

# Caracterización de residuos agroindustriales y su aplicación en la remoción de azul de metileno de soluciones acuosas por adsorción.

MM.H. Broche Galindo <sup>a</sup> \*; I. L. Rodríguez Rico <sup>a</sup>; Y.R. Alea Martínez <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departamento Ingeniería Química, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.

*Characterization of agroindustrial residues and their application in the removal of methylene blue from aqueous solutions by adsorption.*

*Caracterització de residus agroindustrials i la seva aplicació a la remoció de blau de metilè de solucions aquoses per adsorció.*

RECEIVED: 4 OCTOBER 2021; REVISED: 29 APRIL 2022; ACCEPTED: 28 JUNE 2022

## ABSTRACT

The objective of the study is to evaluate the possibility of using agro-industrial waste sugar cane bagasse (BCA), sorghum agricultural waste (RAS) and mixtures of both, in proportions 60 BCA-40 RAS and 40 BCA-60 RAS, for the removal of contaminants present in aqueous solutions, methylene blue is selected as adsorbate because it is used as a model dye for laboratory tests and is used mainly in the dyeing of cotton, wood, silk, paper, polyacrylonitrile, modified nylon, modified polyester and terephthalate. polyethylene; and to a certain extent, in health services

For this reason, physicochemical properties of these biosorbents were determined and batch adsorption experiments were carried out to determine the effect of particle size and residues on the removal of methylene blue in aqueous solution. Likewise, a full factorial design  $3^2$  was developed with independent variables pH and initial dye concentration to select the best parameters. The similarity in point of zero charge, acidic and basic sites, porosity, densities and elemental composition is evidenced, which is corroborated with the transfer of dye to the adsorbent materials, being achieved with the smallest range of particle size, (0,35-0,63) mm and with BCA the best removals. The design of experiments allowed to verify that both factors have a significant effect, that the best effectiveness in removal, 95.90%, is achieved with BCA at pH 2 and concentration of AM 100 mg / L, as well as the combinations of pH and concentrations more efficient.

**Keywords:** methylene blue, biosorbents, removal.

## RESUMEN

El objetivo del estudio es evaluar la posibilidad de emplear residuos agroindustriales bagazo de caña de azúcar (BCA), residuos agrícolas de sorgo (RAS) y mezclas de ambos, en proporciones 60 BCA- 40 RAS y 40 BCA- 60 RAS, para la remoción de contaminantes presentes en soluciones acuosas, se selecciona como adsorbato el azul de metileno por emplearse como colorante modelo para ensayos en laboratorio y ser utilizado principalmente en la tinción de algodón, madera, seda, papel, poliacrilonitrilo, nailon modificado, poliéster modificado y tereftalato de polietileno; y en cierta medida, en los servicios de salud.

Por tal motivo, se determinaron propiedades físico-químicas de estos biosorbentes y se realizaron experimentos de adsorción en lote para conocer el efecto del tamaño de partícula y de los residuos sobre la remoción de azul de metileno en solución acuosa. Asimismo, se desarrolló un diseño factorial completo  $3^2$  con variables independientes pH y concentración inicial del colorante para seleccionar los mejores parámetros. Se evidencia la similitud en punto de carga cero, sitios ácidos y básicos, porosidad, densidades y composición elemental que se corrobora con la transferencia de colorante a los materiales adsorbentes, lográndose con el menor rango de tamaño de partícula, (0,35-0,63) mm y con BCA las mejores remociones. El diseño de experimentos permitió comprobar que ambos factores tienen efecto significativo, que la mejor efectividad en la remoción,

\*Corresponding author: [mariah@uclv.edu.cu](mailto:mariah@uclv.edu.cu)

95,90 %, se logra con BCA en pH 2 y concentración de AM 100 mg/L, así como las combinaciones de pH y concentraciones más eficientes.

**Palabras claves:** azul de metileno, biosorbentes, remoción.

## RESUM:

L'objectiu de l'estudi és avaluar la possibilitat d'emprar residus agroindustrials de canya de sucre (BCA), residus agrícoles de melca (RAS) i barreges de tots dos, en proporcions 60 BCA-40 RAS i 40 BCA-60 RAS, per a la remoció de contaminants presents en solucions aquoses, es selecciona com a adsorció el blau de metilè per emprar-se com a colorant model per a assaigs en laboratori i ser utilitzat principalment en els tints de cotó, fusta, seda, paper, poliacrilonitril, niló modificat, polièster modificat i tereftalat de polietilè; i en certa mesura, als serveis de salut.

Per aquest motiu, es van determinar propietats fisicoquímiques d'aquests biosorbents i es van fer experiments d'adsorció en lot per conèixer l'efecte de la mida de partícula i dels residus sobre la remoció de blau de metilè en solució aquosa. Així mateix, es va desenvolupar un disseny factorial complet 32 amb variables independents pH i concentració inicial del colorant per seleccionar els millors paràmetres. S'evidencia la similitud en punt de càrrega zero, llocs àcids i bàsics, porositat, densitats i composició elemental que es corrobora amb la transferència de colorant als materials adsorbents, aconseguint-se amb el menor rang de mida de partícula, (0,35-0,63) mm i amb BCA les millors remocions. El disseny d'experiments va permetre comprovar que tots dos factors tenen efecte significatiu, que la millor efectivitat en la remoció, 95,90 %, s'aconsegueix amb BCA en pH 2 i concentració d'AM 100 mg/L, així com les combinacions de pH i concentracions més eficients.

**Paraules clau:** blau de metilè, biosorbents, remoció.

## INTRODUCCIÓN

Los colorantes son empleados en diversas industrias: textil, plásticos, cosméticos, papel, curtido de cuero, caucho, farmacéutica y procesamiento de alimentos <sup>1</sup>. En la actualidad, se conocen más de 100,000 colorantes comerciales con una producción anual de más de 700,000 toneladas/año <sup>2</sup>, sin tener datos exactos sobre la cantidad que se vierte al medio ambiente, en concentraciones significativas por no haber recibido tratamiento.

Estos compuestos, por lo general son tóxicos o carcinogénicos, o derivan de carcinógenos conocidos. Además, proporcionan un color indeseable a las masas de agua, que puede reducir la penetración de la luz solar e inhibir el desarrollo a organismos de vida acuática <sup>3</sup>, debido a la reducción de la concentración de oxígeno disuelto.

La mayoría de estas moléculas tienen origen sintético, con estructuras muy variadas y complejas; y

propiedades como son: alta solubilidad en agua, alta resistencia a la acción de agentes químicos y poca biodegradabilidad <sup>4</sup>. El tratamiento y disposición de los residuales coloreados ha tenido gran atención por científicos ambientalistas, que han realizado estudios para presentar alternativas de sorbentes más económicos que puedan sustituir al carbón activado usual y/o métodos basados en coagulación, oxidación avanzada, separación por membranas; empleados tradicionalmente para este propósito <sup>5</sup>, pero con uso limitado debido a su alto costo <sup>6</sup>.

La remoción del colorante azul de metileno de fase acuosa, ha sido reportada mediante el uso de adsorbentes a base de desechos sólidos agrícolas, desechos sólidos industriales, y materiales naturales; esta tendencia tiene su origen en el bajo costo, elevada abundancia y disponibilidad <sup>7</sup>. Algunos ejemplos de biosorbentes empleados con este fin son: cáscara de naranja <sup>8</sup>, serrín de *Rattan* <sup>9</sup>, borra de café <sup>10</sup>, bagazo de *Agave Salmiana* <sup>11</sup>, cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) modificada con ácido oxálico <sup>6</sup>. El sorgo ha sido aplicado en la remoción de AM <sup>11</sup> y la paja de sorgo ha sido aplicada en la remoción de cromo VI en agua <sup>12</sup> y el bagazo de caña de azúcar para eliminación de rojo metil, verde malaquita, rojo básico 51<sup>11</sup>. Se seleccionan estos materiales para la investigación, a partir del incremento del cultivo de sorgo, en nuestro país, dado el uso de granos y forrajes en la alimentación animal <sup>13</sup> y por la difusión del uso de sorgos sin taninos condensados para la alimentación humana, por su alto valor proteico, en países como Cuba, Argentina, Brasil, EE.UU. entre otros <sup>14</sup> y en el caso del bagazo de caña de azúcar dada la función de esta industria en la nación.

La capacidad de adsorción de los residuos depende de la naturaleza de la sustancia a eliminar, de la estructura y características del sorbente y de condiciones experimentales <sup>10</sup>. Por ello, la importancia de caracterizar los sorbentes para conocer sus propiedades fisicoquímicas: el punto de carga cero, que indica el valor más adecuado de pH para alcanzar la remoción eficiente de contaminantes <sup>15</sup>, y mide la carga de la superficie total <sup>16,17,18</sup>; los sitios activos, que permite definir el predominio de acidez o basicidad, dependiendo de la concentración de los grupos funcionales y de la fuerza de los mismos <sup>17</sup>; la porosidad, porque determina la accesibilidad del adsorbato a la superficie interna del biosorbente y la densidad, sugiere la capacidad del adsorbente para eliminar un adsorbato en correspondencia con su unidad de volumen <sup>16</sup>; el análisis elemental aporta información acerca de la fracción orgánica de una muestra <sup>19</sup>; mientras que el estudio del espectro infrarrojo hace posible la caracterización de los principales grupos funcionales presentes en un compuesto <sup>20</sup>.

Entonces, el presente trabajo fue desarrollado para evaluar las posibilidades de residuos agrícolas de sorgo (RAS), bagazo de caña de azúcar (BCA) y mezclas de ambos en su forma natural como materiales biosorbentes para la remoción de azul de metileno en soluciones acuosas, a nivel de laboratorio; seleccionando las mejores condiciones de operación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### REACTIVOS

Los reactivos que se utilizaron fueron: azul de metileno, ácido clorhídrico 0,1 N, hidróxido de sodio 0,1 N, cloruro de sodio 0,1 M ácido sulfúrico y agua destilada.

### CARACTERIZACIÓN DEL AZUL DEMETILENO (AM).

El AM o cloruro de tetrametilitionina ( $C_{16}H_{18}N_3S \cdot 3H_2O$ ), es un colorante (Figura 1) modelo para colorear cualquier superficie y realizar experimentos científicos, que tiene amplio uso en las industrias textiles, alimenticias y de producción de pinturas.

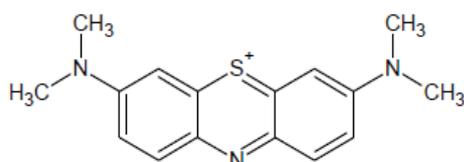


Figura 1. Estructura química del colorante AM.

### PREPARACIÓN DEL ADSORBATO.

La solución patrón se preparó a una concentración másica de 1 g/L. A partir de ella se hicieron las diluciones volumétricas, según los requerimientos, para los diferentes análisis. La determinación de la longitud de onda de máxima absorción se realizó con muestras de soluciones de AM haciendo barridos en el rango de 320 nm a 700 nm mediante espectroscopia UV-Vis. En un espectrofotómetro marca Rayleigh VIS-7236 UV-Vis se midió la absorbancia de las muestras utilizadas durante todo el estudio.

### PREPARACIÓN DE LA BIOMASA.

El RAS se obtuvo de los cultivos de un campesino del municipio de Santa Clara y fue recolectado días posteriores a la cosecha; mientras que el BCA procede de productores del municipio Cruces. La preparación se inicia con la molienda, empleando un molino MF10 Basic; seguida de tamizado, en tamiz Marui con tamices de diámetros de 2 mm; 1 mm; 0,84 mm; 0,63 mm; 0,355 mm; posteriormente se lavan con abundante agua para eliminar impurezas y sus fracciones solubles; seguida de secado en una estufa Binder a una temperatura de 50 °C por un tiempo de 48 h. En la Figura 2, se muestran imágenes de BCA y RAS para tamaño de partícula en el rango de (0,35-0,63) mm.



Figura 2. Biosorbentes preparados, tamaño de partícula (0,35-0,63) mm a, BCA y b, RAS.

## CARACTERIZACIÓN DE LOS BIOSORBENTES.

### Punto de carga cero (pcc)

Se determinó empleando el método de titulación de masas. Se pesaron cantidades entre 0,1-1,0 g de los sólidos secos, se colocaron en Erlenmeyer de 50 mL y se le agregaron 20 mL de NaCl a una concentración 0,1 M, se ajustó el pH utilizando HCl (0,1 M) o NaOH (0,1 M), transcurridas 48 horas bajo agitación y temperatura ambiente, se procedió a medir el pH final. El punto de carga cero se corresponde al punto donde la curva de pH final en función del pH inicial corta la diagonal. Todas las determinaciones de pH de la disolución se hicieron en un pH-metro, Hanna pH 213.

### Sitios ácidos y básicos

Los sitios ácidos (SA) y sitios básicos (SB) en la superficie del biosorbente se determinaron por el método de Boehm<sup>21</sup>, que consiste en pesar 1,0 g de biosorbente, por duplicado; una cantidad se utiliza para determinar sitios ácidos y otra para sitios básicos. Ambas cantidades se colocan en Erlenmeyer, una con 50,0 mL de hidróxido de sodio, NaOH, 0,1 N, y la segunda cantidad con ácido clorhídrico, HCl, 0,1 N. Las soluciones se tapan, se dejan a temperatura constante de 30 °C, durante 5 días y se agitan en zaranda Sartorius. Pasados los 5 días se toman muestras de 10,0 mL de las soluciones y cada una se titula con la disolución estándar de hidróxido de sodio o ácido clorhídrico según sea el caso, midiendo durante la titulación el pH de la disolución.

### Porosidad

Muestras de sólido se ponen sobre papel a secar al sol. Se vacía el sólido en una probeta hasta alcanzar la marca de 50 mL. Se agregan, sobre la muestra, lentamente 50 mL de agua. Se mide el volumen alcanzado al finalizar el vaciado. Se determina el volumen que corresponde a los poros del sólido.

### Densidad aparente.

Esta propiedad es una medida del grado de empaquetamiento del material<sup>18</sup>. Para determinarla, se pesa la probeta. Se vacía sólido en la probeta hasta la marca de 30 mL. Se vuelve a pesar. Se determina la masa de sólido (peso de la probeta con sólido - peso de la probeta vacía). Para el cálculo se dividió la masa de biosorbente que corresponde al volumen ocupado entre el volumen ocupado por este en la probeta.

### Densidad real

Se pesa la probeta. Se vacía sólido en la probeta hasta la marca de 30 mL. Se vuelve a pesar. Se determina la masa de sólido (peso de la probeta con sólido - peso de la probeta vacía). Se determina el volumen de sólido sin aire de manera similar a la determinación de porosidad y seguidamente la densidad real del sólido.

Estas tres técnicas se realizaron por metodología descrita por Álvarez<sup>22</sup>.

### Análisis de la composición elemental.

Se utilizó un analizador elemental Fison's Instruments EA 1108 CHNS, para comprobar el porcentaje

de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre se pesan 2 mg de muestra y se envuelven en una lámina de estaño. Se quema la muestra en la lámina de estaño a 1000 °C (el estaño al oxidarse hace subir la temperatura a 1800 °C). Los productos de esta reacción se pasan a través de óxido de wolframio para oxidar el 100 % de la muestra. Se hacen circular los gases a través de finos alambres de cobre para obtener N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y SO<sub>2</sub>. Los gases resultantes se introducen en una columna de cromatografía para separarlos generando una señal en un detector de conductividad térmica (TCD) que luego se procesa en un computador personal (PC).

## INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y DE LOS MATERIALES BIOSORBENTES.

La influencia de estos factores en la biosorción se verifica con tamaños de partículas en los rangos de (0,35-0,63) mm, (0,63-0,84) mm y (0,84-1) mm y para el BCA, RAS y mezclas de ambos en proporciones de 0,60 BCA- 40 RAS y 0,40 BCA- 0,60 RAS con concentración de adsorbato de 500 mg/L y en las condiciones óptimas obtenidas por <sup>23</sup> de pH, 5,5 u; concentración de biosorbente 10 mg/L manteniendo agitación constante de 80 rpm a temperatura 30 °C.

## ESTUDIO DE ADSORCIÓN.

Los ensayos de adsorción para los dos biosorbentes y sus mezclas se hacen por duplicado, aplicando un diseño factorial completo 3<sup>2</sup> para estudiar la influencia de la concentración inicial del colorante y del pH sobre el % de remoción, con concentración de biosorbente, agitación y temperaturas especificadas en el epígrafe anterior. En la Tabla 1 se indican las variables independientes con sus parámetros y la Ecuación 1 representa como se obtuvo el porcentaje de remoción.

**Tabla 1.** Variables y parámetros usados en el diseño experimental

Niveles	Variables	Concentración AM (mg/L)	pH (u)
Bajo (-1)		100	2
Medio (0)		300	5,5
Alto (1)		500	9

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100 \quad (1)$$

Donde C<sub>i</sub>, concentración inicial del colorante y C<sub>f</sub>, concentración final del colorante, expresadas en mg/L.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### CARACTERIZACIÓN DE LOS BIOSORBENTES

#### Punto de carga cero, sitios ácidos y sitios básicos.

El punto de carga cero, sitios ácidos y sitios básicos obtenidos para los materiales estudiados se presentan en la Tabla 2, se observa la aproximación en los valores. El punto de carga cero en valores cercanos a pH 7, permite

definir el valor para pH de la fase acuosa para favorecer la adsorción de cationes o aniones, pues al poner los sólidos en contacto con soluciones a pH menor al pH<sub>pcc</sub> la superficie estará carga positivamente o negativamente si el pH es mayor al pH<sub>pcc</sub>. Existen informaciones de estudios anteriores, para BCA<sup>17</sup>; cascarilla de arroz y corteza de coco<sup>15</sup>; cáscara de naranja<sup>24</sup>; bagazo de caña y cáscara de cacao<sup>16</sup>; bagazo de la caña de azúcar, mazorca de maíz y mesocarpo del coco<sup>25</sup>; los autores refieren el resultado en 9,2; 5,40 y 4,61; 4,60; 7 y 6,08; 6,11 y 4,89 y 3,87 según orden de aparición. La cuantificación de los sitios ácidos y básicos son bastantes similares, con ligero predominio de sitios ácidos sobre los sitios básicos. Un criterio de carácter neutro define <sup>16</sup> para la cáscara de cacao que presenta una cuantificación de sitios ácidos y básicos de 0,60 y 0,51 respectivamente, razonamiento que puede considerarse, en este trabajo, para todos los materiales. Con las cinco muestras de carbón activado a partir de diferentes materiales lignocelulósicos<sup>17</sup> obtiene que las diferencias entre la acidez y la basicidad no es grande, con predominio de carácter básico; en los estudios para cáscara de naranja<sup>24</sup>, paja de sorgo y pluma de pollo<sup>12</sup>, informan los investigadores sitios ácidos – sitios básicos, todos expresados en meqg<sup>-1</sup>, en 3,13 – 0,69; 4,57 – 0,3 y 4,75 – 0,8; 5 respectivamente. Se puede concluir que hay coherencia entre los valores de pcc y de los sitios ácidos y básicos para los biosorbentes y sus mezclas.

**Tabla 2.** Punto de carga cero, sitios ácidos y sitios, básicos para BCA, RAS y sus mezclas.

Material	pcc (u)	SA (meqg <sup>-1</sup> )	SB (meqg <sup>-1</sup> )
BCA	7	0,75	0,70
RAS	7,5	0,60	0,55
0,6 BCA-0,4 RAS	7,1	0,72	0,65
0,4 BCA-0,6 RAS	7,35	0,67	0,60

#### Porosidad, densidad aparente, densidad real.

En la Tabla 3 se manifiesta el resultado de estas propiedades, el bagazo de caña posee mayor porosidad lo que podría contribuir a que tenga una mayor afinidad para la adsorción de colorantes, son análogas las densidades aparentes y reales. En su trabajo Bermejo, (2016) hace referencia que, a mayor densidad aparente, mayor capacidad para eliminar un adsorbato por unidad de volumen de adsorbente, se corresponde en este caso a la mezcla 0,6 BCA - 0,4 RAS y al BCA. Según la investigación de <sup>26</sup>, para bagazo de caña de azúcar, la densidad aparente es de 0,0697 mg/mL y densidad real es de 0,1656 g/mL, valor parecido al de este ensayo; mientras que para <sup>27</sup> la densidad aparente es de 0,1502 mg/mL y densidad real de 1, 0781 g/mL.

**Tabla 3.** Porosidad, densidad aparente y densidad real para BCA, RAS y sus mezclas.

Material	Porosidad (%)	Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad real (kg/m <sup>3</sup> )
BCA	32	73	146
RAS	24	71	131,2
0,6 BCA-0,4 RAS	29	78	122,5
0,4 BCA-0,6 RAS	26	68	102

### Análisis de la composición elemental

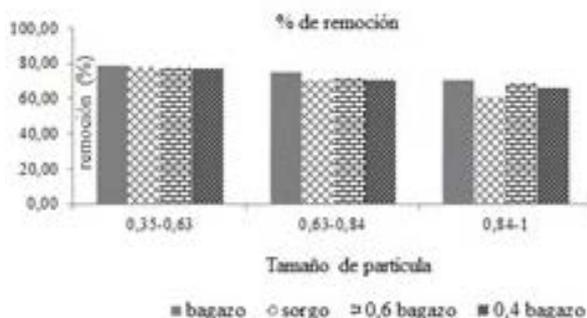
Los porcentos que representa para cada compuesto se demuestran en la Tabla 4, el RAS tiene levemente superior el contenido de carbono y el BCA el de oxígeno, ambos con predominios de estos elementos en composición equivalente, es despreciable la presencia de azufre, característica que destaca en los materiales biomásicos junto con la baja proporción de nitrógeno. En dos carbones activados a partir de la cáscara de almendra <sup>27</sup> obtiene marcado predominio de carbono, con 68 % y para el oxígeno sobre 28 %. La información de <sup>28</sup> para la comparación, de residuos agrícolas estudiados en el sur de España, con la cáscara de naranja reporta en todos los casos valores similares a los de BCA y RAS.

**Tabla 4.** Análisis de composición elemental de los residuos.

Compuesto	Porcentaje que representa en:	
	BCA	RAS
N	0,18	0,51
C	46,9	47,58
H	5,49	8,72
O	47,4	43,19
S	Despreciables	Despreciables

### EFFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y DE LOS MATERIALES BIOSORBENTES SOBRE LA ADSORCIÓN.

La Figura 3 representa los porcentos de remoción de color, para BCA, RAS y las mezclas 0,6 BCA- 0,4 RAS y 0,4 BCA - 0,6 RAS para los tamaños de partícula referidos, todos por encima de 60,94 %. Con las partículas en el rango (0,35-0,63) mm se alcanzan los mejores resultados, superiores al 76,96 % para todos los materiales, se justifica por tener mayor área de contacto y más acceso a los poros. Los porcentos de remoción disminuyen con el aumento de la granulometría.



**Figura 3.** Porcentos de remoción para BCA, RAS y sus mezclas en rangos de tamaños de partículas

En la Tabla 5 aparece el promedio y desviación estándar, obtenido al procesar datos en opción de Comparación de Varias Muestras en Statgraphics Centurión, se corrobora que las partículas de menor tamaño poseen mejor promedio y desviación estándar; aplicando

*Análisis de varianza y Prueba de Rangos Múltiples* se confirma que existen diferencias significativas entre los tres rangos por tener valor-P igual a 0,0012 y Grupos Homogéneos con alineaciones diferentes de X's en columnas. Comportamiento coincidente describe <sup>10</sup> al evaluar como biosorbente borras de café en la remoción de azul de metileno, verde malaquita y rojo cuarenta; también <sup>11</sup> refiere que la tasa de adsorción disminuye con el aumento del tamaño de la partícula; para la remoción de cromo hexavalente <sup>29</sup> con los cinco sólidos analizados obtiene mejores resultados con el menor tamaño de partícula y comenta que otros investigadores lo han demostrado.

**Tabla 5.** Fragmento de Resumen estadístico de opción Comparación de Varias Muestras para tamaños de partículas.

Tamaño de partícula (mm)	Promedio	Desviación estándar
(0,35-0,63)	78,0675	0,954546
(0,63-0,84)	72,2725	2,27333
(0,84-1,0)	66,7475	4,33983
Total	72,3625	5,48613

En cuanto a los biosorbentes y sus mezclas, el más eficaz es el BCA con porcentos de remoción por encima de 70,83 %. Los porcentos van decreciendo en la medida que es menor su contenido en las mezclas, lo que hace menos efectivo los RAS, se puede comprobar mediante la Tabla 6 donde está el promedio y la desviación estándar del porcentaje de remoción para cada biosorbente. Con el *Análisis de varianza y Prueba de Rangos Múltiples* se comprueba que no existen diferencias significativas, al tener valor-P de 0,7169 y la misma alineación de las X's en columnas respectivamente, lo que posibilita el empleo de uno u otro material o las mezclas en dependencia de la disponibilidad de los residuos.

**Tabla 6.** Fragmento de Resumen estadístico de opción Comparación de Varias Muestras para materiales biosorbentes.

Material	Promedio	Desviación estándar
BCA	75,21	4,23352
RAS	69,8533	8,50894
0,6 BCA-0,4 RAS	73,1467	4,58371
0,4 BCA-0,6 RAS	71,24	5,45737
Total	72,3625	5,48613

### ESTUDIO DE ADSORCIÓN

En el diagrama de Pareto se interpreta, los factores que tienen un efecto significativo sobre la adsorción de azul de metileno, las variables independientes consideradas son significativas en todos los casos, la diferencia radica en el valor del efecto estandarizado y cual tiene la significación mayor, para el BCA es la concentración de AM y en los demás es el pH en la Figura 4 y en la Figura 5 se muestra para BCA y RAS respectivamente.

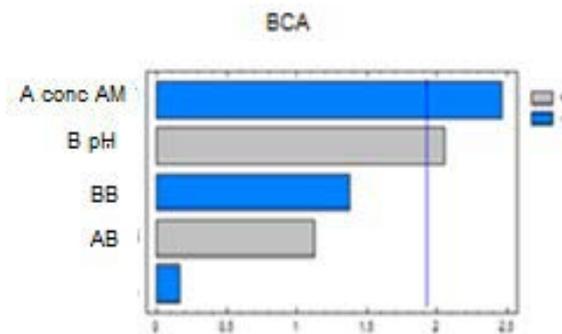


Figura 4. Diagrama de Pareto para BCA.

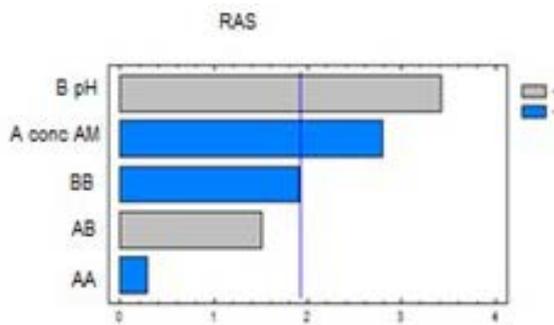
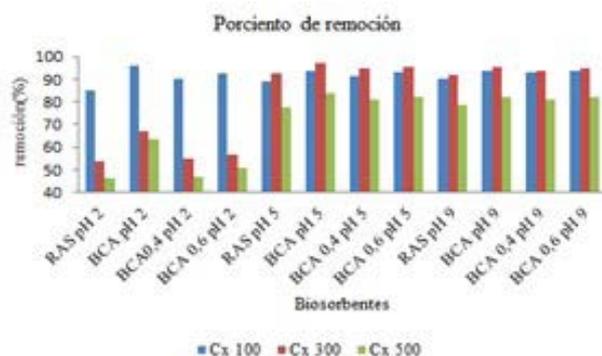


Figura 5. Diagrama de Pareto para RAS.

El gráfico de barras (Figura 6) representa las remociones que se obtienen para los residuos y sus mezclas a las concentraciones y pH estudiados, al comparar el efecto de la concentración existen diferencias significativas, el valor P en *tabla ANOVA* es 0,0037, con la *Prueba de Rangos múltiples* se identifican dos Grupos Homogéneos uno para las concentraciones AM de 500 mg/L y de 300 mg/L y en el otro para las concentraciones AM de 300 mg/L y de 100 mg/L. La media superior y la desviación estándar menor corresponde a 100 mg/L con 91,80 % y 2,95 respectivamente. Con el factor pH las remociones para 5,5 u y 9 u son de 89,40 % y 89,17 % respectivamente, existiendo diferencias significativas entre estos con el pH 2, por ubicarse en columnas de X's diferentes. De manera general la mejor remoción, 95,90 % se logra con BCA en pH 2 y concentración de AM 100 mg/L. Las combinaciones de variables pH 2 y concentración de AM de 100 mg/L y pH 5,5 y 9 con 300 mg/L dan remociones eficaces.



## CONCLUSIONES

La caracterización de los biosorbentes indica similitud en las propiedades físicoquímicas. El punto de carga cero, que constituye un estudio apreciable en la definición del mejor intervalo de pH al que se debería llevar a cabo la remoción de un determinado contaminante, varía de 7 a 7,5. La cantidad de sitios ácidos presentes fue levemente superior a la de sitios básicos, lo que puede favorecer la adsorción de especies catiónicas. La porosidad oscila de 32 % a 24 %, siendo superior la de BCA e inferior RAS, en los valores intermedios se ubican las mezclas en orden correspondiente al mayor contenido de bagazo.

El tamaño de partícula incide en el porcentaje de AM retenido en cada biosorbente, mayor eficiencia a menor tamaño; puede considerarse que la remoción se logra por la difusión del soluto en los poros capilares de las partículas del adsorbente, existe relación proporcional entre el porcentaje de poros y la remoción, sin embargo, no existen diferencias significativas en el efecto de los materiales sobre la respuesta estudiada.

Se definen combinaciones de pH y concentración inicial de colorantes con efectividad en las remociones: para 2 con 100 mg/L, 5,5 con 300 mg/L y 9 con 300 mg/L con valores de 90,82 %; 95,07 % y 94,06 % respectivamente, que propicia establecer el parámetro de trabajo para el pH, en dependencia de la concentración del residual a tratar.

En resumen, los residuos evaluados BCA, RAS y sus mezclas, son materiales de bajo costo, no tóxicos, biodegradables y disponibles en la región, que pueden ser considerados adsorbentes viables para la remoción de colorantes catiónicos.

## REFERENCIAS

1. Yagud, M.T et al. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review. *Advances, Colloid and Interface Science*, 2014; 209, (1); 172-184.
2. Sen, T.K.; Afrose, S; Ang, H. Equilibrium, kinetics and mechanism of removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto pine cone biomass of *Pinus radiata*. *Water Air Soil Pollut* **2011**; 218; 499-515.
3. Wong Y, et al. Adsorption of acid dyes on chitosan –equilibrium isotherms analyses. *Process Biochem* **2004**; 39(6); 695-704.
4. Han, R.et al. Biosorption of methylene blue from aqueous solution by fallen phoenix tree's leaves. *Journal of Hazardous Materials* **2007**; 141; 156-162.
5. Gupta, V. Application of low-cost adsorbents for dye removal –a review. *Enviroment Manage* **2009**; 90 (8); 2313-2342
6. Albis, A. Adsorción de azul de metileno utilizando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) modificada químicamente con ácido oxálico. *Ion* **2018**; 31(2); 99-110.
7. Rafatullah, M. S., Hashim, R., Ahmad, A. Adsorption of methylene blue on lowcost adsorbents: A

- review. *Journal of Hazardous Materials* **2010**;177; 70–80.
8. Annadurai, G., Juang R. S., Lee D. J. Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials* **2002**; 92 (3), 263-274.
  9. Hameed, B. H. Adsorption of basic Dye (Methylene blue) onto activated carbon prepared from Rattou sawdust. *Dyes and Pigments*.**2007**;75; 143-149
  10. Ramos, J., Estudio del proceso de biosorción de colorantes sobre borra (chuncho) de café., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Máster en Ciencias-química, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, **2010**.
  11. Romina, C. Remoción de azul de metileno en agua empleando bagazo de agave salmiana como biosorbente. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Máster en ciencias ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, **2011**.
  12. Jiménez, L, Jacobo, A. Estudio de las propiedades fisicoquímicas de biosorbentes para la remoción de cromo VI en agua. *Jóvenes en la ciencia* **2015**; 2 (2); 229-234.
  13. González, R., Científicos villaclareños reafirman potencialidades del sorgo., Periódico Vanguardia, Villa Clara, 12 de junio **2016**, pp. 1
  14. Ruth, V., Celiaquía: alternativas para una dieta libre de gluten. *Ciencia & Tecnología* **2012**; 17 (23); 13-17.
  15. Amaringo, F., Hormasa, A., Determinación del punto de carga cero y punto isoelectrico de dos residuos agrícolas y su aplicación en la remoción de colorantes., *Revista de investigación agraria y ambiental* **2013**; 4 (2); 27-36.
  16. Bermejo, D., Remoción de plomo y cadmio presente en aguas residuales mineras mediante biosorción en columnas con bagazo de caña y cáscara de cacao., Tesis para obtener título de Ingeniero Ambiental, Universidad de Cuenca, Ecuador, **2016**.
  17. Navarrete, L. Giraldo, L., Moreno, J.C. Influencia de la química superficial en la entalpía de inmersión de carbones activados en soluciones acuosas de fenol y 4-nitro fenol. *Revista Colombiana de Química* **2006**; 35 (2); 215-224.
  18. Menéndez, J., On the difference between the isoelectric point and the point of zero charge of carbons. *Carbon* **1995**; 33(11); 1655-1659.
  19. Calderón, J.E., Caracterización eléctrica de materiales adsorbentes, cerámicos y carbonosos., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ingeniería mecánica, energética y de los materiales, Universidad de Extremadura, España, 2015.
  20. Martín, M. Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor. Universidad de Granada, España. **2008**
  21. Boehm, H.P., Surface oxides on carbon and their analysis: a critical assessment. *Carbon*. **2001**; 40 (2); 145- 149.
  22. Álvarez, S. X. M. Análisis del proceso de biosorción de cobre presente en efluentes líquidos utilizando bagazo de caña de azúcar y cáscara de cacao. Universidad de Cuenca, Ecuador. **2017**.
  23. Coca, Y. "Remoción de azul de metileno en medio acuoso utilizando residuos agrícolas de sorgo (RAS). "Tesis para optar por título de Ingeniero Químico. Universidad "Marta Abreu" de las Villas, Cuba. **2015**
  24. Romero, L. Preparación y uso de cáscaras de naranja como biosorbente para la remoción de compuestos orgánicos. Tesis presentada en opción al Grado Maestro en Ciencia y Tecnología en Ingeniería Ambiental. Universidad de Queretano, México. **2013**.
  25. Vera, M. y colaboradores. Desarrollo de materiales sorbentes para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales mineras. *Afinidad LXXIII* **2016**; 574; abril-junio.
  26. Martínez, P. C. Gestión integral de las aguas residuales generadas en las centrales eléctricas que operan con diésel y fuel oil. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor Ciencia Técnicas. Universidad "Marta Abreu" de las Villas, Cuba. **2016**
  27. Martínez, A. Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de tolueno y n-hexano. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor. Instituto de Carboquímica de Zaragoza, España. **2012**.
  28. Pinzón-Bedoya, M.L., Cardona, A., Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente. *Bistua* **2008**; 6 (1), 1-23.
  29. Dionisio, E. Aprovechamiento de residuos vegetales para la eliminación de cobre presente en medios acuosos mediante biosorción. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor. Universidad de Granada, España. **2012**.