón resultante producido utilizando las condiciones óptimas obtenidas, fueron llevados a cabo usando diferentes concentraciones de H_2SO_4 , HCl y $ZnCl_2$, (de 0,5 a 1,5 M).

Cruz *et al.* (2012) Estos investigadores produjeron “carbón activado de buena calidad a partir de la cáscara de cacao” con buenos resultados en la adsorción de arsénico a partir de soluciones acuosas. “La activación utilizada en la obtención de los carbones activados fue utilizando tres agentes químicos cloruro de zinc, hidróxido de sodio y carbonato de potasio, obteniéndose mejores resultados en cuanto a área superficial con el cloruro de zinc cuando la carbonización se llevó cercana a los 800 °C.”

Theivarasu&Mylsamy (2010) estudiaron:“la producción de carbón utilizando cascara de cacao. La muestra fue carbonizada con ácido sulfúrico concentrado en un ratio 1:1 (peso/volumen) y la activación fue hecha por calentamiento por 7 horas en un horno a 550 °C, luego el material fue lavado, secado y molido hasta un tamaño de partícula de 150 µm.” Los resultados de esta investigación indicaron que:“el carbón activado de cascara de cacao podía ser empleado como una alternativa de bajo costo para la remoción de Rodamina – B a partir de efluentes industriales diluidos.”

Nos sigue comentando que los resultados obtenidos revelaron que el óptimo la temperatura de carbonización era de 300°C. mientras que el tiempo era de 60 minutos. Por otra parte, el mejor carbón activado de cascara de sandía que produjo la reducción porcentual más alta de metales pesados considerados fue la que se trató con ácido sulfúrico 1,0 M. por tanto, ha determinado que los desechos agrícolas locales como las cascara de sandía siempre deben considerarse como materias primas que valen la pena para la producción de materiales de alta calidad, uno de los cuales es el carbón activado que es muy útil industrialmente.

Khan *et al.* (2010), preparó carbón activado a partir de cáscara de arroz, usando un método de activación química con cloruro de zinc. “El efecto de la temperatura, tiempo de activación y ratio de impregnación $ZnCl_2$: materia prima, rendimiento y remoción de Cu (II) a partir de una solución acuosa fueron estudiados.” El óptimo carbón activado fue obtenido “usando activación a temperaturas de 500 °C, tiempo de activación de 1,71 horas y ratio de impregnación de 1,04, el cual resultó en un rendimiento de 34,21% y una remoción de 33,92% de Cu (II).”

Ramakrishnan&Namasivayam (2009) estudiaron la obtención de carbones activados obtenidos de cascara de piñón utilizando métodos de activación química. Un número de carbones activados fueron desarrollados utilizando cloruro de zinc e hidróxido de sodio y caracterizados utilizando métodos estándar. Todos los carbones activados obtenidos de la cascara de piñón tuvieron excelentes propiedades físico-químicas y las fotografías SEM mostraron que tenían una estructura superficial construida.

Bal'burova *et al.* (2008) demostró “la posibilidad de obtener carbones activados de alta porosidad a partir de nueces de pino y residuos de sus procesos extractivos. Se encontró que la separación preliminar de sustancias extractivas de las nueces pueden originar carbones activados con mejores propiedades de sorción.” Estos carbones activados tienen propiedades que satisfacen los requerimientos de la industria moderna de carbones adsorbentes.

Su *et al.* (2006) provee un novedoso procedimiento de dos pasos para la manufactura de carbón activado microporoso a partir de cascara de coco. En este proceso, la cascara de coco es calentada en una

atmosfera inerte entre temperaturas de 450 y 850 °C, y reaccionada con oxígeno por el mismo tiempo, y calentada nuevamente en una atmosfera inerte a la temperatura de activación (850°C) para producir un carbón activado. Fue obtenido carbón activado con un área específica superficial mayor de 700 m²/g y con un rendimiento de entre 24 y 28%. Se demostró que el carbón tiene una distribución de poros estrecha, posiblemente menor de 1 nm, el cual fue calculado por un simple método basado en la teoría de la función de densidad.

Gueuet *al.* (2006) obtiene carbón activado a partir de materiales vegetales como la cáscara de coco y cascara de la semilla de la palma los cuales son ampliamente disponibles como materiales adsorbentes de bajo costo para la depuración de metales como cobre, plomo y zinc a partir de aguas residuales. Ambas materias primas fueron químicamente activadas con ácido fosfórico y probadas para la adsorción de metales. Los resultados muestran que los ratios de adsorción de metales incrementan con la dosis de adsorbente utilizado. La variación de pH muestra que el nivel de pH donde ocurrió la mayor capacidad de adsorción fue 4. Los carbones activados a 400 °C mostraron mejor capacidad de adsorción. La cantidad de metal adsorbido en el carbón activado incrementa en el siguiente orden Zn, Cu y Pb.

Kadirveluet *al.* (2004) condujo una investigación en la cual preparó carbón activado a partir de residuos de la industria de sago. La activación se realizó utilizando H₂SO₄ and (NH₄)₂S₂O₈ realizándose la caracterización físico-química de los carbones obtenidos. Se estudió la remoción de mercurio (II) a partir de soluciones acuosas variando los tiempos de agitación, dosis de material adsorbente, tamaño de partícula y pH. La capacidad de adsorción de Hg (II) obtenida de las isoterma fue de 55,6 mg/g a pH 5, con un tamaño de partícula entre 125 y 250 µm.

Las capacidades de adsorción de 5 compuestos orgánicos clorados y 5 carbones activados fueron investigadas. Los carbones activados estudiados demostraron alta capacidad de adsorción para los compuestos bis(1-cloroisopropil) éter, 1,1,2,2-tetracloroetileno, 1,1,2,2-tetracloroetano, entre otros compuestos que podrían estar presentes como residuales en el agua potable (Bembnowska *et al.*, 2003).

Hayashi *et al.* (2002) preparan carbón activado por activación química con carbonato de potasio (K_2CO_3) a partir de diferentes tipos de nueces. Determinaron que cuando los carbones activados temperaturas de 1073 K obtuvieron las máximas áreas superficiales específicas. Ellos encontraron que el carbonato de potasio trabajo efectivamente como agente de activación, pero con diferencia según la temperatura de activación, menor de 800 y encima de 900 K.

Bouwer y Mc Carty (1998) realizan un estudio de la remoción de compuestos clorados orgánicos derivados del benceno y alifáticos utilizando carbón activado granular con actividad antimicrobiana, determinando un% de remoción de hasta 98% de estos compuestos. Para ello se usaron pruebas en columna con el carbón activado, determinando una efectividad de la misma hasta después de 2 años de uso.

2.2. Bases teóricas Científicas.

2.2.1. Adsorción

Consiste en la captación de sustancias solubles presentes en la interface de una solución, pudiendo constituirse dicha interface entre un líquido y un gas, un sólido o entre dos líquidos diferentes.

El uso del término sorción se debe a la dificultad de diferenciar la adsorción física de la adsorción química, y se emplea para describir el mecanismo por el cual la materia orgánica se adhiere al Carbón Activado Granular. El equilibrio se alcanza cuando se igualan las tasas de sorción y desorción, momento en el que se agota la capacidad de adsorción del carbón. La capacidad teórica de adsorción de un determinado contaminante por medio de carbón activo se puede determinar calculando su isoterma de adsorción.

“La cantidad de adsorbato que puede retener un adsorbente es función de las características y de la concentración del mismo y de la temperatura. En general, la cantidad de materia adsorbida se determina como función de la concentración a temperatura constante, y la función resultante se conoce con el nombre de isoterma de adsorción”.

Se ha sabido por muchos años que el carbón activado es un material efectivo para decolorar el agua. Este proceso, el mecanismo de remoción de sustancias químicas y los subproductos que resultan de ello, han sido estudiados extensamente durante los últimos 30 a 40 años. El cloro y sus compuestos activos oxidantes de cloro son capaces de ser químicamente reducidos por el carbón activado. El cloro libre primario y los compuestos combinados de cloro (derivados del amoníaco) se listan en la Tabla 1.

Tabla 1. Cloro y compuestos de cloro

Compuesto de Cloro	Fórmula Química
Cloro libre (molecular)	Cl ₂
Cloro libre (ácido hipocloroso)	HOCl
Cloro libre (ión hipoclorito)	OCl ⁻
Cloro combinado (monocloramina)	NH ₂ Cl
Cloro combinado (dicloramina)	NHCl ₂
Cloro combinado (tricloramina)	NCl ₃

Fuente: Gary Hatch, Ph.D.

2.2.2. Método de BET

La ecuación de Brunauer, Emmett y Teller, conocida como ecuación BET, está basada en la consideración de las fuerzas de atracción de Van der Waals como únicas responsables del proceso de adsorción. Estas fuerzas, que son de naturaleza física, hacen que la ecuación BET sea únicamente aplicable a fenómenos de adsorción física. Se incluyen en ella todos los casos en los que los átomos neutros o moléculas de adsorbato interactúan con superficies, sin que tenga lugar compartición electrónica, es decir, manteniendo en todo momento el carácter de átomo neutro o de molécula. Los autores enfocan el problema de la adsorción desde un punto de vista cinético, donde existe en todo momento un equilibrio dinámico en cada capa adsorbida.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Tipo de estudio

Por su naturaleza es Aplicada, porque se basa en resolver un problema práctico, aplicando el conocimiento científico desde un punto de vista teórico; y por su diseño es una investigación experimental debido a que se manipula las variables tratando de resolver el problema.

3.2. Población y muestra

La materia prima de cascará de zapallo (*Cucurbitasp*) será recolectada en los diferentes puntos del mercado modelo de Tumbes, en una muestra compuesta con una cantidad de 10 kg.

Una vez recolectada se colocó en estufa a 105 °C, en el Laboratorio Análisis Ambiental-Universidad Nacional de Tumbes, hasta que tenga peso constante. Luego será molida y tamizada hasta alcanzar tamaños de partícula comprendidos entre 0,5 a 1,00 mm.

La muestra para el análisis de agua se tomó aleatoriamente de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Tumbes, de las viviendas que cuenten con conexión intradomiciliaria, en la que se recolecto 1 litro de muestra por cada vivienda. En la tabla 2 se detallan la ubicación de los puntos de muestreo del presente estudio.

Tabla 2. Coordenadas para toma de muestra de agua potable

N° DE MUESTRA	COORDENADAS		REFERENCIA
	X	Y	
M1	561008	9605119	Barrio: Las mercedes
M2	560056	9605965	Barrio: San José
M3	560519	9605491	Calle: Mariscal Castillo
M4	561725	9606426	Barrio: Pacífico
M5	561607	9603827	Barrio: Pampa Grande

3.3. Material y método de investigación

3.3.1. Producción de los carbones activados

La materia prima tamizada fue sometida a un proceso de activación química utilizando cloruro de zinc de acuerdo al procedimiento seguido en estudios previos realizados por los autores (Cruz *et al.* 2015). Se mezcló la materia prima con el agente activador en una proporción de 1/1 (masa/masa). La mezcla se colocó en un reactor con inyección de nitrógeno, el mismo que se introdujo en un horno tubular a 600 °C, durante un tiempo de 2 h. Luego el reactor con el material se enfrió con aire frío, para luego ser lavado secuencialmente con una solución de HCl (0,5 N). Finalmente, el material se secó durante 12 h a 100 °C.

Imagen 01. Preparación de la cascara de zapallo (*Cucurbitasp.*)



CASCARA DE ZAPALLO

**Imagen 02. Proceso de secado de la cascara de zapallo
(*Cucurbitasp.*)**



**Imagen 03. Molienda de la cascara seca de zapallo
(*Cucurbitasp.*)**



Imagen 04. Tamizado 0.5 a 1 mmde la cascara de zapallo (*Cucurbitasp.*) molida



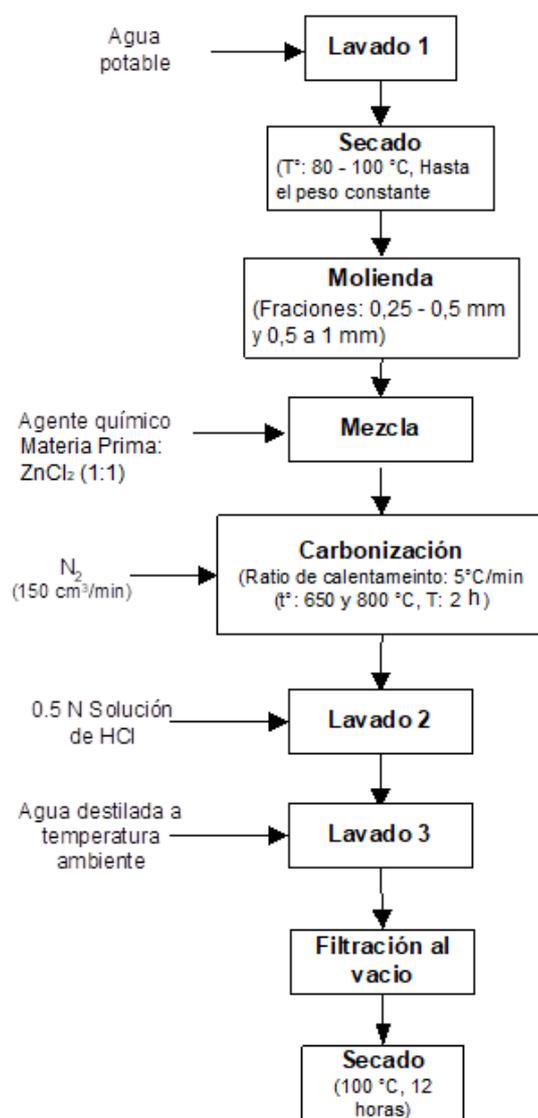


Figura 1. Diagrama de flujo de producción de carbón activado utilizando ZnCl₂ como agente químico de activación (Cruz *et al.*, 2012)

3.3.2. Caracterización de la materia prima

La caracterización morfológica de la materia prima (cáscara de zapallo hueso), se realizó mediante el uso de microscopia electrónica barrido de alta definición (FESEM Zeiss Ultra plus), donde las muestras fueron sometidas a un soporte de carbono con una cubierta de platino, para la toma de imágenes con mejor visualización de la estructura de la materia prima.

El contenido de material extraíble se determinó por el método Soxhlet, usando hexano-etanol mediante hidrólisis ácida-básica acompañado de titulación. La determinación de los contenidos de lignina, α -celulosa y β -celulosa fueron determinados a través de hidrólisis ácida y ebullición a reflujo.

3.3.3. Caracterización del carbón activado

Se determinaron sus diferentes características texturales, morfológicas y la composición química superficial. Las características morfológicas se determinaron utilizando un microscopio electrónico barrido de alta definición (FESEM Zeiss Ultra plus), el cual tenía acoplado un analizador EDS (Oxford Instrument INCA-X-act) para determinar el contenido elemental superficial de los carbones, en la cual para las imágenes estructurales se colocaba la muestra sobre un soporte de carbono con una cubierta de platino y para el analizador de EDS solo se colocaban las muestras sobre el soporte de carbono.

Para las características texturales se realizaron mediante la medición de adsorción con nitrógeno a 77K utilizando un analizador de área superficial Gemini VII 2390 (Micro-meritics, USA). De esta medición se construyó una isoterma de adsorción

de nitrógeno y en base a la misma se calculó el área superficial específica (m^2/g) utilizando el modelo de Brenauer-Emmet y Teller (BET). Se determinó el volumen total adsorbido (cm^3/g) en base al dato de adsorción correspondiente a la presión relativa más cercana al valor 1. Adicionalmente se calculó el **área mesoporosa** y el volumen de microporos utilizando el modelo t-plot (Cruz et al., 2018c).

3.3.4. Determinación de la capacidad de adsorción.

Se realizaron pruebas de adsorción cinética en *batch* a pH 7 y a una temperatura de 25°C . Para las pruebas de adsorción se utilizó agua potable tomada de 5 puntos distintos de la red de agua potable ubicados dentro de la ciudad de Tumbes (M1, M2, M3, M4 y M5). En la Anexo 8 se muestra la ubicación de los cinco puntos de muestreo de agua potable.

3.3.5. Determinación de la remoción de Cloro Total y Libre

Los contenidos de cloro total y libre (mg/L) inicial y durante las pruebas de adsorción se midieron utilizando un medidor de cloro total y libre Hanna Instruments HI9671.

Se realizaron la toma de muestra de la red de agua potable, de los cuales se midieron 200 mL y se colocaron en un Erlenmeyer de 250 mL y se adicionaron 3 dosis iniciales de carbón activado 0,5, 1,0 y 2,0 g/L. Diferentes alícuotas de 10 mL fueron tomadas al inicio de los experimentos y después a los 5, 10, 15, 20, 30, 50, 60, 90, 120 y 180 minutos. Estas alícuotas fueron filtradas en papel filtro Whatman N° 41 para remover el carbón activado remanente y luego se midieron las concentraciones de cloro total y libre.

Se determinó el porcentaje de remoción de cloro total y libre a través de la siguiente fórmula:

$$remoción(\%) = \frac{Co - Ci}{Ci} \times 100$$

Para evaluar los datos de cinética de adsorción se utilizaron los modelos en sus formas no lineales *depseudo*-primer y *pseudo*-segundoorden. A su vez se aplicaron a los datos de cinética, el modelo de difusión intraparticular en su forma lineal. Una amplia descripción de los modelos puede ser encontrada en Tran *et al.* (2017). Para resolver las ecuaciones no lineales de los mismos se utilizó el software *Origin Pro 2018b*.

También se determinó el porcentaje de remoción de cloro total y libre a través de la siguiente fórmula:

$$remoción(\%) = \frac{Co - Ci}{Ci} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

Imagen 05. Pruebas de adsorción del Carbón activado



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características de la materia prima

De acuerdo a las fotografías de microscopía electrónica de la Figura 02, la cáscara de zapallo (*cucurbitasp*) usada como materia prima para la producción de carbón activado; no muestra poros (macroporos) visibles, solamente se aprecia una estructura con una serie de capas y estructuras a modo de bastones alargados.

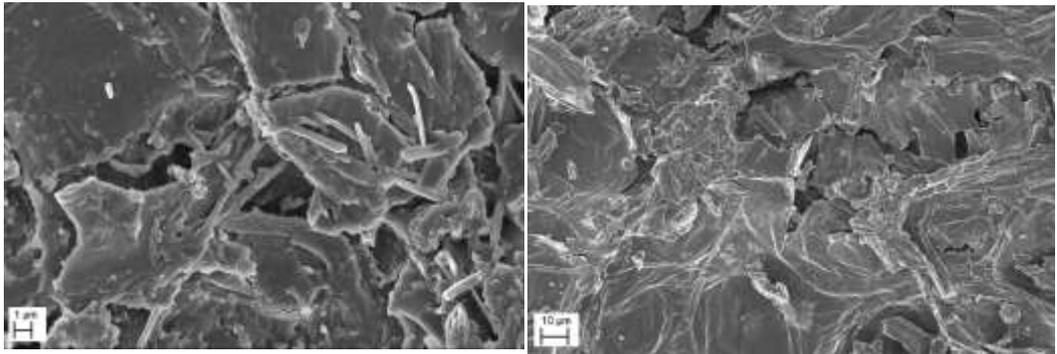


Figura 02. Fotografía de microscopía electrónica de la materia prima (cáscara de zapallo)

A su vez la cantidad de compuesto extraíbles de la cáscara de zapallo fue 19,12%, la cantidad de lignina de 28,07%, α -celulosa 44,32% y β -celulosa 4,37%.

4.2. Caracterización del carbón activado de cáscara de zapallo

En la figura 03 se muestra la isoterma de adsorción de nitrógeno del carbón activado producido en base a la cáscara de zapallo, la cual muestra una forma que corresponde al tipo Ib, que de acuerdo a la IUPAC, corresponde a materiales que están constituidos principalmente por microporos y tiene una cantidad de mesoporos cercanos a 2 nm. Adicionalmente se puede deducir que el material también contiene mesoporos, debido a la presencia del fenómeno de histeresis (tipo H4), la cual también de acuerdo a IUPAC se presenta en carbones activados que contienen una estructura meso-microporosa (Thommes *et al*, 2015).

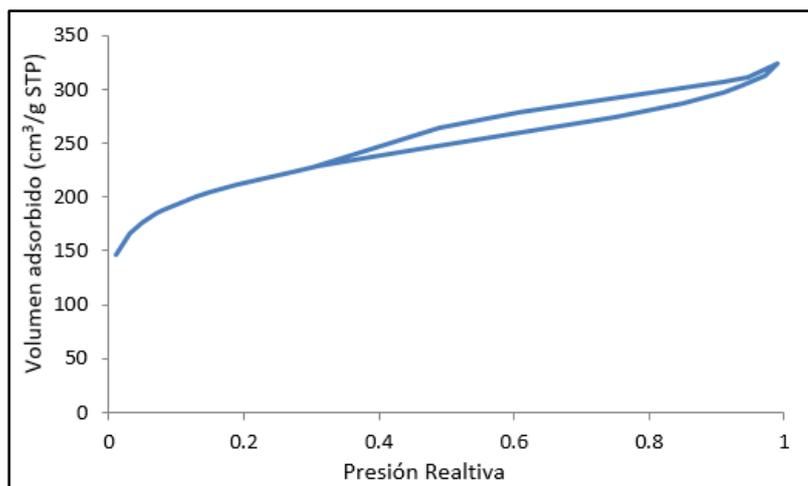


Figura 03. Isotherma de adsorción de nitrógeno (-77 °C) del carbón activado obtenido de cascara de zapallo

De los datos de la isoterma de adsorción de nitrógeno y basado en diferentes modelos descritos en la metodología se han calculado las diferentes propiedades estructurales de los carbones activados, como se muestra en la tabla 03, se puede apreciar que el área superficial específica (S_{BET}) alcanza un valor de 774,6 m²/g, teniéndose un valor de área superficial mesoporosa de 86,1%, lo cual representa el 11% del área superficial total. En cuanto a volumen de poros, la mayor proporción está representada por microporos (68% del total). Esto corrobora el análisis inicial hecho en base a la forma de la isoterma de adsorción de nitrógeno, tratándose de un carbón con una estructura microporosa que contiene también mesoporos.

Tabla 03. Propiedades texturales del carbón activado obtenido de cascara de zapallo

Muestra	S_{BET} m ² /g	S_{meso} m ² /g	S_{meso}/S_{BET} %	V_{neto} cm ³ /g	V_{micro} cm ³ /g	V_{micro}/V_{neto} %	L_0 nm
CAZC	774,6	86,1	11	0,50	0,34	68	3,36

S_{BET} = Área superficial (Área total específica) de acuerdo al modelo BET

S_{meso} = Área superficial en la región mesoporosa

V_{neto} = Volumen total de poro

V_{micro} = Volumen en la región microporosa

L_0 = Diámetro promedio de poros

BET = Brunauer Emmett and Teller

En la figura 04, se aprecia las fotografías de microscopía electrónica de las muestras de carbón activado producido de cascara de zapallo. A diferencia de las fotografías de la materia prima, en el carbón es posible observar poros de gran tamaño y dentro de los mismos más poros. Estos poros son principalmente irregulares. Así mismo es posible observar que algunos poros no se han formado del todo y han quedado prácticamente cerrados, a simple vista, y no permitirían acceso a la región microporosa.

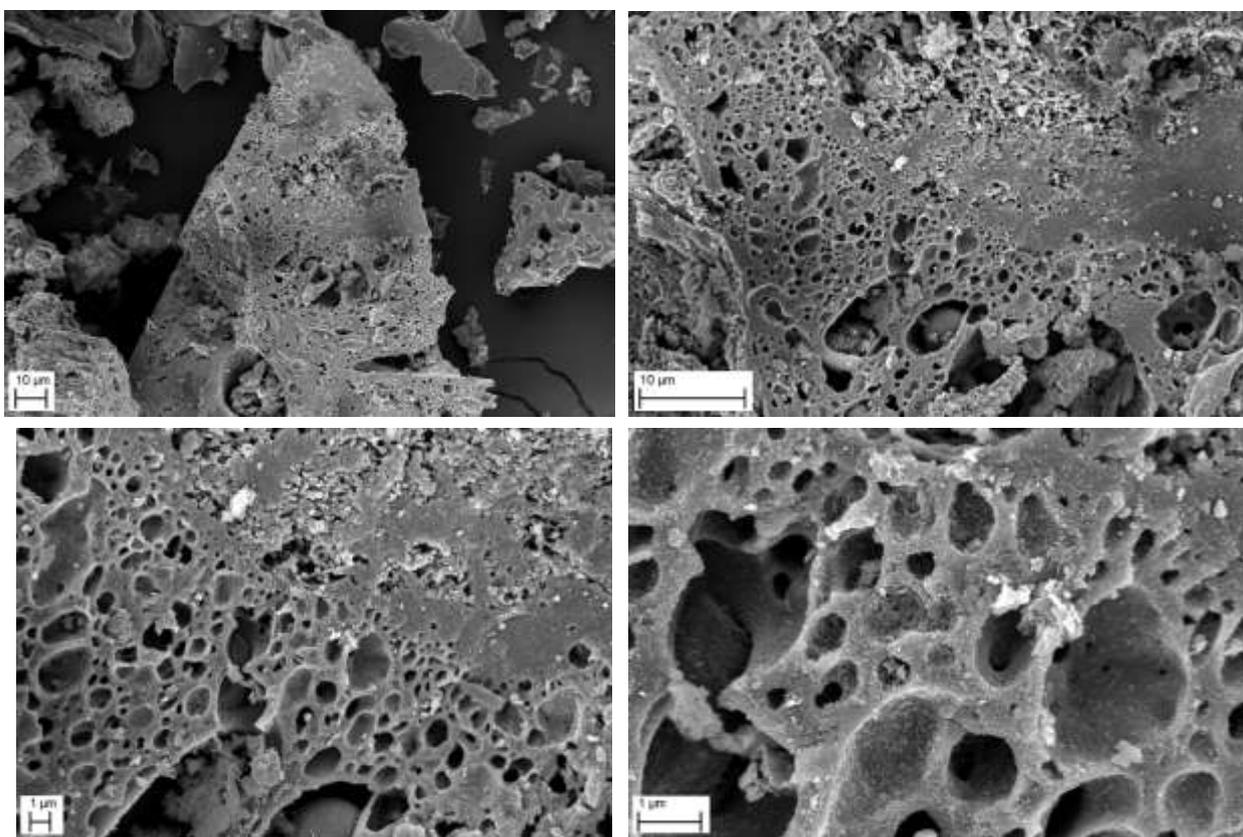
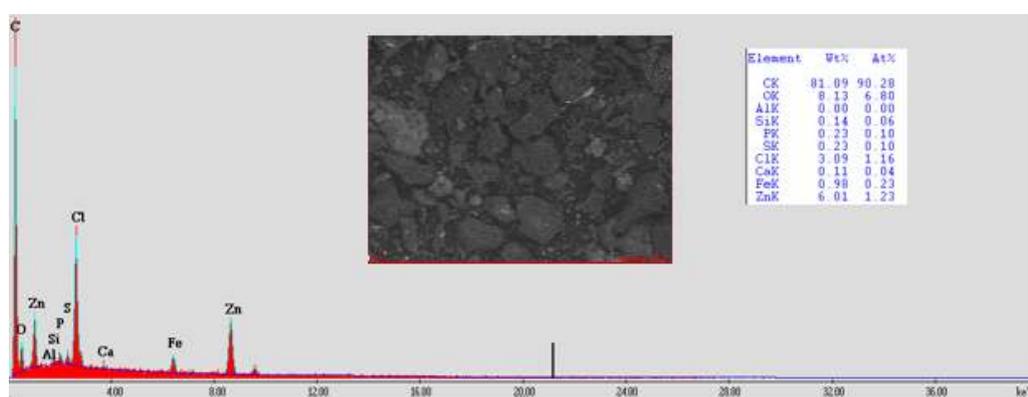


Figura 04. Fotografía de microscopía electrónica del carbón activado producido a partir de la cascara de zapallo

En la figura 05, es posible observar los resultados del análisis de espectroscopía de rayos X de energía dispersa (EDS) realizado a las muestras, de los cuales se puede evidenciar que dentro del análisis elemental superficial de las muestras se encuentra como principales elementos químicos, como C, O, Al, Si, P, S, Cl, Ca, Fe, Zn.

Evidentemente al ser un compuesto de naturaleza carbonosa el elemento de mayor abundancia es el carbono con un porcentaje de 90,28% seguido del oxígeno con 6,28%. Sin embargo, los otros elementos químicos se encuentran en forma de trazas a excepción del Zn con 1,23%. Muchos de los cuales provienen de la composición natural de la materia prima y el Zn en particular provendría principalmente de las impurezas aun presentes en la superficie del



carbono producto del uso de cloruro de zinc como agente químico activador.

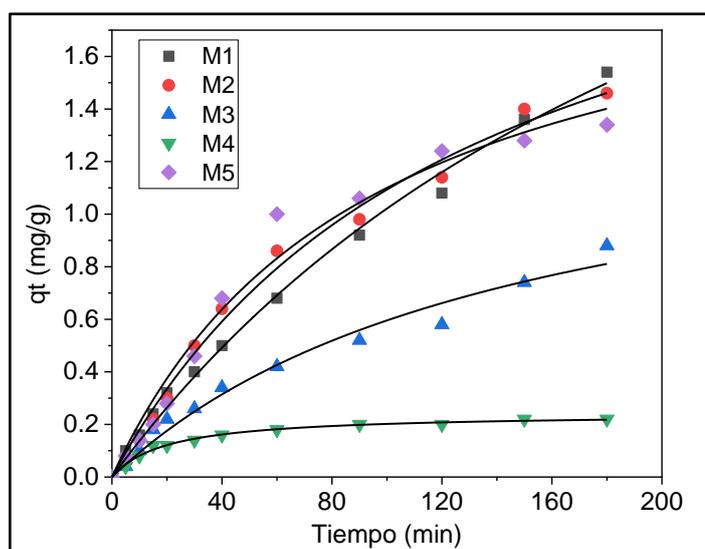
Figura 05. Análisis de EDS de la muestra de carbón activado producido de cascara de zapallo

4.3. Adsorción de cloro utilizando carbón de cascara de zapallo

4.3.1. Adsorción de cloro libre

En las figuras 06, 07 y 08 se muestran los resultados de las pruebas de cinética de adsorción de cloro libre con el carbón activado de cáscara de zapallo en diferentes dosis (0,5, 1,5 y 2 g/l). Es preciso mencionar que para el caso de la dosis de carbón 0,5 g/l en la mayoría de repeticiones no se llega al equilibrio a excepción de la repetición M4. Evidentemente esto se debe a que en el caso de la repetición M4 la concentración inicial de cloro libre es menor en el resto de los casos (0,14 mg/l) y el tiempo del

experimento es suficiente para que se llegue al equilibrio, por el contrario, en el resto de muestras las concentraciones iniciales de cloro libre son mayores, de tal manera que el tiempo del experimento o la dosis de carbón activado no es suficiente para alcanzar el equilibrio dados los limitados sitios activos en la superficie del carbón. Así mismo a medida que el tamaño de partícula disminuye se logra mejor capacidad de adsorción, esto



se debe al incremento del área superficial del carbón activado, el área superficial está relacionada directamente con la capacidad de adsorción del carbón activado (Pasmíño 2007).

Figura 06. Cantidad de cloro libre adsorbido (mg/g) en las diferentes muestras de agua potable. Dosis de carbón activado de cascara de zapallo 0,5 g/l

Para las dosis 1,5 y 2 g/l de carbón activado se alcanza el equilibrio en todas las repeticiones (M1, M2, M3, M4 y M5). Al aumentar la dosis de carbón activado, también se aumenta la cantidad de sitios activos para la adsorción del contaminante, por lo que el equilibrio se alcanzó dentro de los primeros minutos del experimento.

Nuevamente la repetición M4 muestra menores cantidades de cloro libre adsorbidos por cada unidad de masa (g) de carbón activado. Esta repetición M4 corresponde a la muestra tomada en el barrio el Pacífico, donde a primera impresión la concentración de cloro libre que contiene el agua potable es menor que en el resto de zonas donde se tomaron las muestras de agua. Adicionalmente, se sabe que al disminuir el tamaño de partícula de una masa fija de carbón su área superficial aumenta y como consecuencia, su capacidad de adsorción (Pasmíño 2007).

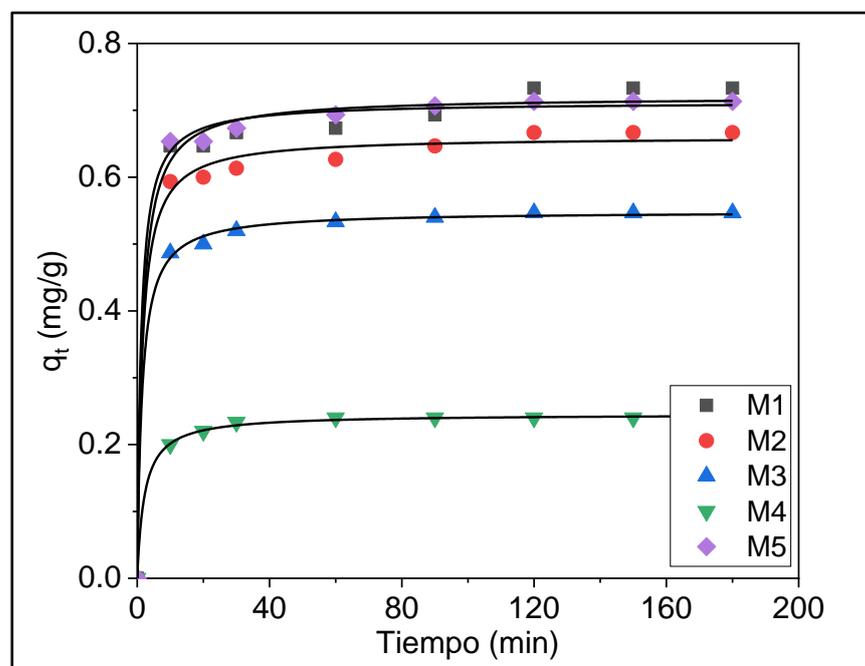


Figura 07. Cantidad de cloro libre adsorbido (mg/g) en las diferentes muestras de agua potable. Dosis de carbón activado de cascara de zapallo 1,5 g/l

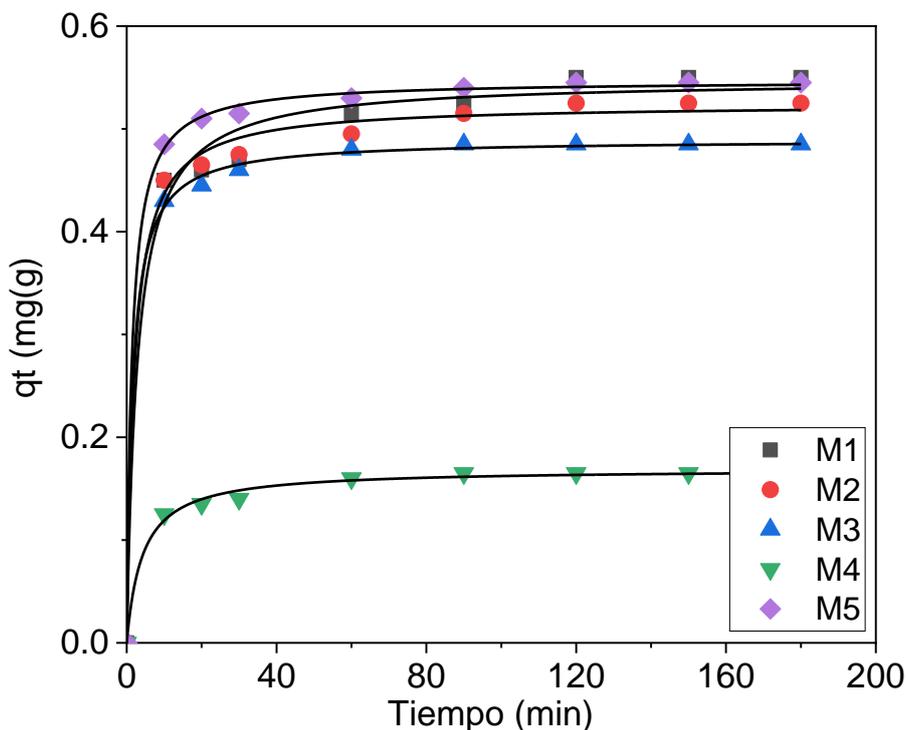


Figura 08. Cantidad de cloro libre adsorbido (mg/g) en las diferentes muestras de agua potable. Dosis de carbón activado de cascara de zapallo 2,0 g/l

4.3.2. Adsorción de cloro total

En las figuras siguientes se muestran los resultados de las pruebas de cinética de adsorción de cloro total por el carbón de cascara de zapalla en diferentes dosis (0,5, 1,5 y 2 g/l). Igual que para el caso del cloro residual, con la dosis de carbón 0,5 g/l en la mayoría de repeticiones no se llega al equilibrio a excepción de la repetición M4. Esto se debe también a que en el caso de la repetición M4 la concentración inicial de cloro total es menor en el resto de los casos (0,18 mg/l) y el tiempo del experimento es suficiente para que se llegue al equilibrio, por el contrario, en el resto de muestras las concentraciones iniciales de cloro total son mayores, de tal manera que el tiempo del experimento no es suficiente para

alcanzar el equilibrio dados los limitados sitios activos en la superficie del carbón activado.

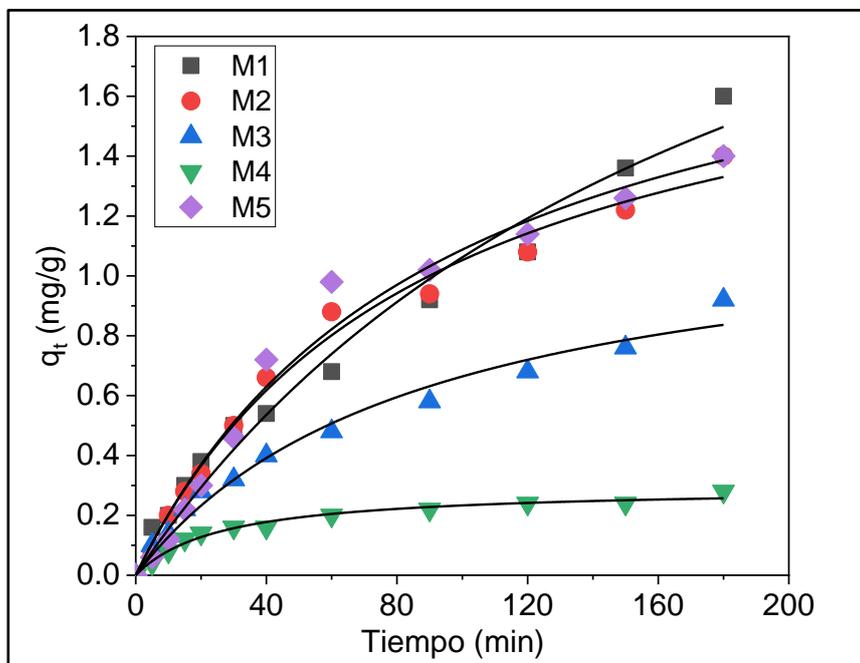


Figura 09. Cantidad de cloro total adsorbido (mg/g) en las diferentes muestras de agua potable. Dosis de carbón activado de cascara de zapallo 0,5 g/l

De la misma manera que en el caso del cloro residual, para las dosis 1,5 y 2 /l de carbón activado el equilibrio se alcanza en los primeros minutos del experimento dado un incremento sustancial de la cantidad de sitios activos de adsorción producto del aumento de la cantidad de carbón activado.

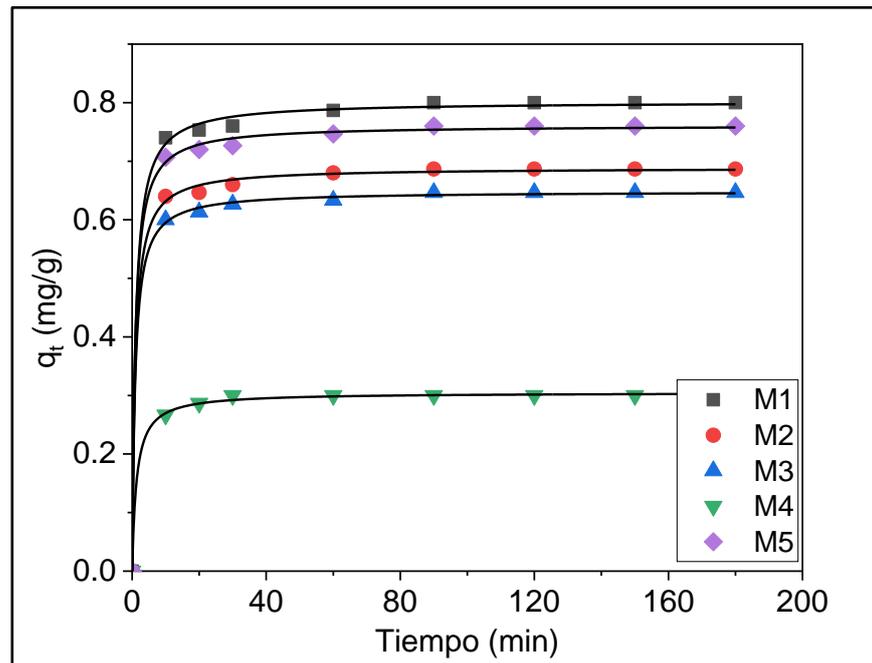


Figura 10. Cantidad de cloro total adsorbido (mg/g) en las diferentes muestras de agua potable. Dosis de carbón activado de cascara de zapallo 1,5 g/l

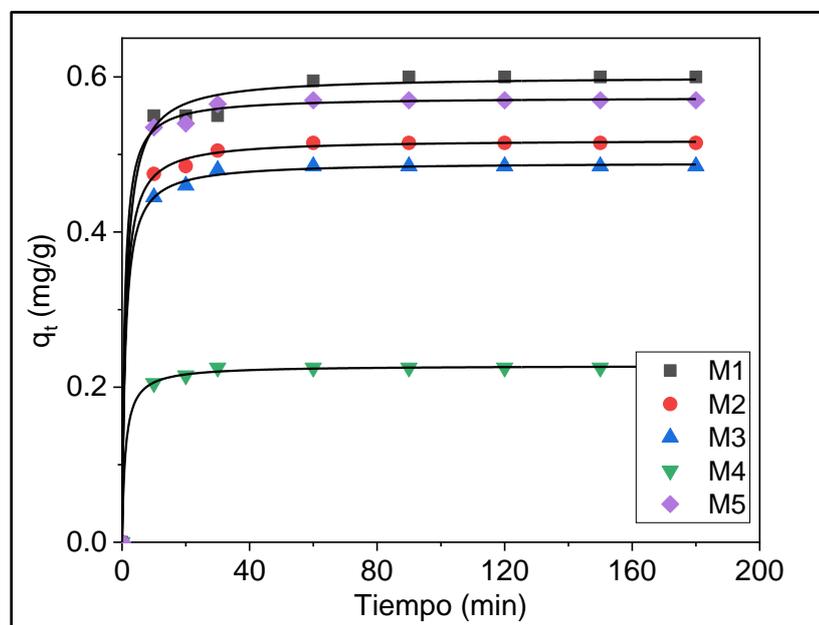


Figura 11. Cantidad de cloro total adsorbido (mg/g) en las diferentes muestras de agua potable. Dosis de carbón activado de cascara de zapallo 2,0 g/l

En las tablas 04 y 05 se muestran los resultados de los parámetros de los dos modelos de ajuste utilizados para los datos de adsorción cinética de cloro libre y total. Para el caso de cloro libre y cloro total los datos de cinética (en las tres dosis de carbón activado probadas y todas las repeticiones) se ajustan mejor al modelo de pseudo-segundo orden dado que los valores de los coeficientes de determinación del modelo se acercan más a 1 y los valores de X^2 son mayores comparado con los valores de estos parámetros para el modelo de pseudo-primero orden. Esto es más perceptible cuando la dosis del carbón activado es 1,5 y 2,0 g/L, es decir cuando se alcanza el equilibrio.

La capacidad de adsorción en el equilibrio (q_e) de cloro libre de acuerdo al modelo de pseudo-segundo orden presenta un valor máximo de hasta 3,6 mg/g cuando la dosis inicial de carbón activado es de 0,5 g/L. Para el caso de cloro total y de acuerdo al modelo de pseudo-segundo orden presenta un valor máximo de hasta 3,1 mg/g cuando la dosis inicial de carbón activado es de 0,5 g/L.

Tabla 04. Evaluación de la cinética de adsorción de cloro libre por el carbón activado

Pseudo-primer orden					
Dosis de carbón 0,5 g/l					
Parámetros	M1	M2	M3	M4	M5
q_i (mg/g)	2,258	1,693	1,010	0,208	1,479
k_i (min ⁻¹)	0,006	0,011	0,009	0,043	0,014
R^2	0,9934	0,9918	0,9747	0,9779	0,9837
χ^2	1,86 x10 ⁻³	2,45 x10 ⁻³	2,16 x10 ⁻⁴	1,24x10 ⁻⁴	4,73 x10 ⁻⁴
Dosis de carbón 1,5 g/l					
Parámetros	M1	M2	M3	M4	M5
q_i (mg/g)	0,699	0,642	0,535	0,238	0,697
K_i (min ⁻¹)	0,243	0,242	0,227	0,173	0,265
R^2	0,9826	0,9882	0,9938	0,9968	0,9928
χ^2	1,08x10 ⁻³	6,15x10 ⁻⁴	2,21x10 ⁻⁴	2,27x10 ⁻⁵	4,43x10 ⁻⁴
Dosis de carbón 2,0 g/l					
Parámetros	M1	M2	M3	M4	M5
q_i (mg/g)	0,52275	0,50632	0,4768	0,16019	0,53429
K_i (min ⁻¹)	0,17151	0,20312	0,2194	0,12452	0,22988
R^2	0,96986	0,98527	0,99373	0,97245	0,99551
χ^2	1,05x10 ⁻³	4,75x10 ⁻⁴	1,78x10 ⁻⁴	8,88x10 ⁻⁵	1,60x10 ⁻⁴
Pseudo- segundo orden					
Dosis de carbón 0,5 g/l					
Parámetros	M1	M2	M3	M4	M5
q_e (mg/g)	3,608	2,519	1,478	0,242	2,130
K_2 (g/mg.min)	0,001	0,003	0,005	0,207	0,005
h	11942,74	2080,13	478,21	0,28	905,44
R^2	0,9946	0,9923	0,9792	0,9916	0,9782
χ^2	1,56x10 ⁻³	2,27 x10 ⁻³	1,78x10 ⁻⁴	4,73x10 ⁻⁵	6,31x10 ⁻³
Dosis de carbón 1,5 g/l					
Parámetros	M1	M2	M3	M4	M5
q_e (mg/g)	0,699	0,642	0,535	0,238	0,697
K_2 (g/mg.min)	0,243	0,248	0,228	0,174	0,265
h	2,01	1,70	1,26	0,32	1,83
R^2	0,9946	0,9924	0,9792	0,9916	0,9782
χ^2	1,56x10 ⁻³	2,27 x10 ⁻³	1,78x10 ⁻³	4,72x10 ⁻⁵	6,31x10 ⁻³

Dosis de carbón 2,0 g/l					
Parámetros	M1	M2	M3	M4	M5
q_e (mg/g)	0,547	0,524	0,489	0,169	0,547
K_2 (g/mg.min)	0,636	0,949	1,318	1,406	1,328
h	0,47	0,28	0,18	0,02	0,22
R^2	0,9899	0,9959	0,9991	0,9935	0,9994
χ^2	$3,49 \times 10^{-4}$	$1,31 \times 10^{-4}$	$2,57 \times 10^{-5}$	$2,08 \times 10^{-5}$	$1,99 \times 10^{-5}$

Tabla 05. Evaluación de la cinética de adsorción de cloro total por el carbón activado

Pseudo-primer orden					
Dosis de carbón 0,5 g/l					
Parámetros	M1	M2	M3	M4	M5
q_1 (mg/g)	2,048	1,417	0,906	0,246	1,471
K_1 (min ⁻¹)	0,007	0,014	0,013	0,034	0,014
R^2	0,9751	0,9876	0,9710	0,9623	0,9816
χ^2	$6,88 \times 10^{-3}$	$2,98 \times 10^{-3}$	$2,57 \times 10^{-3}$	$3,04 \times 10^{-4}$	$5,19 \times 10^{-3}$
Dosis de carbón 1,5 g/l					
Parámetros	M1	M2	M3	M4	M5
q_1 (mg/g)	0,786	0,677	0,637	0,298	0,748
K_1 (min ⁻¹)	0,273	0,281	0,274	0,216	0,280
R^2	0,9957	0,9964	0,9974	0,9999	0,9966
χ^2	$3,30 \times 10^{-4}$	$2,08 \times 10^{-4}$	$1,34 \times 10^{-4}$	$1,16 \times 10^{-5}$	$2,39 \times 10^{-4}$
Dosis de carbón 2,0 g/l					
Parámetros	M1	M2	M3	M4	M5
q_1 (mg/g)	0,586	0,510	0,481	0,224	0,565
K_1 (min ⁻¹)	0,265	0,258	0,249	0,240	0,282
R^2	0,9893	0,9972	0,9980	0,9987	0,9976
χ^2	$4,67 \times 10^{-4}$	$9,25 \times 10^{-5}$	$5,78 \times 10^{-5}$	$8,47 \times 10^{-6}$	$9,47 \times 10^{-5}$
Pseudo- segundo orden					
Dosis de carbón 0,5 g/l					
Parámetros	M1	M2	M3	M4	M5
q_e (mg/g)	3,076	1,985	1,239	0,294	2,111
K_2 (g/mg.min)	0,002	0,006	0,009	0,129	0,005
h	5534,13	692,61	165,01	0,66	886,62
R^2	0,9784	0,9907	0,9803	0,9822	0,9794

χ^2	$5,95 \times 10^{-3}$	$2,25 \times 10^{-3}$	$1,75 \times 10^{-3}$	$1,43 \times 10^{-4}$	$5,81 \times 10^{-3}$
Dosis de carbón 1,5 g/l					
Parameter	M1	M2	M3	M4	M5
q_e (mg/g)	0,802	0,688	0,649	0,305	0,761
K_2 (g/mg.min)	1,264	1,600	1,712	2,520	1,455
h	0,50	0,29	0,24	0,04	0,39
R^2	0,9990	0,9992	0,9996	0,9989	0,9992
χ^2	$8,25 \times 10^{-5}$	$4,78 \times 10^{-5}$	$2,19 \times 10^{-5}$	$1,26 \times 10^{-5}$	$5,45 \times 10^{-5}$
Dosis de carbón 2,0 g/l					
Parameter	M1	M2	M3	M4	M5
q_e (mg/g)	0,601	0,519	0,489	0,228	0,574
K_2 (g/mg.min)	1,338	1,901	1,990	4,156	2,181
h	0,26	0,14	0,12	0,01	0,15
R^2	0,9955	0,9994	0,9995	0,9993	0,9992
χ^2	$1,94 \times 10^{-4}$	$1,83 \times 10^{-5}$	$1,35 \times 10^{-5}$	$4,72 \times 10^{-6}$	$2,94 \times 10^{-5}$

4.3.3. Modelo de dispersión intraparticular

Cloro Libre

El modelo de difusión intraparticular fue utilizado para analizar los datos de cinética (ver Figura 12). Sin embargo solo se ha aplicado el modelo para los datos de cinética donde la dosis inicial de carbón activado fue 1,5 y 2,0 g/L, dado que en estos dos casos se llega al equilibrio. Se identificaron las tres secciones del proceso de adsorción: difusión externa, difusión intraparticular y equilibrio de adsorción y se aplicó la forma lineal del modelo para cada una de las secciones (Tran et al. 2017). En la Figura 8 donde se grafica $t^{0.5}$ vs q_t se puede ver claramente las tres fases del fenómeno de adsorción para la adsorción de cloro residual. Las líneas negras corresponden al ajuste del modelo de difusión intraparticular para la fase de difusión externa, las líneas rojas para el de difusión intraparticular propiamente dicha y las líneas azules para el equilibrio de adsorción.

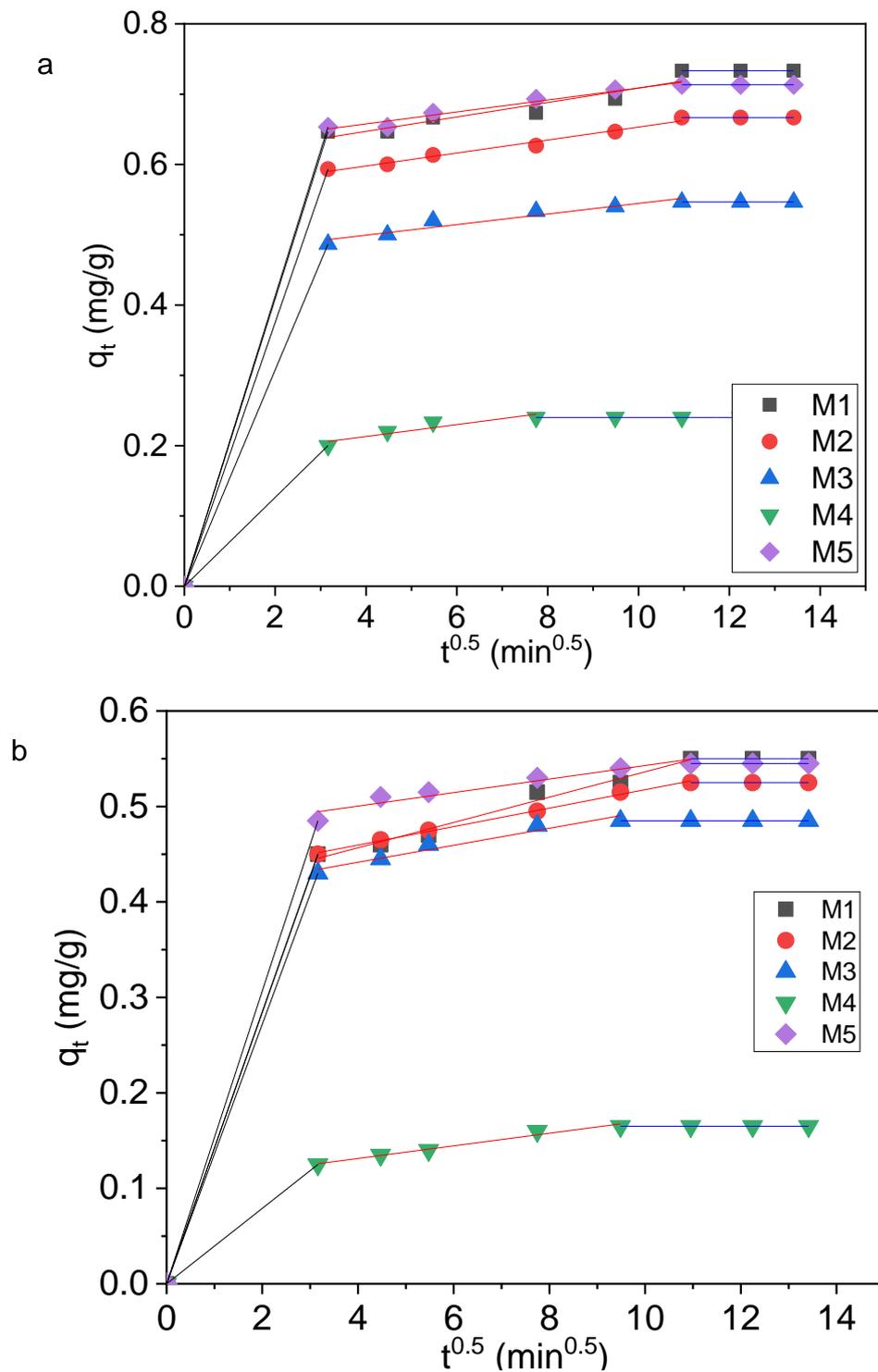


Figura 12. Modelo de difusión Intraparticular para la adsorción de cloro libre en las diferentes fases. a: dosis de 1,5 g/L de carbón activado y b: dosis de 2,0 g/L de carbón activado

Las Tablas 06 y 07 muestran los valores de los parámetros de la aplicación del modelo de difusión intraparticular para cada fase del fenómeno de adsorción. Los valores de K_{diff} son mayores en la fase de adsorción externa y se reducen para las otras dos fases de la adsorción, por lo que la velocidad de adsorción es mayor en la primera fase del proceso y luego se reduce. El hecho de que los datos de cinética de adsorción de cloro libre y total por el carbón activado producido se ajusten al modelo de difusión intraparticular significa que la difusión es un fenómeno clave en el fenómeno de adsorción y uno de los mecanismos limitantes del mismo (Asuquo et al. 2017).

Tabla 06. Modelo de difusión Intraparticular para la adsorción de cloro libre en las diferentes fases de adsorción

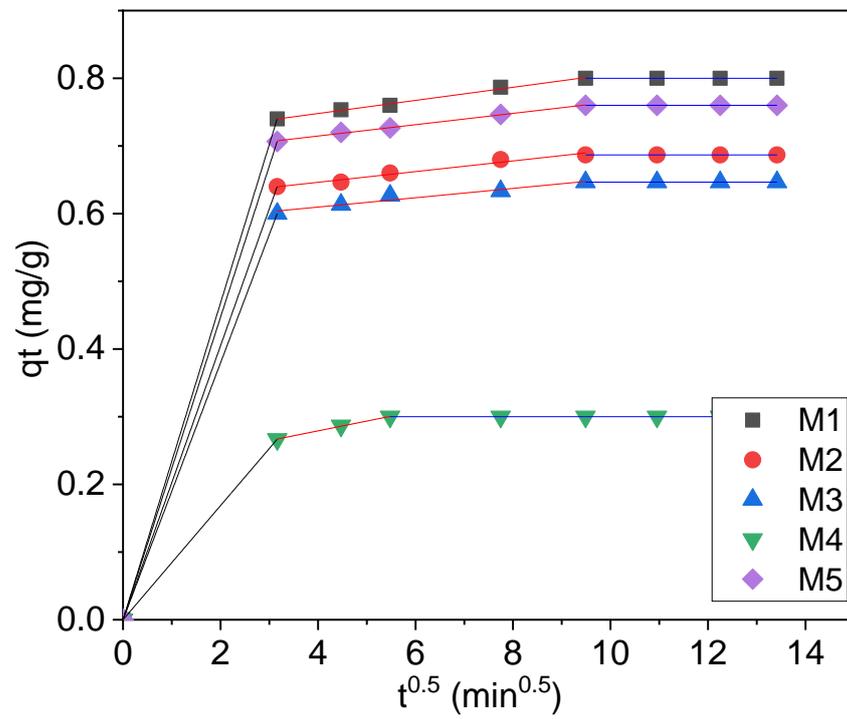
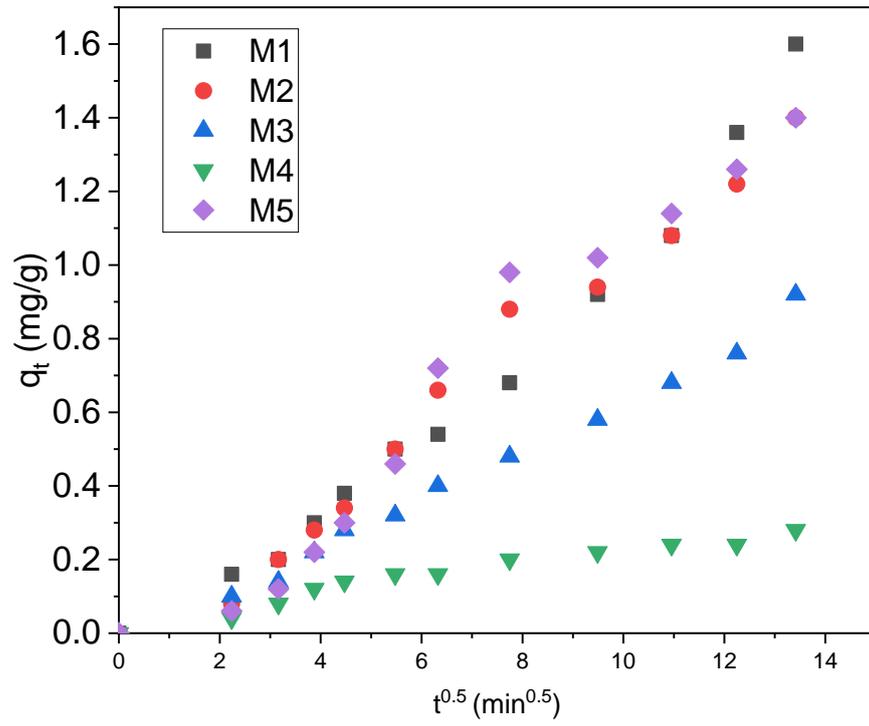
Dosis de carbón 1,5 g/l					
Parámetro	M1	M2	M3	M4	M5
k_{Diff1} ($mg/g.min^{-0.5}$)	0,204	0,188	0,154	0,063	0,207
C_1 (mg/g)	$3,92 \times 10^{-17}$	$3,92 \times 10^{-17}$	$3,9 \times 10^{-17}$	$1,9 \times 10^{-17}$	0
R_1^2	1	1	1	1	1
k_{Diff2} ($mg/g.min^{-0.5}$)	0,010	0,009	0,008	0,008	0,009
C_2 (mg/g)	0,606	0,560	0,469	0,179	0,623
R_2^2	0,8915	0,9807	0,9286	0,8635	0,9653
k_{Diff3} ($mg/g.min^{-0.5}$)	0	$-7,94 \times 10^{-17}$	0	0	$-7,94 \times 10^{-17}$
C_3 (mg/g)	0,733	0,667	0,547	0,240	0,713
R_3^2	1	1	1	1	1
Dosis de carbón 2,0 g/l					
Parámetro	M1	M2	M3	M4	M5
k_{Diff1} ($mg/g.min^{-0.5}$)	0,142	0,142	0,136	0,040	0,153
C_1 (mg/g)	$3,92 \times 10^{-17}$	$3,92 \times 10^{-17}$	$3,92 \times 10^{-17}$	$9,81 \times 10^{-18}$	$3,92 \times 10^{-17}$
R_1^2	1	1	1	1	1

k_{Diff2} ($mg/g.min^{-0.5}$)	0,013	0,010	0,009	0,007	0,007
C_2 (mg/g)	0,404	0,421	0,406	0,105	0,472
R_2^2	0,9801	0,9968	0,9532	0,9799	0,9282
k_{Diff3} ($mg/g.min^{-0.5}$)	0	$-7,93 \times 10^{-17}$	$-5,27 \times 10^{-17}$	0	$-7,93 \times 10^{-17}$
C_3 (mg/g)	0,550	0,525	0,485	0,165	0,545
R_3^2	1	1	1	1	1

Los parámetros con el número 1 corresponden a la etapa de difusión superficial, con el número 2 a la etapa de difusión intraparticular y con el número 3 a la de equilibrio de adsorción.

Cloro total

En las Figura 13 se puede ver claramente las tres fases del fenómeno de adsorción para el cloro total. De la misma manera como para el caso del cloro libre las líneas negras corresponden a la difusión externa, las rojas a la difusión intraparticular y la azul al equilibrio de adsorción.



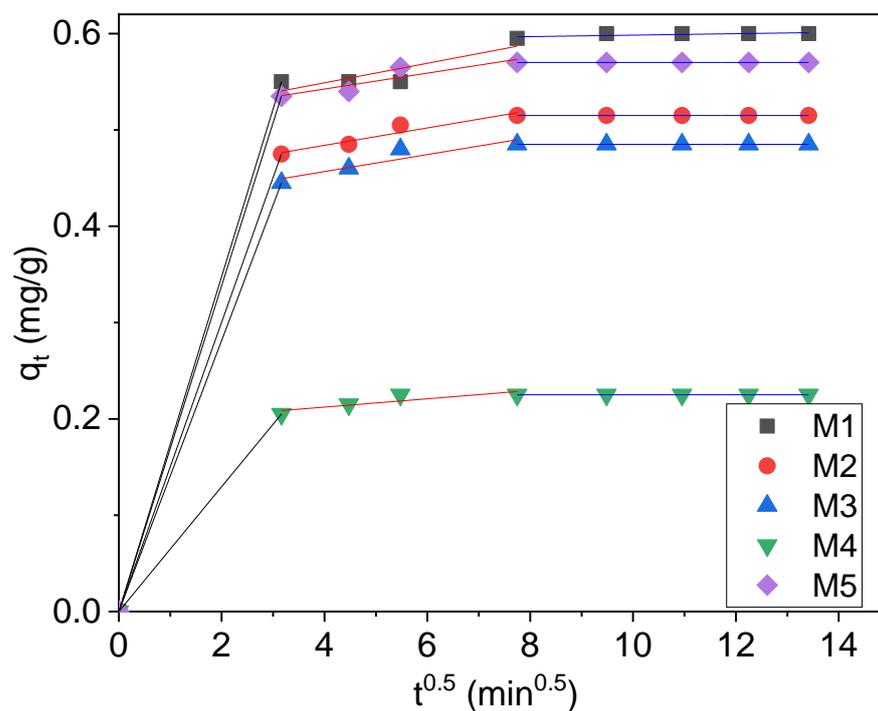


Figura 13. Modelo de difusión Intraparticular para la adsorción de cloro total en las diferentes fases.

Tabla 07. Modelo de difusión Intraparticular para la adsorción de cloro total en las diferentes fases.

Dosis de carbón 1,5 g/l					
Parámetro	M1	M2	M3	M4	M5
k_{Diff1} ($\text{mg/g, min}^{-0.5}$)	0,174	0,150	0,141	0,065	0,169
C_1 (mg/g)	$3,93 \times 10^{-17}$	0	0	$3,92 \times 10^{-17}$	0
R_1^2	1	1	1	1	1
k_{Diff2} ($\text{mg/g, min}^{-0.5}$)	0,0101	0,009	0,009	0,004	0,008
C_2 (mg/g)	0,508	0,448	0,421	0,195	0,509
R_2^2	0,760	0,921	0,856	0,760	0,828
k_{Diff3} ($\text{mg/g, min}^{-0.5}$)	$7,56 \times 10^{-4}$	$-3,75 \times 10^{-17}$	$-1,87 \times 10^{-17}$	$-9,37 \times 10^{-18}$	$-3,75 \times 10^{-17}$
C_3 (mg/g)	0,591	0,515	0,485	0,225	0,570
R_3^2	0,5713	1	1	1	1
Dosis de carbón 2,0 g/l					
Parámetro	M1	M2	M3	M4	M5

k_{Diff1} (mg/g,min ^{-0,5})	0,173	0,150	0,141	0,065	0,169
C_1 (mg/g)	$3,92 \times 10^{-17}$	0	0	$3,92 \times 10^{-17}$	0
R_1^2	1	1	1	1	1
k_{Diff2} (mg/g,min ^{-0,5})	0,010	0,009	0,009	0,004	0,008
C_2 (mg/g)	0,508	0,448	0,421	0,195	0,509
R_2^2	0,7602	0,9206	0,8563	0,7599	0,8279
k_{Diff3} (mg/g,min ^{-0,5})	$7,55 \times 10^{-4}$	$-3,75 \times 10^{-17}$	$-1,87 \times 10^{-17}$	$-9,37 \times 10^{-18}$	$-3,75 \times 10^{-17}$
C_3 (mg/g)	0,591	0,515	0,485	0,225	0,570
R_3^2	0,5713	1	1	1	1

Los parámetros con el número 1 corresponden a la etapa de difusión superficial, con el número 2 a la etapa de difusión intraparticular y con el número 3 a la de equilibrio de adsorción

4.3.4. Rendimiento de remoción

En las tablas 08 y 09, se muestra el cálculo de las eficiencias de adsorción (%) del cloro libre y cloro total de las muestras analizadas. En el caso de cloro libre, la remoción después de 180 min de contacto llega a entre 74,58 – 90,54% cuando la dosis de carbón activado utilizada es 0,5 g/L. Mientras que es del 100% cuando se incrementa la cantidad de carbón activado inicial a 1,5 o 2,0 g/L. En el caso de cloro total la remoción llega entre el 71,87 – 86,96% cuando la dosis inicial de carbón activado es de 0,5 g/L y llega hasta 100% cuando las dosis son de 1,5 y 2,0 g/L. Esta tendencia está relacionada a la cantidad de carbón activado, ya que, al tener mayor cantidad de adsorbente, se incrementa la cantidad de sitios activos de adsorción lo que indica que también ira aumentando la eficiencia de adsorción.

Tabla 08. Eficiencia de remoción de cloro libre por el carbón activado de cascara de zapallo

Dosis de carbón 0,5g/l					
Tiempo (min)	M1	M2	M3	M4	M5
0	0,86	0,81	0,59	0,14	0,74
180	0,09	0,08	0,15	0,03	0,07
Eficiencia (%)	89,53	90,12	74,58	78,57	90,54
Dosis de carbón 1,5g/l					
Tiempo (min)	M1	M2	M3	M4	M5
0	1,10	1,00	0,82	0,36	1,07
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eficiencia (%)	100	100	100	100	100
Dosis de carbón 2 g/l					
Tiempo (min)	M1	M2	M3	M4	M5
0	1,10	1,05	0,97	0,33	1,09
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eficiencia (%)	100	100	100	100	100

Tabla 09. Eficiencia de remoción de cloro total por el carbón activado de cascara de zapallo

Dosis de carbón 0,5g/l					
Tiempo (min)	M1	M2	M3	M4	M5
0	0,92	0,87	0,64	0,18	0,81
180	0,12	0,17	0,18	0,04	0,11
Eficiencia (%)	86,96	80,46	71,87	77,78	86,42
Dosis de carbón 1,5g/l					
Tiempo (min)	M1	M2	M3	M4	M5
0	1,20	1,03	0,97	0,45	1,14
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eficiencia (%)	100	100	100	100	100
Dosis de carbón 2 g/l					
Tiempo (min)	M1	M2	M3	M4	M5
0	1,20	1,03	0,97	0,45	1,14
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eficiencia (%)	100	100	100	100	100

5. CONCLUSIONES

- El carbón activado preparado a partir de cascara de zapallo mostro una buena estructura micro-mesoporosa alcanzando un área superficial de 774,6 m²/g, volumen total de poros de 0,50 cm³/g y un volumen microporoso de 0,34 cm³/g.
- El carbón activado preparado a partir de cascara de zapallo es un adsorbente eficiente en la remoción de cloro total y libre del agua potable que llega a las casas en la ciudad de Tumbes.
- Los datos de cinética de adsorción de cloro libre y total por parte del carbón activado producido a partir de cascara de zapallo se ajustan mejor al modelo de *pseudo*-segundo orden con valores máximos de capacidad de adsorción en el equilibrio (q_e) de cloro libre de hasta 3,6 mg/g y de cloro total de hasta 3,1 mg/g cuando la dosis inicial de carbón activado es de 0,5 g/L. Adicionalmente el hecho de que los datos de cinética de adsorción se ajusten al modelo de difusión intraparticular supone que este es el mecanismo que limita el proceso de adsorción. Los porcentajes de remoción de cloro total y libre del agua potable llegan a valores de 100% cuando las dosis de carbón activado son de 1,5 y 2,0 g/L.
- El carbón activado producido de cáscara de zapallo es un adsorbente promisorio para su uso en el tratamiento de agua potable con adsorbente de cloro.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que los datos obtenidos en la presente investigación sean puestos a consideración para la elaboración de filtros de agua potable, en los hogares de la ciudad de Tumbes, debido que las redes de distribución de aguas potable son defectuosas.
- Es recomendable ampliar la investigación y tratar de evaluar la presencia de productos químicos peligrosos como las Cloraminas orgánicas y los trihalometanos (THM) en el agua potable que consume la población de la ciudad de Tumbes.

7. BIBLIOGRAFÍA.

- Adekola, FA, and HI Adegoke. 2005. "Adsorption of blue-dye on activated carbons produced from rice husk, coconut shell and coconut coirpith." *Ife Journal of Science* 7 (1):151-157.
- Asuquo, Edidiong, Alastair Martin, Petrus Nzerem, Flor Siperstein, and Xiaolei Fan. 2017. "Adsorption of Cd(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions using mesoporous activated carbon adsorbent: Equilibrium, kinetics and characterisation studies." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 5 (1):679-698. doi: 10.1016/j.jece.2016.12.043.
- Cruz, G. J. F., M. M. Gomez, J. L. Solis, J. Rimaycuna, R. L. Solis, J. F. Cruz, B. Rathnayake, and R. L. Keiski. 2018. "Composites of ZnO nanoparticles and biomass based activated carbon: adsorption, photocatalytic and antibacterial capacities." *Water Sci Technol* 2017 (2):492-508. doi: 10.2166/wst.2018.176.
- Cruz, G. J. F., L. Matějová, M. Piriš, K. Ainassaari, C. A. Canepa, J. Solis, J. F. Cruz, O. Šolcová, and R. L. Keiski. 2015. "A Comparative Study on Activated Carbons Derived from a Broad Range of Agro-industrial Wastes in Removal of Large-Molecular-Size Organic Pollutants in Aqueous Phase." *Water, Air, & Soil Pollution* 226 (7). doi: 10.1007/s11270-015-2474-7.
- Cruz, Gerardo Juan Francisco, Carlos Cenepa La Coteria, and Dorian Aguirre. 2015. "Producción y caracterización de carbones activados a partir de residuos agroindustriales." *Manglar* 10 (2):17-25.
- Cruz, Gerardo Juan Francisco, Minna Piriš, Lenka Matějová, Kaisu Ainassaari, Jose Luis Solis, Radek Fajgar, Olga Šolcová, and Riitta Liisa Keiski. 2018. "Two Unconventional Precursors to Produce ZnCl₂-Based Activated Carbon for Water Treatment Applications." *Chemical Engineering & Technology* 41 (8):1649-1659. doi: 10.1002/ceat.201800150.

- Cruz, JF, GJF Cruz, K Ainassaari, MM Gómez, JL Solís, and RL Keiski. 2018. "Microporous activation carbon made of sawdust from two forestry specie for adsorption of methylene blue and heavy metals in aqueous system-case of real polluted water." *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 17 (3):847-861.
- Kumar, Arvind, and Hara Mohan Jena. 2017. "Adsorption of Cr(VI) from aqueous solution by prepared high surface area activated carbon from Fox nutshell by chemical activation with H₃PO₄." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 5 (2):2032-2041. doi: 10.1016/j.jece.2017.03.035.
- Pasmiño, A. J. (2007). Estudio de la adsorción de oro en carbón activado a diferentes condiciones, y modelado de la cinética de adsorción en función del tamaño de partícula. Quito - Ecuador: Universidad San Francisco de Quito Colegio de Ciencias e Ingeniería "El Politécnico".
- Nieuwenhuijsen, Mark J, Rachel Smith, Spyros Golfinopoulos, Nicky Best, James Bennett, Gabriella Aggazzotti, Elena Righi, Guglielmina Fantuzzi, Luca Bucchini, and Sylvaine Cordier. 2009. "Health impacts of long-term exposure to disinfection by-products in drinking water in Europe: HIWATE." *Journal of water and health* 7 (2):185-207.
- Ramakrishnan, Kumar, and Chinnalya Namasivayam. 2009. "Development and characteristics of activated carbons from Jatropha husk, an agro industrial solid waste, by chemical activation methods." *J. Environ. Eng. Manage* 19 (3):173-178.
- Thommes, Matthias, Katsumi Kaneko, Alexander V Neimark, James P Olivier, Francisco Rodriguez-Reinoso, Jean Rouquerol, and Kenneth SW Sing. 2015. "Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report)." *Pure and Applied Chemistry* 87 (9-10):1051-1069.

Tran, Hai Nguyen, Sheng-Jie You, Ahmad Hosseini-Bandegharai, and Huan-Ping Chao. 2017. "Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: a critical review." *Water research* 120:88-116.

Yahaya, NKEM, MFPM Latiff, I Abustan, and MA Ahmad. 2010. "Effect of preparation conditions of activated carbon prepared from rice husk by ZnCl₂ activation for removal of Cu (II) from aqueous solution." *Int. J. Eng. Technol* 10:27-31.

8. ANEXOS

Anexo 1. Remoción de Cloro Total con carbón activado de cascara de Zapallo en las diferentes concentraciones

Concentración 0,50 g/l

TIEMPO	M1	M2	M3	M4	M5
0	0,92	0,87	0,64	0,18	0,81
5	0,84	0,83	0,59	0,16	0,78
10	0,82	0,77	0,57	0,14	0,75
15	0,77	0,73	0,53	0,12	0,70
20	0,73	0,70	0,50	0,11	0,66
30	0,67	0,62	0,48	0,10	0,58
40	0,65	0,54	0,44	0,10	0,45
60	0,58	0,43	0,40	0,08	0,32
90	0,46	0,40	0,35	0,07	0,30
120	0,38	0,33	0,30	0,06	0,24
150	0,24	0,26	0,26	0,06	0,18
180	0,12	0,17	0,18	0,04	0,11
% EFICIENCIA	86,957	80,46	71,875	77,778	86,42
PROMEDIO	80,70				

Anexo 2. Remoción de Cloro Total con carbón activado de cascara de Zapallo en las diferentes concentraciones

Concentración 1,50 g/l

TIEMPO	M1	M2	M3	M4	M5
0	1,20	1,03	0,97	0,45	1,14
10	0,09	0,07	0,07	0,05	0,08
20	0,07	0,06	0,05	0,02	0,06
30	0,06	0,04	0,03	0,00	0,05
60	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
% EFICIENCIA	100	100	100	100	100
PROMEDIO	100,00				

Anexo 3. Remoción de Cloro Total con carbón activado de cascara de Zapallo en las diferentes concentraciones

Concentración 2,00 g/l

TIEMPO	M1	M2	M3	M4	M5
0	1,20	1,03	0,97	0,45	1,14
10	0,10	0,08	0,08	0,04	0,07
20	0,10	0,06	0,05	0,02	0,06
30	0,10	0,02	0,01	0,00	0,01
60	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
% EFICIENCIA	100	100	100	100	100
PROMEDIO	100,00				

Anexo 4. Remoción de Cloro Libre con carbón activado de cascara de Zapallo en las diferentes concentraciones (0.5 g/l)

TIEMPO	M1	M2	M3	M4	M5
0	0,86	0,81	0,59	0,14	0,74
5	0,81	0,78	0,57	0,12	0,70
10	0,78	0,74	0,54	0,10	0,67
15	0,74	0,70	0,50	0,08	0,64
20	0,70	0,66	0,48	0,08	0,60
30	0,66	0,56	0,46	0,07	0,51
40	0,61	0,49	0,42	0,06	0,40
60	0,52	0,38	0,38	0,05	0,24
90	0,40	0,32	0,33	0,04	0,21
120	0,32	0,24	0,30	0,04	0,12
150	0,18	0,11	0,22	0,03	0,10
180	0,09	0,08	0,15	0,03	0,07
% EFICIENCIA	89,53	90,12	74,58	78,57	90,54
PROMEDIO	84,67				

Anexo 5. Remoción de Cloro Libre con carbón activado de cascara de Zapallo en las diferentes concentraciones (1,5 g/l)

TIEMPO	M1	M2	M3	M4	M5
0	1,10	1,00	0,82	0,36	1,07
10	0,13	0,11	0,09	0,06	0,09
20	0,13	0,10	0,07	0,03	0,09
30	0,10	0,08	0,04	0,01	0,06
60	0,09	0,06	0,02	0,00	0,03
90	0,06	0,03	0,01	0,00	0,01
120	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
% EFICIENCIA	100	100	100	100	100
PROMEDIO	100,00				

Remoción de Cloro Libre con carbón activado de cascara de Zapallo en las diferentes concentraciones (2,0 g/l)

Concentración 2,00 g/l

TIEMPO	M1	M2	M3	M4	M5
	1,10	1,05	0,97	0,33	1,09
10	0,20	0,15	0,11	0,08	0,12
20	0,18	0,12	0,08	0,06	0,07
30	0,16	0,10	0,05	0,05	0,06
60	0,07	0,06	0,01	0,01	0,03
90	0,05	0,02	0,00	0,00	0,01
120	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
% EFICIENCIA	100	100	100	100	100
PROMEDIO	100,00				

Anexo 7. Recálculo de volumen de adsorción cm³/gSTP

P/Ps	V(cm3/g)	1-P/Ps	V*(1-P/Ps)	(P/Ps)/V*(1-P/Ps)
0,010144556	145,6167113	0,989855444	144,1394945	7,03801E-05
0,030071911	165,5322501	0,969928089	160,554379	0,0001873
0,050026673	176,241008	0,949973327	167,4242568	0,000298802
0,07008661	184,1052973	0,92991339	171,2019812	0,00040938
0,079979209	187,3327201	0,920020791	172,3499974	0,000464051
0,130159438	200,3406429	0,869840562	174,2644173	0,000746908
0,150234724	204,5080797	0,849765276	173,7838647	0,000864492
0,190267101	211,7941964	0,809732899	171,4967287	0,00110945
0,270181094	223,6083169	0,729818906	163,1935773	0,001655587
0,310362224	228,7217656	0,689637776	157,7351698	0,001967616
0,390284649	237,9108225	0,609715351	145,0578807	0,002690544
0,470627393	246,1993469	0,529372607	130,3311901	0,003611011
0,610507082	259,9745277	0,389492918	101,2582375	0,006029209
0,750592282	274,1720092	0,249407718	68,38061516	0,010976682
0,850775869	286,3968843	0,149224131	42,73732611	0,019907092
0,910578597	296,4601877	0,089421403	26,50988585	0,034348643
0,94037315	303,4499006	0,05962685	18,09376181	0,05197223
0,970658393	313,0085063	0,029341607	9,184172689	0,105688169
0,99054461	324,3177942	0,00945539	3,066551139	0,323015846
0,981082635	320,5297278	0,018917365	6,063577798	0,161799299
0,945561539	311,8367765	0,054438461	16,97591404	0,055700184
0,91046769	306,4448878	0,08953231	27,43671872	0,033184278

0,605932336	278,0840232	0,394067664	109,5839214	0,005529391
0,488977131	264,8006595	0,511022869	135,3191927	0,003613509
0,301071287	226,8306414	0,698928713	158,5384482	0,001899043

Anexo 8. Plano de ubicación de los puntos de muestreo.

