



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE QUÍMICA

“CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE DIURON EN MEDIO ACUOSO UTILIZANDO CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE COCO”

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

QUÍMICO

AUTORA: JESSICA FERNANDA SANCHEZ CENTENO

DIRECTORA: Ing. LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Jessica Fernanda Sánchez Centeno

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Jessica Fernanda Sánchez Centeno, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor/autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 18 de junio de 2021



Jessica Fernanda Sánchez Centeno
060421766-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, **CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE DIURON EN MEDIO ACUOSO UTILIZANDO CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE COCO**, realizado por la señorita: **JESSICA FERNANDA SANCHEZ CENTENO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Julio Cesar Idrovo Novillo, PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: JULIO CESAR IDROVO NOVILLO	2021-06-18
Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos, MsC. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS	2021-06-18
Ing. Luis Santiago Carrera Armendáriz, Mgs. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: LUIS SANTIAGO CARRERA ALMENDARIZ	2021-06-18

DEDICATORIA

Dedicado a mi familia por apoyarme incondicionalmente en todo momento y gracias a ello poder culminar mi carrera.

Jessica

AGRADECIMIENTO

A mi familia por ser mi fortaleza por apoyarme y motivarme, a mis docentes por los conocimientos impartidos que han sido fundamentales para la realización del presente trabajo y finalmente a los técnicos docentes que me han colaborado en la realización del trabajo.

Jessica

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1 Antecedentes de la investigación	5
1.2 Plaguicidas	6
<i>1.2.1 Herbicidas.....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.2 Diuron.....</i>	<i>9</i>
1.3 Adsorción	11
<i>1.3.1 Tipos de adsorción</i>	<i>11</i>
<i>1.3.2 Factores que influyen en el proceso de adsorción.....</i>	<i>12</i>
1.4 Cinéticas de adsorción.....	14
<i>1.4.1 Modelo pseudo primer orden</i>	<i>14</i>
<i>1.4.2 Modelo pseudo segundo orden.....</i>	<i>15</i>
1.5 Carbón activado.....	15
<i>1.5.1 Estructura.....</i>	<i>16</i>
<i>1.5.2 Composición.....</i>	<i>16</i>
<i>1.5.3 Polaridad del carbón activado.....</i>	<i>16</i>
<i>1.5.4 Química superficial del carbón activado.....</i>	<i>17</i>
<i>1.5.5 Porosidad.....</i>	<i>18</i>

1.5.6	<i>Parámetros que influyen en las propiedades del carbón activado</i>	19
1.5.7	<i>Tipos de carbón activado</i>	19
1.5.8	<i>Producción de carbón activado</i>	19
1.6	Endocarpio de coco	21
1.6.1	<i>Composición química del endocarpio de coco</i>	22

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	24
2.1	Obtención del carbón activado	24
2.1.1	<i>Acondicionamiento de la materia prima</i>	24
2.1.2	<i>Impregnación con ácido fosfórico</i>	24
2.1.3	<i>Activación mediante carbonización</i>	24
2.2	Caracterización del carbón activado	25
2.2.1	<i>Análisis próximo</i>	25
2.2.2	<i>Índice de yodo</i>	27
2.2.3	<i>pH</i>	28
2.2.4	<i>Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier</i>	28
2.3	Adsorción de Diuron con carbón activado	28
2.3.1	<i>Preparación de los puntos Estándar</i>	28
2.3.2	<i>Preparación de la curva de calibración</i>	29
2.3.3	<i>Acondicionamiento del adsorbente</i>	29
2.3.4	<i>Ensayos de adsorción</i>	29

CAPITULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	31
3.1	Caracterización del carbón activado	31
3.1.1	<i>Análisis próximo</i>	31

3.1.2	<i>Índice de yodo</i>	32
3.1.3	<i>pH</i>	32
3.1.4	<i>Análisis de espectroscopia IR</i>	32
3.2	Estudio de las condiciones de adsorción de Diuron	35
3.2.1	<i>Optimización de la temperatura</i>	36
3.2.2	<i>Optimización del pH</i>	37
3.2.3	<i>Optimización de la dosis de adsorbente</i>	39
3.2.4	<i>Optimización del tiempo de contacto</i>	41
3.2.5	<i>Eficiencia de adsorción</i>	44
3.2.6	<i>Modelo cinético de adsorción para los parámetros óptimos en la adsorción de diuron</i>	45
	CONCLUSIONES	49
	RECOMENDACIONES	50
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Clasificación de los plaguicidas de acuerdo con varios criterios	6
Tabla 1-2:	Factores experimentales para la remoción de Diuron por adsorción	29
Tabla 1-3:	Resultados del análisis próximo del carbón activado	31
Tabla 2-3:	Resultados de los tratamientos realizados en la adsorción de Diuron	35
Tabla 3-3:	Variación del porcentaje de adsorción de diuron en función del tiempo a diferentes temperaturas	36
Tabla 4-3:	Parámetros de los modelos cinéticos de pseudo primer y pseudo segundo orden para la adsorción de diuron a diferentes temperaturas.....	37
Tabla 5-3:	Variación del porcentaje de adsorción de diuron en función del tiempo a diferentes valores de pH.....	37
Tabla 6-3:	Parámetros de los modelos cinéticos de pseudo primer y pseudo segundo orden para la adsorción de diuron a diferentes valores de pH	38
Tabla 7-3:	Variación del porcentaje de adsorción de diuron en función del tiempo a diferentes dosis de Carbón activado.....	39
Tabla 9-3:	Datos de adsorción de diuron en función del tiempo	41
Tabla 10-3:	Análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de adsorción de diuron	42
Tabla 11-3:	Datos experimentales de la adsorción de diuron sobre carbón activado.....	45
Tabla 12-3:	Constantes del modelo de pseudo primer orden para la adsorción de diuron sobre carbón activado	46
Tabla 13-3:	Constantes del modelo de pseudo segundo orden para la adsorción de diuron sobre carbón activado	47
Tabla 14-3:	Resumen del porcentaje de adsorción para diuron en diferentes tipos de carbón activado.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Estructura química del Diuron.....	9
Figura 2-1:	Carácter ácido y básico de la superficie del carbón activado	17
Figura 3-1:	Ilustración de las partes que componen el Coco	21
Figura 4-1:	Estructura química de la Lignina.....	22
Figura 5-1:	Estructura química de la celulosa	23
Figura 6-1:	Estructura química de la Hemicelulosa	23
Figura 1-3:	Espectro Infrarrojo del endocarpio de coco	33
Figura 2-3:	Espectro Infrarrojo del carbón activado obtenido del endocarpio de coco.....	34

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Proporción de cantidad de plaguicida químico principal utilizado.....	8
Gráfico 1-3:	Adsorción de diuron en función del tiempo a diferentes temperaturas.....	36
Gráfico 2-3:	Adsorción de diuron en función del tiempo a diferentes valores de pH	38
Gráfico 3-3:	Adsorción de diuron en función del tiempo a diferentes dosis de adsorbente	40
Gráfico 4-3:	Adsorción de diuron en función del tiempo	41
Gráfico 5-3:	Diagrama de Pareto para las interacciones entre cada variable	43
Gráfico 6-3:	Interacciones de las variables de estudio (temperatura, pH, dosis de adsorbente)	44
Gráfico 7-3:	Cinética de remoción de Diuron sobre carbón activado en condiciones de ensayo de: 0,166 g CA, 35°C, pH 5 CoDiuron = 9 mg/L	45
Gráfico 8-3:	Gráfico del modelo cinético de adsorción pseudo primer orden	46
Gráfico 9-3:	Gráfico del modelo cinético de adsorción pseudo segundo orden.....	47

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

ANEXO C: ENSAYOS DE ADSORCIÓN

ANEXO D: TABLA DEL FACTOR DE CORRECCIÓN D PARA LA DETERMINACIÓN
DEL NÚMERO DE YODO

RESUMEN

El propósito de este estudio fue remover diuron en medio acuoso mediante el uso de carbón activado. Se obtuvo el adsorbente por activación química con ácido fosfórico. El área superficial fue determinada mediante un análisis de índice de yodo, con la ayuda de un espectrofotómetro infrarrojo se identificaron los grupos superficiales, los ensayos de adsorción se realizaron con tres niveles de temperatura, pH y dosis de adsorbente; la concentración residual del diuron fue determinada mediante el uso de un espectrofotómetro UV-VIS a una longitud de onda de 245 nm. el índice de yodo fue de 637,85 mg I₂/g el cual cumple con lo establecido por la norma INEN lo que indica que tiene una buena área superficial, presenta un carácter ácido debido a la presencia de grupos carboxílicos, anhídridos ácidos, lactonas. Mediante los ensayos de adsorción se determinó que la mayor cantidad de adsorción se obtiene a 35°C a pH 5 con 0,166 g de carbón activado durante 120 minutos removiendo más del 98% del herbicida. La adsorción de diuron en medio acuoso sobre carbón activado es eficiente teniendo una capacidad de remoción mayor a 5 mg/g. se recomienda usar el carbón activado de la cáscara de coco en el estudio de la adsorción de otros herbicidas de fenilurea.

Palabras clave: <CARBÓN ACTIVADO>, <DIURON>, <ADSORCIÓN>, <EFICIENCIA>, <TEMPERATURA>, <pH>, <DOSIS DE ADSORBENTE>.



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS



02-07-2021
1276-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

The objective of this study was to remove diuron in an aqueous medium using activated charcoal. The adsorbent was obtained by chemical activation with phosphoric acid. The surface area was determined using an iodine value, surface groups were identified with the help of an infrared spectrophotometer, the adsorption tests were carried out with three levels of temperature, pH and dose of adsorbent; the residual diuron concentration was determined using a UV-VIS spectrophotometer at a wavelength of 245 nm. The iodine index was 637.85 mg I₂ /g which complies with the provisions of the INEN standard, which indicates that it has a good surface area, has an acid character due to the presence of carboxylic groups, acid anhydrides, lactones. Through adsorption tests it was determined that the highest amount of adsorption is obtained at 35 °C at pH 5 with 0.166 g of activated carbon for 120 minutes, removing more than 98% of the herbicide. The adsorption of diuron in an aqueous medium on activated carbon is efficient, having a removal capacity greater than 5 mg / g. It is recommended to use activated charcoal from coconut shells in the study of the adsorption of other phenyl urea herbicides.

Keywords: <ACTIVATED CARBON>, <DIURON>, <ADSORPTION>, <EFFICIENCY>, <TEMPERATURE>, <pH>, <ADSORBENT DOSE>.

INTRODUCCIÓN

El uso de plaguicidas en la actividad agrícola para el control de plagas y vectores de enfermedades ha significado el incremento en la producción de los cultivos (Sánchez & Ortiz, 2011, p.21), sin embargo, el uso desmedido y el manejo inadecuado ha provocado la acumulación de estos agroquímicos causando daños tanto para la salud humana como para el medio ambiente (Köck, 2014, p.17), debido a que por medio de las escorrentías son arrastrados y depositados en los cuerpos hídricos contaminando aguas subterráneas y superficiales (Secretaría Nacional del Agua et al., 2016, p. 41).

Según datos del (INEC, 2014, p.15) en el Ecuador el 38,14% de productores hace uso de herbicidas como plaguicida principal seguido de un 33,63% de fungicidas, 21,69% de insecticidas y un 6,55% de otros productos. Asimismo, el (INEC, 2016, p. 17) reportó los herbicidas más usados son de ligera toxicidad tanto en cultivos permanentes y transitorios con un 39,91 % y 36,41% respectivamente.

Bunzel, Kattwinkel & Liess (2013, p. 598) identificaron que los plaguicidas presentes en medios acuáticos son el principal factor de estrés químico para los organismos presentes en estos medios.

El diuron es un herbicida de urea sustituida (Al Bahri et al., 2012, p.349) usado para controlar una amplia gama de maleza de hoja ancha, musgos, no solo es usado con fines agrícolas sino también en áreas no cultivadas como carreteras, senderos, líneas ferroviarias (Giacomazzi & Cochet 2004, p. 1022). En el Ecuador se usa el diuron principalmente en cultivos de banano, caña de azúcar, maíz y piña (Naranjo, 2017, pp. 131-139).

Se encuentra en la lista de plaguicidas altamente peligrosos debido a que tiene efectos a largo plazo, clasificado como probable carcinógeno según la Agencia de protección ambiental EPA (PAN International, 2016, p.27).

La preocupación de la recuperar las aguas contaminadas con este herbicida debido a que está clasificado un plaguicida altamente peligroso debido a su toxicidad para el medio ambiente ha hecho que se desarrollen metodologías para la recuperación de estos ecosistemas, una de las alternativas más viables y económicas es el uso de carbón activado como adsorbente (Al Bahri et al., 2012, p. 349).

El carbón activado es un material carbonoso que ha sido sometido a un tratamiento físico o químico con el fin de incrementar la porosidad, superficie interna y el contenido superficial de grupos químicos como el oxígeno y el nitrógeno que le confieren gran capacidad de adsorción de algunas moléculas consideradas contaminantes (Solís et al., 2012, p. 37).

Las materias primas que se usan comúnmente para la producción de carbón activado son el carbón mineral, los residuos de petróleo, entre otros, el problema que presentan estos materiales es que son no renovables, en los últimos años se ha propuesto el uso de materia orgánica (residuos lignocelulósicos) como una nueva alternativa para la producción de carbón activado ya que son materiales renovables, se los puede obtener a bajos costos porque son considerados como desperdicios (Yahya, Al-Qodah & Ngah, 2015, pp. 219-220), además que el uso de la biomasa residual en la producción de carbón activado ayuda en el tratamiento de los desechos dándole valor agregado (Canales, 2018, p. 1) disminuyendo la contaminación que provocan estos materiales al no tener un tratamiento adecuado antes de su disposición final, lo que ocasiona problemas de acumulación, proliferación de vectores, etc.

Se usa carbones activados principalmente para la adsorción de contaminantes presentes en el agua (Al Bahri et al., 2012, p. 348), por lo tanto, es una buena alternativa para la adsorción de diuron en medios acuosos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El diuron es un plaguicida altamente peligroso (PAN International, 2016), relativamente estable en el agua, no fotosensible y persistente en el suelo (Peña, Guerrero & Martínez, 2018, P. 32) usado para la erradicación de maleza de hoja ancha (Giacomazzi & Cochet, 2004, p. 1022), en el Ecuador se usa principalmente en los cultivos de banano, caña de azúcar, maíz y piña (Naranjo, 2017, pp. 131-139). Sánchez y Ortiz (2011, p.22) describen que cuando se aplica un plaguicida solo el 1% alcanza el blanco y el 99% queda retenido en el follaje o a su vez se distribuye en el ambiente, alcanzando los cuerpos de agua por medio de escorrentías, lixiviación y volatilización (Peña, Guerrero & Martínez, 2018, p.32), la presencia de los plaguicidas en los sistemas acuáticos son un tema de gran preocupación ya que se ha identificado que son el principal factor de estrés químico de los organismos acuáticos (Bunzel, Kattwinkel & Liess, 2013, p.597), además que representan un riesgo para la salud humana (Temgoua et al., 2020, p. 137) ya que el diuron está clasificado como posible carcinógeno según la Agencia de Protección Ambiental EPA (PAN International, 2016), otro inconveniente de la presencia del diuron en el agua es que la degradación de este herbicida produce un compuesto aún más tóxico que el mismo diuron, el (3,4 - DCA) lo que produce un impacto ambiental magnificado (Giacomazzi & Cochet, 2004, pp. 1023-1025). Se han desarrollado métodos o técnicas para la eliminación de los plaguicidas en medios acuosos, algunos de ellos son los métodos biológicos, la oxidación con ozono y la hidrodecloración que son usados para la adsorción de diuron y otros plaguicidas de fenilurea (Al Bahri et al., 2012, p. 349), sin embargo, se debe

tener en cuenta que el método garantice la eliminación del plaguicida de manera segura, eficiente y sea viable económicamente (Sánchez & Ortiz, 2011), la adsorción es un método que cumple con estos requerimientos por lo tanto es una buena alternativa para este fin. Por tal motivo, el objetivo principal de este trabajo es evaluar la eficacia de la adsorción de diuron usando carbón activado obtenido de la cáscara de coco y determinar las condiciones ideales para la eliminación de este contaminante en sistemas acuosos, de este modo, aportar con información sobre los parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de realizar la adsorción de este herbicida.

¿Cuál es la capacidad máxima de adsorción del carbón activado obtenido de la cáscara de coco al adsorber diuron en medio acuoso?

JUSTIFICACIÓN

La presencia de residuos de plaguicidas en el agua es un tema de gran preocupación ya que el agua es un recurso esencial para la vida. Hoy en día se busca el desarrollo de alternativas y procesos factibles, económicos y eficientes en el tratamiento de aguas contaminadas, la presente investigación tiene por objeto el estudio de la adsorción de diuron en medio acuoso usando el carbón activado obtenido de la cáscara de coco, así determinar las condiciones ideales con las cuales se pueda adsorber la mayor cantidad del herbicida en el menor tiempo posible, el estudio se lo realizará a nivel de laboratorio para que posteriormente pueda ser escalado en el tratamiento de aguas contaminadas en fuentes reales. Se va a determinar parámetros de pH, temperatura y la cantidad de adsorbente que se requieren para el desarrollo de una adsorción eficiente. La adsorción se va a realizar con el uso de carbón activado debido a que es un material que tiene buenas propiedades de adsorción, se lo puede obtener de residuos lignocelulósicos que son considerados un desecho y al no tener un tratamiento adecuado antes de su disposición final son causantes de la emisión de gases de efecto invernadero y son focos de vectores de enfermedades, es así que al ser empleados en la obtención de carbón activado se le da un valor agregado, disminuyendo la contaminación por desechos sólidos y se contribuye en recuperación de aguas contaminadas. El carbón activado es un material que se lo puede obtener a bajos costos, siendo una alternativa económica y eficiente en la remediación de aguas contaminadas con plaguicidas.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar la capacidad de adsorción de diuron en medio acuoso utilizando carbón activado obtenido de la cáscara de coco

Objetivos específicos

- Obtener carbón activado a partir de la cáscara de coco mediante activación química
- Caracterizar el carbón activado obtenido mediante análisis instrumental
- Determinar los parámetros (pH, dosis de adsorbente y temperatura) que permitan obtener la mayor adsorción de diuron en un medio acuoso.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes de la investigación

En la investigación realizada por Fontecha et al. (2008) se describe la cinética de adsorción de diuron en medio acuoso, el estudio lo realizaron para determinar el tamaño de carbón activado al cual se obtiene mayor porcentaje de adsorción, se determinó que el tamaño adecuado es de 0,03 mm de diámetro con el cual se removió el diuron casi en su totalidad partiendo de una solución de diuron de concentración inicial de 40 mg/L a un pH 7 en un tiempo de 1,5 horas, los resultados fueron similares a los obtenidos usando fibra de carbono.

En estudio realizado por Cansado et al. (2017) en la adsorción de diuron usando carbón activado obtenido de residuos de madera se reporta una adsorción del 80% dentro de las 2,5 horas usando una solución a pH 7, el equilibrio se alcanzó dentro de las 24 horas, los autores describen que la adsorción del herbicida puede limitarse por la dimensión molecular y la baja solubilidad del diuron.

Se realizó un estudio de la adsorción de diuron usando carbón activado granular obtenido de las semillas de uva (Al Bahri et al. 2012), la experimentación la realizaron con un carbón activado de tamaño de 3-4 mm de diámetro, observaron que la mayor cantidad de adsorción se dio dentro de las 8 horas, también estudiaron la influencia de la temperatura en la adsorción donde identificaron que a mayor temperatura la capacidad de adsorción se incrementaba obteniendo los mejores resultados a 45°C, reportaron también que una relación 3:1 activante/precursor en la activación del carbón es el mejor para el desarrollo de mesoporos que es ideal para la adsorción del herbicida.

Achury (2008) obtuvo carbón activado usando cáscara de coco de un tamaño de partícula de 38 μm los cuales se impregnaron con H_3PO_4 al 30%, 60% y 85% en una relación 1:1 en peso, la carbonización lo realizó a 500°C durante 2h, en sus resultados reportó que la activación con el ácido a mayor concentración ayudaba a la formación de carbón activado con mayor área superficial y mejores rendimientos, también se evidenció el desarrollo de mesoporos a diferencia del carbón activado obtenido con ácido al 30% que solo presentaba el desarrollo de microporo, los carbones activados obtenidos poseían carácter ácido debido a la presencia de grupos oxigenados que se presentaban en la superficie del material como consecuencia del activante usado.

El estudio reporta los resultados obtenidos en la preparación de carbón activado usando cáscara de coco (Aljeboree, Alshirifi & Alkaim, 2017), partieron de un precursor de tamaño de 1-2mm de diámetro el cual lo carbonizaron a 500 °C durante 2 horas, posteriormente se realizó la impregnación con ácido fosfórico al 50% durante un periodo de 24 horas luego lo activaron a 600 °C por 4 horas, obtuvieron una buena área superficial e identificaron la presencia de grupos hidroxilo, carbonilo y compuestos aromáticos ideales en la adsorción de colorantes.

Realizaron un estudio para determinar las condiciones óptimas para obtener carbón activado usando como precursor el endocarpio de coco (Gratuito et al. 2008), estudiaron la relación activante/precursor, el tiempo y la temperatura de carbonización, determinaron que la relación activante/precursor en la cual se obtiene la presencia de mesoporos y microporos es de 1,725, una relación mayor provoca la formación de macroporos lo cual no es ideal si se desea adsorber contaminantes de bajo peso molecular, el tiempo óptimo de activación fue de 19,5 minutos ya que la humedad y los compuestos volátiles se eliminan a los 7 minutos, una exposición mayor resulta en la formación de macroporos, la temperatura ideal fue de 416°C, el carbón activado obtenido presentaba características deseables para la adsorción de contaminantes.

1.2 Plaguicidas

Los plaguicidas son sustancias químicas que ayudan a combatir, prevenir, destruir o repeler plagas (insectos, maleza, microorganismos, etc.) en el sector agrícola, industrial y doméstico. El uso de plaguicidas en la agricultura ha sido beneficioso ya que sin ellos la producción de alimentos se ve reducida en un promedio del 45%, sin embargo, el uso desmedido de estos productos ha tenido un impacto negativo en el medio ambiente y la salud (Barrett & Jaward 2012, p.1). La clasificación de los plaguicidas es variada, en la tabla 1-1 se presenta alguna de las clasificaciones más relevantes.

Tabla 1-1: Clasificación de los plaguicidas de acuerdo con varios criterios

CRITERIO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Tipo de organismo que controla	Según el tipo de plaga que controla	Fungicidas, insecticidas, herbicidas, acaricidas, biosidas
Grupo químico del principio activo	Según la familia química de su principio	Carbamatos, amidas, triazinas, fenilureas, organofosforados, piretroides

Toxicidad	Según el nivel de toxicidad	Ia, Ib, II, III, U
Modo de acción	En función del modo de aplicación	De contado, sistémico, residual, repelente
Momento de aplicación	En función al momento de aplicación	Pre-siembra, pre-emergencia, post-emergencia
Tiempo de persistencia	En función del tiempo que permanecen en el medio ambiente antes de degradarse	Permanentes, altamente persistentes, moderadamente persistentes, poco persistentes, ligeramente persistentes

Fuente: Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria, 2017; Köck Schulmeyer, 2014

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

La clasificación según el organismo al que controla es una de las más usadas, los insecticidas son usados para el control de insectos, los herbicidas para controlar la maleza de los cultivos, fungicidas para la eliminación de hongos, entre otros. La clasificación según su toxicidad también es importante, indica el nivel de toxicidad de cada grupo, Ia (extremadamente peligroso), Ib (altamente peligroso), II (moderadamente peligroso), III (ligeramente peligroso), U (poco probable que presente riesgo agudo), el nivel de persistencia también es un criterio a tomar en cuenta ya que mientras más persistente sea el producto resulta más perjudicial para el medio ambiente , los plaguicidas permanentes permanecen en el medio ambiente un tiempo mayor a 20 años, los altamente persistentes van de 1 a 20 años, los moderadamente persistentes van de 27-52 semanas, los poco persistentes 4 a 26 semanas y finalmente los ligeramente persistentes toman tiempos menores a 4 semanas (Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria, 2017).

Ecuador es un país agrícola por lo tanto consume grandes cantidades de plaguicidas. Según el instituto Nacional de estadística y censos INEC (2014, p.15) reporta que los plaguicidas más utilizados son los herbicidas (38,14%) , seguido los fungicidas (33,63%), insecticidas (21,69%). Asimismo, el INEC (2016, p. 17) reportó los herbicidas más usados son de ligera toxicidad tanto en cultivos permanentes y transitorios con un 39,91 % y 36,41% respectivamente.

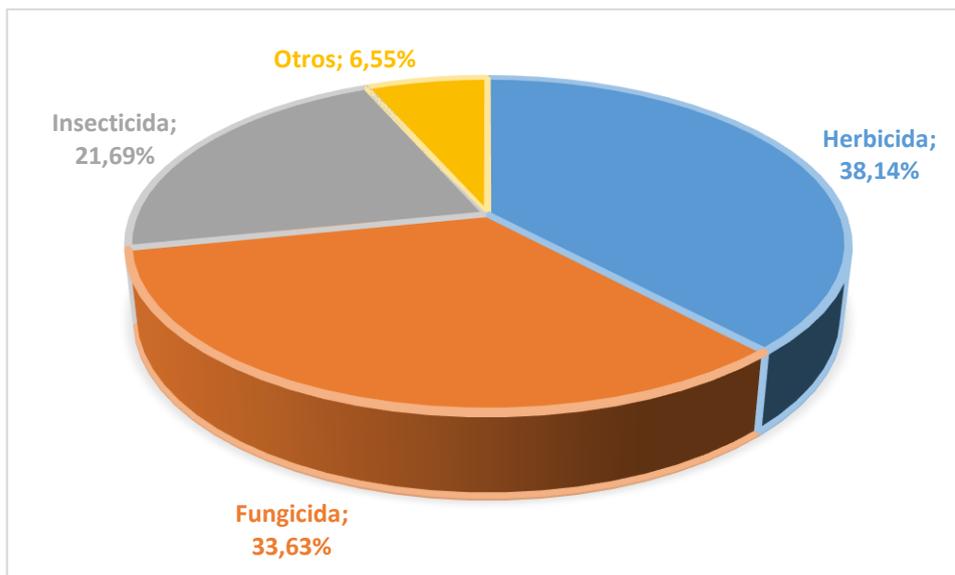


Gráfico 1-1: Proporción de cantidad de plaguicida químico principal utilizado

Fuente: INEC, 2014

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

Sánchez y Ortiz (2011, p.22) describen que cuando se aplica un plaguicida solo el 1% alcanza el blanco y el 99% queda retenido en el follaje o a su vez se distribuye en el ambiente, alcanzando los cuerpos de agua por medio de escorrentías, lixiviación y volatilización (Peña, Guerrero & Martínez, 2018, p.32), la presencia de los plaguicidas en los sistemas acuáticos son un tema de gran preocupación ya que se ha identificado que son el principal factor de estrés químico de los organismos acuáticos (Bunzel, Kattwinkel & Liess, 2013, p.597), además que representan un riesgo para la salud humana (Temgoua et al., 2020, p. 137)

1.2.1 Herbicidas

Los herbicidas son sustancias o mezclas de ellas las cuales ayudan a controlar plantas indeseables (maleza) que se encuentran en los cultivos actúan mediante la disrupción en la fisiología o metabolismo de la planta de interés, tienen diferentes puntos de acción, algunos afectan la fotosíntesis o división celular y el crecimiento, los herbicidas del mismo grupo químico por lo general actúan en el mismo punto de acción, pero no siempre se cumple esto (FAO [sin fecha]).

Son usados de acuerdo con la necesidad y en un momento determinado, si se los aplica fuera de tiempo no van a ser efectivos, el momento se refiere al estado de crecimiento de la planta ya sea maleza o cultivo, de acuerdo con la época de aplicación se clasifica en dos grupos principales, pre-siembra y post siembra, los herbicidas de pre-siembra deben ser aplicado antes de la siembra,

los post-siembra se aplican después de la siembra ya sea que el cultivo ha emergido o no. Los post-siembra se subclasifican en pre-emergencia y post-emergencia, el primero se aplica cuando el cultivo aún no ha emergido del suelo sin embargo existe la presencia de pequeñas plantas de maleza ya que actúa en las primeras etapas del ciclo de vida (germinación), mientras que los post-emergencia son aplicados cuando el cultivo como la maleza ya han emergido del suelo, actúa en la etapa de crecimiento y desarrollo. Otro criterio para clasificar a los herbicidas es la selectividad, entendida como la capacidad de no causar daño a ciertas especies, se clasifican en selectivos y no selectivos, el primero elimina la maleza sin causar daño al cultivo y el segundo destruye todas las especies presentes, la selectividad puede deberse a las propiedades de la planta, del herbicida o por otros factores ya sean físicos, químicos, fisiológicos o metabólicos (Anzalone, 2005, p.4). Según el método de uso estos herbicidas pueden ser de contacto (se aplica en el follaje y solo afecta la parte tratada), sistémico (se aplica en el follaje y se dirige a otro punto de acción), residuales (se aplican en el suelo y persisten por algún tiempo para ser efectivos) (FAO [sin fecha]).

1.2.2 Diuron

El diuron (3-(3,4-diclorofenil) – 1,1-dimetil -urea) es un herbicida de la familia de las fenilamidas subclase fenilurea (su estructura base está formada por un grupo fenilo unido a un radical metil urea, las sustituciones se dan en los carbonos 3 y 4 del anillo aromático también en el grupo metil urea) (González, 2015, p. 4), en estado puro es un compuesto cristalino incoloro (Giacomazzi & Cochet, 2004, p. 1022), parcialmente polar, no ionizable, tiene solubilidad moderada en el agua (42 mg/L) (Leining & Freitas, 2012, p. 1312). Es un herbicida pre-emergente (controla la maleza en las primeras etapas del ciclo de vida) que cumple con la función de inhibir la fotosíntesis interrumpiendo la producción de oxígeno (Temgoua et al., 2020, p. 139).

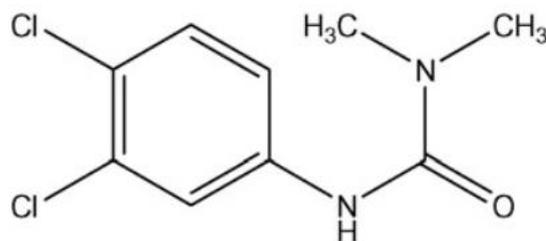


Figura 1-1: Estructura química del Diuron

Fuente: Fontecha et al., 2008

Es usado para controlar una amplia gama de maleza de hoja ancha y musgos tanto en áreas agrícolas como en áreas no cultivadas como carreteras, senderos, líneas ferroviarias (Giacomazzi & Cochet, 2004, p. 1022), además de usarse como herbicida es usado en pinturas antiincrustantes para los barcos (Xu et al. 2013, p.140). El uso de este plaguicida representa un riesgo para el medio ambiente, es considerado como un compuesto altamente tóxico para los organismos acuáticos, es extremadamente tóxico para el helecho acuático y las algas, así como para los peces y crustáceos, medianamente tóxico para aves y menos tóxico para los insectos además que está considerado como probable carcinógeno humano según la agencia de protección ambiental EPA. Se encuentra en la lista de plaguicidas altamente peligrosos debido a los efectos a largo plazo. Los residuos del herbicida son dispersados al medio ambiente mediante volatilización, lixiviación y escorrentías las cuales movilizan las partículas contaminando así aguas superficiales y subterráneas. El diuron tiende a acumularse en el medio ambiente ya que presenta una baja solubilidad y estabilidad química en el agua (Tekin et al., 2020, p. 1), debido a su alta persistencia se lo puede encontrar en diversos entornos como el suelo, agua y sedimentos. Se adsorbe fuertemente en materia orgánica, tiende a lixiviarse en suelos con bajo contenido de materia orgánica (Giacomazzi & Cochet, 2004). Es estable a pH neutro y temperatura ambiente a medida que se incrementa la basicidad o acidez y la temperatura la velocidad de hidrólisis incrementa dando lugar a la producción del 3,4-dicloroanilina que es un compuesto mucho más tóxico que el diuron (Giacomazzi & Cochet, 2004, p.1023). Se disipa por fotodescomposición, volatilización, acción microbiana e hidrólisis. La persistencia va de meses hasta un año. En el Ecuador se usa el diuron principalmente en cultivos de banano, caña de azúcar, maíz y piña (Naranjo, 2017, pp. 131-139). Por lo general el diuron se encuentra en concentraciones traza de nanogramos o microgramos por litro sin embargo en las aguas residuales que provienen de cultivos se han encontrado concentraciones más altas (mg/L)(Zalacáin, 2012, p.7).El límite máximo permisible de un plaguicida en agua para consumo humano es de 0,1 µg/L, mientras que el valor total para todos los plaguicidas presentes es de 0,5 µg/L. (Flores et al., 2011, p. 297)

1.2.2.1 Degradación del diuron

El diuron es considerado un compuesto tóxico tanto para la salud humana como para el medio ambiente ya que es resistente a la degradación tanto química como biológica y es considerado un compuesto cancerígeno y genotóxico (Temgoua et al., 2020, p. 139).

La biodegradación del diuron puede ayudar a inactivar al agente (desintoxicación) pero no siempre pasa esto, a veces se da la formación de compuestos mucho más activos conocido como bioactivación y mucho peor si se da la formación de compuestos mucho más tóxicos conocido

como biotoxicación (Temgoua et al., 2020, p. 138), el producto principal de biodegradación es el 3,4 – dicloroanilina (3,4 – DCA) que es un compuesto mucho más tóxico que el diuron lo que provoca un impacto ambiental magnificado (Giacomazzi & Cochet, 2004).

Los microorganismos que actúan en condiciones aerobias para la biodegradación de diuron producen tres metabolitos diferentes después de realizar una N- desmetilación del grupo urea y una posterior hidrólisis: 3- (3,4-diclorofenil) -3-metilurea, 3,4-diclorofenilurea y 3,4-dicloroanilina (Silva Moretto et al., 2019, p. 1047).

La degradación abiótica de diuron en el agua produce como único producto 3,4 -DCA, la materia orgánica e inorgánica de los suelos disuelta en medio acuoso pueden producir la degradación química de diuron (Salvestrini, Di Cerbo & Capasso, 2002, p. 69).

En general, el diuron se considera un contaminante persistente que se encuentra en el agua, suelo, además es ligeramente tóxico para los mamíferos y las aves, es moderadamente tóxico para invertebrados acuáticos (Giacomazzi & Cochet, 2004, p. 1022).

1.3 Adsorción

La adsorción es el proceso de atracción y retención de átomos sobre una superficie cuando las dos fases se encuentran en contacto, es conocido como un fenómeno superficial, los átomos que se encuentran disueltos en fase líquida o gaseosa se lo denomina adsorbato y la superficie en fase solida es conocida como adsorbente. El proceso se da debido a la interacción entre los campos de fuerza del adsorbato y adsorbente (Betancur Arroyave, 2012, p. 5).

1.3.1 Tipos de adsorción

La adsorción donde la unión del adsorbato con el adsorbente se da por fuerzas de Van der Waals se conoce como fisisorción o y aquella en la cual la unión se da por la formación de enlaces químicos se conoce como quimisorción. La principal diferencia entre las dos es que en la fisisorción no existe cambios en la especie adsorbida, es decir, conserva su naturaleza química, la quimisorción modifica a la especie adsorbida por la formación del enlace por lo tanto da lugar a una especie diferente (Rojas 2015, p.54).

1.3.1.1 Adsorción física

Conocida también como fisisorción, en este fenómeno se da por fuerzas de atracción intermolecular es decir la unión del adsorbato con el adsorbente se da mediante enlaces débiles como las fuerzas de Van der Waals (dispersión y repulsión de corto alcance) y fuerzas electrostáticas (relacionadas con la polaridad de las moléculas) por lo tanto es considerado un proceso reversible, no específico ya que adsorbe varios tipos de moléculas a la vez sin tomar en cuenta las propiedades electrostáticas de las fases, no existe el intercambio de electrones por lo tanto la adsorción se da en multicapa, la adsorción se da en cualquier punto del adsorbente (García, 2013).

1.3.1.2 Adsorción química

Denominada también quimisorción, es el fenómeno en el cual reaccionan las moléculas del adsorbato con el adsorbente formando enlaces covalentes por lo tanto requiere de temperaturas elevadas, se da en sitios específicos del adsorbente por lo que el proceso se da en monocapa ya que una vez saturada la superficie del adsorbente no se puede formar más enlaces, a diferencia de la adsorción física, este proceso es irreversible o difícil de revertir debido al enlace fuerte de unión del adsorbato con el adsorbente por lo que se necesita grandes cantidades de energía para eliminar las moléculas de la superficie del adsorbente, una de las ventajas es que es un proceso selectivo ya que implica la formación de enlaces químicos por lo tanto las propiedades electrónicas del adsorbato como del adsorbente deben ser compatibles dejando de lado el resto de moléculas presentes en solución.

1.3.2 Factores que influyen en el proceso de adsorción

Se debe tener en cuenta ciertos factores en el proceso de adsorción ya que pueden ayudar a potenciar o disminuir la eficiencia de adsorción (García, 2013, pp. 4-6). Algunos de los aspectos a tener en cuenta en un proceso de adsorción son: la naturaleza y estructura del adsorbente (área superficial, porosidad, tamaño y distribución de los poros en la superficie del sólido), las propiedades del adsorbato (peso molecular, solubilidad, carga superficial, afinidad por el adsorbente, concentración en solución) y el medio en el cual se da el proceso de adsorción (pH, temperatura y tiempo de contacto). Las impurezas en solución también se deben tener en cuenta ya que compiten con las moléculas de interés por los sitios activos disponibles del adsorbente.

1.3.2.1 Temperatura

La temperatura es uno de los factores más importantes en el proceso de adsorción debido a que es un proceso exotérmico, la capacidad de adsorción del carbón activado incrementa al aumentar la temperatura ya que es un parámetro directamente proporcional a la densidad de empaquetamiento (Arroyo & Ruiz 2018, p.66), en el proceso de adsorción se debe tomar en cuenta que la adsorción física requiere temperaturas bajas al contrario de la adsorción química requiere temperaturas superiores.

1.3.2.2 pH

El pH es uno de los parámetros más importantes en el proceso de adsorción con carbón activado ya que la carga superficial del adsorbente se ve afectada por el pH de la solución con la cual entra en contacto, el pH del adsorbente depende de los grupos superficiales presentes debido al proceso de activación por lo tanto el pH del carbón activado puede ser ácido o básico según los grupos funcionales presentes en la superficie y su concentración.

1.3.2.3 Dosis del adsorbente

La dosis del adsorbente juega un papel importante a la hora de realizarse la adsorción, a mayor dosis de adsorbente se tiene mayor cantidad de grupos funcionales o sitios activos lo que significa que se va a retener la mayor cantidad de moléculas de adsorbato en menor tiempo, en cambio con dosis muy bajas existe deficiencia de sitios activos por lo tanto la saturación de la superficie del adsorbente se dará en corto tiempo dejando la mayor cantidad de adsorbato en solución, pero un exceso de dosis de adsorbente también representa un problema ya que puede darse una agregación del adsorbente disminuyendo el área específica (Rojas, 2015, p. 58)

1.3.2.4 Tiempo de contacto

El tiempo es uno de los parámetros más importantes que se toma en cuenta a la hora de aplicar un proceso a escala industrial porque mientras más tiempo requiera el proceso significa mayores gastos económicos. La adsorción máxima del adsorbente se obtiene en el tiempo de equilibrio que es el tiempo necesario en el cual la concentración de adsorbato permanece constante tanto en

solución como en la superficie del adsorbente lo que significa que la superficie del adsorbente se ha saturado, se considera que un adsorbente es eficiente cuando el tiempo de equilibrio es corto.

1.4 Cinéticas de adsorción

La cinética de adsorción es la medición de la velocidad con la cual el adsorbente captura las moléculas de interés, es decir es la velocidad del proceso de adsorción, este se determina con las concentraciones antes y después del tiempo de contacto. Para estudiar el proceso de adsorción se usan principalmente el modelo de pseudo primer orden y pseudo segundo orden ya que representan este mecanismo de mejor manera, para los dos casos la gráfica sigue un modelo lineal, se determina el modelo que mejor se ajusta al fenómeno de adsorción mediante el coeficiente de correlación, el modelo que de un R^2 más cercano a uno se lo toma como el modelo más adecuado, después de haber determinado el mejor modelo los resultados se deben corroborar con las isothermas teóricas obtenidas (García et al., 2012, p.122).

1.4.1 Modelo pseudo primer orden

Este modelo indica que a cada ión le corresponde un sitio de adsorción de la matriz del adsorbente, lo que significa que se da la formación de una monocapa, teniendo en cuenta que la superficie del adsorbente es homogénea (García et al., 2012, p.122). La velocidad de reacción está dada por la siguiente ecuación:

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.3030} t$$

Donde

q_e : cantidad adsorbida en el tiempo de equilibrio, mg/g

q_t : cantidad adsorbida en un tiempo t, mg/g

k_1 : constante de velocidad de adsorción de pseudo primer orden, min^{-1}

Para este modelo se realiza una gráfica $\log(q_e - q_t)$ en función del tiempo teniendo una ecuación lineal en donde $\log(q_e)$ es el intercepto y k_1 es la pendiente, se debe comparar los valores de q_e teóricos con los experimentales, si existe gran diferencia entre los dos significa que el modelo no es el correcto para describir el sistema.

1.4.2 Modelo pseudo segundo orden

Se basa en la capacidad de adsorción en el equilibrio, a diferencia del modelo pseudo primer orden la adsorción se da en más de un sitio activo, describe el proceso de adsorción de contaminantes en solución acuosa sobre adsorbentes sólidos, la superficie es heterogénea (García et al., 2012, p.122). La ecuación para el modelo se presenta a continuación:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 \times q_{eq}^2} + \frac{1}{q_{eq}} t$$

Donde

q_{eq} : cantidad adsorbida en el equilibrio, mg/g

q_t : cantidad adsorbida en un tiempo t, mg/g

K_2 : constante cinética pseudo segundo orden, g/mg.min

Si la gráfica t/q_t vs t es lineal $\frac{1}{K_2 \times q_{eq}^2}$ es el intercepto y $\frac{1}{q_{eq}}$ es la pendiente, también se puede determinar el q_{eqcal} en el equilibrio que se compara con el valor experimental, si no existe una diferencia pronunciada el modelo es correcto para el sistema.

1.5 Carbón activado

El carbón activado es un material prácticamente puro constituido por átomos de carbono enlazados los cuales forman láminas y estas se encuentran separadas con distintas orientaciones, es decir se encuentran ubicadas en desorden formando espacios entre ellas y a estos se los denomina poros, gracias a estos poros el carbón activado posee un gran área superficial y tiene una gran capacidad para adsorber moléculas (Alvarez, 2019, p. 35). Los carbones activados pueden ser sintetizados a partir de cualquier material rico en carbono y sus propiedades físicas y químicas son influenciadas por la materia prima y el proceso de activación (Al Bahri et al., 2012).

El carbón activado es un material carbonoso que ha sido sometido a un tratamiento físico o químico con el fin de incrementar la porosidad, superficie interna y el contenido superficial de grupos químicos como el oxígeno y el nitrógeno que son los responsables del incremento de la capacidad de adsorción del material (Solís et al., 2012, p. 37). Para la producción de carbón activado se usa principalmente carbón mineral, residuos de petróleo los cuales son materias no renovables, actualmente se ha incrementado el uso de residuos lignocelulósicos, que además de ser renovables

y se los obtiene a bajos costos son materias primas considerados desechos de diversas industrias y que al no tener un tratamiento adecuado antes de su disposición final son considerados un problema de contaminación ambiental debido a la acumulación de desechos sólidos (Yahya, Al-Qodah & Ngah, 2015, pp. 219,220).

1.5.1 Estructura

El carbón activado posee una estructura microcristalina laminar formada por átomos de carbono ordenados en forma de hexágonos regulares, son parecidos al grafito pero se diferencian de este ya que las láminas están distribuidas al azar lo que provoca la formación de espacios los que se conocen como poros, estos son los responsables de la capacidad de adsorción del carbón activado sin embargo no es selectivo, tiene la capacidad de retener moléculas orgánicas e inorgánicas sin discriminar dejando el agua prácticamente libre de contaminantes debido a esto se lo conoce como el adsorbente universal (García, 2013, p. 22).

1.5.2 Composición

El carbón activado está compuesto principalmente de carbono (75 – 80%), sin embargo también contiene pequeñas fracciones de otros elementos como el hidrógeno (0,5 % aprox.), oxígeno (6% aprox.) los cuales combinados forman los grupos funcionales y existe otras sustancias como las materias minerales (10%) y cenizas (entre 5 – 10 % aprox.)(García, 2013, p. 24).

1.5.3 Polaridad del carbón activado

El carbón activado tiene naturaleza apolar por lo cual es ideal para la retención de moléculas apolares y de alto volumen molecular, se puede emplear para la adsorción de hidrocarburos, fenoles, colorantes, etc. La adsorción de moléculas polares es deficiente, pero al modificar la superficie del carbón activado se logra una mejor afinidad entre el adsorbato y el adsorbente incrementando así su eficiencia. Algunos factores también influyen en la capacidad de adsorción del carbón activado y estos son los siguientes: la superficie y porosidad del material, la concentración y polaridad de la sustancia a ser adsorbida, la temperatura en la cual se lleve el proceso de adsorción (García, 2013, p. 23).

1.5.4 Química superficial del carbón activado

La capacidad de adsorción del carbón activado no solo depende de la textura o porosidad del material sino también intervienen los grupos funcionales presentes en la superficie del adsorbente ya que interactúan con las moléculas de adsorbato mejorando así la eficiencia de adsorción de las moléculas de interés. (Hernández et al., 2017, p.27)

El proceso de activación además de modificar la estructura del carbón activado también modifica la superficie del mismo debido a la formación de grupos funcionales producto de la activación, el carbón puro tiene carácter hidrofóbico pero a medida que aumenta el contenido de oxígeno en la superficie se vuelve hidrófilo (Alvarez, 2019, p. 36).

Los carbones activados presentan una naturaleza anfótera ya que en la superficie coexisten heteroátomos (átomos distintos al carbono) formando grupos funcionales ya sean de carácter ácido o básico, un carbón activado puede ser ácido o básico dependiendo de la concentración de grupos superficiales ácidos o básicos que posea y también de la fuerza como ácido o base. Los grupos funcionales de carácter ácido son los grupos carboxílico, lactonas, fenólicos y carbonilos mientras que los grupos funcionales básicos son la pirona, el cromeno y otros (Hernández et al., 2017, p.27). En medio básico los grupos funcionales ácidos liberan protones y quedan cargados negativamente mientras los grupos básicos en medio ácido aceptan protones y la carga superficial es positiva. Estos grupos son importantes ya que debido a ellos el carbón activado puede estar cargado positivamente o negativamente y dependiendo de la carga se puede emplear en la adsorción de un compuesto en específico, si se encuentra cargado positivamente puede ser empleado para la adsorción de aniones y si por el contrario se encuentra cargado negativamente será empleado para la adsorción de cationes (superficies ácidas son más aptas para la adsorción de compuestos básicos y viceversa) (García, 2013, pp. 24,25).

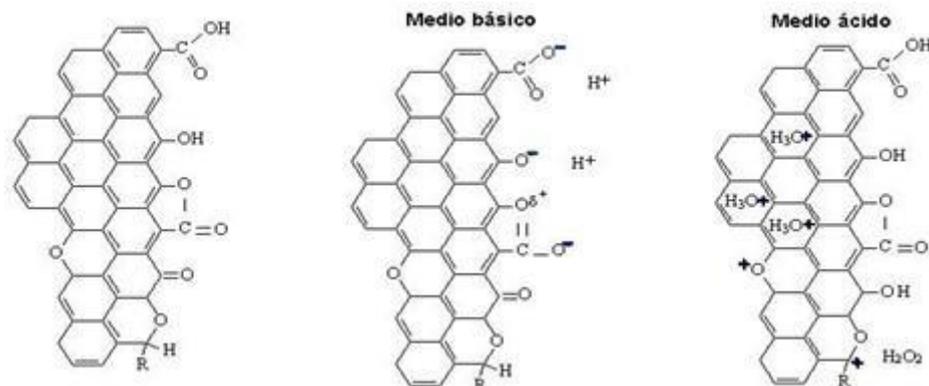


Figura 2-1: Carácter ácido y básico de la superficie del carbón activado

Fuente: García, 2013

Los grupos funcionales presentes en la superficie del carbón activado son los que le confieren la propiedad de adsorción, algunos de los grupos funcionales más frecuentes son el carboxilo, carbonilo, los fenoles, lactonas, quinonas y otros (Bhatnagar et al., 2013, p. 500), la naturaleza y la cantidad de estos grupos funcionales dependen del precursor y el método de activación (Yahya, Al-Qodah & Ngah, 2015, p. 220).

Se puede introducir fácilmente grupos funcionales de oxígeno a la superficie del carbón activado, existen diferentes métodos de activación que incluyen la oxidación seca y la húmeda. La activación seca se la realiza con el uso de gas oxidante que puede ser vapor de agua, CO₂ o la mezcla de las dos a temperaturas superiores de 700°C. La oxidación húmeda se da con la ayuda de un agente oxidante, los más comunes son el ácido fosfórico, ácido nítrico, peróxido de hidrógeno, cloruro de zinc (Al-Qodah & Shawabkah, 2009, p. 127).

La temperatura también influye en la formación de grupos funcionales ácidos o básicos, los grupos funcionales básicos se presentan en mayor cantidad cuando el precursor es carbonizado a elevadas temperaturas (900-1000°C) y posteriormente se somete a una oxidación, en cambio los grupos funcionales ácidos se evidencian en mayor concentración cuando el carbón activado se lo obtiene a temperaturas relativamente bajas (300-400°C), el adsorbente puede tener grupos funcionales tanto ácidos como básicos sin embargo uno de ellos debe tener mayor concentración (Hernández et al., 2017, p.28).

1.5.5 Porosidad

De acuerdo con la IUPAC existen tres tipos de poros según el tamaño del poro: los macroporos son los poros con tamaños mayores a 50 nm los mesoporos son aquellos poros entre 2 a 50 nm y los microporos son los poros de tamaño iguales o menores a 2 nm. Los macroporos sirven para adsorber moléculas grandes como las moléculas que tienen grupos funcionales clorados, moléculas de gran peso molecular, los microporos atrapan moléculas pequeñas, son empleados para la eliminación de compuestos que provocan olores, sabores y también para la recuperación de solventes, los mesoporos sirven para la adsorción de moléculas intermedias (García, 2013, p. 28,29). Los carbones activados poseen los tres tipos de poros pero en diferentes proporciones, el tamaño de poro que se obtiene depende de tres factores: el origen de la materia prima, el tipo de activación que se realiza y el tiempo que toma la activación (Moscoso, 2013, p. 27).

1.5.6 Parámetros que influyen en las propiedades del carbón activado

La adsorción se ve influenciada por las características que presenta el carbón activado por lo tanto se debe tener en cuenta ciertos parámetros para mejorar la eficiencia del adsorbente, uno de los parámetros a tomar en cuenta es el contenido de cenizas totales, lo ideal es que el adsorbente tenga bajo contenido de cenizas, mientras menor sea su contenido existe mayor cantidad de carbón activado efectivo, otro parámetro es el índice de yodo que es un indicador indirecto del área superficial, se dice que a mayor índice de yodo el área superficial es mayor por lo tanto el desempeño en la adsorción incrementaría, volumen de poro indica el volumen que ocupan los poros en una unidad de masa, mientras mayor número de poros más eficiente es el proceso de adsorción y densidad aparente determinan la capacidad de adsorción que tiene el material, se usa para identificar la cantidad de agua necesaria en el tratamiento (García et al., 2012, p.38).

1.5.7 Tipos de carbón activado

Existen tres tipos de carbón activado que se producen comercialmente, estos son: el carbón activado en polvo, granulado y finalmente el extruido o en forma de pellet.

Carbón activado en polvo: se obtiene de la pulverización del carbón activado, tiene tamaños menores a 0,18 mm, son empleados para tratamientos en fase líquida con un proceso de filtración para la recuperación del material (Rashidi & Yusup, 2017, p. 89).

Carbón activado granulado: poseen forma irregular con tamaños que van de 0,2 mm hasta 5mm, la morfología del material de partida influye en la preparación de carbón activado granular, se lo utiliza en columnas de adsorción para el tratamiento de aguas y gases, este material es apreciado debido a que es de fácil manejo y presenta baja pérdida de carga (Al Bahri et al., 2012, p. 348).

Carbón activado en pellet: se obtienen combinando carbón activado y un aglutinante que por medio de una fundición se le da la forma cilíndrica, tienen diámetros de 0,8 -5,0 mm, son usados en el tratamiento de gases, son apreciados debido a que tienen bajo contenido de polvo y presentan una mejor resistencia mecánica, sin embargo, son costosos de producir (Rashidi & Yusup, 2017, p. 89).

1.5.8 Producción de carbón activado

Los carbones activados pueden obtenerse por dos métodos diferentes, uno es el tratamiento físico y el otro es un tratamiento químico. Estos tratamientos son los responsables de las características

que posea el producto final. El tratamiento físico se da en dos pasos, primero se carboniza el precursor y posteriormente se realiza una activación con vapor de agua o dióxido de carbono. El tratamiento químico resulta ser más simple ya que se impregna el precursor con el agente oxidante y seguidamente se realiza un proceso de calentamiento. La activación química ha presentado ventajas frente a la activación física, ya que requiere de temperaturas más bajas por lo tanto menor gasto energético, producen un mayor rendimiento, mayor área superficial, reduce el contenido de materia mineral (Yahya, Al-Qodah & Ngah, 2015, p. 220).

1.5.8.1 Activación física

Este proceso se lleva a cabo en dos etapas, la primera consiste en carbonizar el material precursor, a este proceso se lo denomina pirólisis, se lo realiza en atmósfera inerte, posteriormente se realiza la activación física usando un gas oxidante con el fin de incrementar el área superficial del material carbonoso obtenido ya que en el proceso de pirólisis los poros quedan bloqueados debido a las sustancias alquitradas que se producen en el mismo proceso, se usa principalmente vapor de agua y CO₂ como gas oxidante.

Este método se usa a escala industrial en la producción del carbón activado ya que permite obtener una estructura de poro bien desarrollada además que presenta buena resistencia física, se considera como un método verde ya que no se usa agentes químicos que dañen el medio ambiente sin embargo presenta ciertas desventajas como lo es el alto gasto energético que necesita ya que este método requiere temperaturas superiores a los 600 °C durante un periodo prolongado y su rendimiento es bajo en comparación con la activación química. (Rashidi & Yusup, 2017, pp. 90,91)

1.5.8.2 Activación química

La activación química es un proceso directo ya que se da en una sola etapa, el proceso consiste en impregnar el material precursor con un agente activante con el fin de producir mayor cantidad de poros en el material antes de la carbonización, posterior a la impregnación se realiza una carbonización en atmósfera inerte a temperaturas comprendidas entre 400 – 600 °C, existen varios agentes activantes usados con este fin algunos de ellos son el hidróxido de potasio, el ácido fosfórico, el ácido sulfúrico y el cloruro de zinc aunque este último se ha dejado de usar debido a que se le considera altamente contaminante.

Este método presenta algunas ventajas como es el desarrollo de área superficial elevada, un rendimiento superior al de la activación física, además que necesita menor gasto energético ya que la activación se da a temperaturas relativamente bajas y por tiempos cortos (Rashidi & Yusup, 2017, pp. 92-95)

1.6 Endocarpio de coco

El coco es una fruta tropical en forma de ovalo, pesa alrededor de 2,5 kg y tiene una longitud de 20 a 30 cm, es uno de los frutos más grandes, está compuesto por varias capas (Carrasco Tito & Londa Veletanga, 2018, pp. 24,25) las cuales se describen a continuación.

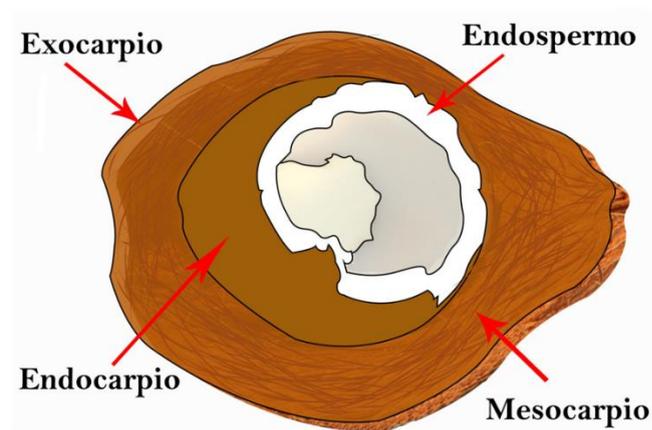


Figura 2-1: Ilustración de las partes que componen el Coco

Realizado por: Sánchez C., Jessica F., 2020

Exocarpio: es la parte más externa del fruto, se caracteriza por ser duro y fibroso, pasa de un color verde hacia un color café o marrón según va madurando.

Mesocarpio: es la parte más fibrosa y constituye aproximadamente el 33% del fruto, se lo ha empleado últimamente como adsorbente natural.

Endocarpio: es una capa fina, dura, leñoso color marrón constituye aproximadamente el 15 % del fruto, se encuentra protegiendo al endospermo.

Endospermo: conocida como copra, es la parte interna del fruto posee un color blanco, ocupa aproximadamente el 30 % del fruto, es la parte comestible y se lo emplea para la extracción de aceite, fabricación de jabones y cosméticos.

Agua: aproximadamente el 20% del coco es agua, muy apreciable debido a los nutrientes que contiene.

1.6.1 Composición química del endocarpio de coco

En el estudio realizado por Moscoso (2013, p. 6) sobre la presencia de biopolímeros en el endocarpio de coco se ha reportado el contenido de lignina de 29 – 49%, celulosa 14 -44% y hemicelulosa de 25 -32%, los valores varían de acuerdo al autor debido al lugar donde se realiza el estudio.

La lignina: es el polímero vegetal más abundante después de la celulosa, es un polímero tridimensional amorfo está constituido por unidades de fenilpropano unidos entre si por enlaces alquil, aril, éter o carbono-carbono, aporta rigidez y resistencia estructural del material dando una característica leñosa, ayuda a proteger contra la humedad y agentes atmosféricos, actúa como elemento aglomerante de las fibras (Munguía ,2016, p.7)

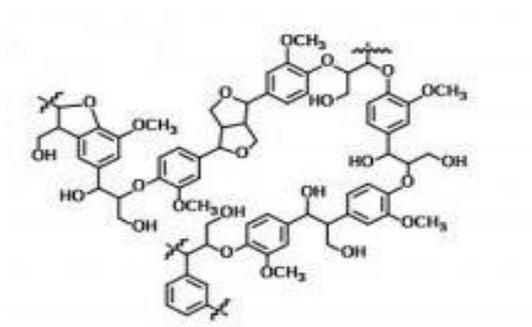


Figura 3-1: Estructura química de la Lignina

Fuente: Chávez, 2019

Celulosa: es un homopolímero lineal de cadena alargada, está formado por unidades de beta-glucosa unidas entre sí por enlaces 1-4, tiene naturaleza cristalina. Es biopolímero mayoritario de los materiales lignocelulósicos, se considera la sustancia natural más importante ya que es la base estructural de las células vegetales. (Munguía ,2016, p.5)

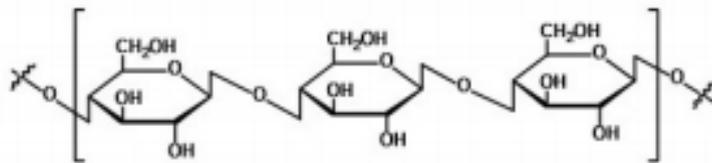


Figura 4-1: Estructura química de la celulosa

Fuente: Chávez ,2019

Hemicelulosa: son polisacáridos estructurales no celulósicos de peso molecular relativamente bajo, formadas por diferentes azúcares formando cadenas cortas en comparación con la celulosa además que contienen ramificaciones, la cadena principal puede ser un homopolímero (un tipo de molécula) o un heteropolímero (dos o más tipos de moléculas) (Munguía 2016, p.6)

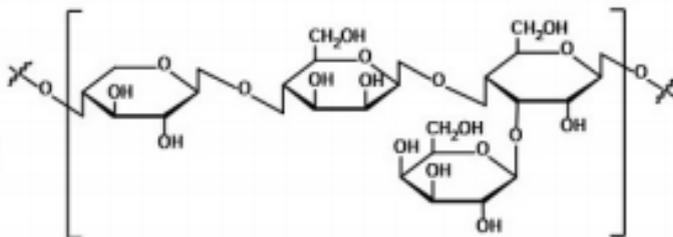


Figura 5-1: Estructura química de la Hemicelulosa

Fuente: Chávez ,2019

La lignina es la biomolécula que aporta más en la formación de carbón, ya que presenta una pérdida de masa del 30%, mientras que la celulosa y hemicelulosa tienen un porcentaje de pérdida de masa de un 50% debido a la cantidad de oxígeno que poseen estos biopolímeros (Moscoso, 2013, p. 7). La celulosa, hemicelulosa y la lignina contribuyen a la formación de la porosidad en los carbones activados (Cagnon et al., 2009, p. 292).

El cuesco de coco presenta alto contenido de volátiles, lignina, celulosa y un bajo contenido de cenizas, lo que es ideal para la producción de carbón activado (Moscoso, 2013, p. 9).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Obtención del carbón activado

2.1.1 Acondicionamiento de la materia prima

Las cáscaras de coco completamente limpias fueron secadas al ambiente durante una semana con el fin de eliminar la humedad, posteriormente se realizó una reducción de tamaño usando un molino, el producto obtenido fue tamizado para obtener partículas de 2 – 3,5 mm de diámetro.

2.1.2 Impregnación con ácido fosfórico

Se usó ácido fosfórico como agente activante, se usaron muestras de 20 gramos de cáscara de coco que se impregnaron con ácido fosfórico al 85% en peso 7,7.M en una relación activante / precursor de 1,725; se mantuvo durante 2 horas a 85°C, después de este tiempo, las muestras se secaron toda la noche a 110°C.

2.1.3 Activación mediante carbonización

Una vez finalizada la impregnación, las muestras fueron carbonizadas en un reactor de pirólisis a una temperatura de 416°C durante 19,5 minutos en atmosfera inerte. Posteriormente, el carbón activado obtenido fue sometido a varios lavados con agua destilada caliente (80 -90 °C) para eliminar el ácido, aproximadamente se realizaron 8 lavados, luego se lavó con una solución de NaOH 0,1 M y un último lavado con agua destilada. Finalmente se secaron los carbones activados a una temperatura de 110°C durante toda la noche. Las condiciones fueron elegidas en base al estudio realizado por Gratuito et al. (2008) donde determinó las condiciones ideales para obtener el carbón activado a partir de la cáscara de coco.

El rendimiento se obtiene mediante la razón del carbón activado obtenido y el peso del precursor seco en este caso la cáscara de coco.

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso del carbón activado}}{\text{Peso de la cáscara de coco}} \times 100$$

2.2 Caracterización del carbón activado

La caracterización del adsorbente se realizó mediante los siguientes análisis: análisis próximo, índice de yodo, pH y espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier.

2.2.1 Análisis próximo

En este análisis se determinó el contenido de humedad, materia volátil, cenizas y carbón fijo del carbón activado obtenido.

2.2.1.1 Contenido de humedad

En un crisol previamente tarado se pesó 1 gramo de carbón activado, se llevó a una mufla precalentada a 145 -150°C durante 3 horas, la muestra fue llevada a un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente, se pesó y registro el valor. El procedimiento se repitió hasta obtener un peso constante.

El contenido de humedad se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100$$

Donde:

% H: Contenido de humedad, %

m_h : masa de la muestra húmeda, g

m_s : masa de la muestra seca, g

2.2.1.2 Contenido de materia volátil

Para determinar el contenido de materia volátil se pesó 1 g de muestra seca en un crisol con tapa, fue llevada a la mufla a una temperatura de 950 °C durante 7 minutos, pasado el tiempo se

procedió a sacar la muestra y se colocó en un desecador hasta que llegue a temperatura ambiente, se pesó y registro el valor obtenido. El contenido de materia volátil se determina mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{m_s - m_{nv}}{m_s} \times 100$$

Donde:

V: porcentaje de materia volátil, %

m_s : masa de la muestra original, g

m_{nv} : masa de los compuestos no volátiles, g

2.2.1.3 Contenido de ceniza

Para determinar el contenido de cenizas se utiliza las muestras libres de humedad y materia volátil, se introdujo las muestras en una mufla a 650 °C durante 3 horas. Se sacó y llevó a un desecador hasta que alcanzó la temperatura ambiente, posteriormente, se procedió a pesar y registrar el valor, se repitió el procedimiento hasta obtener un valor constante. El contenido de cenizas se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\%C_e = \frac{m_{ce}}{m_s} \times 100$$

Donde:

C_e : contenido de cenizas, %

m_{ce} : masa de cenizas, g

m_s : masa de la muestra original, g

2.2.1.4 Contenido de carbón fijo

El contenido de carbón fijo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\%C_f = 100 - V - C_e$$

Donde

C_f: contenido de carbón fijo, %

V: contenido de materia volátil, %

C_e: contenido de cenizas, %

2.2.2 Índice de yodo

El índice de yodo es uno de los métodos empleados para determinar la capacidad de adsorción que posee un carbón activado (Asimbaya et al., 2015), el índice o número de yodo es el resultado de los miligramos de yodo adsorbidos por un gramo de carbón, la norma INEN (1991:1994, 1995) establece que el carbón activado de uso industrial debe tener como mínimo un índice de yodo de 600 mg I₂ / g carbón.

Para determinar el índice de yodo se pesó 1 g de carbón activado que previamente fue reducido a un tamaño de 53 μm y secado a 110 ° C durante 3 horas, la muestra se colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 ml y se añadió 10 ml de HCl al 5% y se agitó hasta que se humedezca completamente, se colocó en una plancha de calentamiento hasta la temperatura de ebullición y se lo dejó por 30 segundos, se deja enfriar hasta que llegue a temperatura ambiente y se añadió 100 ml de una solución estándar de yodo 0,1 N, se agitó vigorosamente durante 30 segundos, se filtró la solución, se desechó los primeros 30 ml. En un frasco Erlenmeyer de 250 ml se colocó 50 ml del filtrado y se tituló con una solución de tiosulfato de sodio 0,1N hasta que llegó a un color amarillo pálido, luego, se colocó 1 ml de una solución de almidón y se continuó con la titulación gota a gota hasta que el color azul desapareció por completo. El índice de yodo se calcula mediante la ecuación:

$$\text{Número de yodo} = \frac{x}{m} D = \frac{A - (2.2B \times v_t)}{m} D$$

$$A = N_1 \times 12693$$

$$B = N_2 \times 126.93$$

$$C = \frac{N_2 \times v_t}{50}$$

Donde:

x/m: miligramos de yodo adsorbidos por g de carbón

D: factor de corrección. Ver Anexo D

N_1 : normalidad de la solución estándar de yodo 0,1 N

N_2 : normalidad de la solución estándar de tiosulfato de sodio 0,1 N

m: peso de la muestra, g

v_t : volumen usado de tiosulfato de sodio 0,1 N, ml

2.2.3 pH

Se pesó 1 gramo de carbón activado en un vaso de 250 ml y se adicionó 20 ml de agua destilada y se dejó en agitación constante durante 24 horas a temperatura ambiente, pasado este tiempo se procedió a medir el pH con la ayuda de un pH-metro Thermo Scientific.

2.2.4 Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier

Los grupos funcionales presentes en la superficie tanto de la materia prima como del carbón activado obtenido fueron identificados mediante un espectrofotómetro infrarrojo FT/IR-4100 Jasco, en un rango de número de ondas comprendidas entre 550 hasta 4000 cm^{-1} .

2.3 Adsorción de Diuron con carbón activado

2.3.1 Preparación de los puntos Estándar

Para cuantificar el Diuron mediante espectrofotometría UV-Visible, se prepararon soluciones estándar para realizar la curva de calibración, se preparó una solución madre de 500 ppm de Diuron, se tomaron 7 alícuotas de diferentes volúmenes que fueron aforadas a 25 ml con agua destilada, obteniendo puntos estándar de 10, 7.5, 5, 2.5, 1, 0.8, y 0.5 ppm.

2.3.2 Preparación de la curva de calibración

Para elaborar la curva de calibración se tomaron los 7 estándares preparados de 10 a 0,5 ppm de Diuron y se determinó la absorbancia a una longitud de onda de 254 nm, obteniéndose un $R^2 = 0,998$ con buena linealidad para este estudio, todas las mediciones de diuron se realizaron utilizando un espectrofotómetro UV-VIS EVOLUTION 220, Thermo Scientific.

2.3.3 Acondicionamiento del adsorbente

Para obtener mejores resultados en la adsorción de Diuron se sometió al carbón activado a un calentamiento en una estufa a 60 °C durante 12 horas con el fin de desgasificar y optimizar la capacidad de adsorción del material, así como lo sugiere Delgadillo (2013, p. 29).

2.3.4 Ensayos de adsorción

Los ensayos de adsorción se llevaron a cabo usando frascos de polietileno de alta densidad con tapa en los cuales se colocó 100 ml de solución de Diuron de 9 ppm junto con la cantidad de carbón activado ($d = 53 \mu\text{m}$) determinada en los tratamientos, en la Tabla 1-2 se detallan cada uno de los niveles de los factores de estudio, el pH inicial de la solución se reguló mediante la adición de NaOH y HCl 0,01 M, las muestras se colocaron en un Shaker donde se ajustó la temperatura requerida y se agitaron a 150 rpm, cada 30 minutos se tomaron alícuotas de 4 ml las cuales fueron filtradas esto se realizó durante 210 min, la concentración residual de diuron se determinó mediante un espectrofotómetro (UV-VIS) a una longitud de onda de 254 nm. Cada uno de los tratamientos se los realizó por triplicado.

Tabla 1-2: Factores experimentales para la remoción de Diuron por adsorción

Símbolo	Factor	Unidades	Niveles		
A	Temperatura	°C	25	35	45
B	pH	-	5	7	9
C	Dosis de adsorbente	g	0,166	0,33	0,50

Realizado por: Sánchez C., Jessica F., 2020.

El porcentaje de adsorción de diuron se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\%R = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100$$

Donde:

%R: remoción de diuron, %

C_o: concentración inicial de diuron, ppm

C_e: concentración de diuron en el equilibrio, ppm

La capacidad de adsorción del carbón activado se calcula mediante la ecuación:

$$q_t = \frac{C_o - C_t}{w} \times V$$

Donde:

q_t: capacidad de adsorción del adsorbente, mg/g

C_o: concentración inicial, ppm

C_t: concentración en un tiempo t, ppm

V: volumen de la solución, L

w: masa del adsorbente, g

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La obtención del carbón activado en condiciones óptimas de relación de impregnación, temperatura y tiempo de calcinación de 1,725, 416° C y 19,5 minutos respectivamente, dio un rendimiento del 52,55% el cual es similar al obtenido en el estudio de Gratuito et al. (2008) quienes obtuvieron un rendimiento de 51,59 % con desarrollo de mesoporos, este rendimiento es ideal en la obtención de carbón activado mediante activación química ya que este método suele tener rendimientos menores a la activación física.

3.1 Caracterización del carbón activado

3.1.1 Análisis próximo

Los resultados del análisis próximo del carbón activado obtenido del endocarpio de coco se presentan en la tabla 1-3, donde se muestra el contenido de humedad, materia volátil, cenizas y carbón fijo del adsorbente.

Tabla 1-3: Resultados del análisis próximo del carbón activado

Análisis próximo	Porcentaje (%)
Contenido de humedad	9,66
Contenido de materia volátil	10,58
Contenido de cenizas	5,32
Contenido de carbón fijo	84,10

Realizado por: Sánchez C., Jessica F., 2020.

Los valores obtenidos en el análisis del contenido de humedad y cenizas son bajos, además se encuentran dentro del rango establecido por la Norma INEN (1991:1994, 1995) para el carbón activado de uso industrial que especifica que para el carbón activado en polvo el límite máximo para los dos parámetros es 12 %, el contenido de carbón fijo es alto lo que es ideal ya que indica que hay poca cantidad de impurezas presentes en el material adsorbente y por lo tanto la cantidad de carbón efectivo es mayor.

3.1.2 Índice de yodo

El índice de yodo es un parámetro indirecto para determinar el área superficial del carbón activado, en el análisis se obtuvo un valor de 637,85 mg I₂/g carbón, la Norma INEN (1991:1994, 1995) establece que el carbón activado de uso industrial debe tener como mínimo 600 mg I₂/g carbón, es decir, el carbón activado obtenido de la cáscara de coco cumple con lo establecido por la norma por lo tanto posee una buena área superficial lo que significa que va a tener un buen desempeño en los ensayos de adsorción.

3.1.3 pH

El carbón activado obtenido de las cáscaras de coco posee un carácter ácido, el valor obtenido en el análisis del pH es de 3,5 unidades lo que puede deberse al incremento de los grupos superficiales ácidos (grupo carboxílico, lactonas, fenólicos, carbonilos) producto de la impregnación con el ácido fosfórico. El pH es un factor importante en la adsorción, la solución en la que actúe el adsorbente debe tener un valor similar para que sea eficiente por lo tanto el carbón activado de este estudio actuará de manera eficiente en un pH ácido.

3.1.4 Análisis de espectroscopia IR

A continuación, se presentan los espectros IR de la materia prima y del carbón activado obtenido por activación química con ácido fosfórico.

3.1.4.1 Espectro Infrarrojo del endocarpio de coco

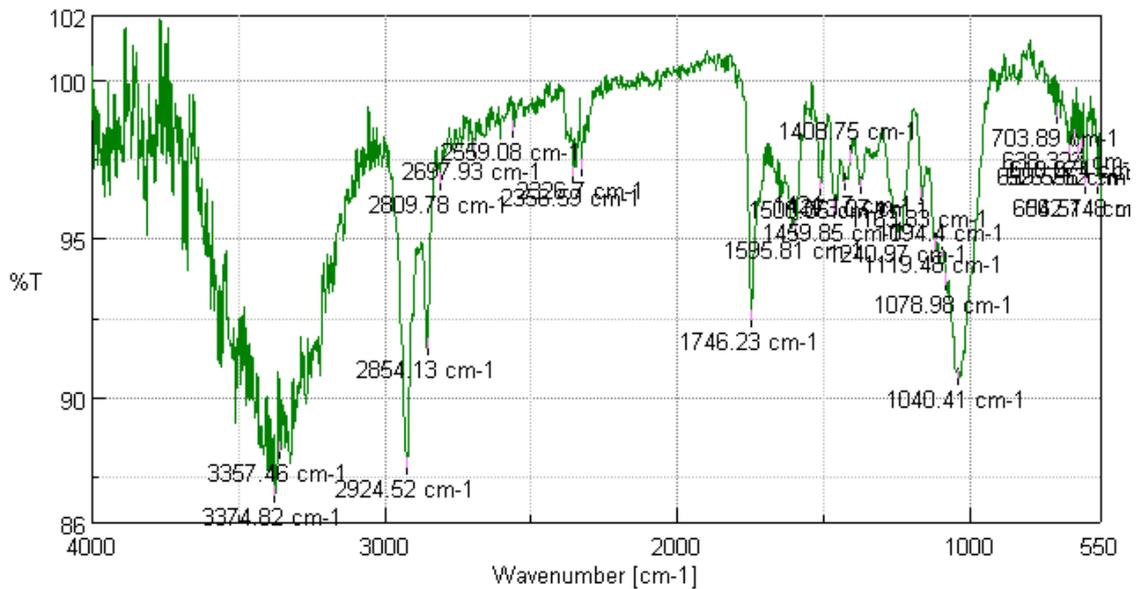


Figura 1-3: Espectro Infrarrojo del endocarpio de coco

Realizado por: Sánchez C., Jessica F., 2020

La banda que se presenta a $3374,82\text{ cm}^{-1}$ indica la presencia del enlace (O-H), las bandas presentes a $2924,52$ y $2854,13\text{ cm}^{-1}$ corresponden a los estiramientos vibracionales simétricos y asimétricos de los grupos (C-H) de las cadenas alifáticas, la banda presente en $1040,41\text{ cm}^{-1}$ corresponde al estiramiento asimétrico de los enlaces simples de (C-O), la banda presente a $1746,23\text{ cm}^{-1}$ corresponde a los estiramientos vibracionales (C=O) de los grupos carbonilo y carboxílico, estos resultados son similares a los obtenidos en el estudio realizado por Carlos Achury (Achury, 2008, p. 12).

3.1.4.2 Espectro Infrarrojo del carbón activado

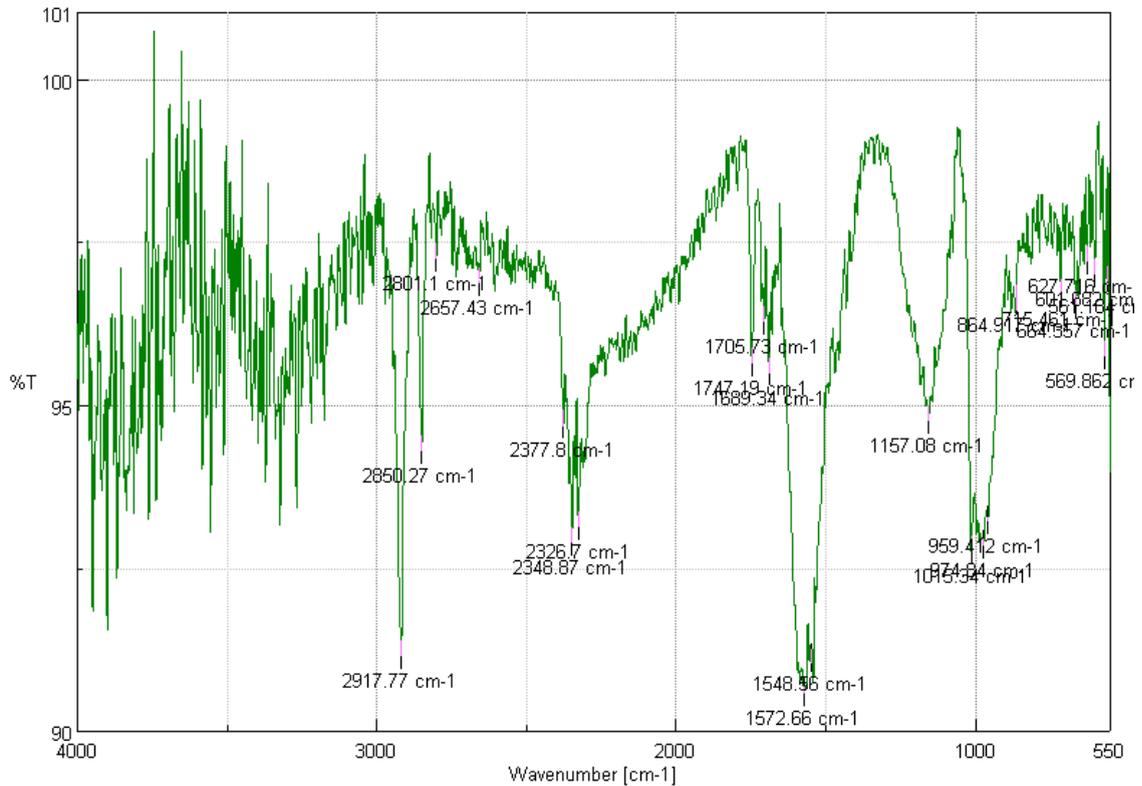


Figura 2-3: Espectro Infrarrojo del carbón activado obtenido del endocarpio de coco

Realizado por: Sánchez C., Jessica F., 2020

La banda que aparece en los $1157,08 \text{ cm}^{-1}$ corresponde al estiramiento asimétrico de los enlaces simples de (C-O) (Peña H, Giraldo & Moreno, 2012, p. 321). Las bandas a $1565,92$ y $1542,77 \text{ cm}^{-1}$ se atribuyen los estiramientos vibracionales (C=O) y corresponden a los grupos carbonilo y carboxílico. Las bandas de $2917,77$ y $2850,27 \text{ cm}^{-1}$ corresponden a los estiramientos vibracionales simétricos y asimétricos de los grupos (C-H) de las cadenas alifáticas (Asimbaya et al., 2015). La banda presente en $2348,27 \text{ cm}^{-1}$ corresponde al grupo (C≡ N) indicando la presencia del grupo nitrilo. Las bandas anteriormente mencionadas pueden deberse a la presencia de grupos anhídridos ácidos, ácidos carboxílicos sustituidos, lactonas los cuales son responsables del carácter ácido que presenta el carbón activado obtenido en este trabajo.

3.2 Estudio de las condiciones de adsorción de Diuron

Para determinar las mejores condiciones de temperatura (A), pH (B) y dosis del adsorbente (C) en las cuales se obtiene la mayor cantidad de adsorción del herbicida se llevó a cabo los 27 tratamientos con 3 repeticiones cada una en los cuales se encuentran todas las combinaciones posibles de cada uno de los niveles de los factores en estudio. A continuación, se presenta los resultados de la concentración residual promedio de diuron en medio acuoso.

Tabla 2-3: Resultados de los tratamientos realizados en la adsorción de Diuron

# Trat.	A (°C)	B	C (g)	Concentración residual (mg/L) promedio de Diuron a diferentes tiempos						
				30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min	210 min
1	25	5	0,17	1,416	1,359	1,155	0,984	0,870	0,574	0,115
2	25	5	0,33	1,249	1,173	1,100	0,963	0,845	0,556	0,083
3	25	5	0,50	1,384	1,292	1,232	1,095	0,899	0,588	0,084
4	25	7	0,17	1,581	1,460	1,276	1,146	1,082	0,768	0,539
5	25	7	0,33	2,245	2,109	1,995	1,750	1,506	0,878	0,678
6	25	7	0,50	2,758	2,325	1,882	1,680	1,359	1,172	1,013
7	25	9	0,17	2,664	2,124	1,560	1,352	1,327	1,280	1,235
8	25	9	0,33	3,390	3,096	2,741	2,123	1,527	1,339	1,299
9	25	9	0,50	3,915	3,381	3,251	2,718	2,002	1,794	1,519
10	35	5	0,17	0,992	0,857	0,574	0,141	0,107	0,100	0,094
11	35	5	0,33	0,928	0,636	0,555	0,040	0,027	0,024	0,022
12	35	5	0,50	0,899	0,541	0,480	0,086	0,039	0,031	0,028
13	35	7	0,17	1,676	0,739	0,652	0,099	0,088	0,084	0,082
14	35	7	0,33	1,656	1,085	0,929	0,178	0,146	0,143	0,138
15	35	7	0,50	2,127	1,323	1,002	0,188	0,164	0,157	0,142
16	35	9	0,17	2,029	1,037	0,956	0,442	0,410	0,384	0,370
17	35	9	0,33	1,971	1,323	0,980	0,501	0,492	0,485	0,467
18	35	9	0,50	2,205	1,905	1,123	0,579	0,561	0,525	0,515
19	45	5	0,17	0,675	0,658	0,421	0,279	0,258	0,244	0,230
20	45	5	0,33	0,397	0,372	0,334	0,311	0,261	0,247	0,224
21	45	5	0,50	0,553	0,524	0,472	0,358	0,336	0,303	0,295
22	45	7	0,17	0,809	0,677	0,659	0,561	0,543	0,536	0,524
23	45	7	0,33	1,443	1,415	1,404	1,181	1,124	1,001	0,980
24	45	7	0,50	1,386	1,375	1,339	1,228	1,094	1,020	0,943
25	45	9	0,17	1,155	0,936	0,816	0,706	0,690	0,572	0,570
26	45	9	0,33	1,816	1,629	1,556	1,141	1,126	1,045	0,930
27	45	9	0,50	2,003	1,846	1,711	1,603	1,549	1,394	1,138

Realizado por: Sánchez C., Jessica F., 2020

3.2.1 Optimización de la temperatura

A continuación, se reportan los valores obtenidos en la adsorción de diuron obtenidos en tres niveles de temperatura (25, 35 y 45 °C) partiendo de una concentración inicial de diuron de 9 ppm.

Tabla 3-3: Variación del porcentaje de adsorción de diuron en función del tiempo a diferentes temperaturas

Tiempo (min)	Porcentaje de adsorción de diuron a diferentes temperaturas		
	25 °C	35 °C	45 °C
30	76,13	82,69	87,54
60	78,78	88,60	88,52
90	81,24	92,03	89,40
120	84,00	97,31	91,04
150	86,77	97,57	91,51
180	89,63	97,69	92,26
210	92,39	97,78	92,90

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

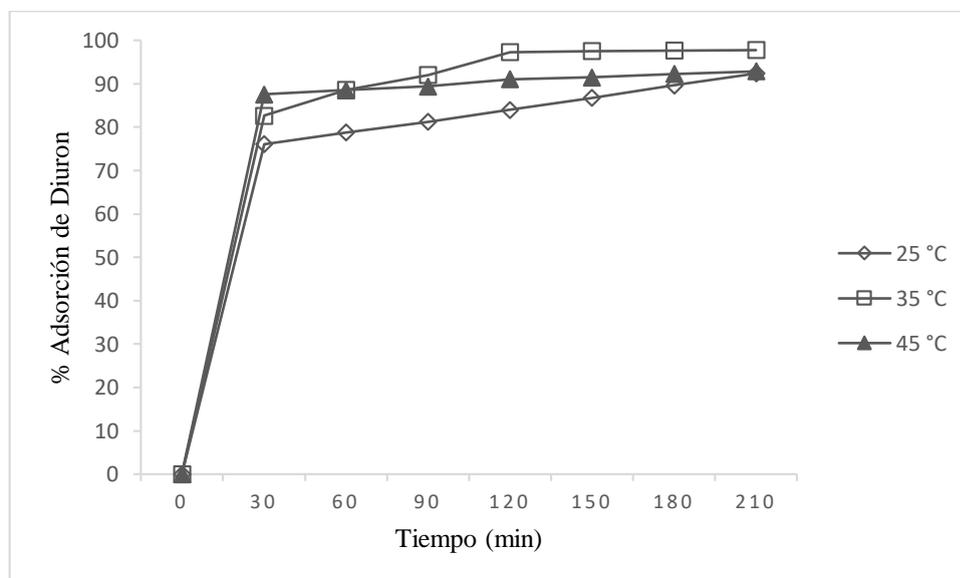


Gráfico 1-3: Adsorción de diuron en función del tiempo a diferentes temperaturas

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

En el gráfico 1-3 se observa que en los primeros 30 minutos la adsorción se da con mayor eficiencia a 45 °C lo que indica que a mayor temperatura incrementa su capacidad de adsorción sin embargo después de este tiempo la adsorción a esta temperatura no incrementa de manera significativa en cambio a una temperatura de 35 °C se puede observar que a los primeros 30 minutos tiene una adsorción similar a 45°C con una diferencia no mayor al 5 % y a medida que

pasa el tiempo el porcentaje de adsorción incrementa hasta alcanzar el equilibrio a los 120 minutos removiendo más del 97% del herbicida, a 25°C se reportan los valores más bajos de adsorción.

Tabla 4-3: Parámetros de los modelos cinéticos de pseudo primer y pseudo segundo orden para la adsorción de diuron a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	q _e _{exp} (mg/g)	Modelo cinético pseudo primer orden			Modelo cinético pseudo segundo orden		
		q _e (mg/g)	k ₁ (min ⁻¹)	R ²	q _e (mg/g)	k ₂ (mg/gmin)	R ²
25	3,255	0,932	2,04× 10 ⁻³	0,939	3,364	0,026	0,997
35	3,275	1,445	7.08× 10 ⁻³	0,938	3,409	0,038	0,999
45	3,093	0,624	2,99× 10 ⁻³	0,956	3,131	0,099	1,000

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

En la tabla 4-3 se reportan los valores de los coeficientes de los dos modelos cinéticos, se puede observar que el modelo cinético pseudo segundo orden es el que se ajusta de mejor manera con un valor de 1, también se puede observar que con este modelo los valores de q_e (capacidad de adsorción) tanto el calculado como el experimental son muy similares lo que indica que la adsorción de diuron en diferentes niveles de temperatura se puede explicar mediante el modelo pseudo segundo orden, las constantes k₂ aumentaron al aumentar la temperatura, estos resultados coincidan con los obtenidos por otro estudio (Al Bahri et al., 2012).

3.2.2 Optimización del pH

Para identificar el pH al cual se da la mayor adsorción de diuron se realizó la experimentación con tres niveles de pH (5,7 y 9 unidades), los valores obtenidos en la adsorción se reportan a continuación.

Tabla 5-3: Variación del porcentaje de adsorción de diuron en función del tiempo a diferentes valores de pH

Tiempo (min)	Porcentaje de adsorción de diuron a diferentes valores de pH		
	5	7	9
30	89,96	81,42	74,98
60	91,14	85,19	79,57
90	92,78	87,03	82,85
120	95,00	90,53	86,81
150	95,72	91,59	88,53

180	96,86	93,16	89,56
210	98,59	94,01	90,48

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

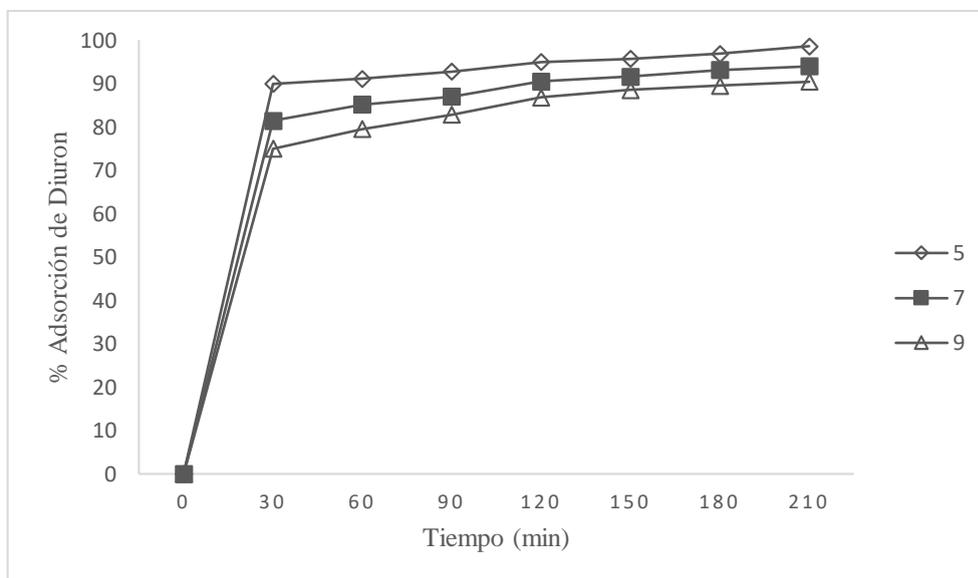


Gráfico 2-3: Adsorción de diuron en función del tiempo a diferentes valores de pH

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

En la gráfica 2-3 se muestra el comportamiento de la adsorción del herbicida en cada uno de los niveles de pH estudiados, se observa que a pH más ácido la adsorción se da con mayor eficiencia, es decir que a medida que se incrementa el pH la capacidad de adsorción disminuye, en este estudio se obtuvo la adsorción máxima del 98% a pH 5 esto puede ser debido al pH ácido que presenta el carbón activado ya que la adsorción es más eficiente cuando se trabaja en un pH igual o similar al que posee el adsorbente y la solución en la que actúa.

Tabla 6-3: Parámetros de los modelos cinéticos de pseudo primer y pseudo segundo orden para la adsorción de diuron a diferentes valores de pH

pH	$q_{e_{exp}}$ (mg/g)	Modelo cinético pseudo primer orden			Modelo cinético pseudo segundo orden		
		q_e (mg/g)	k_1 (min^{-1})	R^2	q_e (mg/g)	k_2 (mg/gmin)	R^2
5	3,344	0,729	$2,08 \times 10^{-3}$	0,969	3,401	0,050	0,999
7	3,189	0,896	$3,13 \times 10^{-3}$	0,946	3,281	0,041	1,000
9	3,090	1,055	$3,95 \times 10^{-3}$	0,979	3,218	0,034	1,000

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

El modelo cinético que mejor se ajusta para los datos de adsorción de diuron es el de pseudo segundo orden con coeficientes de correlación de 0,999 y 1,000 que son valores perfectos, los valores experimentales y calculados de la capacidad de adsorción son muy similares lo que indica que la adsorción de diuron en diferentes niveles de pH se puede explicar mediante el modelo pseudo segundo orden, se puede observar en la tabla 6-3 que las constantes de velocidad k_2 disminuyen conforme aumenta el pH teniendo una adsorción del herbicida más rápida a un pH de 5.

3.2.3 Optimización de la dosis de adsorbente

Para determinar la dosis de adsorbente adecuado al cual se obtiene la mayor cantidad de remoción de diuron se trabajó con tres niveles de dosis de carbón activado (0.166, 0.333 y 0.5 g).

Tabla 7-3: Variación del porcentaje de adsorción de diuron en función del tiempo a diferentes dosis de Carbón activado

Tiempo (min)	Porcentaje de adsorción de diuron a diferentes dosis de carbón activado		
	0,166 g	0,333 g	0,5 g
30	84,62	82,13	79,62
60	88,36	84,71	82,83
90	90,69	86,52	85,45
120	93,27	90,33	88,74
150	93,66	91,66	90,53
180	94,64	93,22	91,73
210	95,55	94,27	93,26

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

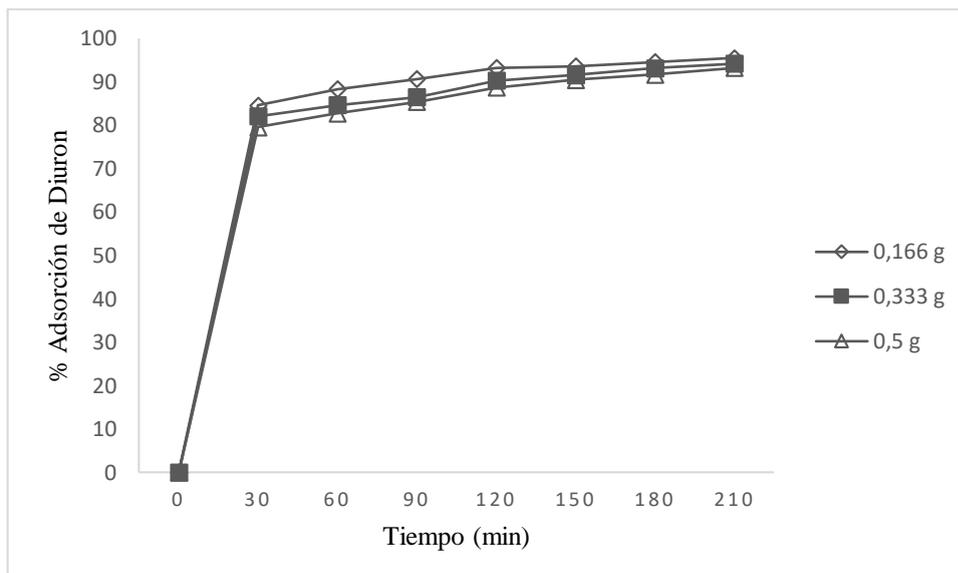


Gráfico 3-3: Adsorción de diuron en función del tiempo a diferentes dosis de adsorbente

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

En la gráfica se puede observar que existe una ligera diferencia en el porcentaje de adsorción usando los tres niveles de dosis de carbón activado, la diferencia en la adsorción no es mayor al 5 %, sin embargo se observa una disminución progresiva en la capacidad de adsorción a medida que aumenta la dosis del adsorbente esto puede ser consecuencia de las interacciones entre las partículas del adsorbente, la aglomeración de las mismas disminuye los sitios de contacto, en dosis menores existe una mayor distancia entre las partículas y esto ayuda a tener una mayor adsorción, la mayor adsorción se obtiene al añadir 0,166 g de carbón activado removiendo valores mayores al 95% .

Tabla 8-3: Parámetros de los modelos cinéticos de pseudo primer y pseudo segundo orden para la adsorción de diuron a diferentes dosis de adsorbente

Dosis de adsorbente (g)	$q_{e_{exp}}$ (mg/g)	Modelo cinético pseudo primer orden			Modelo cinético pseudo segundo orden		
		q_e (mg/g)	k_1 (min^{-1})	R^2	q_e (mg/g)	k_2 (mg/gmin)	R^2
0,166	5,257	1,021	$3,04 \times 10^{-3}$	0,981	5,385	0,030	1,000
0,333	2,644	0,856	$2,99 \times 10^{-3}$	0,940	2,731	0,043	0,999
0,500	1,721	0,716	$2,78 \times 10^{-3}$	0,974	1,782	0,060	0,999

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

Los coeficientes de correlación de los dos modelos cinéticos son aceptables sin embargo los valores obtenidos en el modelo cinético pseudo segundo orden son de 1 por lo tanto se toma este modelo como el mejor para los datos de adsorción de diuron a diferentes dosis de adsorbente (carbón activado), los valores de q_e tanto experimentales como calculados son prácticamente los mismo lo que indica que el modelo es ideal para explicar el fenómeno de adsorción de diuron usando diferentes cantidades de adsorbente, las constantes de velocidad k_2 aumenta conforme aumenta la dosis de adsorbente.

3.2.4 Optimización del tiempo de contacto

Para determinar el tiempo de equilibrio se tomó alícuotas de 4 ml cada 30 minutos durante 210 minutos.

Tabla 9-3: Datos de adsorción de diuron en función del tiempo

Tiempo (min)	% Adsorción
0	0
30	89,33
60	90,79
90	94,54
120	98,48
150	98,85
180	98,93
210	98,99

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

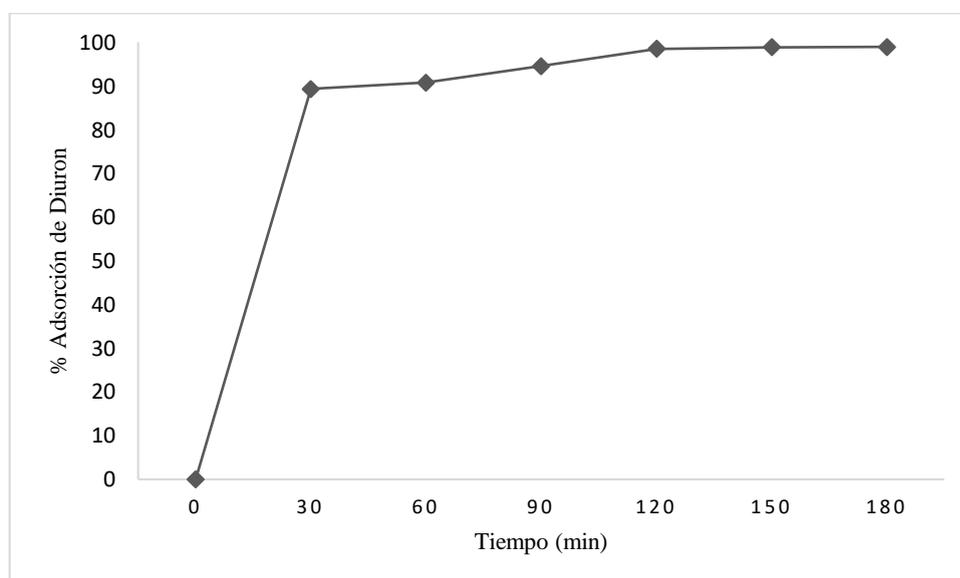


Gráfico 4-3: Adsorción de diuron en función del tiempo

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

Los resultados muestran que en los primeros 30 min se da la mayor cantidad de adsorción del herbicida eliminando más del 89% de diuron en solución, después de este tiempo se da una disminución drástica en la adsorción alcanzando una remoción mayor al 98% en un tiempo de 120 minutos donde alcanza el equilibrio, en tiempos posteriores se observa una mínima adsorción, se ha visto también que puede existir un incremento en la concentración del herbicida en solución debido a la saturación porosa del adsorbente dando lugar a una desorción (Mendoza, Molina & Fragozo 2017, p. 437).

La rápida adsorción dentro de los primeros 30 minutos se explica debido a que en la etapa inicial existe una alta disponibilidad de sitios activos libres por lo tanto la captura de las partículas en la solución es rápida sin embargo a medida que pasa el tiempo los sitios activos van saturándose y las partículas compiten por los lugares libres y esto es lo que retarda el proceso de adsorción.

Análisis estadístico

Después de haber analizado el comportamiento de la temperatura, pH y la dosis de carbón activado en la adsorción de diuron se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para identificar el efecto que tienen en el proceso de adsorción y la interacción entre las variables.

Tabla 10-3: Análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de adsorción de diuron

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Valor F	Valor -P
A: Temperatura	2393,004	2	1196,522	1242,295	0,00
B: pH	909,425	2	454,712	472,108	0,00
C: Dosis	285,122	2	142,561	148,015	0,00
AB	159,349	4	39,837	41,361	0,00
AC	112,618	4	28,155	29,232	0,00
BC	171,285	4	43,071	44,719	0,00
ABC	62,369	8	7,796	8,094	0,00
Error	52,010	54	0,963		
Total (corr.)	4146,233	80			
$R^2 = 0,987$ $R^2_{ajustado} = 0,981$					

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

Se analizó las variables individuales y sus interacciones mediante el análisis ANOVA como se muestra en la tabla 10-3 se obtuvo valores de $p < 0,05$ en todos los casos, lo que indica que tanto las variables individuales como cada una de sus interacciones influyen en la adsorción de diuron usando carbón activado, la temperatura es el factor más influyente en el proceso de adsorción seguido del pH y la dosis, la interacción más influyente pH-dosis del carbón activado seguido de la interacción temperatura-pH y con menor efecto se encuentra la interacción temperatura-dosis, finalmente, se observa que la interacción entre las tres variables es baja en comparación a las anteriores, esto se puede observar de mejor manera en el diagrama de Pareto que se presenta a continuación.

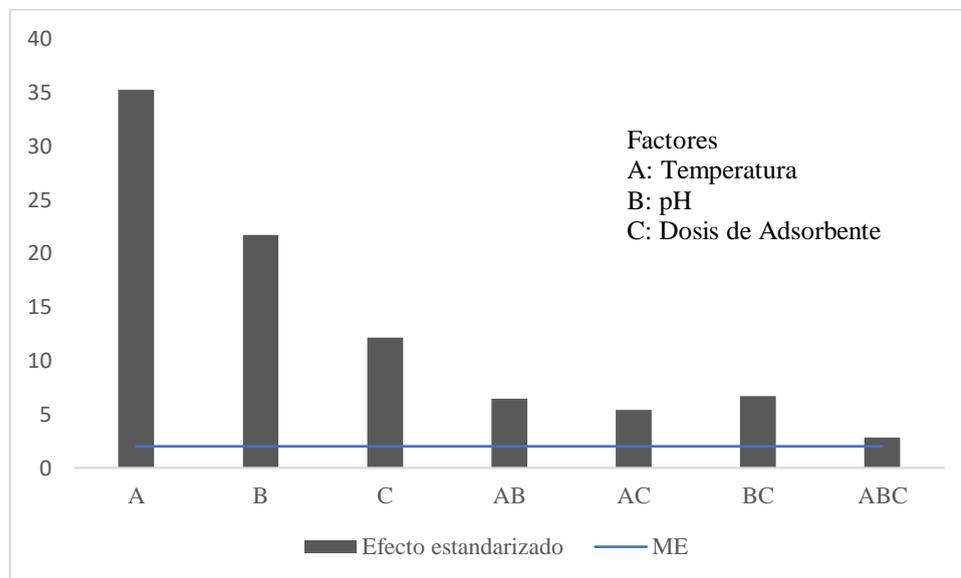


Gráfico 5-3: Diagrama de Pareto para las interacciones entre cada variable

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

En el gráfico 5-3 se muestra el efecto de las variables y sus interacciones sobre la adsorción de diuron con el carbón activado por medio del diagrama de Pareto de efectos estandarizados, la línea horizontal corresponde al margen de error es decir al valor de distribución t el cual es sobrepasado por todas las variables y cada una de las interacciones lo que indica que todos son significativas, así la variable que más influye en la adsorción es la temperatura, seguida por el pH y la dosis, en el gráfico se puede observar que las variables tienen mayor efecto en la adsorción cuando actúan de manera individual, las interacciones si influyen en el proceso de remoción de diuron sin embargo su efecto es bajo en comparación al ser analizados individualmente, se puede decir que la temperatura es la variable que tiene más influencia en el proceso de adsorción de Diuron en medio acuoso.

3.2.5 Eficiencia de adsorción

En la gráfica 6-3 se presenta las interacciones entre los factores estudiados (temperatura, pH y dosis de adsorbente), como se puede observar el efecto de la temperatura es predominante teniendo como el mejor nivel el de 35 °C con el cual se obtiene la mayor cantidad de adsorción, en cuanto a la dosis se puede observar que 0,333 g de carbón activado es la cantidad de adsorbente con el cual se remueve mayor porcentaje de diuron sin embargo como habíamos visto anteriormente la diferencia no es significativa por lo tanto se toma 0,166 g como la dosis adecuada, el pH al que es más eficiente la adsorción es a pH 5 aunque no está muy alejado de un pH 7.

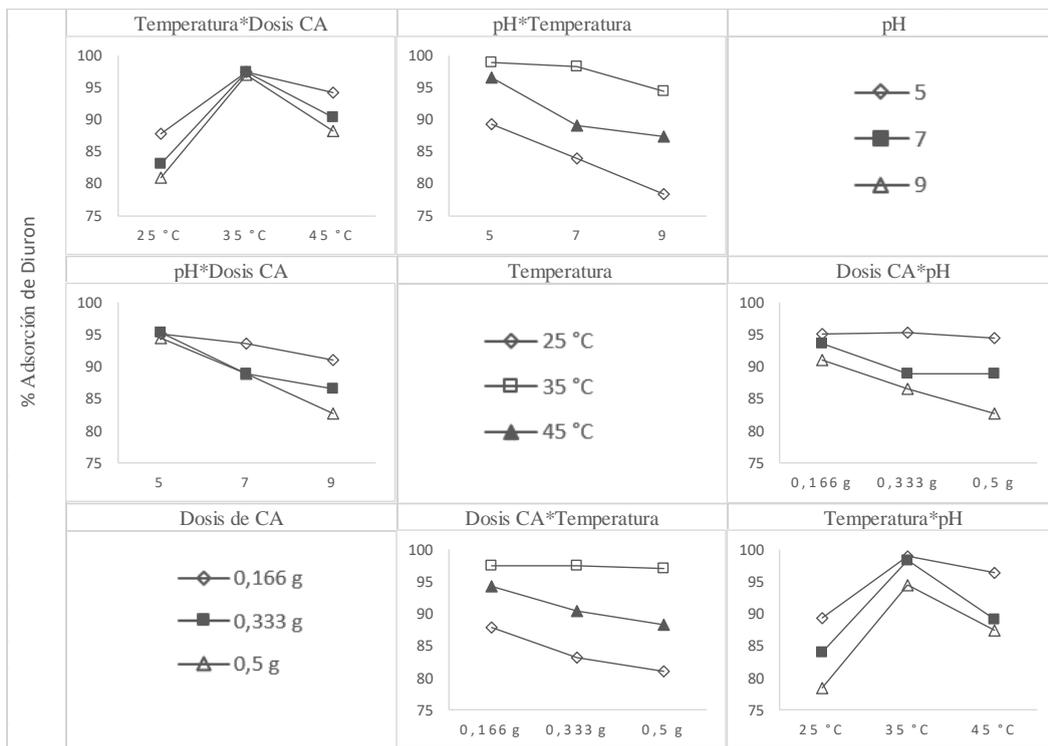


Gráfico 6-3: Interacciones de las variables de estudio (temperatura, pH, dosis de adsorbente)

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

De acuerdo con el comportamiento de las curvas se determina que las condiciones ideales para la adsorción de diuron usando carbón activado obtenido del endocarpio de coco se obtiene al utilizar una temperatura de 35 °C en una solución de pH 5 con una dosis de adsorbente de 0,166 g obteniendo una remoción mayor al 98 % en un tiempo de 120 minutos.

3.2.6 Modelo cinético de adsorción para los parámetros óptimos en la adsorción de diuron

Se evaluaron los dos modelos cinéticos para comprender el fenómeno de adsorción de diuron sobre el carbón activado obtenido de la cáscara de coco.

Tabla 11-3: Datos experimentales de la adsorción de diuron sobre carbón activado

Tiempo (min)	C_f (mg/L)	q_t (mg/g)	% Adsorción
30	0,992	4,830	89,33
60	0,857	4,908	90,78
90	0,574	5,073	93,83
120	0,141	5,324	98,48
150	0,107	5,344	98,85
180	0,100	5,348	98,92
210	0,094	5,352	98,99

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

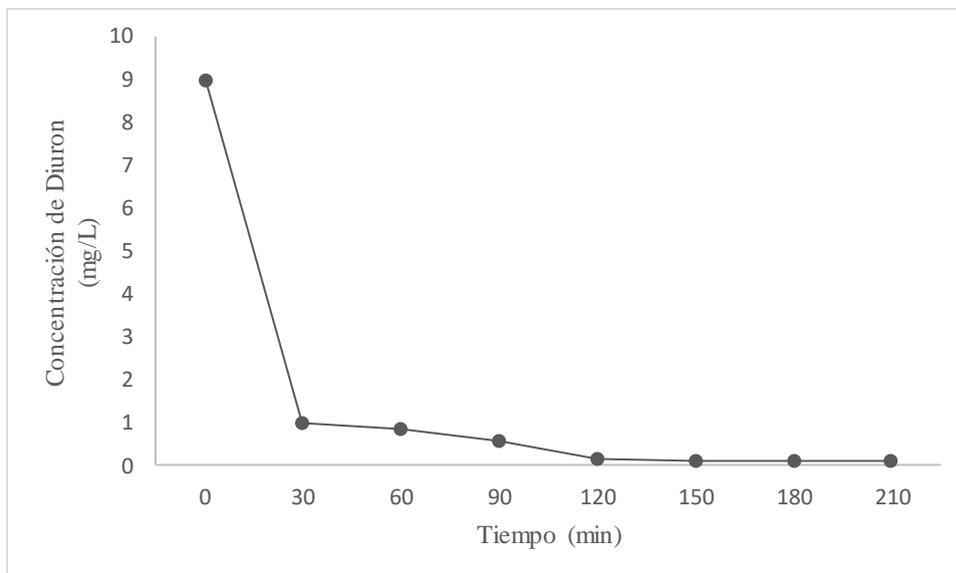


Gráfico 7-3: Cinética de remoción de Diuron sobre carbón activado en condiciones de ensayo de: 0,166 g CA, 35°C, pH 5 $[C_o]_{\text{Diuron}} = 9 \text{ mg/L}$

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

Como se puede observar en la gráfica 7-3 la concentración de diuron disminuye drásticamente en los primeros 30 minutos llegando al equilibrio a los 120 minutos con un residual de diuron en solución de 0,141 mg/L partiendo de una concentración de 9 mg/L. a continuación se presentan los dos modelos cinéticos para la adsorción del herbicida.

3.2.6.1 Modelo pseudo primer orden

En la gráfica 8-3 se representa los datos cinéticos de adsorción de diuron para el modelo pseudo primer orden.

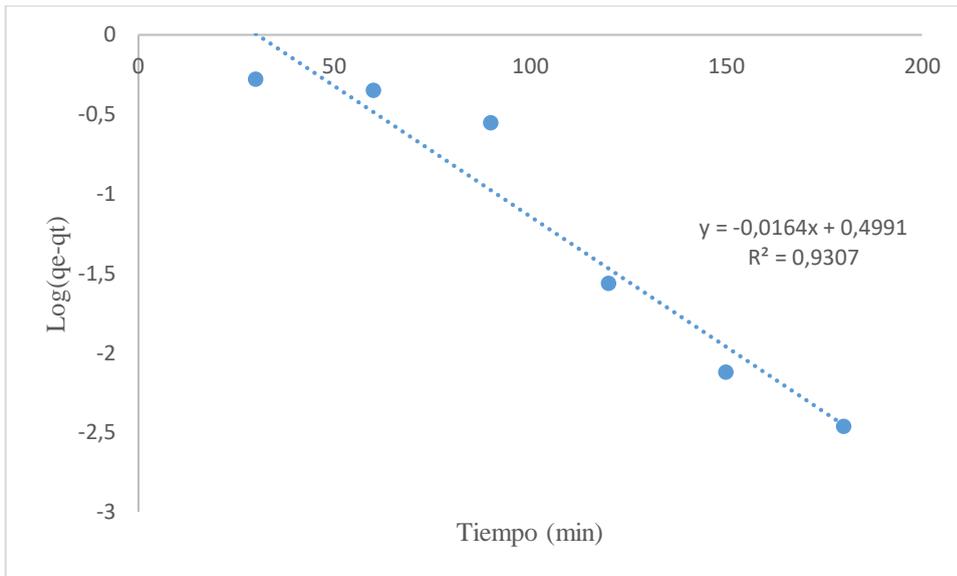


Gráfico 8-3: Gráfico del modelo cinético de adsorción pseudo primer orden

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

Tabla 12-3: Constantes del modelo de pseudo primer orden para la adsorción de diuron sobre carbón activado

k₁ (min⁻¹)	q_e (exp) (mg/g)	q_e (cal) (mg/g)	R²
0,0378	5,352	1,647	0,931

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

El modelo no presenta ajuste al fenómeno de adsorción de diuron, los valores q_e (cantidad de diuron en el adsorbente después de llegar al equilibrio) experimental y calculado no coinciden, es decir que no se le asigna un sitio activo del carbón activado a cada molécula de diuron presente en la solución.

3.2.6.2 Modelo de pseudo segundo orden

La representación de la correlación de los datos cinéticos de adsorción de diuron mediante la ecuación linealizada de pseudo segundo orden se muestra en la siguiente gráfica.

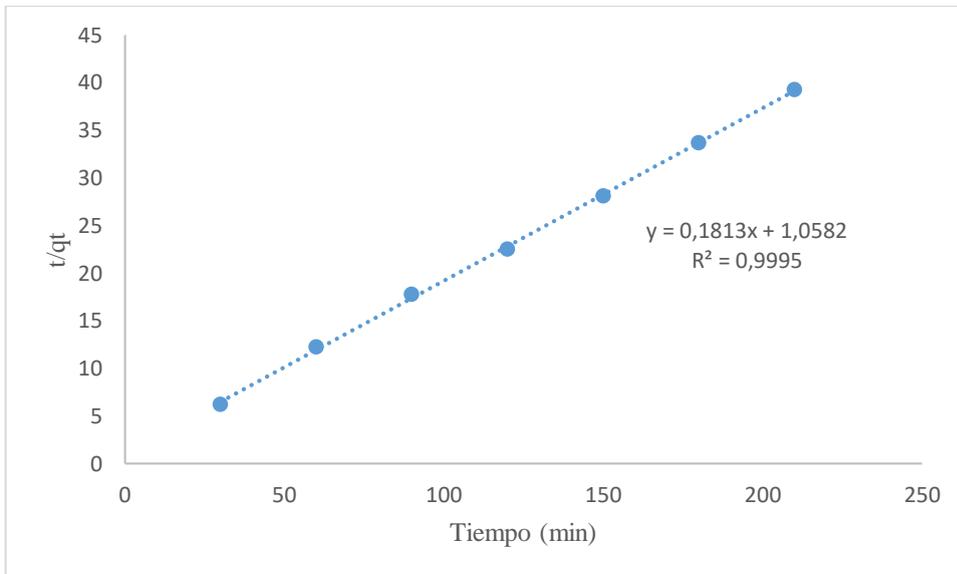


Gráfico 9-3: Gráfico del modelo cinético de adsorción pseudo segundo orden

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

Tabla 13-3: Constantes del modelo de pseudo segundo orden para la adsorción de diuron sobre carbón activado

k₂ (mg/gmin)	q_e (exp) (mg/g)	q_e (cal) (mg/g)	R²
0,031	5,352	5.516	0,9995

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

El coeficiente de correlación obtenido en el modelo pseudo segundo orden es de 0,9995 por lo tanto el fenómeno de adsorción se puede explicar mediante este modelo, los valores de q_e tanto el experimental como el calculado son similares lo que confirma que este modelo es ideal, esto nos indica que la adsorción no se da en la superficie del carbón activado sino sobre los sitios activos, tiene el comportamiento de la adsorción química.

En la tabla 14-3 se compara el porcentaje de adsorción para Diuron en diferentes tipos de carbón activado reportados en la literatura

Tabla 14-3: Resumen del porcentaje de adsorción para diuron en diferentes tipos de carbón activado

Adsorbente	% Adsorción	Tiempo de equilibrio (min)	Concentración inicial de Diuron (mg/L)	Condiciones de adsorción	Referencia
Cáscara de coco	98,48	120	9	100 ml de solución a 35°C a pH 7 con 0,166 g de carbón activado (d=0,053)	Este estudio
Semillas de uva	96,33	480	15	1000 ml de solución a 35°C con pH 7 y 1 g de carbón activado (d=0,5-1)	(Al Bahri et al., 2012)
Comercial granular	97,75	30	40	500 ml de solución a 25 °C a pH 7 con 0,05 g de carbón activado (d=0,03)	(Fontecha-Cámara et al. 2008)
Madera	80	150	42	25 ml de solución a 25°C a pH 7	(Cansado et al. 2017)

Realizado por: Sánchez C., Jessica F. 2020

Se puede observar que los diferentes tipos de carbón activado son eficientes en la adsorción de diuron removiendo casi la totalidad del herbicida presente en solución acuosa, la capacidad del adsorbente aumenta con la cantidad de solución en la que actúa, también se ha visto que a mayor concentración inicial el tiempo de equilibrio es menor, el diámetro del carbón activado también influye en la capacidad de adsorción a menor diámetro de la partícula se tiene mayor área superficial por lo tanto la adsorción es más eficiente.

CONCLUSIONES

Se obtuvo carbón activado usando como precursor la cáscara de coco en condiciones óptimas reportadas en un estudio, se obtuvo un rendimiento del 53% usando la técnica de activación química.

La caracterización del carbón activado dio buenos resultados ya que el contenido de humedad y cenizas fueron bajos, cumpliendo así con los requisitos para carbones activados de uso industrial. También se determinó que la capacidad de adsorción es muy buena mediante el análisis del índice de yodo el cual dio un valor mayor a 600 mg I₂/g de carbón, mediante un análisis FT/IR se pudo identificar que la superficie del adsorbente contenía grupos ácidos lo cual se corroboró con el pH de la solución de carbón activado

Mediante la experimentación se pudo determinar las mejores condiciones en las cuales se obtiene la mayor eficiencia de adsorción de diuron en medio acuoso, la temperatura ideal es de 35 °C con una solución a pH 5 y usando una dosis de 0,166 de carbón activado, condiciones que en un tiempo de 120 minutos removi6 más del 98 % del herbicida. La capacidad máxima de adsorción es de 5,32 mg de diuron/ g de carbón activado lo que indica que el carbón activado obtenido de la cáscara de coco mediante activación química es eficiente en la adsorción del herbicida ya que remueve casi en su totalidad. Mediante el análisis comparativo de los resultados de adsorción con otros estudios se puede indicar que la capacidad de adsorción aumenta con el volumen y la concentración inicial de la solución.

RECOMENDACIONES

Estudiar la adsorción del herbicida aumentando el volumen de solución de partida y la concentración inicial del adsorbato ya que al aumentar estos factores se ha visto un aumento en la capacidad de adsorción.

Analizar el adsorbente mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) para identificar la estructura morfológica que posee el material y el tamaño de poro desarrollado en el proceso.

Investigar la adsorción de otros herbicidas de fenilurea usando el carbón activado usado en este estudio ya que el empleo de residuos agroindustriales en la obtención de carbón activado que posteriormente se utilice para la descontaminación de aguas ayuda a la solución de dos grandes problemas al cual se enfrenta la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

ACHURY, Carlos. Obtención de Carbón Activado a partir de cascara de coco : Obtención por medio de activación física y química [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de los Andes, Bogotá. 2008. pp. 1-27. [Consulta: 23 julio 2019]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/23588/u303042.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ARCSA. *Criterios para la categorización del riesgo de plaguicidas de uso doméstico, industrial y en salud pública para sistemas de vigilancia y control sanitario* [en línea], 2017. [Consulta: 20 diciembre 2019]. Disponible en: https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/IE-C.2.1-PLA01_V1_criterios_categorizacion_de_plaguicidas.pdf

AL-QODAH, Z. & SHAWABKAH, R. "Production and characterization of granular activated carbon from activated sludge". *Brazilian Journal of Chemical Engineering* [en línea], 2009, (Brazil) 26(1), pp. 127-136. [Consulta: 20 agosto 2019]. ISSN 01046632. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-66322009000100012

AL BAHRI, M., CALVO, L., GILARRANZ, M.A. & RODRIGUEZ, J.J. "Activated carbon from grape seeds upon chemical activation with phosphoric acid: Application to the adsorption of diuron from water". *Chemical Engineering Journal* [en línea], 2021, (España) 203 (1), pp. 348-356. [Consulta: 20 febrero 2021]. ISSN 13858947. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.07.053>.

ALJEBOREE, A.M., ALSHIRIFI, A.N. & ALKAIM, A.F. "Kinetics and equilibrium study for the adsorption of textile dyes on coconut shell activated carbon". *Arabian Journal of Chemistry* [en línea], 2014, (Arabia) 10, pp. S3381-S3393. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 18785352. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.01.020>.

ALVAREZ VILLANUEVA, Daniel Mateo. Producción de carbón activado a partir de cuesco de palma de aceite para la remoción de paraquat en solución acuosa [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional de Colombia, Colombia. 2019. pp. 20- 23. [Consulta: 23 julio 2020]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75586>

ANZALONE, A. "Herbicidas. Modos y mecanismos de acción". *Journal of Chemical Information and Modeling* [en línea], 2005, (Venezuela) 53(9), pp. 1689-1699. [Consulta: 23 julio

2019]. ISSN 1098-6596. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/259175751_Herbicidas_Modos_y_mecanismos_de_accion_en_plantas

ARROYO, L. & RUIZ, D. Determinación de la cinética de adsorción de cloruros de vertimientos del sector agrícola cultivos energéticos, sobre carbón activado comercial [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad de America, Bogotá, 2018. pp. 24-140. [Consulta: 28 octubre 2019]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6840/1/6132135-2018-2-IQ.pdf>

ASIMBAYA, C., ROSAS, N., ENDARA, D. & GUERRERO, V.H. "Obtención de Carbón Activado a partir de Residuos Lignocelulósicos de Canelo, Laurel y Eucalipto". *Revista Politécnica* [en línea], 2015, (Ecuador) 36(3), pp. 1-6. [Consulta: 13 agosto 2019]. Disponible en: <http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen36/tomo3/ObtenciondeCarbonActivadoapartirdeResiduos.pdf>.

BARRETT, K. & JAWARD, F.M. "A review of endosulfan, dichlorvos, diazinon, and diuron - Pesticides used in Jamaica". *International Journal of Environmental Health Research* [en línea], 2012, (Estados Unidos) 22(6), pp. 481-499. [Consulta: 28 noviembre 2019]. ISSN 09603123. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09603123.2012.667794>

BETANCUR, A. Fabricación de monolitos de carbón activado para captura de gases contaminantes [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional de Colombia, 2012, pp. 1-67 [Consulta: 12 marzo 2020]. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/9030/1/Fabricaci?n_de_monolitos_de_carb?n_activado_para_captura_de_gases_contaminantes.pdf.

BHATNAGAR, A., HOGLAND, W., MARQUES, M. & SILLANPÄÄ, M. "An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications". *Chemical Engineering Journal* [en línea], 2013, (Brasil) 219, pp. 499-511. [Consulta: 5 mayo 2020]. ISSN 13858947. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.12.038>.

BUNZEL, K., KATTWINKEL, M. & LIESS, M. "Effects of organic pollutants from wastewater treatment plants on aquatic invertebrate communities". *Water Research* [en línea], 2013, (Alemania) 47(2), pp. 597-606. [Consulta: 7 junio 2020]. ISSN 18792448. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.10.031>.

CAGNON, B., PY, X., GUILLOT, A., STOECKLI, F. & CHAMBAT, G. "Contributions of

hemicellulose, cellulose and lignin to the mass and the porous properties of chars and steam activated carbons from various lignocellulosic precursors". *Bioresource Technology* [en línea], 2009, (Francia) 100(1), pp. 292-298. [Consulta: 7 junio 2020]. ISSN 09608524. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852408005294>

CANALES, R. Obtención y Caracterización de Carbones Activados a Partir de Residuos Agroindustriales [en línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. 2018. pp. 194. Disponible en: http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/2070/Obtención_y_Caracterización_de_Carbones.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

CANSADO, I.P.P., MOURÃO, P.A.M., GOMES, J.A.F.L. & ALMODÔVAR, V. "Adsorption of MCPA, 2,4-D and diuron onto activated carbons from wood composites". *Ciencia e Tecnologia dos Materiais* [en línea], 2017, (Portugal) 29(1), pp. e224-e228. [Consulta: 2 febrero 2020]. ISSN 08708312. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ctmat.2016.07.005>.

CARRASCO, B. & LONDA, E. Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco "Cocos Nucífera L" [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Cuenca. Ecuador. 2018. pp. 2-141. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31705?mode=full>

CHÁVEZ, M. "La biomasa: fuente alternativa de combustibles y compuestos químicos". *Anales de Química* [en línea], 2019, (El Salvador) 115(1), pp. 399-407. [Consulta: 2 febrero 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/339443546_La_biomasa_fuente_alternativa_de_combustibles_y_compuestos_quimicos

DELGADILLO, G. Adsorción de cobre (II) y hierro (III) sobre carbones de pepa de níspero (*Mespilus communi*) activados con H₃PO₄ [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional de Callao. Perú. 2013. pp.4-65 Disponible en: <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/1838>

FAO. *Herbicidas*. [en línea]. [Consulta: 19 enero 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/t1147s/t1147s0e.htm>

FLORES, E., MOLINA, Y., Balsa, A., BENÍTEZ, P. & MIRANDA, L. "Residuos de plaguicidas en aguas para consumo humano en una comunidad agrícola del estado Mérida, Venezuela". *Investigación Clínica* [en línea], 2011, (Venezuela) 52(4), pp. 295 - 311 [Consulta: 9 abril 2021]. ISSN 0535-5133. Disponible en:

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0535-51332011000400002

FONTECHA-CÁMARA, M.A., LÓPEZ-RAMÓN, M. V., PASTRANA-MARTÍNEZ, L.M. & MORENO-CASTILLA, C. "Kinetics of diuron and amitrole adsorption from aqueous solution on activated carbons". *Journal of Hazardous Materials* [en línea], 2008, (España) 156(1), pp. 472-477. [Consulta: 17 abril 2020]. ISSN 03043894. Disponible en: <http://ve.scielo.org/pdf/ic/v52n4/art02.pdf>

GARCÍA, F. Planta De Producción De Carbón Activo [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela de Ingeniería y Arquitectura. España. 2013. pp. 1-272. [Consulta: 17 julio 2020]. Disponible en: <http://zaguan.unizar.es/record/12157/files/TAZ-PFC-2013-575.pdf>.

GARCÍA, N., VILLANUEVA, P., CAMPOS, E. & VELÁZQUEZ, A. "Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales". *Quivera* [en línea], 2012, (México) 14(1), pp. 109-129. [Consulta: 2 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894007.pdf>

GIACOMAZZI, S. & COCHET, N. "Environmental impact of diuron transformation: A review". *Chemosphere* [en línea], 2004, (Francia) 56(11), pp. 1021-1032. [Consulta: 2 marzo 2020]. ISSN 00456535. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653504004047>

GONZÁLEZ, J. Estudios de biodegradación y mineralización a elevadas concentraciones del herbicida diuron empleando cepas bacterianas degradadoras específicas en condiciones de estrés [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Instituto de Recursos Naturales y Agrobiológica de Sevilla. España. 2015. pp. 3-37. [Consulta: 13 marzo 2020]. Disponible en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/130814/1/Estudios_biodegradacion_mineralizacion_tesisMRB2015.pdf

GRATUITO, M.K.B., PANYATHANMAPORN, T., CHUMNANKLANG, R.A., SIRINUNTAWITTAYA, N. & DUTTA, A. "Production of activated carbon from coconut shell: Optimization using response surface methodology". *Bioresource Technology* [En línea], 2008, (Tailandia) 99(11), pp. 4887-4895. [Consulta: 13 marzo 2020]. ISSN 09608524. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852407007857>

HERNÁNDEZ, M., OTERO, A., FALCÓN, J. & YPERMAN, Y. "Características fisicoquímicas del carbón activado de conchas de coco modificado con HNO₃". *Revista Cubana de Química* [En línea], 2017, (Cuba) 29(1), pp. 26-38. [Consulta: 13 diciembre 2019]. ISSN

0258-5995. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212017000100003

INEC. *Uso y manejo de agroquímicos en la agricultura 2014* [En línea], 2014 [Consulta: 13 mayo 2020]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Encuestas_Ambientales/plaguicidas/Plaguicidas-2014/Modulo_Uso_y_Manejo_de_Agroquimicos.pdf

INEC. *Información Ambiental en la Agricultura 2016.* [en línea], 2016, pp. 1-34. [Consulta: 13 mayo 2020] Disponible en: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Encuestas_Ambientales/Informacion_ambiental_en_la_agricultura/2016/PRESENTACION_AGRO_AMBIENTE_2016.pdf.

KÖCK SCHULMEYER, M. Plaguicidas polares en el medio ambiente : análisis , presencia y evaluación de riesgo [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Barcelona. España. 2014. pp. 15-373. [Consulta: 13 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/279346>

LEINING ARAUJO, I.C. y FREITAS MELO, V. "SORÇÃO DE DIURON EM MINERAIS DA FRAÇÃO ARGILA". *Quim. Nova* [En línea], 2012, (Brasil) 35(7), pp. 1312-1317. [Consulta: 1 diciembre 2019]. ISSN 0100-4042. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000700006

MENDOZA, L.V., MOLINA, N.F. & FRAGOZO, H.G. "Adsorption of lead (II) with stems and leaves of eichhornia crassipes in aqueous solution". *Udca* [en línea], 2017, (Venezuela) 20(1) pp. 435-444. [Consulta: 17 diciembre 2019]. ISSN 0123-4226. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n2/v20n2a21.pdf>.

MOSCOSO PINTO, F.G. Diseño de una planta de producción de carbón activado mediante activación física a partir de cusco de coco (Cocos nucifera L.) [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional. Ecuador. 2013. pp. 1-133. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6646>

MUNGUÍA, D. Deslignificación de la penca de Agave tequilana F.A.C. Weber empleando peróxido de hidrógeno alcalino como pretratamiento para la producción de biohidrógeno [En línea] (Trabajo de titulación). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. México. 2016. pp. 1-86. [Consulta: 14 agosto 2020]. Disponible en: <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/573/3/TMIPICYTM8D42016.pdf>

NARANJO MÁRQUEZ, A. *La otra guerra: La situación de los plaguicidas en Ecuador* [En línea]. Ecuador: Acción ecológica, 2017. [Consulta: 1 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.accionecologica.org/la-otra-guerra-situacion-de-los-plaguicidas-en-ecuador/#:~:text=La%20otra%20guerra%3A%20la%20situaci%C3%B3n,perspectiva%20de%20la%20Ecolog%C3%ADa%20Pol%C3%ADtica.>

NTE INEN 1988:94. *Productos químicos industriales. carbón activado para uso industrial. determinación del número de yodo.*

NTE INEN 1991:1994. *Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial. Requisitos.*

PAN INTERNATIONAL. *Lista de plaguicidas altamente peligrosos de PAN internacional* [en línea]. [Consulta: 7 julio 2020]. Disponible en: [https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/pesticides/es/.](https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/pesticides/es/)

PEÑA H, K.J., GIRALDO, L. & MORENO, J.C. "Preparación de carbón activado a partir de cáscara de naranja por activación química. Caracterización física y química". *Revista Colombiana de Química* [en línea], 2012, (Colombia) 41(2), pp. 311-323. [Consulta: 7 julio 2020]. ISSN 0120-2804. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042012000200010.](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042012000200010)

PEÑA MARTÍNEZ, Y.R., GUERRERO DALLOS, J.A. & MARTÍNEZ CORDÓN, M.J. "Adsorption-desorption of diuron and ametryn in Colombian and Spanish soils". *Revista Colombiana de Química* [en línea], 2018, (Colombia) 47(3), pp. 31-40. [Consulta: 16 julio 2020]. ISSN 01202804. Disponible en: [https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/70402.](https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/70402)

RASHIDI, N.A. y YUSUP, S. "A review on recent technological advancement in the activated carbon production from oil palm wastes". *Palmas* [en línea], 2017, (España) 38 (2), pp. 86-118. [Consulta: 16 julio 2020]. ISSN 13858947. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894716316217>

ROJAS, Y. Efecto del pH y el tiempo de contacto en la adsorción de cromo hexavalente en solución acuosa utilizando montmorillonita como adsorbente [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional del Centro del Perú. Perú. 2015. pp. 21-153. [Consulta: 06 julio 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1012/Rojas%20Villalva%20Yelitsa%20>

%2b.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SALVESTRINI, S., DI CERBO, P. & CAPASSO, S. "Kinetics of the chemical degradation of diuron". *Chemosphere* [En línea], 2002, (Italia) 48(1), pp. 69-73. [Consulta: 19 septiembre 2020]. ISSN 00456535. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653502000437>

SÁNCHEZ, E. & ORTÍZ, L. "Riesgos y estrategias en el uso de plaguicidas". *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos* [En línea], 2011, (México) 14(7), pp. 21-27. [Consulta: 28 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/305901944_Riesgos_y_estrategias_en_el_uso_de_plaguicidas

ENCA. *Estrategia Nacional de Calidad del Agua*. [en línea]. Ecuador, 2016. Disponible en: https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf

SILVA MORETTO, J.A., RUEDA FURLAN, J.P., TONELLI FERNANDES, A.F., BAUERMEISTER, A., LOPES, N.P. & STEHLING, E.G. "Alternative biodegradation pathway of the herbicide diuron". *International Biodeterioration and Biodegradation* [en línea], 2019, (Brasil) 143(1), pp. 104716. [Consulta: 2 mayo 2020]. ISSN 09648305. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.06.004>.

SOLÍS FUENTES, J.A., MORALES TÉLLEZ, M., AYALA TIRADO, R.C. & DURÁN DE BAZÚA, M.C. "Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña". *Tecnología, Ciencia, Educación* [en línea], 2012, (México) 27(1), pp. 36-48. [Consulta: 18 marzo 2020]. ISSN 0186-6036. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48224413006>

TEKIN, Z., ÖZTÜRK ER, E., GÜNKARA, Ö.T. & BAKIRDERE, S. "A novel determination method for diuron in seaweed samples: Combination of quadruple isotope dilution strategy with liquid chromatography - quadrupole time of flight - tandem mass spectrometry for superior accuracy and precision". *Journal of Chromatography A* [en línea], 2020, (Turkia) 1611(40), pp. 0-6. [Consulta: 07 abril 2020]. ISSN 18733778. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021967319310209>

TEMGOUA, R.C.T., BUSSY, U., ALVAREZ-DORTA, D., GALLAND, N., HÉMEZ, J., TONLÉ, I.K. & BOUJTITA, M. "Simulation of the environmental degradation of diuron

(herbicide) using electrochemistry coupled to high resolution mass spectrometry". *Electrochimica Acta* [en línea], 2020, (Estados Unidos) 352(1), pp. 136485. [Consulta: 21 julio 2020]. ISSN 00134686. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2020.136485>.

XU, H., LU, A., YU, H., SUN, J. & SHEN, M. "Distribution of Diuron in Coastal Seawater and Sediments from West Sea Area of Zhoushan Island". *Open Journal of Marine Science* [en línea], 2013, (China) 3(03), pp. 140-147. [Consulta: 18 junio 2020]. ISSN 2161-7384. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/276493516_Distribution_of_Diuron_in_Coastal_Seawater_and_Sediments_from_West_Sea_Area_of_Zhoushan_Island

YAHYA, M.A., AL-QODAH, Z. & NGAH, C.W.Z. "Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], 2015, (Malasia) 46(1), pp. 218-235. [Consulta: 08 diciembre 2019]. ISSN 18790690. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.051>.

ZALACÁIN, D. Biodegradación de herbicidas clorados en reactores de columna de burbujeo [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Alcalá y Universidad Rey Juan Carlos. España. 2012. pp. 4-37. [Consulta: 05 diciembre 2019]. Disponible en: <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/20023>



Firmado electrónicamente por:
**JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS**

ANEXOS

ANEXO A: OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

	
<p>A1: Cáscara de coco de tamaño 2-3.5 mm</p>	<p>A2: Carbón activado en el reactor de pirólisis</p>
	
<p>A3: Carbón activado lavado y seco</p>	<p>A4: Carbón activado de tamaño de partícula de 53 μm</p>

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO



B1: Análisis del contenido de humedad



B2: Análisis del contenido de cenizas totales

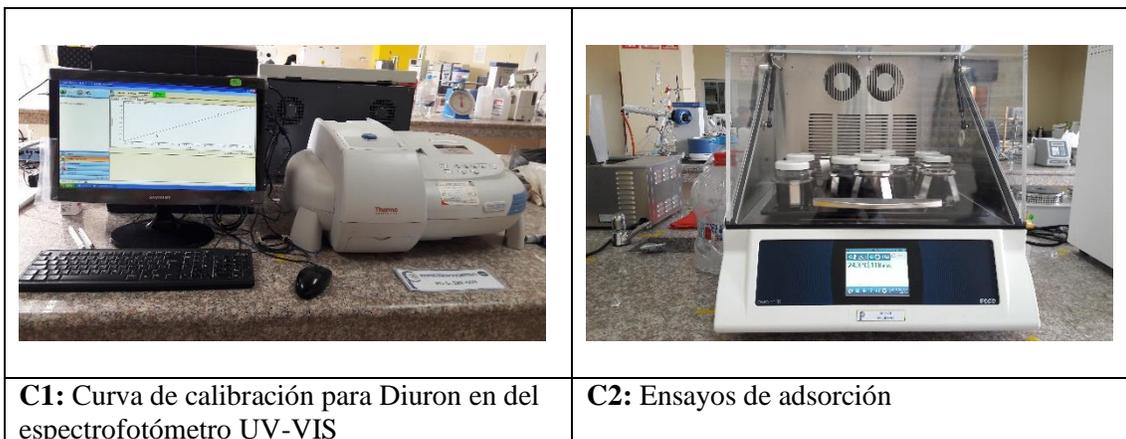


B3: Soluciones para medir el pH



B4: Valoración volumétrica para el índice de yodo

ANEXO C: ENSAYOS DE ADSORCIÓN



C1: Curva de calibración para Diuron en del espectrofotómetro UV-VIS

C2: Ensayos de adsorción

ANEXO D: TABLA DEL FACTOR DE CORRECCIÓN D PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE YODO

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

Fuente: NTE INEN1988:94, 1995



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**



**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

Fecha de entrega: 27 / 07 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: JESSICA FERNANDA SANCHEZ CENTENO
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: CIENCIAS
Carrera: QUÍMICA
Título a optar: QUÍMICO
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas. MBA.
 Firmado electrónicamente por: JHONATAN RODRIGO PARREÑO UQUILLAS
 27-07-2021
1276-DBRA-UTP-2021