



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**CINÉTICA DE ADSORCIÓN DEL TINTE CAPILAR CASTAÑO  
VIOLETA UTILIZANDO CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO A  
PARTIR DE LA CASCARILLA DE CACAO (*THEOBROMA CACAO*  
*L.*) DE SOLUCIONES ACUOSAS.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. BRANDON CRISTOPHER ROQUE MAMANI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



NOMBRE DEL TRABAJO

**CINÉTICA DE ADSORCIÓN DEL TINTE CA  
PILAR CASTAÑO VIOLETA UTILIZANDO  
CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO A PARTI  
R**

AUTOR

**BRANDON CRISTOPHER ROQUE MAMA  
NI**

RECuento DE PALABRAS

**18534 Words**

RECuento DE CARACTERES

**97571 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**141 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**14.0MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jun 3, 2024 9:47 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jun 3, 2024 9:49 AM GMT-5**

● **9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



Firmado digitalmente por TELLO  
PALMA Edith FAU 20145496170 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 19.06.2024 14:30:42 -05:00



Firmado digitalmente por QUILLE  
CALIZAYA German FAU  
20145496170 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 03.06.2024 09:51:47 -05:00

Resumen



## DEDICATORIA

Este trabajo de tesis está dedicado a Dios, creador de todo y a quien le debo mi vida entera. A mis padres Carlos Alberto Roque Condori y Cecilia Mamani Chura quienes incondicionalmente me apoyaron y me apoyan en todos los aspectos posibles, a mis hermanitas, Valery, Oderay y Vivian, quienes estuvieron también presentes en diferentes etapas de este trabajo.

Dedico este trabajo de tesis a mis compañeros y amigos de milicia, con quienes luchamos por la fe del evangelio y a quien me animó, aconsejó y apoyó moralmente desde el principio y antes de comenzar este trabajo de tesis.

*“Jehová peleará por vosotros, y vosotros estaréis tranquilos.”*

*Éxodo 14:14.*

**Brandon Cristopher Roque Mamani**



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios mi ayudador, salvador y por quien proseguí en culminar esta investigación, a mis padres Carlos Alberto Roque Condori y Cecilia Mamani Chura por su apoyo económico, moral y su valiosa compañía en todo este proceso, a todos mis familiares que me apoyaron de diferentes formas, a mi facultad de Ingeniería Química, al grupo de investigación de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, al Dr. Gilberto de Jesús Colina Andrade, al Dr. Midwar Roly Ancco Mamani, a la Q.F. Claudia Andrea Revilla Pacheco quien me ayudó y asesoró en la realización de esta investigación, a Diego, a la MSc. Annie Verence Chalco Hihui, al Ing. Kevin Tejada, a Iam, Herald y todos los compañeros de laboratorio con los que compartí gratos momentos y fueron parte de este trabajo de investigación, a la Dra. Miriam Pacheco Tanaka, a la Dra. Edith Tello Palma por apoyarme y asesorarme en el desarrollo de mi trabajo de investigación, al Dr. Fernando Wilfredo Roque Villanueva, a la MSc. Luz marina Teves Ponce y a todos los Ingenieros y compañeros que aportaron sus conocimientos para dar mayor valor a este trabajo de tesis.

Quedo eternamente agradecido con todos los que de buen corazón me apoyaron de diferentes formas, Dios les recompense en abundancia y bendiga sus vidas.

**Brandon Cristopher Roque Mamani**



## INDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>INDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>16</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>19</b>
1.2.1 Problema general.....	19
1.2.2 Problemas específicos .....	19
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>20</b>
<b>1.4 OBJETIVOS.....</b>	<b>23</b>
1.4.1 Objetivo general .....	23
1.4.2 Objetivos específicos .....	23
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>24</b>
2.1.1 El Cacao .....	24



2.1.1.1	Variedades .....	25
2.1.1.2	Producción .....	28
2.1.1.3	Caracterización fisicoquímica .....	29
2.1.2	Tintes Capilares .....	32
2.1.2.1	Clasificación .....	32
2.1.3	Carbón Activado .....	36
2.1.3.1	Proceso de activación .....	37
2.1.3.2	Porosidad del carbón activado .....	39
2.1.3.3	Aplicaciones .....	41
2.1.4	Adsorción .....	42
2.1.4.1	Isotermas de Adsorción .....	45
2.1.4.1.1	Isoterma de Langmuir .....	45
2.1.4.1.2	Isoterma de Freundlich .....	47
2.1.4.2	Cinética de Adsorción .....	48
2.1.4.2.1	Modelo cinético de primer orden y pseudo primer orden .....	49
2.1.4.2.2	Modelo de pseudo segundo orden .....	51
<b>2.2</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>52</b>

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y METODOS**

<b>3.1</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>56</b>
<b>3.2</b>	<b>MATERIALES Y EQUIPOS.....</b>	<b>56</b>
3.2.1	Materia prima .....	56
3.2.2	Insumos y reactivos .....	56
3.2.3	Materiales de laboratorio.....	57



3.2.4	Instrumentos y Equipos .....	58
<b>3.3</b>	<b>METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>59</b>
3.3.1	Metodología para el objetivo 1 .....	59
3.3.1.1	Tratamiento físico de la cascarilla de cacao .....	60
3.3.1.2	Preparación del agente activamente ( $H_3PO_4$ ).....	61
3.3.1.3	Proceso de activación química de la cascarilla de cacao ( <i>Theobroma cacao</i> ) .....	62
3.3.1.4	Rendimiento del carbón activado .....	64
3.3.1.5	Capacidad de adsorción del carbón activado .....	64
3.3.2	Metodología para el objetivo 2 .....	65
3.3.2.1	Humedad .....	65
3.3.2.2	Cenizas .....	66
3.3.2.3	Materia volátil .....	67
3.3.2.4	Caracterización por espectroscopía infrarroja del carbón activado obtenido a partir de la cascarilla de cacao aplicando la transformada de Fourier (FTIR) .....	68
3.3.3	Metodología para el objetivo 3 .....	69
3.3.3.1	pH .....	70
3.3.3.2	Conductividad .....	70
3.3.3.3	Demanda química de oxígeno (DQO).....	70
3.3.3.4	Los sólidos totales disueltos (STD).....	71
3.3.4	Metodología para el objetivo 4 .....	71
3.3.4.1	Preparación de la solución de tinte.....	71
3.3.4.2	pH .....	72
3.3.4.3	Tiempo de agitación .....	73



3.3.4.4 Cantidad de adsorbente .....	74
3.3.5 Metodología para el objetivo 5 .....	74
3.3.5.1 Isotherma de Langmuir .....	75
3.3.5.2 Isotherma de Freundlich .....	75
3.3.5.3 Modelo cinético de pseudo-primer orden.....	75
3.3.5.4 Modelo cinético de pseudo-segundo orden .....	75

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1 RESULTADOS PARA EL OBJETIVO 1 .....</b>	<b>76</b>
4.1.1 Caracterización física de la cascarilla de cacao .....	76
4.1.2 Preparación de carbón activado de la cascarilla de cacao .....	80
<b>4.2 RESULTADOS PARA EL OBJETIVO 2 .....</b>	<b>84</b>
<b>4.3 RESULTADOS PARA EL OBJETIVO 3 .....</b>	<b>85</b>
<b>4.4 RESULTADOS PARA EL OBJETIVO 4 .....</b>	<b>87</b>
4.4.1 Curva de calibración .....	87
4.4.2 pH.....	88
4.4.3 Tiempo .....	90
4.4.4 Cantidad de adsorbente .....	93
4.4.5 Resumen.....	96
<b>4.5 RESULTADOS PARA EL OBJETIVO 5 .....</b>	<b>96</b>
4.5.1 Isotherma de Langmuir .....	97
4.5.2 Isotherma de Freundlich.....	99
4.5.3 Modelos cinéticos de adsorción .....	101
4.5.3.1 Modelo cinético de pseudo primer orden .....	101
4.5.3.2 Modelo cinético de pseudo segundo orden .....	102





<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>105</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>107</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>108</b>
<b>VII. ANEXOS.....</b>	<b>117</b>

**Área:** Recursos Naturales y medio ambiente.

**Tema:** Cinética de adsorción de contaminantes en aguas.

**Fecha de sustentación:** 30 de enero del 2024.



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Árbol de cacao .....	24
<b>Figura 2</b> Foto de cacao criollo .....	26
<b>Figura 3</b> Foto de cacao forastero .....	27
<b>Figura 4</b> Foto del cacao trinitario .....	28
<b>Figura 5</b> Esquema de coloración con extracción de la melanina natural del cabello .	35
<b>Figura 6</b> Estructura del carbón activado .....	37
<b>Figura 7</b> Métodos de activación de carbón activado .....	39
<b>Figura 8</b> Composición porosa de los carbones activados .....	40
<b>Figura 9</b> Tipos de poros que pueden estar presentes en los carbones activados .....	41
<b>Figura 10</b> Diagrama de proceso de preparación de carbón activado .....	59
<b>Figura 11</b> Cascarilla de cacao .....	60
<b>Figura 12</b> Cascarilla de cacao a malla 40 y seca .....	61
<b>Figura 13</b> Muestras de cascarilla impregnada con $H_3PO_4$ antes de entrar a carbonización .....	62
<b>Figura 14</b> Rampa de temperatura y tiempo de activación de la cascarilla de cacao ....	63
<b>Figura 15</b> Carbón activado con diferentes proporciones de cascarilla y $H_3PO_4$ .....	64
<b>Figura 16</b> Muestras de cascarilla de cacao después calcinar .....	67
<b>Figura 17</b> Equipo de espectroscopía infrarroja (FTIR) .....	68
<b>Figura 18</b> Prensa para formar la pastilla .....	69
<b>Figura 19</b> Pastilla formada para la lectura en el equipo .....	69
<b>Figura 20</b> Solución de tinte capilar acidificado .....	72
<b>Figura 21</b> (A) turbidímetro (B) Filtración de la solución de tinte después de la precipitación ácida .....	73



<b>Figura 22</b>	Adsorción a diferentes cantidades de tinte.....	74
<b>Figura 23</b>	Espectro de la cascarilla de cacao .....	79
<b>Figura 24</b>	Espectro FTIR del carbón activado a relación de cascarilla con activante de 1:1 .....	81
<b>Figura 25</b>	Espectro FTIR del carbón activado a relación de cascarilla con activante de 1:2 .....	82
<b>Figura 26</b>	Espectro FTIR del carbón activado a relación de cascarilla con activante de 1:3 .....	82
<b>Figura 27</b>	Espectro de diferencia de carbones activados a relaciones 1:1, 1:2 y 1:3 de peso de cascarilla y activante respectivamente .....	83
<b>Figura 28</b>	Histograma de área superficial (Relación 1:2).....	84
<b>Figura 29</b>	Histograma de área superficial (Relación 1:3).....	85
<b>Figura 30</b>	Curva de calibración del tinte capilar castaño violeta .....	88
<b>Figura 31</b>	Porcentaje de adsorción de tinte capilar CV a diferentes pH.....	89
<b>Figura 32</b>	Curvas para medir el tiempo óptimo de adsorción con los 3 carbones activados .....	91
<b>Figura 33</b>	Prueba de tiempo óptimo de adsorción .....	92
<b>Figura 34</b>	Valores significativos de porcentaje de remoción en función al tiempo de contacto del carbón 1:1. ....	92
<b>Figura 35</b>	Adsorción de tinte capilar a diferentes cantidades de carbón activado .....	94
<b>Figura 36</b>	Diagrama de Pareto estandarizada .....	95
<b>Figura 37</b>	Diagrama de superficie de respuesta estimada para el proceso de adsorción .....	96
<b>Figura 38</b>	Isoterma de Langmuir expresado a diferentes cantidades de adsorbentes... ..	98
<b>Figura 39</b>	Isoterma de Freundlich expresado a diferentes cantidades de adsorbente. ....	100



<b>Figura 40</b> Gráfica de los datos representados por el modelo cinético de Pseudo-primer orden. ....	102
<b>Figura 41</b> Gráfica de los datos representados por el modelo cinético de Pseudo-Segundo orden. ....	103



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Compuestos contenidos en los granos de Cacao por cada 100g.....	30
<b>Tabla 2</b> Análisis proximal de ambas variedades de cascarilla de cacao .....	31
<b>Tabla 3</b> Análisis proximal de cascarilla de cacao según reportes de otros autores...	31
<b>Tabla 4</b> Área superficial de algunos precursores .....	40
<b>Tabla 5</b> Resumen de los modelos cinéticos .....	52
<b>Tabla 6</b> Relaciones de cantidad de H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> y peso de materia prima .....	62
<b>Tabla 7</b> Determinación del porcentaje de humedad de la cascarilla de cacao .....	76
<b>Tabla 8</b> Determinación del contenido de cenizas de la cascarilla de cacao .....	77
<b>Tabla 9</b> Determinación del porcentaje de materia volátil presente en la cascarilla de cacao .....	77
<b>Tabla 10</b> Caracterización física de la cascarilla de cacao .....	77
<b>Tabla 11</b> Condiciones para la obtención de carbón activado de cacao .....	80
<b>Tabla 12</b> Evaluación de parámetros físicos de las muestras acuosas de tinte capilar .	86
<b>Tabla 13</b> Curva de calibración del tinte capilar castaño violeta .....	88
<b>Tabla 14</b> Valores de la turbidez de soluciones a diferentes pH .....	90
<b>Tabla 15</b> Tiempo óptimo de adsorción con diferentes carbones activados.....	91
<b>Tabla 16</b> Datos de adsorción de tinte castaño violeta a diferentes cantidades de adsorbente. ....	93
<b>Tabla 17</b> Datos para armar la isoterma de Langmuir.....	98
<b>Tabla 18</b> Datos para armar la isoterma de Freundlich .....	100



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1:</b> Informe de análisis FTIR de la cascarilla de cacao .....	117
<b>ANEXO 2:</b> Informe de análisis FTIR de los tres carbones preparados .....	118
<b>ANEXO 3:</b> Informe de análisis de espectros FTIR por separado de los 3 carbones preparados. ....	120
<b>ANEXO 4:</b> Informe de Fisisorción del carbón activado bajo la relación 1:2 .....	121
<b>ANEXO 5:</b> Informe de Fisisorción del carbón activado bajo la relación 1:3 .....	122
<b>ANEXO 6:</b> Análisis ANOVA del tiempo de adsorción óptimo en el programa MiniTab.....	123
<b>ANEXO 7:</b> Preparación de la materia prima (Reducción de tamaño y tamizado)...	127
<b>ANEXO 8:</b> Preparación del carbón activado (Secado de la materia prima) .....	128
<b>ANEXO 9:</b> Materia prima impregnada con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> .....	129
<b>ANEXO 10:</b> Materia prima carbonizada y activada .....	129
<b>ANEXO 11:</b> Lavado y neutralización de carbón Activado.....	130
<b>ANEXO 12:</b> Rotulado y conservación del carbón activado.....	131
<b>ANEXO 13:</b> Preparación del tinte capilar.....	132
<b>ANEXO 14:</b> Precipitación ácida de la muestra de tinte capilar CV.....	134
<b>ANEXO 15:</b> Centrifugación de muestras precipitadas de la solución de tinte capilar CV .....	135
<b>ANEXO 16:</b> Filtración de la solución de tinte después de la acidificación .....	136
<b>ANEXO 17:</b> Pruebas de adsorción con los 3 carbones preparados.....	136
<b>ANEXO 18:</b> Lectura de absorbancias en el espectrofotómetro UV – Vis.....	138
<b>ANEXO 19:</b> Equipo de fisisorción.....	139



## ACRÓNIMOS

pH:	Potencial de hidrógeno
CV:	Castaño violeta
CA:	Carbón activado
ANOVA:	Análisis de varianza
ECA:	Estándar de calidad ambiental
DQO:	Demanda química de oxígeno
STD:	Sólidos totales disueltos
ASTM:	American society for testing and materials (Sociedad americana para pruebas y materiales).
A.O.A.C:	Association of Analytical Communities (Asociación científica dedicada a la excelencia analítica)
RPM:	Revoluciones por minutos
ppm:	Partes por millón



## RESUMEN

Los tintes capilares están considerados en la lista de contaminantes emergentes y el tratamiento convencional no es suficiente para atrapar estos pigmentos contenidos en los tintes capilares. El objetivo de este trabajo es realizar un estudio cinético de adsorción del tinte capilar Castaño violeta haciendo uso del carbón activado a partir de cascarilla de cacao. Se hizo pruebas experimentales para poder determinar primeramente la cantidad de activamente más eficiente para preparar el carbón activado, posterior a ello se hizo una precipitación ácida a la solución de tinte capilar CV y filtrado convencional para poder retirar los compuestos añadidos que contiene el tinte. Se determinó el pH óptimo para la adsorción usando la absorbancia y curva de calibración, la cantidad optima de adsorbente a través de medidas de absorbancia tomando 7 valores de peso y el tiempo óptimo de adsorción a través de valores de absorbancia y un estudio ANOVA. Los resultados nos indican que la mejor relación de peso de materia prima con ácido fosfórico es 1:1, obteniendo una remoción de tinte del 94.61%, el tiempo óptimo de remoción es a los 90 minutos, el pH óptimo de adsorción es a pH 4 y la cantidad óptima de adsorbente es 0,1g para 100mL de solución de tinte capilar. En conclusión, se observó que el carbón activado de cascarilla de cacao es eficiente para adsorción del tinte capilar con concentración inicial de 7,635mg/L a 0,356mg/L después de la adsorción y se ajusta al modelo cinético de pseudosegundo orden.

**Palabras clave:** Cascarilla de cacao, Adsorción, Tintes, Capilares, Carbón activado, Cinética.





## ABSTRACT

Hair dyes are considered on the list of emerging contaminants and conventional treatment is not sufficient to trap these pigments contained in hair dyes. The objective of this work is to perform a kinetic study of adsorption of violet brown hair dye using activated carbon from cocoa husk. Experimental tests were carried out to first determine the most efficient amount of active ingredients to prepare the activated carbon, then an acid precipitation of the CV capillary dye solution and conventional filtration were carried out to remove the added compounds contained in the dye. The optimum pH for adsorption was determined using the absorbance and calibration curve, the optimum amount of adsorbent through absorbance measurements taking 7 weight values and the optimum adsorption time through absorbance values and an ANOVA study. The results indicate that the best ratio of raw material weight with phosphoric acid is 1:1, obtaining a dye removal of 94.61%, the optimum removal time is 90 minutes, the optimum adsorption pH is pH 4 and the optimum amount of adsorbent is 0.1g for 100mL of capillary dye solution. In conclusion, it was observed that cocoa husk activated carbon is efficient for adsorption of capillary dye with initial concentration of 7.635mg/L to 0.356mg/L after adsorption and fits the pseudo-second order kinetic model.

**Key words:** Cocoa husk, adsorption, dyes, capillaries activated carbon, kinetics.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En un estudio realizado por (Peña et al., 2019), mencionan sobre la identificación de numerosos contaminantes emergentes entre los cuales se encuentran los productos de cuidado personal y belleza que son sustancias de uso común, entre ellos mencionados los de limpieza, cosméticos, jabones, perfumes, dentífricos, champús, tintes capilares, etc. Al usarse este tipo de productos a diario o usualmente, se detectaron presencia de estos en aguas subterráneas, aguas residuales domésticas y los que derivan de la industria, estos pueden estar presentes desde cantidades que van desde ng a mg. Los tratamientos convencionales para la purificación que generalmente se realiza a este tipo de aguas no son muy eficientes para remover este tipo de contaminantes (Ebele et al., 2017).

Estos contaminantes no sufren alteraciones metabólicas, por lo cual se mezclan con mayor facilidad en los recursos hídricos los que a su vez provocan un impacto en las aguas subterráneas y la escorrentía urbana.

En caso de los tintes capilares contienen compuestos como benzofenona, derivados de fenoles, alquilfenoles, metil parabeno, amoniaco, para fenilendiamina, diaminofenoles, diamino bencenos que se esparcen en las aguas subterráneas y lagos, debido a que muchos de estos compuestos no se pueden degradar por completo y finalmente se descargan en las fuentes de agua receptoras.(Peña-Guzmán et al., 2019) y (Barcelo & Lopez, 2008).



## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.2.1 Problema general

El incremento de contaminantes emergentes en aguas servidas es un problema y desafío latente que está afectando diferentes entornos del ambiente, entre estos contaminantes se encuentran los tintes capilares que son diariamente usados en muchos salones de belleza y hogares en el ámbito de la ciudad de Puno y el Perú, los cuales generan un impacto negativo y perjudicial a largo plazo en el ambiente porque los tratamientos convencionales que se realizan para purificación de aguas servidas no son lo suficientemente efectivas para adsorber o extraer estos tintes, que están formados por complejas estructuras de compuestos tóxicos y dañinos para el ambiente acuático y que impiden que los tratamientos convencionales los eliminen.

Con este trabajo se pretende evaluar el porcentaje de remoción del tinte castaño violeta de soluciones acuosas usando como adsorbente carbón activado de cascarilla de cacao obtenido mediante activación química.

¿Qué modelo cinético se adecuará mejor con los datos experimentales después de conocer los parámetros óptimos de adsorción del tinte capilar castaño violeta de soluciones acuosas?

### 1.2.2 Problemas específicos

¿La cascarilla de cacao permitirá obtener carbón activado adecuado para adsorber los colorantes presentes en el tinte?

¿Será posible caracterizar el carbón activado obtenido de la cascarilla de cacao a través de la espectroscopia infrarroja?



¿La caracterización de soluciones acuosas del tinte capilar castaño violeta se podrá determinar a través de la conductividad, potenciometría y espectroscopia Infrarroja?

¿Cuáles serán los parámetros óptimos del proceso que permitan determinar la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido a partir de la cascarilla de cacao?

¿Qué modelo cinético se adapta mejor a los parámetros óptimos de adsorción del tinte capilar castaño violeta en una solución acuosa?

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

La presencia de diversos contaminantes orgánicos en aguas residuales, superficiales (ríos, lagunas, riachuelos, etc.) y subterráneas representa una gran amenaza a los ecosistemas. Múltiples variedades de productos como los agentes limpieza y cuidado personal son utilizadas por la población, los cuales aparte de mejorar la calidad de vida, también contaminan los ecosistemas acuáticos (Peña et al., 2019).

El uso de tintes capilares en el hogar o en los salones de belleza representa una carga contaminante más grande que las aguas sucias de baño que se desechan a diario, dado que el proceso para teñirse el cabello (en casa o salones de belleza) incluye lavado y enjuagues, y los salones de belleza por su propósito comercial van a generar cantidades grandes de aguas contaminadas (Ebele et al., 2017).

Debido al uso continuo de estos productos, a sus efectos en la salud y a la poca información que se tiene sobre su ocurrencia, destino, comportamiento, es que es importante conocer la concentración de los diferentes colorantes en los cursos de agua de nuestra ciudad, para así conocer la magnitud de contaminación al que están expuestos los



ecosistemas acuáticos y la población. Conociendo los niveles de contaminación se pueden plantear tratamientos de remoción de estos contaminantes emergentes, para lo cual se debe establecer los límites máximos permisibles de evacuación de este tipo de residuos y acondicionar nuevos tratamientos alternativos en las plantas donde se tratan las aguas residuales, de manera que estas aguas tratadas, se puedan redirigir a los ríos o bien se puedan reutilizar, para un mejor aprovechamiento. También al conocer el comportamiento de este contaminante en el agua, se pueden realizar posteriores investigaciones sobre los efectos que pueda tener este contaminante en los cursos de agua y ríos de la ciudad de Puno, y así saber el grado de contaminación que puedan representar en las especies acuáticas.

Los restos y desechos de los tintes para el cabello son muy contaminantes, por esta causa los problemas dependerán de la naturaleza de las sustancias contaminantes, así en el agua potable presenta un riesgo sanitario muy probable para los consumidores, también este tipo de aguas no son aptas para procesos de producción ya que tienen efectos dañinos sobre el ecosistema, cambiando negativamente los equilibrios medioambientales y tendiendo a acumularse en la masa del agua o en los seres vivos, por ende, introducirse en la cadena alimentaria, pudiendo producir efectos letales (Peña et al., 2019).

Diversos tratamientos físicos, biológicos y químicos, se fueron desarrollando para la remoción de estos contaminantes, destacándose las tecnologías de intercambio de fase como procesos de oxidación avanzada, procesos Fenton, Electrofenton y reactores de membrana. Estos tratamientos se plantean como una buena alternativa de tratamiento con prometedores resultados de remoción de contaminantes emergentes, pero resulta en un costo elevado (Barcelo & Lopez, 2008).



En esta investigación se quiere evaluar las condiciones de operación del proceso de adsorción haciendo uso del carbón activado a partir de la cascarilla de cacao, los resultados permitirán conocer los parámetros más adecuados para la remoción de estos compuestos en el agua.

La importancia de esta investigación se enfoca en que se puede usar como materia prima residuos industriales (Cascarilla de cacao) en forma de carbón activado como adsorbente de compuestos y aditivos presentes en el tinte capilar que son utilizados por la población los cuales contaminan los ecosistemas acuáticos (Moreno et al., 2021).

La composición química de la cascarilla del cacao, en términos generales contiene: carbohidratos, proteínas, aminoácidos, minerales, taninos, polifenoles, nitrógeno, teobromina, cafeína, almidón y algunos ácidos grasos, los cuales al ser sometidos a una activación química usando el ácido fosfórico y llevarlos a temperaturas entre 400 y 500°C algunos se volatilizarán, pero la mayoría sufrirá una oxidación; por lo cual, se formarán cadenas de carbonilos y con ello se le dará a la materia prima, ya procesada, un área superficial y porosidad muchísimo más amplia y heterogénea para atrapar los componentes contenidos en los tintes capilares (Hilasaca, 2008).

Se justifica entonces la realización del presente trabajo de Investigación con la finalidad de evitar estos problemas de contaminación ambiental con contaminantes presentes en los tintes capilares y para aprovechar mejor este subproducto de la producción chocolatera, mediante un proceso de activación química y obtener carbón activado con capacidad adsorbente.

El principal atractivo de esta tecnología de adsorción es obtener un material adsorbente eficiente y con capacidad de atrapar las sustancias contaminantes de los tintes capilares.



## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo general

Determinar la cinética de adsorción del tinte capilar castaño violeta presente en muestras de agua utilizando carbón activado obtenido de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*).

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Preparar carbón activado de la cascarilla de cacao.
- Caracterizar el carbón activado de cascarilla de cacao.
- Caracterizar la muestra de agua del tinte capilar castaño violeta.
- Determinar los parámetros óptimos de adsorción del tinte capilar castaño violeta presente en muestras de agua utilizando carbón activado de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*).
- Determinar el modelo cinético del proceso de adsorción del tinte capilar castaño violeta.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1 El Cacao

El cacao es un árbol que produce un fruto llamado con el mismo nombre que crece en regiones tropicales generalmente y podría producirse hasta en regiones subtropicales, el fruto es una mazorca que mide entre 15 a 25cm de largo que en su interior contiene entre 30 a 40 semillas que vendrían a ser los granos de chocolate que conocemos.(Romero et al., 2016)

#### Figura 1

*Árbol de cacao*



Fuente: (Romero et al., 2016)

El árbol de cacao puede llegar a crecer hasta 10m mientras no haya vientos fuertes y esté rodeado de árboles más grades, la tierra húmeda y una luminosidad variable entre 40 a 50% antes de los 4 años y entre 60 al 75% después de los 4 años de crecimiento (MIDAGRI, 2020).





El Perú está considerado como el segundo productor de cacao fino y de aroma después de Ecuador a nivel mundial, por lo cual es un producto muy valorado en el Perú, tiene presencia en 14 regiones del Perú, lo que conlleva a considerarlo como materia de importancia en la economía de nuestro país (MIDAGRI, 2020).

#### 2.1.1.1 Variedades

Romero et al., (2016) menciona que el nombre científico del cacao *Theobroma Cacao L.* fue puesto en el año 1758 por Carlos Linneo quien fue botánico, dicho nombre significa “Alimento de los dioses”. El cacao tiene diversas variedades que fueron estudiadas a nivel mundial, pero mencionaremos las variedades que pertenecen al grupo *Theobroma cacao L.*

- Criollo: Esta variedad de Cacao se originó en América central precolombina, fue la primera variedad en expandirse en Europa llevada por los primeros colonizadores. Actualmente esta variedad se produce en Perú y otros países de América central y del Sur en pequeñas cantidades.

## Figura 2

*Foto de cacao criollo*



Fuente: (Romero et al., 2016)

Es un cacao muy demandado y exclusivo que tiene fruto dulce, textura agradable, es menos amargo que otros y de muy buena calidad, su punto débil está en que el árbol es delicado, susceptible a plagas y enfermedades, esta variedad es de crecimiento lento y poca producción de fruto.

- Forastero: Esta variedad se origina en la Alta Amazonía y es la variedad que más se produce en África y Asia. Se utiliza como complemento de los chocolates finos para darle más volumen, esta variedad es resistente a las plagas, pero tiene menos aroma.

### Figura 3

*Foto de cacao forastero*



Fuente: (Romero et al., 2016)

Fue introducido por los colonizadores europeos por el siglo XX, es un chocolate nativo y producido en Perú, Brasil, Colombia, Bolivia, Ecuador, Guyanas y Venezuela.

Este tipo de cacao es amargo y fuerte, un poco ácido, de gran aroma, pero no es fino ni tiene variaciones de su sabor. A pesar de ello sus cualidades más destacables es que su árbol es de gran rendimiento, resistente a enfermedades y se puede cosechar antes de tiempo.

- Trinitario: Esta variedad es una mezcla entre el cacao criollo y el forastero que es originario de la isla trinidad por lo cual no se le encontró en estado silvestre.

Se expandió su producción por América Latina y el Caribe llegando hasta África. Posee más aroma que el cacao forastero y es más resistente que el cacao criollo.

Esta es una variedad híbrida que tiene 51 sub variedades entre las que destaca la variedad CCN-51, que fue estudiada y producida por el

Agrónomo Homero Castro Zurita en el año 1965. Esta variedad se volvió muy conocida y usada por su alta productividad por hectárea de terreno, adaptable a cualquier clima tropical, resistente a enfermedades, y con alto contenido de grasa que va a un 54% por lo cual se volvió en un producto de alta demanda. Las debilidades que tiene es que no es un chocolate fino de aroma por ser un poco ácido y astringente.

#### **Figura 4**

*Foto del cacao trinitario*



Fuente: (Romero et al., 2016)

#### **2.1.1.2 Producción**

MIDAGRI (2023) dice que, del total de variedades existentes en el mundo, el Perú alberga el 60% de ellas, por lo que la producción de cacao es muy importante en nuestro país. Al 2020 la producción total de cacao en el Perú llegó a 135,9 mil toneladas en ese año, y durante el año 2022 la producción llegó a 170 mil toneladas de cacao producido.



Otro dato importante es que, del total de la producción de cacao, el 90% se va para exportaciones de los cuales el 75% de las exportaciones de cacao al extranjero son cacao fino y de aroma lo que da una ventaja notable y buena frente a otros países productores.

Son 90 mil las familias que son beneficiadas de esta producción y entre las regiones con mayor producción se encuentran San Martín que es el primer productor a nivel regional con 38% y le siguen Junín con 19%, Ucayali, Huánuco, Ayacucho y Cusco.

### **2.1.1.3 Caracterización fisicoquímica**

Para la caracterización fisicoquímica se tomó la información de autores que examinaron tanto las semillas del cacao como la cascarilla que se obtiene como subproducto de la fabricación del chocolate.

De acuerdo a (Kalvatchev et al., 1998) menciona las siguientes características fisicoquímicas de las semillas de cacao:

**Tabla 1***Compuestos contenidos en los granos de Cacao por cada 100g*

<b>Compuesto</b>	<b>Cantidad</b>
Calorías	456
Agua	3,6 mL
Proteína	12,0 g
Grasa	46,3 g
Carbohidratos	34,7 g
Fibra	8,6 g
Glucosa	8 – 13 g
Sucrosa	0,4 – 0,9 g
Calcio	106 mg
Fósforo	5,37 mg
Hierro	3,6 mg
Tiamina	0,17 – 0,24 mg
Niacina	1,7 mg
Riboflavina	0,14 – 0,41 mg
Ácido Ascórbico	3,0 mg
Piridoxina	0,9 mg
Nicotidamina	2,1 mg
Histidina	0,04 – 0,08 g
Ácido pantoténico	1,35 mg
Arginina	0,03 – 0,08 g
Serina	0,88 – 1,99 g
Treonina	0,14 – 0,84 g
Acido glutámico	1,02 – 1,77 g
Prolina	0,72 – 1,97 g
alanina	1,04 – 3,61 g
glicina	0,09 – 0,35 g
Valina	0,57 – 2,60 g
lisina	0,08 – 0,56 g
Leucina	0,45 – 4,75 g
Isoleucina	0,56 – 1,68 g
Fenilalanina	0,56 – 3,36 g
Tirosina	0,57 – 1,27 g

Fuente: (Kalvatchev et al., 1998)

Así mismo se considera la caracterización fisicoquímica de la cascarilla del grano de cacao que es el material de estudio de esta

investigación, según (Vivanco et al., 2017) la cascarilla de cacao contiene los siguientes compuestos.

**Tabla 2**

*Análisis proximal de ambas variedades de cascarilla de cacao*

<b>Parámetros</b>	<b>Nacional Media / DS</b>	<b>CCN – 51 Media / DS</b>
Humedad	8,74 / 0,05	6,43 / 0,05
Fibra dietética	41,96 – 0,85	40,14 / 0,23
Cenizas	5,14 / 0,12	5,54 / 0,11
Grasa	2,25 / 0,18	1,56 / 0,27
Carbohidratos	35,24 / 0,11	26,38 / 0,13
Proteínas	8,75 / 0,49	8,48 / 0,59
Acidez	0,14 / 0,05	0,11 / 0,02

Fuente: (Vivanco et al., 2017)

Se puede considerar también el análisis proximal realizado por otros autores como se menciona en la siguiente tabla:

**Tabla 3**

*Análisis proximal de cascarilla de cacao según reportes de otros autores*

<b>Parametros</b>	<b>(Sangronis et al., 2014)</b>	<b>(Villamizar Jaimes &amp; López Giraldo, 2017)</b>	<b>(Soto, 2012)</b>	<b>(Cardona et al., 2002)</b>
Humedad (%)	3,46 – 5,08	6,70	4,31	6,00
Cenizas (%)	7,51 – 8,09	11,40	7,81	7,90
Fibra dietética (%)	-	56,80	-	44,00
Grasa (%)	1,09 – 1,38	0,70	1,23	4,40
Proteinas (%)	18,54 – 19,69	6,30	18,91	15,60
Carbohidratos (%)	70,85 – 72,82	11,30	72,05	-



Fuente: (Vivanco et al., 2017)

## 2.1.2 Tintes Capilares

Guerra y González (2014), refieren que los tintes capilares son una mezcla de productos cosméticos y colorantes que se utilizan principalmente para modificar el aspecto visual o coloración natural del cabello en la cual se debe realizar una aplicación permanente para evitar que se vea el color natural del pelo en las raíces del cuero cabelludo.

### 2.1.2.1 Clasificación

Los tintes capilares se pueden clasificar como sigue:

- Por su origen:

Tintes vegetales (Henna, nuez verde, manzanilla, quina, ruibarbo e índigo). Estos tintes matizan el color del cabello, no son tóxicos y tienden a desaparecer en un tiempo corto.

Tinte minerales o metálicos (Sales de tiosulfato, nitrato de Plata, sales de plomo, acetatos de plomo, azufre, cobre, níquel plata y cobalto). Se requiere que se use diariamente, estos tintes pueden oscurecer o aclarar el cabello gradualmente, pueden ser tóxicos y no son compatibles con el agua oxigenada. Llegan a durar algunas semanas hasta unos meses.

Tintes sintéticos: Son los tintes más abundantes y usados. Estos tintes pueden clasificarse también en función a la resistencia del color por la cantidad de lavados del cabello y del tiempo de duración del color en el pelo.





- Por su duración:

Tintes temporales: (Benaiges, 2007) Usan colorantes con fórmulas ácidas que intervienen sobre la cutícula del cabello, el color llega a permanecer sólo por algunos días, estos tintes se impregnan sobre la superficie de la cutícula. Pueden permanecer de 1 a 8 lavados.

Tintes semipermanentes (Directos): Según (jacorol, 2013) Son los tintes que son capaces de producir un cambio en la tonalidad natural del cabello y van desapareciendo lentamente de forma progresiva. Estos colorantes son directos que en su contenido no se encuentran oxidantes ni sustancias alcalinas. Pueden permanecer de 6 a 12 lavados.

- Los compuestos que están contenidos en estos tintes son los colorantes azoicos o antraquinonas que se disuelven en disolventes orgánicos.
- No hay reacción química al momento de su aplicación, sólo se produce la unión con la cutícula del cabello. Es más sencillo saber qué color adoptará el cabello. Estos tintes presentan moléculas pequeñas que se incrustan fácilmente en el cabello hinchado.(Machado, 2015)

Tintes permanentes: Estos tintes son los más abundantes y usados también por su costo, son de fácil aplicación, mayor duración y con una gama de colores más grande que los demás tipos. Tienen la



capacidad de cubrir la totalidad de las canas, aclarar y oscurecer la coloración natural de cabello (Guerra & Gonzalez, 2014).

Estos tintes contienen hasta un 6% de peróxido de hidrógeno y emplean como alcalinizante el amoníaco, con los que el pH final estará entre el rango de 9 – 10,5 lo cual es favorable para que haya una penetración completa del tinte en la corteza del cabello.

Los valores de pH entre 10 y 11 son importantes porque proporcionan el medio adecuado para que el peróxido de hidrógeno blanquee la melanina del cabello, esto provoca que el cabello sea más poroso y el nuevo color pueda penetrar (Machado, 2015).

Se puede mencionar 2 tipos de tintes permanentes.

- Tintes “tono sobre tono”

Que son tintes de oxidativos que tienen pequeñas concentraciones de oxidantes y emplean productos alternos al amoníaco para tener un medio alcalino para la reacción. Estos tintes duran entre 15 a 20 lavados.

- Tintes de oxidación

Según (Guerra-Tapia & González-Guerra, 2014) en el cabello ocurren una serie de comportamientos al momento de la aplicación de este tipo de tintes, como son:

Ocurre la oxidación de melanina y el contenido de los tintes anteriores, aclaran el color que ya estuvo presente, esto se logra por la disolución y la fragmentación moderada de los átomos de melanina por medio de la degradación oxidativa que da como resultado un

agujero en la corteza capilar. Los resultados varían de acuerdo con el tiempo de reacción y al tipo de melanina que predomina en el tallo piloso.

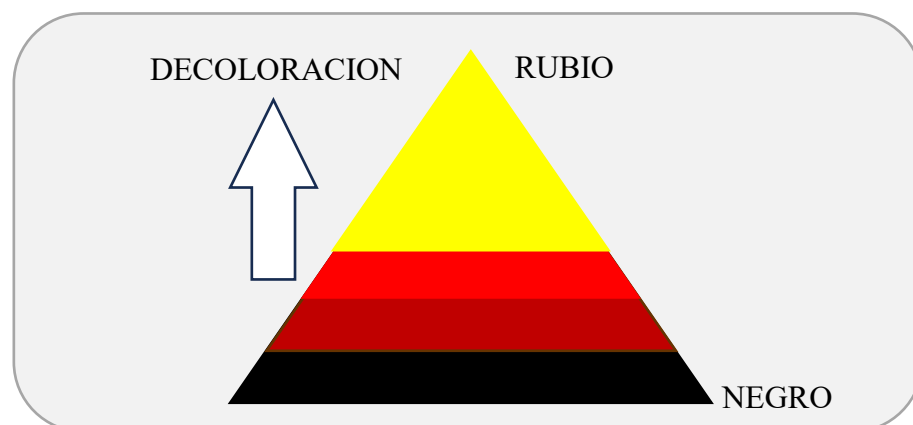
Ocurre la oxidación de los precursores del tinte que constituyen los cromóforos que producen el color, la formación de los cromóforos que normalmente pertenecen al grupo de las p-diaminas y las p-aminofenoles ocurren por la presencia del peróxido de hidrógeno y varios compuestos denominados acopladores. Los acopladores que más se usan son los fenoles, meta- diaminobencenos y meta- diamonifenoles, por ejemplo: m-aminofenol, 1-naftol, resorcinol.

Ocurre el cambio de color que implica 3 etapas:

- Primero ocurre la oxidación de los intermedios primarios a iminas activas capaces de reaccionar con los compuestos homólogos no oxidados con la finalidad de formar complejos polinucleares de color negro o marrón.

### Figura 5

*Esquema de coloración con extracción de la melanina natural del cabello*





Fuente: (Machado, 2015)

Las iminas reaccionan de mejor manera, en presencia de modificadores del color, con las moléculas del acoplador en el átomo de carbono que coincide más con el núcleo de la molécula.

Por último, el producto que resulta del acoplamiento procede a oxidarse y forma tintes que son resistentes al agua. Los complejos que se forman son grandes para esparcirse y difuminarse a través de la cutícula por lo tanto el tinte permanece unido al cabello y no se pierde hasta que el pelo crezca nuevamente.

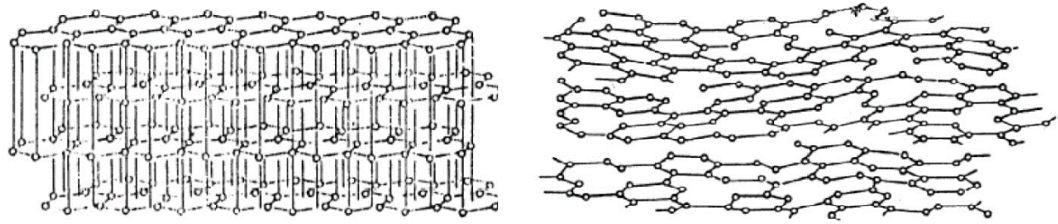
### **2.1.3 Carbón Activado**

Se le llama carbón activado al material que en su mayoría está compuesto por carbón puro, pero que mayoritariamente se prepara de manera artificial a través de la pirólisis o carbonización, estos productos cuentan con una alta porosidad y tienen una gran área superficial específica, por lo que tienen una alta capacidad de adsorción.(Osorio, 2022)

Su estructura carbonosa y propiedades son parecidas a la del grafito con pocas diferencias en su estructura cristalina que están acomodadas de manera menos perfecta en el carbón activado.

## Figura 6

### *Estructura del carbón activado*



### **Estructura del carbón activado**

#### **Método de activación**

**(A)**

#### **Método de activación**

**(B)**

Nota: La figura muestra el A) arreglo de las estructuras planas del grafito, (B) estructura de las capas del Carbón Activado (Colpas et al., 2017)

El área superficial del carbón activado puede abarcar entre 500 a 1500 m<sup>2</sup>/g de carbón activado, el área superficial depende del tipo de activación y al tipo de materia prima que se utilice (Carrasco & Londa, 2018).

#### **2.1.3.1 Proceso de activación**

La activación se puede realizar por 2 métodos que se explicarán a continuación:

- Activación térmica (Física):

La activación térmica o física es la más usada y generalmente se usa para este proceso el carbón vegetal, se disminuye de tamaño al carbón y se le coloca dentro de una capa activa por el que pasa también chorros de gas CO<sub>2</sub> o vapor de agua para la oxidación y formación de los poros a temperaturas entre 800 y 1000°C. entre otros gases que se pueden emplear



para este tipo de activación son el cloro, gases combustibles y gases que actúen sobre los compuestos volátiles del carbón vegetal. (Ordóñez, 2022)

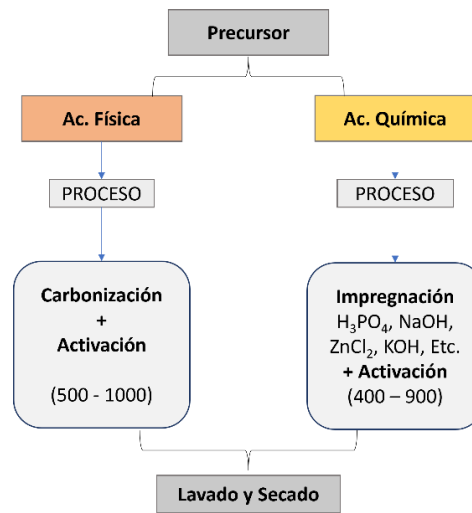
Este tipo de activación es el mismo que se usa para activar materias primas diferentes al carbón vegetal.

- Activación química:

Esta activación se logra impregnando la materia prima con un químico que sea altamente deshidratante, entre los agentes químicos más usados se encuentran el Ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), hidróxido de potasio (KOH), cloruro de zinc (ZnCl), e hidróxido de sodio (NaOH), posterior a la impregnación se realiza un tratamiento térmico entre  $200^{\circ}C$  y  $700^{\circ}C$ , en el tiempo que dura el tratamiento térmico ocurre la carbonización y la activación casi por simultaneo, durante este proceso el agente activante afecta a la pirólisis de los precursores de la materia prima impidiendo su volatilización lo que provoca que se retenga más carbono, en otras palabras provocan el retraso de la combustión de la materia y aumenta el rendimiento del carbón activado producido (Vidal et al., 2018).

**Figura 7**

*Métodos de activación de carbón activado*



Fuente: (Carrillo et al., 2013)

### 2.1.3.2 Porosidad del carbón activado

Como se pudo observar el carbón activado tiene una estructura similar al del grafito, con la diferencia que el carbón activado está formado por capas de grafeno y no tiene un orden cristalino. Por este desorden se produce un arreglo irregular por los cuales también se generan algunos espacios entre ellos que se les puede denominar “poros”, todos los carbones activados presentan diferentes tipos de poros que dependen en gran manera del tipo de materia prima y el proceso de activación que se emplee. Como, por ejemplo:

**Tabla 4**

*Área superficial de algunos precursores*

<b>Autor</b>	<b>Precursor</b>	<b>Área superficial</b>	<b>Tipo de porosidad</b>
(Sánchez, 2013)	Pepa de palta	1830 m <sup>2</sup> /g	Nanoporos
(Jawad et al., 2022)	Viruta de Bambú	720,69m <sup>2</sup> /g	Mesoporos
(Jawad et al., 2022)	Residuos de hierbas	756,69m <sup>2</sup> /g	Mesoporos
(Liang et al., 2019)	Cáscara de coco	680,34m <sup>2</sup> /g	Microporos

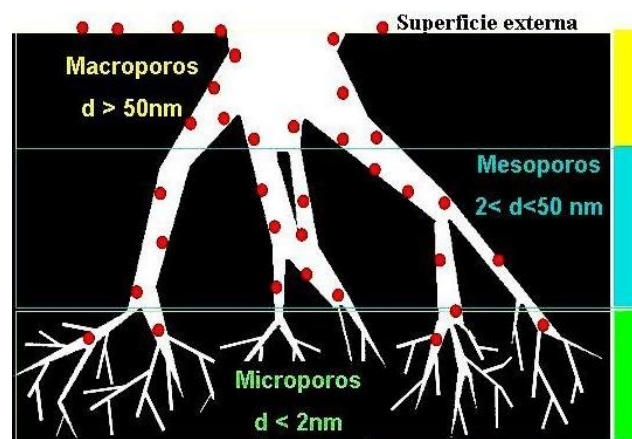
Fuente: (Moreno et al., 2021)

El tamaño de los poros puede clasificarse en 3 tipos de acuerdo con la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada), como son:

- Macroporos: Presentan un tamaño de poros mayor a 50nm
- Mesoporos: Presentan un tamaño de poros entre 2 – 50nm
- Microporos: Presentan un tamaño de poros menor a 2nm

**Figura 8**

*Composición porosa de los carbones activados*



Fuente: (Correa, 2016)



En la estructura del carbón activado se pueden formar poros interconectados, poros sin salida y poros cerrados de la siguiente manera:

### Figura 9

*Tipos de poros que pueden estar presentes en los carbones activados*



Fuente: (Porada et al., 2013)

#### 2.1.3.3 Aplicaciones

Las aplicaciones que se le puede dar al carbón activado son muy amplias debido a sus características variadas y a su excelente propiedad adsorbente, se puede utilizar en carbón activado en tratamiento de aguas, biomedicina, purificación de agentes contaminantes de aguas usadas, separación de gases, purificación de gases, almacenamiento de energía, en supercondensadores, productos de farmacia, almacenar calor, cuidado personal, para desodorizar, desintoxicar, decolorizar, catalizar, descolonizar, remover colorantes orgánicos. El mayor porcentaje 80% de carbón activado se utiliza en soluciones acuosas y un 20% en fases gaseosas (Moreno et al., 2021).



También se le puede usar en campos más grandes como la petrolera para clarificar el crudo, hidrometalúrgica en recuperación de oro, nuclear para prevenir que se liberen vapores radioactivos (Castro & Salazar, 2020).

#### 2.1.4 Adsorción

Para definir la adsorción es necesario conocer el significado de “sorción” que se le puede definir como la captura de todo tipo de sustancias en la superficie externa e interna de sólidos que poseen porosidad y líquidos. (Ruiz, 2018)

La adhesión de partículas a una superficie se le denomina adsorción, la sustancia que se queda pegada a la superficie se le denomina adsorbato o sustrato. Al material que se usa para la retención se le denomina adsorbente, y todo esto ocurre porque hay una atracción del adsorbato a la superficie del adsorbente. El proceso invertido de la adsorción es la desorción. (González, 2017).

Tipos de adsorción:

- Fisisorción:

Es la forma más usada y sencilla de adsorción que se concibe por una atracción de fuerzas que generalmente son las fuerzas de Van der Waals, por estas fuerzas el sólido puede retener sustancias en su superficie interna y externa (Ruiz, 2018). La sustancia que es adsorbida no cambia su naturaleza química sino va acumulándose en capas sucesivas lo que se denomina multicapas. Lo ideal es que ocurra a temperaturas bajas porque el aumento de temperatura disminuye en gran medida la adsorción. (González, 2017).

- Quimisorción:



Es de uso menos continuo, se presenta cuando hay un intercambio de electrones entre la superficie del adsorbente y la sustancia en cuestión o también cuando ocurre un enlace químico entre ambos. Para saber cuánto se adsorbe depende de la naturaleza del adsorbato y adsorbente. En este proceso el adsorbato generalmente sufre cambios químicos en su estructura formando un compuesto diferente al del inicio, la sustancia que fue adsorbida forma una monocapa en la superficie del adsorbente. (González, 2017). Debido a que la quimisorción se da en un gran rango de temperaturas que convenientemente deben ser altas la estructura del carbón activado suele sufrir un cambio irreversible. En la quimisorción el proceso de adsorción es más lento llegando a durar entre semanas y hasta meses en alcanzar el estado de equilibrio. (Gómez et al., 2006)

#### Factores que intervienen en la adsorción

Según (Ures et al., 2015) los factores que influyen en la capacidad de adsorción de una solución acuosa en carbón activado son:

- Área superficial del adsorbente: Cuanta más porosidad tenga el adsorbente más capacidad de adsorción tendrá por peso de adsorbente.
- Características fisicoquímicas del adsorbato: Es más sencillo la adsorción cuando el compuesto aumenta su peso molecular y cuanto mayor cantidad de grupos funcionales tenga. También influye bastante la solubilidad del soluto por el hecho que hay mayor fuerza de atracción entre el soluto y el solvente, por lo tanto habrá menos fuerza de atracción entre el soluto y el adsorbente.



- Polaridad: Un soluto que es polar es más fácil que se adsorba por un adsorbente polar, y de igual manera un soluto apolar es más fácil adsorbido por un adsorbente apolar.
- Las cadenas ramificadas y con mayor longitud de los solutos tienen más probabilidad de ser adsorbidas en comparación a las cadenas simples.
- pH: La adsorción es mayor cuando se trabaja a pH ácido con carbón activado en soluciones que contienen contaminantes orgánicos.
- Temperatura: Cuando la temperatura es baja, la adsorción puede incrementar por la capacidad exotérmica del proceso, al aumentar la temperatura disminuye la capacidad de adsorción, pero en quimisorción se realiza a temperatura elevadas porque da mejores resultados de adsorción.(Correa, 2016)
- Porosidad del adsorbente: La forma de los poros, la cantidad de poros, la dimensión de estos o también llamado su estructura, son importantes porque por ellos se conoce la capacidad y la velocidad del proceso de adsorción.
- Características químicas de la superficie: La variedad de estructuras formadas en la superficie del carbón activado ayuda positivamente al proceso de adsorción. Los grupos oxigenados que se pueden hallar en la superficie hacen que disminuya la capacidad de adsorción, pero los óxidos presentes en grupos carbonilo aumentan la afinidad para adsorber los solutos aromáticos. Es importante considerar también el método de



activación que se utilizó en el carbón activado porque influye en su capacidad de adsorción. (Ures et al., 2015)

#### **2.1.4.1 Isotermas de Adsorción**

Al momento de poner en contacto una cantidad de adsorbente con una cantidad determinada de una solución de algún soluto que se pueda adsorber, este fenómeno llega a un punto donde se alcanza el equilibrio. En este equilibrio se mide la concentración de soluto que quedó atrapado en el adsorbente ( $q$ ) y la concentración de soluto en la solución acuosa ( $C_e$ ). Estos valores  $q$  y  $C_e$  están sujetos a la concentración inicial del soluto en la solución, la masa del adsorbente y el volumen de solución que se pondrá en contacto con el adsorbente. Estos valores ( $q$  y  $C_e$ ) que son medidos y calculados se pueden comparar o ajustar a una o más ecuaciones estándar que son conocidas como isotermas de adsorción, donde la relación existente entre  $q$  y  $C_e$  se puede expresar matemáticamente. (Acevedo, 2018)

Teniendo en cuenta estos conceptos, la ecuación de isoterma de adsorción es una expresión matemática que explica la cantidad de soluto que se adsorbió con relación a la concentración de soluto en fase líquida o gaseosa a una temperatura constante. (Acevedo, 2018)

Se conoce 2 tipos de isotermas que son las más usadas, estas son:

##### **2.1.4.1.1 Isoterma de Langmuir**

González (2017) Indica que cuando se pone en contacto una cantidad de adsorbente en una solución acuosa y luego en un determinado



tiempo se alcanza el estado de equilibrio de ese sistema, lo que ocurre es que la velocidad de adsorción de moléculas impregnadas en la superficie es igual a la velocidad de desorción de estas moléculas.

La ecuación de Langmuir trata de predecir el grado de adsorción de una solución acuosa sobre la superficie del adsorbente con función de la concentración del adsorbato.

La ecuación de Langmuir plantea supuestos, que son los siguientes:

- El soluto se adsorbe como una monocapa en la superficie del adsorbente.
- No hay interacción entre las partículas que fueron adsorbidas.
- La superficie es totalmente homogénea, y asumiendo que todos los sitios de la superficie son equivalentes.
- Las moléculas que fueron adsorbidas no presentan movimiento en la superficie.

La ecuación de Langmuir se expresa de la siguiente manera:

$$q = \frac{q_m KC}{1 + KC} \quad \text{Ec..01}$$

$q$  = Capacidad de adsorción en el equilibrio (cantidad de adsorbato/  
cantidad de adsorbente)

$q_m$  = capacidad de adsorción en monocapa (cantidad de adsorbato/  
cantidad de adsorbente)

$C$  = Es la concentración del adsorbato en el equilibrio.



$K$  = Es la constante de equilibrio de adsorción

Y la ecuación linealizada de la isoterma de Langmuir en la mayoría de las veces se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} * \frac{1}{KC} + \frac{1}{Q_m} \quad \text{Ec..02}$$

#### 2.1.4.1.2 Isoterma de Freundlich

En un principio esta isoterma fue una ecuación empírica que se propuso para relacionar la cantidad que fue adsorbida con la concentración del adsorbato en la solución.

Esta isoterma puede explicar o describir una adsorción no ideal, reversible y multicapa en una superficie heterogénea. Entre los supuestos se considera que todos los sitios de adsorción tienen diferentes energías de enlace. Este modelo no exige que la cobertura del adsorbente tenga que acercarse a un valor que sea constante relativo a la capa monomolecular completa cuando  $C_e$  tiene un valor elevado (González, 2017).

La distribución de energía en los espacios de adsorción es específicamente de tipo exponencial, en vez del tipo uniforme como lo planteó Langmuir. Esto significa que algunos sitios tienen una mayor energía para adsorber a las moléculas de soluto y estas quedan enlazadas fuertemente, y hay otros sitios que tienen poca energía y las moléculas del soluto quedan débilmente enlazadas.



Por estas características planteadas se puede decir que puede formarse más de una sola capa en la parte superficial del adsorbente o lo que se conoce como adsorción en multicapa (Acevedo, 2018).

La ecuación que expresa la isoterma de Freundlich es:

$$q = K(C)^{\frac{1}{n}} \quad \text{Ec..03}$$

q = Capacidad de adsorción en el equilibrio (cantidad de adsorbato / cantidad de adsorbente)

K = Es la constante de equilibrio de adsorción

C = Es la concentración del adsorbato en el equilibrio

n = es la constante exponencial para el modelo de Freundlich

Y la ecuación linealizada de esta ecuación se expresa como:

$$\ln(q) = \ln(K) + \left(\frac{1}{n}\right)\ln(C) \quad \text{Ec..04}$$

La representación gráfica de  $\ln(q)$  vs  $\ln(C)$  permite obtener n de la pendiente y K de la ordenada en el origen. Se utiliza para explicar la adsorción de solutos sobre sólidos.

#### 2.1.4.2 Cinética de Adsorción

La cinética de adsorción interpreta la velocidad con la que el adsorbato es atrapado, lo cual depende del tiempo, ya que al pasar el tiempo la cantidad que se adsorbe en el producto va ir aumentando hasta que alcance un punto de equilibrio que significa que el adsorbente se saturó.(Calderón, 2008)



Los modelos cinéticos nos ayudan a estudiar dicha dependencia y consolidar los coeficientes que ayudan al transporte del soluto en el adsorbente. (Azizian, 2004)

#### 2.1.4.2.1 Modelo cinético de primer orden y pseudo primer orden

El modelo de pseudoprimer orden de Lagergren se fundamenta en que la variación de la concentración del soluto en el tiempo es directamente proporcional a la resta entre la concentración inicial del soluto y la concentración del soluto en el adsorbente en relación con el tiempo. Generalmente se ve que la cinética adopta esta ecuación de velocidad de pseudo primer orden cuando la adsorción ocurre mediante difusión por medio de la interfaz. (Sahoo & Prelot, 2020)

La ecuación de pseudo primer orden se puede expresar en forma lineal como:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad \text{Ec..05}$$

Donde  $q_e$  y  $q_t$  (mg/g) son las cantidades adsorbidas en el equilibrio y en el tiempo  $t$ ,  $k_1$  es la constante de velocidad de equilibrio para el modelo de pseudo primer orden (L/min).

Después de integrar y aplicar las condiciones de contorno se obtiene:

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303} t \quad \text{Ec..06}$$

El valor de  $K_1$  se halla a partir de las gráficas entre  $\log(q_e - q_t)$  versus el tiempo.



Si es que un proceso de adsorción sigue una cinética verdadera de primer orden, significa que la intersección de las gráficas  $\log(q_e - q_t)$  versus el tiempo vendría a ser el  $\log(q_e)$  determinado experimentalmente. (Sahoo & Prelot, 2020)

Finalmente, la ecuación de velocidad es:

$$v_1 = k_1 \times q_e \quad \text{Ec.07}$$

Donde:

$q_t$ : Concentración del soluto removido en el tiempo por cantidad de adsorbente (mg/g)

$q_e$ : Concentración del soluto removido en el equilibrio por cantidad de adsorbente (mg/g)

$k_1$ : Constante de velocidad en el equilibrio de adsorción de pseudo primer orden.

t: Tiempo (min)

v: Velocidad de adsorción de Pseudo primer orden (mg/g x min)

Se debe considerar que en ocasiones la ecuación de pseudo primer orden no se ajusta por completo a todo el rango del tiempo que dura la adsorción que es un parámetro que se puede ajustar y se determinará a través de la prueba y error.

En algunas ocasiones esta ecuación se puede expresar como:

$$\frac{1}{q_t} = \frac{\left(\frac{k_1}{Q_1}\right)}{t} + \frac{1}{Q_1} \quad \text{Ec..08}$$

Donde  $Q_1$  representa a la capacidad de adsorción en equilibrio (mg/g),  $q_t$  representa a la capacidad de adsorción en el tiempo  $t$  y  $k_1$  representa a la constante de tasa de adsorción de pseudo primer orden ( $\text{min}^{-1}$ ). (Sahoo & Prelot, 2020).

#### 2.1.4.2.2 Modelo de pseudo segundo orden

El modelo de pseudo segundo orden fue desarrollado y estudiado por Ho y McKay y publicado en 1999. En este modelo se asume que el adsorbato es adsorbido en dos sitios activos de la biomasa. Después de la publicación de este modelo se halló que muchos resultados de las investigaciones se ajustaban mejor a este obteniendo coeficientes de correlación mayores a los otros modelos.

Para este modelo la ecuación de velocidad de la cinética se expresa como:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad \text{Ec..09}$$

Después del desarrollo matemático, y teniendo en cuenta las condiciones de contorno, finalmente se puede expresar como:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \times q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad \text{Ec..10}$$

$$v_2 = k_2 \times q_e^2 \quad \text{Ec..11}$$

Donde:

$q_t$ : Concentración del soluto removido en el tiempo por cantidad de adsorbente (mg/g)

$q_e$ : Concentración del soluto removido en el equilibrio por cantidad de adsorbente (mg/g)

$k_2$ : Constante de velocidad en el equilibrio de adsorción de pseudo segundo orden.

t: Tiempo (min)

$v_2$ : Velocidad de adsorción de Pseudo segundo orden (mg/g x min).

**Tabla 5**

*Resumen de los modelos cinéticos*

Modelo cinético	Ecuación diferencial	Ecuación integral
Ecuación de Primer Orden	$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$ Donde q es la cantidad de soluto adsorbido en el adsorbente en el tiempo t, k1 es la tasa de adsorción de primer orden; v1 es la tasa inicial de adsorción para la Ecu. De primer orden.	$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303} t$ $v_1 = k_1 \times q_e$
Ecuación de pseudo segundo orden	$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$ Donde k2 es la constante de adsorción de pseudo segundo orden; v2 es la tasa inicial de adsorción para la Ecu. De pseudo segundo orden.	$q_t = \frac{t}{\frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + \frac{t}{q_e}}$ $v_2 = k_2 \times q_e^2$

Fuente: (Trelles, 2013)

## 2.2 ANTECEDENTES

Aymat (2017) Utiliza dos alternativas de carbón activado, uno de ellos es el carbón activado producido de cáscara de semillas de bhagar activado químicamente con ZnCl, para las pruebas de adsorción se preparó una muestra de 250ml con una concentración de



colorante azul de metileno de 100mg/L, se hizo en sistema Batch con parámetros de T° a 298 K, pH 7, y tiempo de 2 horas, en el segundo caso usó caparazón de periwinkles que es una de las 200 especies de caracoles de mar o moluscos marinos que se activó físicamente a 850°C por 2 horas, el proceso de adsorción final se hizo en sistema batch y continuo para ambos carbones activados donde se pudo observar que en ambos casos funciona mejor el carbón activado físicamente requiriendo menor cantidad de carbón.

Quiroa (2020) Realizó el trabajo de investigación a través de la aplicación de encuestas, evaluaciones, la sistematización de la información llegando a la conclusión que los tintes de cabello poseen sustancias inorgánicas como: amoníaco, plomo, bromo, cloro, hidróxido de sodio, mercurio amoniacal, peróxido de hidrógeno, sulfato de amonio y sustancias orgánicas como aminas, amino fenoles, resorcinol, y otras sustancias, todas estas sustancias tienen una importancia social debido a las consecuencias que produce a la salud, por la falta de conocimiento y el uso desmesurado de los tintes para los cabellos, las mismas contienen sustancias tóxicas, sus propiedades químicas que poseen trae consecuencia del deterioro de la salud de los pobladores de la región Callao.

Ensuncho et al. (2015) En su investigación hizo la remoción del colorante rojo allura en usando carbones activados obtenidos de desechos agrícolas, entre los cuales están el carbón activado de cascarilla de arroz, de tusa de maíz y de coco. El que dio mejores resultados con un 97% de adsorción fue el carbón activado de tusa de maíz debido a la porosidad de este material en una concentración de 70mg/L con un tiempo de exposición de 5 horas.

Macías (2021) Preparó carbón activado usando la cáscara de cacao y activándolo con ácido fosfórico al 85%, para las pruebas de adsorción se usó azul de metileno y evaluó la granulometría de la materia dando como resultado que los que arrojaron mejores resultados fueron el de granulometría entre 2 – 3 mm a una temperatura de activación de



350°C y el de diámetro entre 0-1mm con una temperatura de activación de 375°C, que posteriormente lo usó para fabricar filtros que atrapen contaminantes en un río.

Colpas et al. (2017) Utilizaron residuos de la producción de azúcar, caña de azúcar, para elaborar carbón activado usando 3 formas. La primera activando térmicamente, y las otras 2 modificando con peróxido de hidrógeno y ácido nítrico, de los cuales los que tuvieron mayor área superficial fueron los carbones modificados con ácido nítrico y peróxido de hidrógeno con áreas superficiales Halsey de 485 y 470 m<sup>2</sup>/g respectivamente.

Osorio (2022) Investigó sobre el uso de carbón activado tomando como materia prima cascara de coco y cascara de plátano macho para remover tintes de aguas provenientes del teñido de la industria textil, activó ambos carbones con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 2% y una carbonización a 500°C por una hora. Para las pruebas de adsorción se utilizó 2g de carbón con 250ml de solución de tinte textil en 2 ciclos obteniendo resultados visuales favorables.

Burgos & Jaramillo (2015) Elaboraron carbón activado de cascara de cacao y coco e hicieron las pruebas con azul de metileno, pudieron llegar a la conclusión que el carbón activado de coco da mejores resultados que el carbón activado de cacao disminuyendo la concentración de azul de metileno progresivamente entre 1, 3 y 6 horas; por otro lado, los resultados con el carbón activado de cascara de cacao es progresivo hasta las 3 horas y luego no hay una diferencia considerable hasta las 6 horas.

Velázquez et al. (2010) Prepararon 9 muestras de carbón activado a partir de caña de bambú, variando parámetros como el tiempo de carbonización y temperatura, el tipo de activación que se hizo es una activación térmica o llamada también física. De acuerdo con el análisis estadístico y la prueba de yodo se pudo determinar que los parámetros óptimos para la activación son a temperatura de 550,98°C y un tiempo de activación de



122,76 min. El área superficial que se encontró en base a la prueba de yodo fue de 917 m<sup>2</sup>/g.

Pacheco (2021) Preparó carbón activado por activación térmica a partir de cáscara de bananas para remover tintes capilares de soluciones preparadas de 4 marcas de tintes comerciales. Para las pruebas de adsorción usó 0,2g de carbón y lo puso en agitación con 50ml de solución de tintes capilares a diferentes concentraciones en volumen, resultando como mejores parámetros los que tenían mayor concentración de tinte, obtuvieron porcentajes de remoción entre el 85% y el 100%.

Chalco (2022) Evaluó los parámetros óptimos para la preparación de carbón activado a partir de cáscara de cacao mediante activación térmica y química con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, y determinó que los parámetros óptimos resultaron a 500°C de temperatura de carbonización y tamaño de partícula de la materia prima de 0,354 mm.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

Este proyecto de investigación se realizó en la ciudad de Puno y Arequipa. El adsorbente, carbón activado, fue elaborado y procesado en el laboratorio de Ciencias de los materiales de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, las primeras pruebas y experimentos se realizaron en el Laboratorio de control de Calidad y Saneamiento de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA Puno.

#### 3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

##### 3.2.1 Materia prima

La materia prima, cascarilla de cacao, se adquirió en la ciudad de Cusco en la tienda de distribuidores chocolateros “Industrias Quillabamba”.

El tinte capilar Castaño violeta se adquirió en tiendas donde venden productos cosméticos, el tinte que se utilizó para las experiencias y análisis fue un tinte sintético económico de marca “STEREO” bajo el código 5N22, con el nombre “Castaño claro Violeta intenso”.

##### 3.2.2 Insumos y reactivos

- Solución de tinte capilar
- Agua destilada
- Ácido fosfórico diluido al 35% ( $H_3PO_4$ )
- Hidróxido de Sodio 5N (NaOH)
- Ácido clorhídrico 5N (HCl)





### 3.2.3 Materiales de laboratorio

- Matraz Erlenmeyer
- Matraz quitasato para filtración al vacío
- Vasos de precipitados
- Crisoles rectangulares
- Magnetos
- Pipetas
- Varillas de agitación
- Gradillas
- Micropipetas de 5mL, 1500 $\mu$ L
- Fiolas
- Picetas
- Tubos de ensayo con tapa rosca
- Tubos Falcon de 13ml para centrífuga
- Tubos Falcon de fondo cónico de 7ml para centrífuga
- Embudos
- Embudo Buchner
- Mortero
- Papel toalla
- Papel aluminio
- Pinzas para crisoles
- Papel filtro Whatman N°42 y de filtro rápido
- Cuchara espátula
- Espátula



- Envases oscuros

### 3.2.4 Instrumentos y Equipos

- Equipo Espectrofotómetro UV visible Marca THERMO SCIENTIFIC modelo Genesys 150
- Centrifuga de 12 posiciones Marca GEMMY serie PLC 05
- Estufa Marca BINDER 2.0
- Incubadora con agitación Marca MRC
- Agitador magnético con calentador Marca IKA modelo C-MAG HS 7 S 000
- Bomba de vacío Marca MILLIPORE modelo wp6122050
- Balanza analítica Marca RADWAG modelo AS 220.R2
- Desecador Marca NORMAX
- Campana de extracción
- Mufla Marca THERMO SCIENTIFIC Modelo Thermolyne
- Equipo Analizador de Fisisorción Marca ANTON PAAR modelo Nova 600
- Balanza digital Marca OHRUS modelo Scout
- Vortex Mixer Marca DAIHAN SCIENTIFIC modelo MaXshake VM30
- Equipo Multiparámetro Marca METTLER TOLEDO modelo FiveEasy F20
- Refrigeradora Marca LG
- Agitador de 12 posiciones Marca VELP SCIENTIFIC

- Equipo de análisis FTIR Marca THERMO SCIENTIFIC clase 1  
Modelo Nicolet Summit iD1
- Equipo Turbidímetro Marca HACH modelo TL 2300
- Molino de mano marca REY
- Tamizador Marca TYLER

### 3.3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

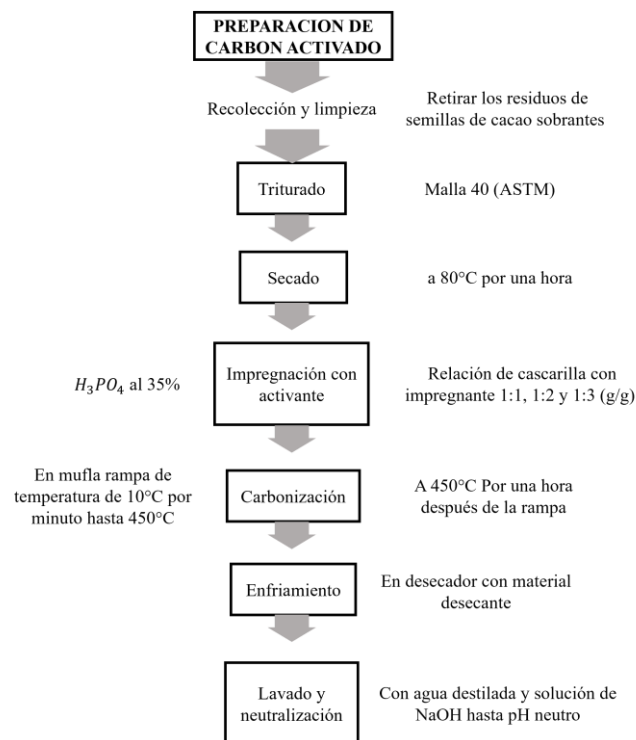
Determinar la cinética de adsorción del tinte capilar castaño violeta presente en muestras de agua utilizando carbón activado obtenido de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*).

#### 3.3.1 Metodología para el objetivo 1

Preparación del carbón activado de la cascarilla de cacao.

#### Figura 10

Diagrama de proceso de preparación de carbón activado



Nota: Diagrama que explica el proceso de elaboración del carbón activado

Para la preparación del carbón activado se tomó como referencia los trabajos realizados por (Carolin et al., 2017) y (Challco, 2022) donde se impregnó la cascarilla de cacao con ácido fosfórico al 35% utilizando diferentes proporciones (1:1, 1:2 y 1:3) respectivamente con una temperatura de carbonización de 450°C.

### Figura 11

*Cascarilla de cacao*



#### 3.3.1.1 Tratamiento físico de la cascarilla de cacao

- Se adquirió la cascarilla de cacao y se hizo la selección de la cascarilla separándola de los remanentes de cacao que quedaron adheridos a la cascarilla.
- Se utilizó un molino de mano para disminuir el tamaño hasta malla N°40 ASTM.
- Se secó en estufa a 60°C por un lapso de una hora y posteriormente se colocó en un desecador para finalmente almacenarlo en un recipiente adecuado.

## Figura 12

*Cascarilla de cacao a malla 40 y seca*



### 3.3.1.2 Preparación del agente activamente ( $H_3PO_4$ )

Para este procedimiento se utilizó Ácido fosfórico al 85% y se hizo una dilución hasta un 35% (v/v) de concentración.

Se preparó 100 ml de  $H_3PO_4$  al 35% v/v aplicando la siguiente fórmula para la dilución:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

**Ec..11}**

Donde:

$C_1$ : Concentración de  $H_3PO_4$  en porcentaje.

$V_1$ : Volumen de  $H_3PO_4$  al 85% en mL.

$C_2$ : Concentración propuesta para el estudio.

$V_2$ : Volumen de preparación en mL.

$$85\% \times V_1 = 35\% \times 0,1L$$

$$V_1 = 0,04117 L = 41,17mL$$

Se utilizó 41,17 mL de ácido fosfórico al 35%, para preparar 100 mL.

### 3.3.1.3 Proceso de activación química de la cascarilla de cacao

*(Theobroma cacao)*

- Impregnación con  $H_3PO_4$

Se pesó 3 muestras de 5g de cascarilla de cacao y se impregnó con  $H_3PO_4$  al 35% bajo diferentes relaciones de cantidad, según la (Tabla 6), posteriormente se agitó manualmente y se dejó en reposo por 24 horas.

**Tabla 6**

*Relaciones de cantidad de  $H_3PO_4$  y peso de materia prima*

Relación de $H_3PO_4$ con respecto al peso de muestra	Peso de muestra (g)	Peso de agente activante $H_3PO_4$ (g)
1:1	5	5
1:2	5	10
1:3	5	15

**Figura 13**

*Muestras de cascarilla impregnada con  $H_3PO_4$  antes de entrar a carbonización*



- Activación química de la cascarilla de cacao

Después de las 24 horas se colocaron las 3 muestras en crisoles y se llevaron a la mufla.

Se programó la mufla con una rampa de  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  hasta llegar  $450^{\circ}\text{C}$  y luego se dejó por una hora, posteriormente se dejó enfriar en un desecador.

Después que llegó a  $450^{\circ}\text{C}$  se carbonizó la muestra por una hora manteniendo constante esta temperatura, posteriormente se llevó a un desecador para que enfríe.

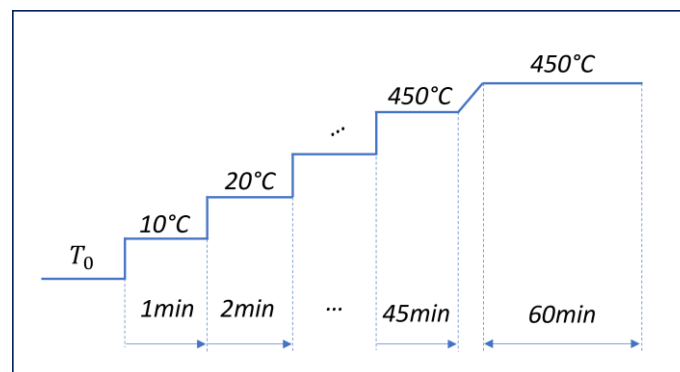
Se procedió a lavar los carbones activados obtenidos con agua destilada, hasta llegar a un pH neutro, para dicha operación se utilizó el NaOH.

A continuación, las muestras fueron filtradas al vacío y se llevaron a secar en la estufa a  $60^{\circ}\text{C}$  por un lapso de una hora.

Finalmente, se guardaron las muestras de carbón activado rotuladas para ser utilizadas en pruebas posteriores.

**Figura 14**

*Rampa de temperatura y tiempo de activación de la cascarilla de cacao*



### Figura 15

*Carbón activado con diferentes proporciones de cascarilla y H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>*



#### 3.3.1.4 Rendimiento del carbón activado

Para este procedimiento se pesó los crisoles que se usaron para la carbonización, con 5g aproximado de cada muestra de carbón, posterior a la carbonización se pesa nuevamente para calcular el rendimiento de carbón activado de la cascarilla de cacao mediante la fórmula:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{C - A}{B - A} \times 100$$

Donde:

A : Peso de los crisoles (g)

B : Peso del crisol con la muestra antes de ingresar a la mufla (g)

C : Peso del crisol con la muestra después de salir de la mufla (g)

#### 3.3.1.5 Capacidad de adsorción del carbón activado

- Fisisorción





Para determinar la capacidad de adsorción se procedió a pesar entre 0,1 a 0,2g de carbón activado de cada muestra C1, C2 y C3, posteriormente a ello se pesaron también los capilares donde se depositaron las muestras para este proceso.

Las muestras de carbón activado se colocaron en los tubos y se inició con la primera etapa que es la desgasificación de las muestras en el equipo de fisisorción. Este procedimiento tuvo un tiempo de duración de aproximadamente 60 minutos.

Luego que las muestras fueron desgasificadas, los capilares fueron colocados en un compartimento donde se realizó la fisisorción en presencia del gas nitrógeno.

Culminado el ensayo de fisisorción, se procedió con la interpretación de datos y gráficos obtenidos.

### **3.3.2 Metodología para el objetivo 2**

Caracterizar el carbón activado de cascarilla de cacao.

#### **3.3.2.1 Humedad**

De acuerdo con la norma (925.09 A.O.A.C) La humedad se mide en porcentaje, para ello se tomó crisoles vacíos y limpios con sus tapas, se colocó los crisoles con sus tapas en la estufa a 105°C por un tiempo de 30 minutos, posteriormente se retiró de la estufa y se colocó en el desecador para que enfríe a temperatura ambiente. Se pesan los crisoles y luego se le añaden mismas cantidades de muestra que para nuestro caso es cascarilla de cacao para tres réplicas por un tiempo de 120 minutos a una temperatura de 105°C.

Luego se llevó al desecador hasta que enfríe a temperatura constante y se volvió a pesar. Se utiliza la siguiente fórmula para saber el porcentaje de humedad.



$$\text{Humedad (\%)} = \frac{B - C}{A} \times 100$$

Donde:

A : Representa al peso inicial de la muestra (g)

B : Representa al peso del crisol con tapa (g)

C : Representa al peso del crisol con la muestra con tapa después de salir de la estufa (g).

### 3.3.2.2 Cenizas

Según la norma (923.03 A.O.A.C.) La cantidad de cenizas que va a contener la cascarilla de cacao se mide en porcentaje, para ello se colocó los crisoles vacíos y limpios con sus tapas en la estufa a 105°C por 30 minutos, posterior a ello se colocó los crisoles en el desecador hasta que enfríen a temperatura ambiente. Se pesó los crisoles y se registró el peso, después se añadió pesos iguales de cascarilla de cacao a los crisoles con tapa. Se llevó los crisoles a una mufla a 750° por 3 horas. Luego se apagó la mufla y se esperó que llegue a una temperatura de 105°C, se trasladó al desecador para que baje la temperatura hasta la ambiental. Se pesó los crisoles con tapa y las muestras y se calculó el porcentaje de cenizas según la siguiente fórmula:

$$\text{Ceniza (\%)} = \frac{C - B}{A} \times 100$$

Donde:

A : Representa al peso inicial de la muestra (g)

B : Representa al peso del crisol con tapa (g)

C : Representa al peso del crisol con la muestra con tapa después de salir de la estufa (g)

### Figura 16

*Muestras de cascarilla de cacao después calcinar*



#### 3.3.2.3 Materia volátil

De acuerdo con la norma (ASTM D3175) Se procedió de la misma manera que con las anteriores pruebas, se colocó los crisoles con su tapa en la estufa por 30 minutos a 105°C, se enfrió los crisoles en el desecador y luego se pesaron. Se colocó muestras secas iguales en los crisoles y se volvieron a pesar con sus tapas. Se llevó a la mufla a 950°C por 7 minutos. Se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Materia volátil (\%)} = \left( \frac{B - C}{A} \times 100 \right) - H$$

Donde:

A : Representa al peso inicial de la muestra (g)

B : Representa al peso del crisol con tapa (g)

C : Representa al peso del crisol con la muestra con tapa después de salir de la estufa (g)

H : Porcentaje de Humedad

### **3.3.2.4 Caracterización por espectroscopía infrarroja del carbón activado obtenido a partir de la cascarilla de cacao aplicando la transformada de Fourier (FTIR)**

Para realizar los barridos y obtener los gráficos se necesitó preparar la materia prima, para ello se procedió a reducir el tamaño de la muestra hasta obtener un polvo fino, por lo cual se pesó entre 0,1 a 0,2g de materia prima y 0.05g de KBr, posteriormente, en un mortero se pulverizó ambos, luego se colocó la muestra obtenida en una prensa y se le aplicó una fuerza de 1,2Tn aproximadamente para obtener una pastilla. Posterior a ello se colocó la pastilla en la zona de lectura de muestras del equipo FTIR.

#### **Figura 17**

*Equipo de espectroscopía infrarroja (FTIR)*



**Figura 18**

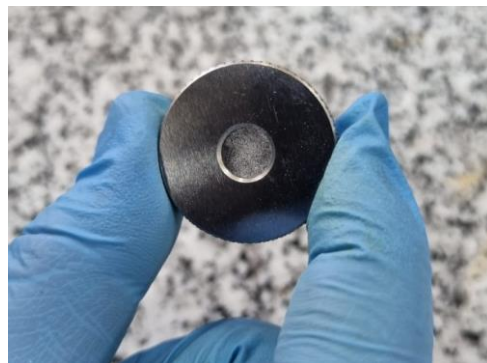
*Prensa para formar la pastilla*



Nota: A una presión de 1,2Tn

**Figura 19**

*Pastilla formada para la lectura en el equipo*



Nota: Mezcla de KBr y Muestra de carbón

### **3.3.3 Metodología para el objetivo 3**

Caracterizar la muestra de agua del tinte capilar castaño violeta.

Para caracterizar la solución de tinte capilar se realizó análisis físico mediante la determinación de parámetros como:

### 3.3.3.1 pH

Se realizó por el método electrométrico donde se mide la actividad de los iones de hidrógeno en el que se usó un pH-metro marca METROHM 914.

### 3.3.3.2 Conductividad

En el que se usó también el método electrométrico donde se usó el equipo multiparámetro de marca HACH SESION7 para medir la conductividad eléctrica de las muestras de agua antes y después de la adsorción. ASTM D1125-95 (2009)

### 3.3.3.3 Demanda química de oxígeno (DQO)

Se realizó por el método de reflujo cerrado (Colorimétrico) mencionado por (Marín & Colina, 2013) donde se usó sales metálicas para convertir a la muestra en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O para poder medirlo usando el espectrómetro UV GENESYS 150 a una longitud de onda de 600nm y con esos datos calcular el DQO a través de la curva de calibración de la sal usada y aplicar la siguiente fórmula:

$$C = \frac{A - b}{m}$$

Donde:

C : Concentración de DQO en la muestra (mgO<sub>2</sub>/L)

A : Absorbancia de la muestra

b : Intercepto de la curva de calibración



m : Pendiente de la curva de calibración

### 3.3.3.4 Los sólidos totales disueltos (STD)

Se midieron antes y después de la adsorción usando el método electrométrico a través del equipo HACH SESIÓN7 para las muestras antes y después de la adsorción (Marín & Colina, 2013).

### 3.3.4 Metodología para el objetivo 4

Determinar los parámetros óptimos de adsorción del tinte capilar castaño violeta presente en muestras de agua utilizando carbón activado de la cascarilla de cacao.

Los parámetros óptimos de adsorción se determinan de acuerdo con pruebas de adsorción tomando en cuenta los siguientes parámetros.

- pH de solución de tinte capilar.
- Tiempo de agitación.
- Cantidad de adsorbente a utilizar para una muestra de 100ml de solución de tinte capilar.

#### 3.3.4.1 Preparación de la solución de tinte

Para poder determinar las condiciones de operación del proceso de adsorción primeramente se preparó el tinte, para ello se acondicionó un agua simulada que se utilizó en el proceso de adsorción, para lo cual se preparó una disolución del 10% del peso total del tinte y la solución oxidante (peróxido de hidrogeno).

Para preparar 500g de disolución se pesó 5 g de tinte, 10,5g de oxidante y agua. Se colocaron ambas sustancias en un vaso de precipitados, se agitaron a 200 RPM por lapso de 30 min. a 60°C. para que se desarrolle la máxima coloración.

Posteriormente se realizó una acidificación ácida debido a la presencia de turbidez en la solución provocada por el contenido de aceites y grasas contenidas en el tinte comercial que impidió la lectura correcta en el espectrofotómetro UV VIS.

Para determinar la turbidez se usó el turbidímetro HACH TL 2300

### Figura 20

*Solución de tinte capilar acidificado*



Nota: A agitación constante hasta llegar a pH 4.

#### 3.3.4.2 pH

Para poder realizar las pruebas de adsorción con la solución de tinte capilar se procedió con el método de la precipitación acida de la solución



de tinte, esto con la finalidad de precipitar los aditivos contenidos en el tinte comercial que tiene aceites, grasas y demás componentes que precipitan en medio ácido. Para acidificar la solución se utilizó una solución de HCl 0,5N midiendo constantemente el pH hasta llegar a un pH ácido.

Para saber con qué pH es mejor trabajar se midió la turbidez de las muestras, luego de hacer la precipitación ácida y filtrar la solución de tinte. Se consideró pH de 2,3 y 4.

### Figura 21

(A) turbidímetro (B) Filtración de la solución de tinte después de la precipitación ácida



(A)



(B)

Nota: Se filtró a presión atmosférica y a temperatura ambiente.

#### 3.3.4.3 Tiempo de agitación

Este parámetro se evaluó teniendo en cuenta el porcentaje de remoción de las soluciones de tinte capilar frente al carbón activado, para ello se tomó un rango de tiempo desde 0 min hasta 90 min. Hasta notar una medida constante o poco variable de la concentración de tinte en la solución.

#### 3.3.4.4 Cantidad de adsorbente

Para determinar la cantidad óptima de adsorbente a usar, se procedió a realizar pruebas experimentales tomando en cuenta tres cantidades de adsorbente, 0,1, 0,3 y 0,5g. Se realizó la medición de absorbancia en un tiempo de 90 min. Según las experiencias realizadas se pudo determinar que el peso óptimo es de 0,1g para 100ml de solución de tinte capilar.

#### Figura 22

*Adsorción a diferentes cantidades de tinte*



Nota: Enjuague de carbones por agitación.

#### 3.3.5 Metodología para el objetivo 5

Determinar el modelo cinético del proceso de adsorción del tinte capilar castaño violeta.



### **3.3.5.1 Isoterma de Langmuir**

Se aplicó la ecuación de Langmuir linealizada para poder ajustar los datos que se obtuvieron de las pruebas de adsorción en las que se usó el carbón más eficiente.

### **3.3.5.2 Isoterma de Freundlich**

Se aplicó la ecuación de Freundlich linealizada para poder ajustar los datos que se obtuvieron de las pruebas de adsorción en las que se usó el carbón más eficiente.

### **3.3.5.3 Modelo cinético de pseudo-primer orden**

La ecuación del modelo cinético de pseudo-primer orden nos dio una vista muy precisa de la conformación que se tuvo de los datos para formar la curva y en base a esto poder deducir si los datos se adaptan a este modelo cinético.

### **3.3.5.4 Modelo cinético de pseudo-segundo orden**

La ecuación del modelo cinético de pseudo-segundo orden nos dio una vista muy precisa de la conformación que se tuvo de los datos para formar la curva y en base a esto poder deducir si los datos se adaptan a este modelo cinético.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 RESULTADOS PARA EL OBJETIVO 1

Preparación de carbón activado de la cascarilla de cacao.

Para la preparación de carbón activado de cascarilla de cacao se procedió primeramente a conseguir este subproducto de la producción de chocolate.

##### 4.1.1 Caracterización física de la cascarilla de cacao

Se realizó la caracterización de la cascarilla de cacao por triplicado.

- % Humedad

**Tabla 7**

*Determinación del porcentaje de humedad de la cascarilla de cacao*

	<b>Peso del Crisol + Tapa (g)</b>	<b>Peso del Crisol con Tapa + Muestra húmeda (g)</b>	<b>Peso del crisol con Tapa + Muestra seca (g)</b>	<b>% Humedad</b>
<b>1</b>	26,0245	28,0198	27,7479	13,627
<b>2</b>	24,5751	26,5664	26,2893	13,916
<b>3</b>	23,8589	25,8508	25,5108	17,069
		<b>PROMEDIO</b>		<b>14,871</b>

Nota: Realizado en Lab. De control de calidad UNA Puno

- Contenido de cenizas (Sólidos fijos)

**Tabla 8***Determinación del contenido de cenizas de la cascarilla de cacao*

	<b>Peso del crisol + Tapa (g)</b>	<b>Peso del Crisol con Tapa + Muestra húmeda (g)</b>	<b>Peso del crisol con Tapa + Muestra seca (g)</b>	<b>% Ceniza</b>
1	103,1922	105,1983	103,5824	19,451
2	81,9501	83,9562	82,3522	20,080
3	97,4991	99,5021	97,9698	23,500
<b>Promedio</b>				<b>21,010</b>

Nota: Realizado en Lab. de control de calidad UNA Puno.

- Materia volátil

**Tabla 9***Determinación del porcentaje de materia volátil presente en la cascarilla de cacao*

	<b>Peso del crisol + Tapa (g)</b>	<b>Peso del crisol con tapa + Muestra de entrada (g)</b>	<b>Peso del crisol con tapa + Muestra de salida (g)</b>	<b>% Material volátil</b>
1	103,1995	104,2057	103,2955	75,588
2	97,8908	98,8998	98,0063	73,682
3	89,0163	90,0257	89,1275	74,113
<b>Promedio</b>				<b>74,461</b>

Nota: Realizado en Lab. de control de calidad UNA Puno.

- Resumen de los parámetros físicos

**Tabla 10***Caracterización física de la cascarilla de cacao*

<b>Muestra</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>	<b>Materia Volátil (%)</b>
<b>Cascarilla de cacao</b>	14,871	21,10	74,461

Nota: Realizado en Lab. De control de calidad UNA Puno.



El porcentaje de humedad depende de las condiciones a las que se encuentra la materia prima, para el caso de la cascarilla de cacao con tiene un aproximado de 14,871% de humedad, esto sugiere que aproximadamente el 15% del peso de la cascarilla es agua. (Asqui, 2023) obtuvo como resultado aproximadamente un 8% de humedad en los tallos de quinua, y (Apaico, 2020) encontró porcentajes de humedad como del 89,88% para el lodo avícola, 13,74% para la cáscara de yuca, 7,24% para la pepa de aceituna. Con el que se podría comparar es con la cáscara de yuca con el que tienen similar porcentaje de humedad y características físicas también.

En cuanto al porcentaje de cenizas es comparable al resultado que encontró (Apaico, 2020) en su recopilación de información que realizó para el lodo avícola que contiene un 24,60% de cenizas presentes, lo cual no es tan considerable la diferencia.

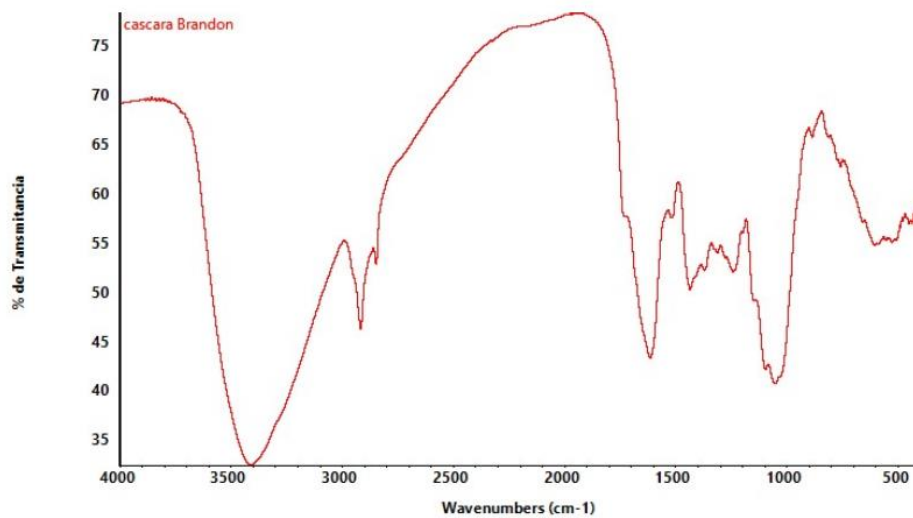
Asqui (2023) encontró que los tallos de quinua contienen 83,36% de materia volátil que en comparación al resultado hallado para la cascarilla de cacao es 74,46, mantienen una relación cercana de materia volátil. Es importante este dato porque cuanto mayor sea este porcentaje, mayor será el producto obtenido.

- Caracterización por espectrofotometría infrarroja de la cascarilla de cacao (FTIR):

Para conocer los grupos funcionales contenidos en la cascarilla de cacao se realiza un análisis por espectrofotómetro infrarrojo mediante transformada de Fourier (FTIR).

## Figura 23

### *Espectro de la cascarilla de cacao*



Nota: Tomado de Laboratorio de ciencia de materiales de la UCSM Arequipa.

De acuerdo a la **figura 23** se puede deducir que la cascarilla de cacao tiene en su composición grupos carbonados de aromáticos y alifáticos de acuerdo a las frecuencias que se identificaron, a los 2900 cm<sup>-1</sup> que también incluyen al grupo amino (-NH<sub>2</sub>), en el espacio de 2800 a 3416.338 cm<sup>-1</sup> de frecuencia se encuentran contenidos los carbonos primarios, secundarios y terciarios, también es importante mencionar que el grupo carbonilo (-C=O) y tío carbonilo (-C=S) se puede identificar entre 1000 a 1800 cm<sup>-1</sup> de frecuencia.

Los resultados que se obtuvieron en este análisis son muy similares a los que encontró (Hilasaca, 2008) quien realizó este mismo análisis para la cascarilla de cacao en la universidad de Surrey – Inglaterra. Donde los picos coinciden en un 90% con los datos obtenidos en el laboratorio de ciencia de los materiales de la UCSM Arequipa.

#### 4.1.2 Preparación de carbón activado de la cascarilla de cacao

- Condiciones de obtención de carbón activado

Al preparar el carbón activado se tomaron en cuenta los parámetros de relación de cantidad de  $H_3PO_4$  y peso de materia prima.

**Tabla 11**

*Condiciones para la obtención de carbón activado de cacao*

<b>Carbón activado</b>	<b>Relación de ácido fosfórico</b>	<b>Tiempo de carbonización (min)</b>
<b>C1</b>	1:1	60
<b>C2</b>	1:2	60
<b>C3</b>	1:3	60

Nota: Se tomó como referencia de trabajos anteriores.

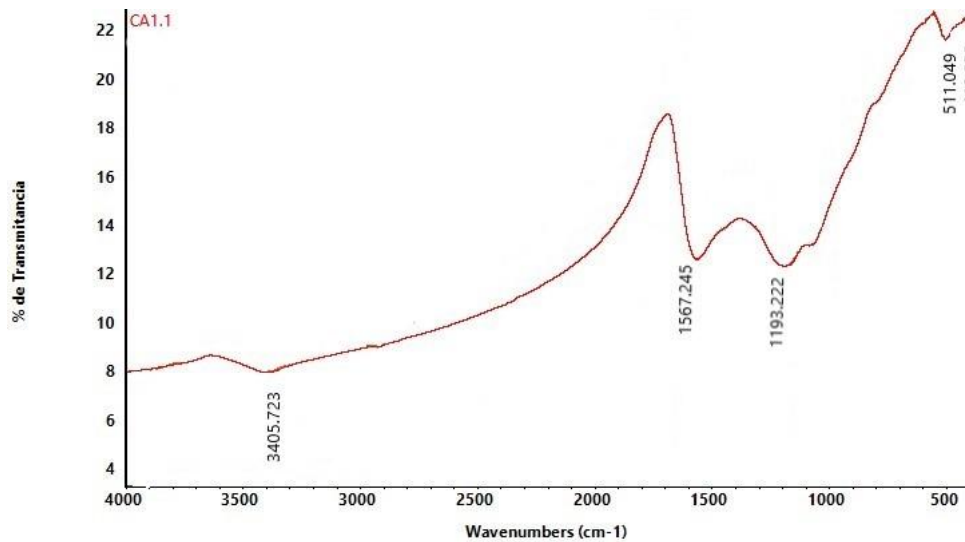
Se obtienen 3 tipos de carbones en el que uno de ellos es el más eficiente y esto depende de la cantidad de activante utilizado. En comparación al trabajo realizado por (Aymat, 2017), realizó una activación con  $ZnCl_2$  a la cáscara de las semillas de bhagar, y la segunda materia de estudio fue la cáscara de periwinkle que lo activó físicamente.

- Caracterización por espectrofotometría infrarroja del carbón activado preparado considerando las relaciones (1:1, 1:2 y 1:3)



**Figura 24**

*Espectro FTIR del carbón activado a relación de cascarilla con activante de 1:1*

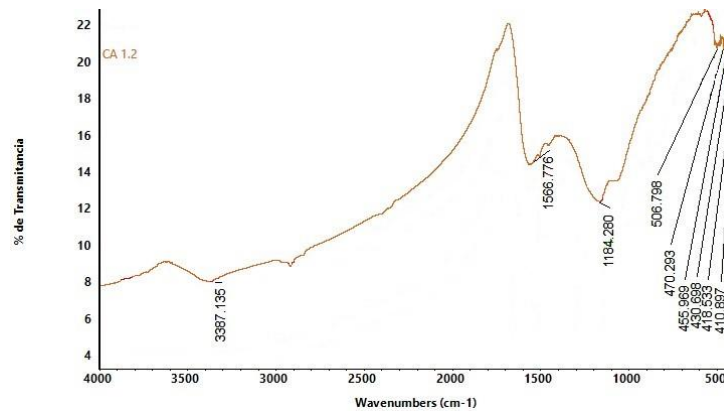


Nota: Realizado en el laboratorio de ciencia de materiales de la UCSM Arequipa.

Mediante la Figura 24 se puede apreciar la caracterización por espectrofotometría infrarroja del carbón activado preparado considerando la relación 1:1 donde se colocó 5g de cascarilla de cacao para activarlo con 5g de ácido fosfórico, grafico en el cual se puede apreciar la formación de nuevos picos en comparación a la cascarilla de cacao antes de convertirlo en carbón activado, estos picos indican que se modificó la estructura de la cascarilla por la activación química de la materia prima.

**Figura 25**

*Espectro FTIR del carbón activado a relación de cascarilla con activante de 1:2*

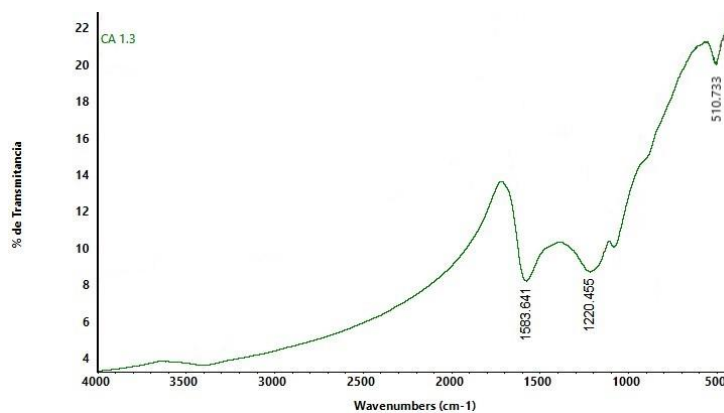


Nota: Tomado de Laboratorio de ciencia de materiales de la UCSM Arequipa.

Para obtener esta gráfica se trabajó con la relación 1:2 que contiene 5g de cascarilla de cacao con 10g de ácido fosfórico. De la figura 25 podemos ver picos similares a los de la relación 1:1 con variaciones mínimas en cuanto a la formación de los grupos funcionales presentes solamente en cuanto a la cantidad, debido al uso de ácido fosfórico se puede ver picos en la banda de frecuencias de 820 a 1270cm<sup>-1</sup> que hace referencia a la presencia del grupo funcional de los fosfatos.

**Figura 26**

*Espectro FTIR del carbón activado a relación de cascarilla con activante de 1:3*

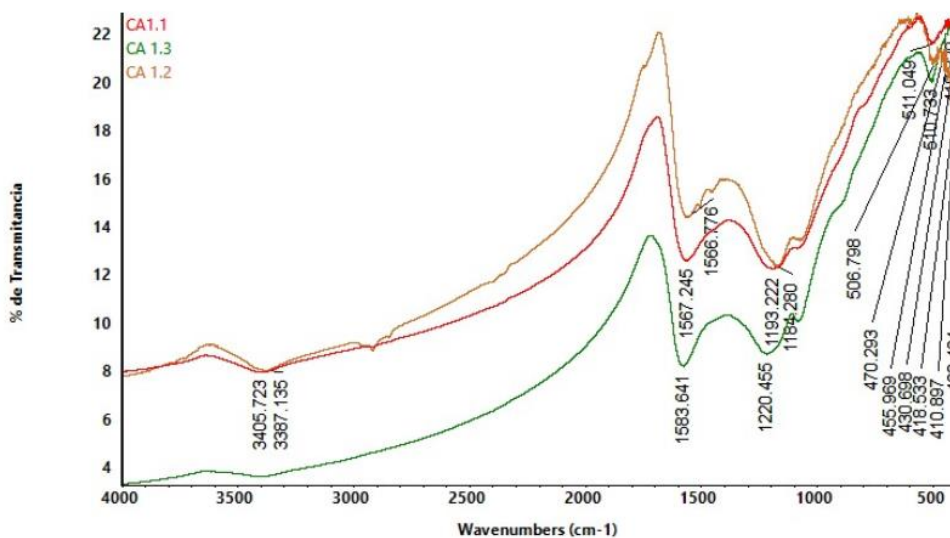


Nota: Tomado de Laboratorio de ciencia de materiales de la UCSM Arequipa.

Este espectro representa al carbón activado preparado con la relación 1:3 donde se utilizó 5g de cascarilla de cacao con 15g de ácido fosfórico. La **figura 26** nos muestra picos menos pronunciados en comparación a los carbones 1:1 y 1:2, este descenso se debe a la presencia de mayor cantidad de ácido fosfórico que hizo que se formaran grupos de fosfatos en el rango de frecuencia de 800 a 1700cm<sup>-1</sup>(Quintero et al., 2016).

### Figura 27

*Espectro de diferencia de carbones activados a relaciones 1:1, 1:2 y 1:3 de peso de cascarilla y activante respectivamente*



Nota: Tomado de Laboratorio de ciencia de materiales de la UCSM Arequipa.

En la **figura 27** se puede observar la comparativa de los 3 carbones que se prepararon, estos tienen picos similares por lo cual su comportamiento en la adsorción también será similar.

En comparación al trabajo realizado por (Aymat, 2017) en el que impregna cáscaras de bhagar con ZnCl, y cáscaras de periwinkles con activación térmica, le resultó más efectivo el que fue activado térmicamente.

Carrasco & Londa (2018) obtuvieron carbones activados con cascara de coco utilizando ácido fosfórico al 85% y al 40%, donde obtuvieron mejores resultados con el carbón activado a una concentración de 40% de ácido fosfórico, lo cual es un valor cercano al usado en esta investigación.

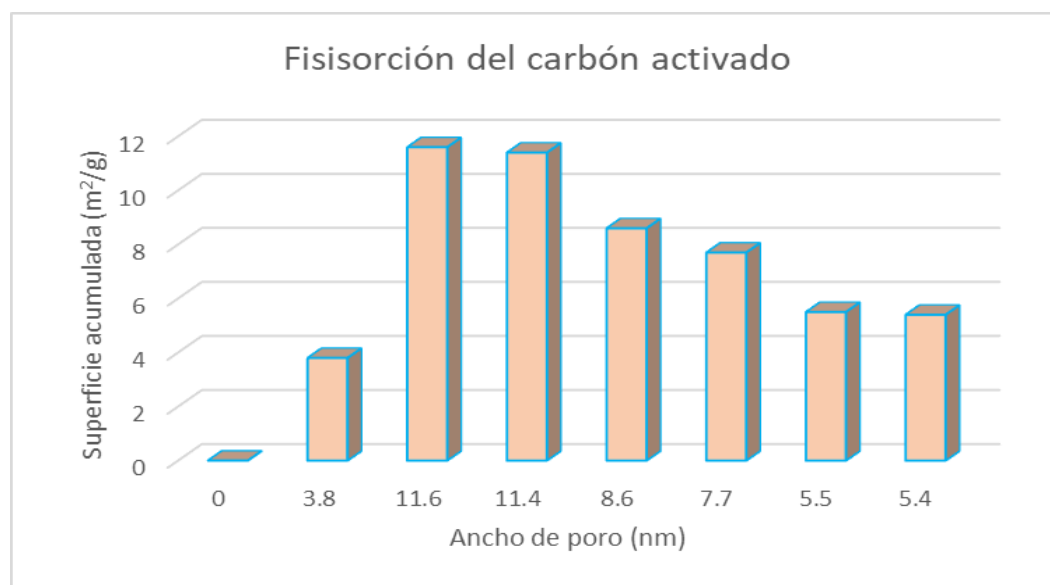
#### 4.2 RESULTADOS PARA EL OBJETIVO 2

Caracterizar el carbón activado de cascarilla de cacao.

Para este objetivo se realizó un análisis en el equipo de fisisorción ANTON PAAR en el que se realizó la desgasificación de las 3 muestras de carbón activado, lo que duró 60 min, para posteriormente realizar la adsorción y desorción de nitrógeno realizado en un promedio de 8 horas.

#### Figura 28

*Histograma de área superficial (Relación 1:2)*



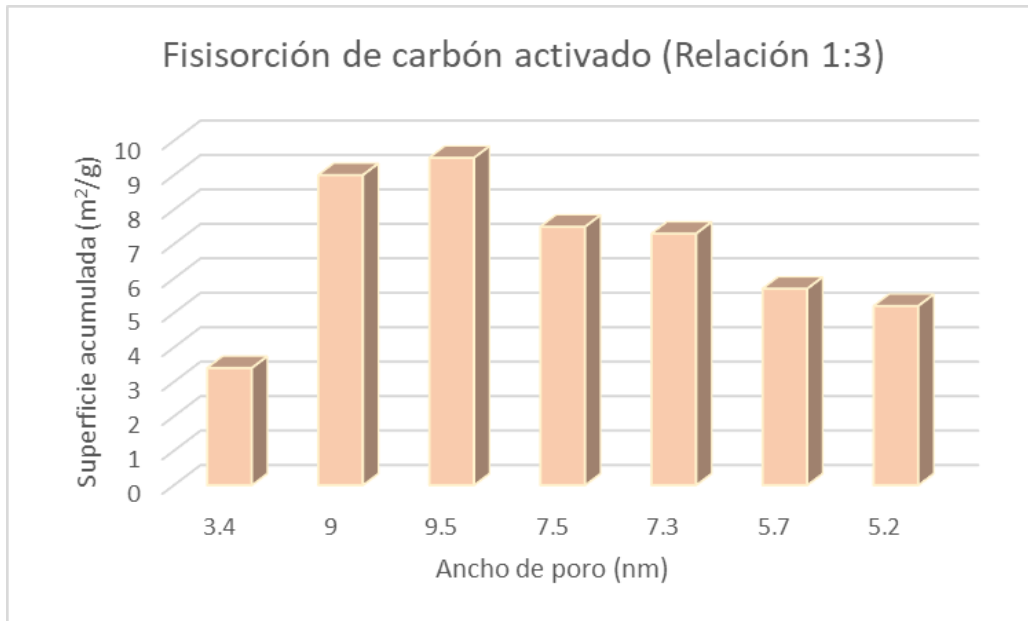
Nota: Realizado en el Laboratorio de ciencia de materiales de la UCSM Arequipa.

Por medio de esta **figura 28** se pudo determinar las características del carbón activado 1:2 que como conclusión se tiene que el tamaño promedio de los poros es de

0,0552cm<sup>3</sup>/g, que tiene un área superficial de 88,7800 m<sup>2</sup>/g, tiene un ancho de poro de 2,5040 nm con un error de ajuste de 0,3323%.

### Figura 29

*Histograma de área superficial (Relación 1:3)*



Nota: Tomado de Laboratorio de ciencia de materiales de la UCSM Arequipa.

De la **figura 29** pudimos determinar las características del carbón activado 1:3, como conclusión se tiene que el tamaño promedio de los poros es de 0,0542cm<sup>3</sup>/g, que tiene un área superficial de 89,8055 m<sup>2</sup>/g, tiene un ancho de poro de 2,5830 nm con un error de ajuste de 0,3521%.

Pacheco (2021) encontró un área superficial BET de 0,5463m<sup>2</sup>/g de un carbón activado a partir de cáscara de plátanos, se puede observar una notable diferencia con el área obtenida en esta investigación.

### 4.3 RESULTADOS PARA EL OBJETIVO 3

Caracterizar la muestra de agua del tinte capilar castaño violeta.

Se consideró para este caso una solución de tinte capilar, para el cual se evaluaron los siguientes parámetros:

**Tabla 12**

*Evaluación de parámetros físicos de las muestras acuosas de tinte capilar*

Muestra	pH	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Salinidad	STD (mg/L)	DQO (mg/L)
Solución de tinte capilar al 10%.	9,00	780	0,4	384	--
Solución de tinte capilar después de la precipitación ácida, antes de la adsorción	4,06	540	0,3	236	265,05
Solución del tinte capilar después de la adsorción	2,56	397	0,3	185	251,9

Nota: Análisis desarrollado en Lab. De ciencia de los materiales UCSM y Lab. De calidad UNA Puno.

De acuerdo con los estándares de calidad ambiental para aguas (ECA) D.S. N°004-2017-MINAM, se tiene dentro de la categoría 4 el apartado El a las aguas de conservación del ambiente acuático, los valores de los límites máximos permisibles (LMP) para el pH se encuentran en el rango de 6 a 9, y en el resultado obtenido se tiene un pH de 2,56 debido a que se tuvo que realizar una precipitación ácida para poder hacer el experimento de adsorción, lo que nos indica que se debe realizar un proceso de neutralización si se desea descargar estas aguas en afluentes receptores de ríos o lagos.

La conductividad tiene como límite máximo permisible a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y para nuestro caso de estudio se disminuyó a un total de 397  $\mu\text{S}/\text{cm}$  después de la adsorción, teniendo un valor de 780  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en un principio, posterior a ello se puede realizar los tratamientos convencionales para aguas servidas para alcanzar el límite permisible.



Los sólidos totales disueltos se redujeron de un total de 384 a 185, por lo que se entiende que se pudo aminorar este valor a través de la adsorción.

En cuanto al DQO tomando como referencia la categoría 1 y subcategoría B de aguas superficiales destinadas para recreación nos da un valor máximo permisible de 50mg/L logrando disminuir en caso de la solución de tinte en un valor aproximado de 5% de su valor total que es 265,05mg/L. Posterior a ello se puede realizar los tratamientos convencionales para aguas servidas para alcanzar el límite permisible que mencionan los ECA.

Cabe mencionar que al ser esta solución de tinte capilar un contaminante emergente, no presenta a la actualidad ningún tipo de normativa para su regulación, por lo cual los valores que se toman son referenciales con la finalidad de realizar una comparación, teniendo en cuenta también que el objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento del carbón activado, y verificar los resultados que nos da.

#### **4.4 RESULTADOS PARA EL OBJETIVO 4**

Determinar los parámetros óptimos de adsorción del tinte capilar castaño violeta presente en muestras de agua utilizando carbón activado de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao L.*).

##### **4.4.1 Curva de calibración**

Para poder determinar los parámetros óptimos de adsorción se necesita hacer una curva de calibración para poder determinar la concentración.

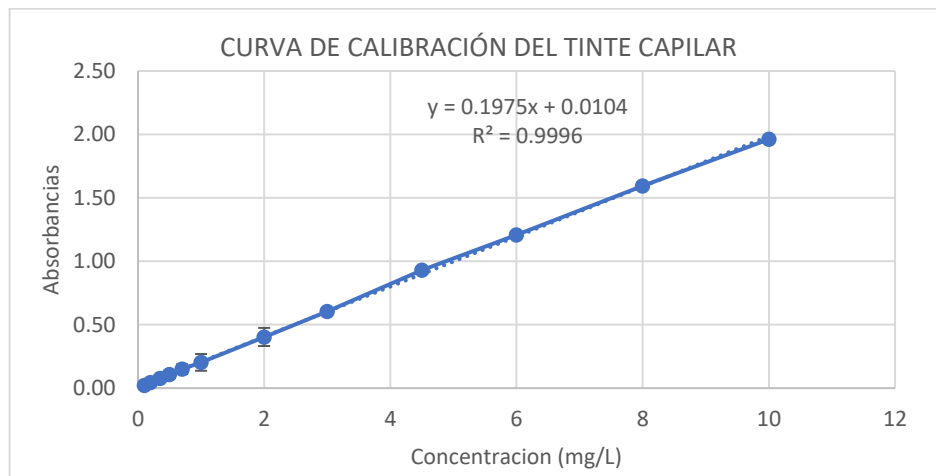
**Tabla 13**

*Curva de calibración del tinte capilar castaño violeta*

Concentración (mg/L)	0,1	0,2	0,3 5	0,5	0,7	1	2	3	4,5	6	8	10
Absorbancia	0,00	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9	1,21	1,5	1,96
	2	4	8	1	5	0	0	0	3		9	

**Figura 30**

*Curva de calibración del tinte capilar castaño violeta*



Para obtener la curva de calibración se tomó como referencia el tinte comercial después de haber sido acondicionado para la adsorción, posteriormente se diluye la muestra patrón a diferentes concentraciones y se realiza la medida de absorbancia a 492nm.

#### 4.4.2 pH

Se trabaja con valores de pH de 2, 7 y 10 para ello se tiene:



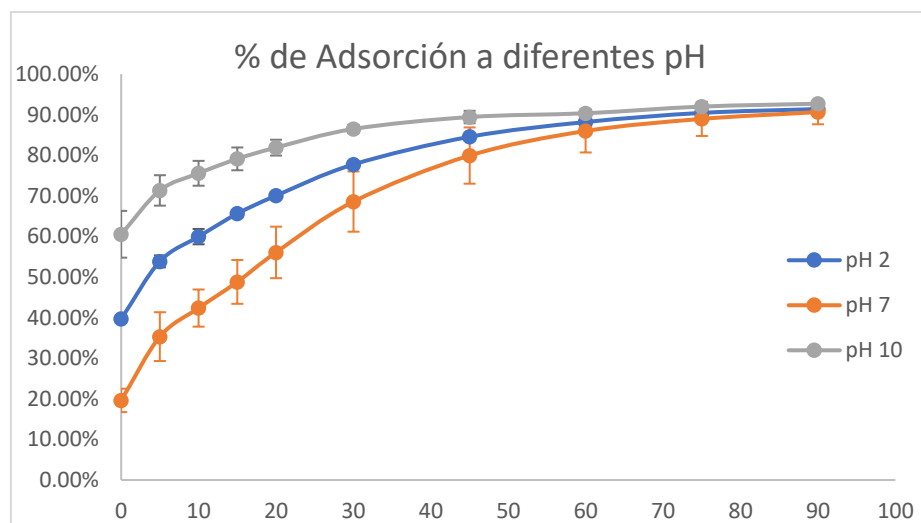
**Tabla 14**

*Valores de pH a diferentes concentraciones.*

Tiempo (min)	pH		
	2	7	10
5	53,87%	35,33%	71,35%
10	59,97%	42,36%	75,57%
15	65,63%	48,81%	79,13%
30	77,76%	68,60%	86,50%
45	84,56%	79,94%	89,43%
60	88,20%	86,00%	90,37%
75	90,45%	88,97%	92,01%
90	91,41%	90,66%	92,72%

**Figura 31**

*Porcentaje de adsorción de tinte capilar CV a diferentes pH*



Tomando como referencia el trabajo realizado por (Challco, 2022) en el que realiza una precipitación ácida y trabaja a pH de 4 se determinó que es recomendable trabajar a pH ácido para conseguir mejores valores de remoción de tinte capilar CV.



Posterior a ello se evaluó midiendo la turbidez y tomando valores de pH cercanos al elegido en la prueba anterior.

En esta prueba se determinó los siguientes valores usando el turbidímetro, ya que la intención era lograr que las grasas y aceites contenidos en el tinte comercial precipitaran en la mayor cantidad posible, luego de la precipitación se realizó la decantación y filtración y se midió la turbidez.

**Tabla 15**

*Valores de la turbidez de soluciones a diferentes pH*

pH	Turbidez (NTU)
pH 2	13
pH 3	2,80
pH 4	4,23

Se varía el pH de las soluciones para poder determinar a qué pH es necesario trabajar, de las cuales se puede apreciar según la **tabla 15**, que el que presenta menor turbidez es el que se trabaja a pH 2, no obstante, esos valores de turbidez ya están por muy debajo de los valores requeridos para poder realizar la adsorción, por lo cual considerando el menor uso de ácido clorhídrico se decidió elegir el de pH 4 para hacer las próximas experiencias.

#### **4.4.3 Tiempo**

Se realizó un ensayo por triplicado con los tres carbones activados preparados tomando como tiempo máximo 90 minutos para poder determinar el tiempo óptimo de adsorción.

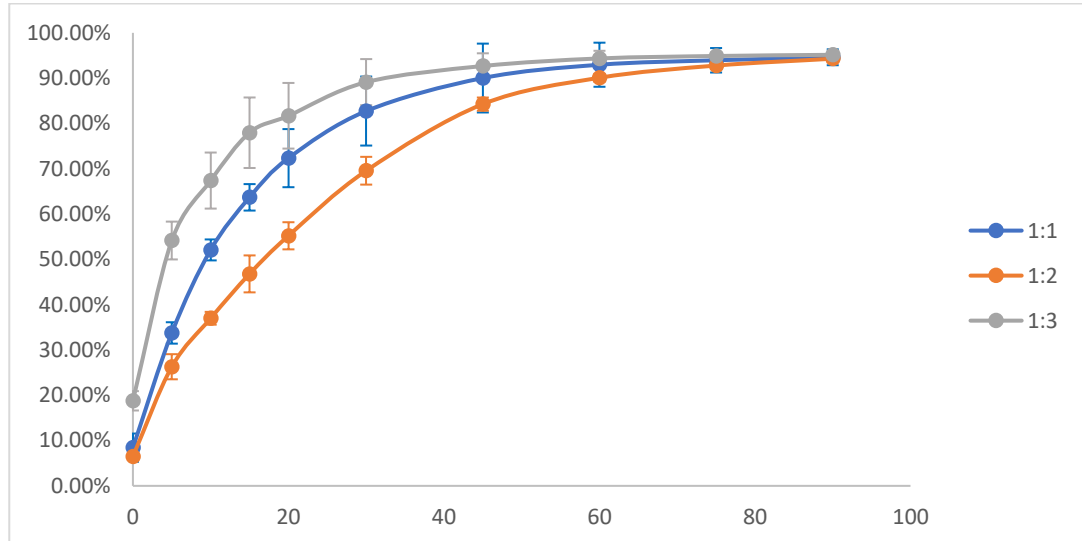
**Tabla 16**

*Tiempo óptimo de adsorción con diferentes carbones activados*

<b>Tiempo (min)</b>	<b>1:1</b>	<b>1:2</b>	<b>1:3</b>
5	5,496	6,126	3,773
10	3,948	5,222	2,655
15	2,968	4,395	1,763
30	1,359	2,472	0,820
45	0,744	1,230	0,520
60	0,496	0,739	0,379
75	0,413	0,511	0,333
90	0,356	0,384	0,311

**Figura 32**

*Curvas para medir el tiempo óptimo de adsorción con los 3 carbones activados*



De la *figura 32* se puede observar que los 3 carbones tienen un punto intersecante a partir de los 75 min. Aproximadamente y hasta llegar a los 90 minutos la concentración ya no están significativa, por lo cual se concluye que el tiempo óptimo de adsorción es a los 90 minutos y la óptima es el carbón 1:1.

### Figura 33

*Prueba de tiempo óptimo de adsorción*



### Figura 34

*Valores significativos de porcentaje de remoción en función al tiempo de contacto del carbón 1:1.*

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tiempo	N	Media	Agrupación
90	3	94.607	A
75	3	93.947	A
60	3	92.957	A
45	3	90.020	A
30	3	82.74	B
20	3	72.34	C
15	3	63.69	D
10	3	52.083	E
5	3	33.76	F
0	3	8.427	G

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Según los datos brindados por el programa Minitab, se obtiene la figura 35 donde nos da un valor no significativo de remoción a partir de los 45 minutos, se observa una variación de remoción del 4% por lo que se decidió aprovechar ese porcentaje de diferencia y elegir el tiempo óptimo a los 90 min.

Burgos & Jaramillo (2015) emplean un tiempo de 6 horas para sus experimentos con CA de cascara de cacao y de coco y logran disminuir de una

absorbancia de 6 a 1,6, por lo que se considera el resultado obtenido en esta investigación como muy aceptable al ser 90 minutos.

#### 4.4.4 Cantidad de adsorbente

Se hizo un experimento variando la cantidad de adsorbente para poder conocer la cantidad optima, eficiente y eficaz para adsorber el tinte capilar y se obtuvieron los siguientes resultados en un lapso de 90 minutos, las pruebas se realizaron por triplicado. Se trató con 100g de solución de tinte capilar.

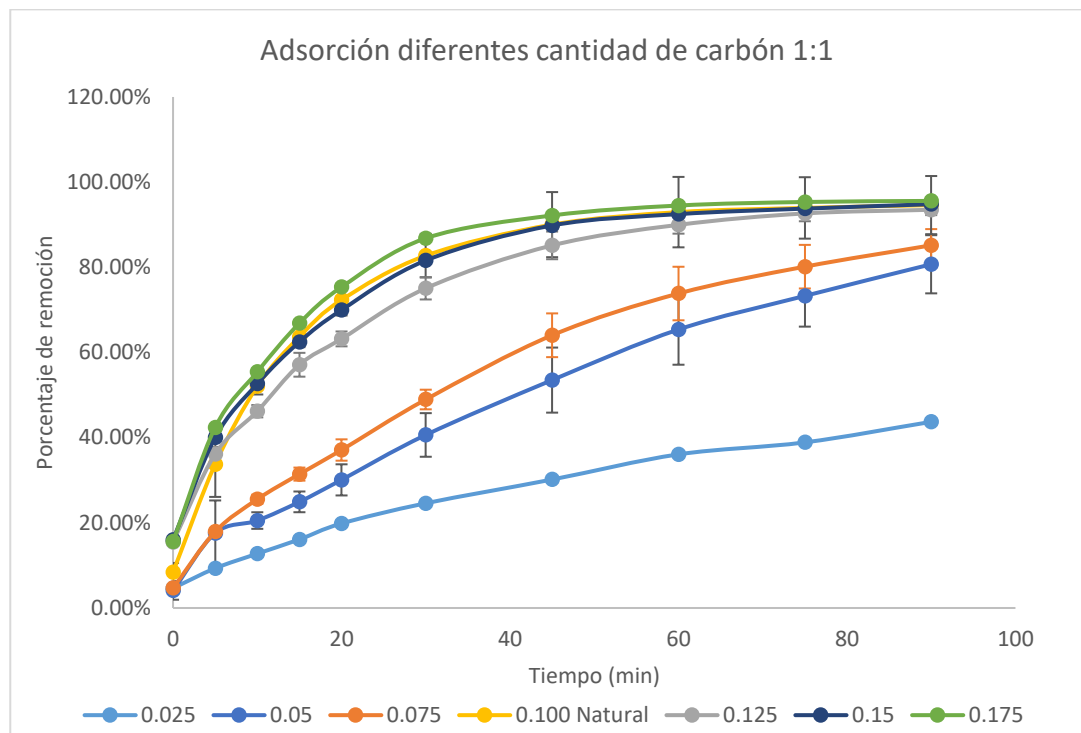
**Tabla 17**

*Datos de adsorción de tinte castaño violeta a diferentes cantidades de adsorbente.*

<b>Tiempo (min)</b>	<b>0,025</b>	<b>0,05</b>	<b>0,075</b>	<b>0,1</b>	<b>0,125</b>	<b>0,15</b>	<b>0,175</b>
5	7,303	6,633	6,606	5,496	5,125	4,811	4,619
10	7,024	6,393	5,988	3,948	4,310	3,789	3,561
15	6,752	6,037	5,509	2,968	3,426	2,990	2,634
30	6,064	4,763	4,087	1,359	1,969	1,439	1,016
45	5,611	3,718	2,864	0,744	1,152	0,773	0,582
60	5,132	2,754	2,069	0,496	0,761	0,557	0,393
75	4,904	2,114	1,557	0,413	0,543	0,452	0,325
90	4,513	1,512	1,151	0,356	0,474	0,368	0,305

**Figura 35**

*Adsorción de tinte capilar a diferentes cantidades de carbón activado*



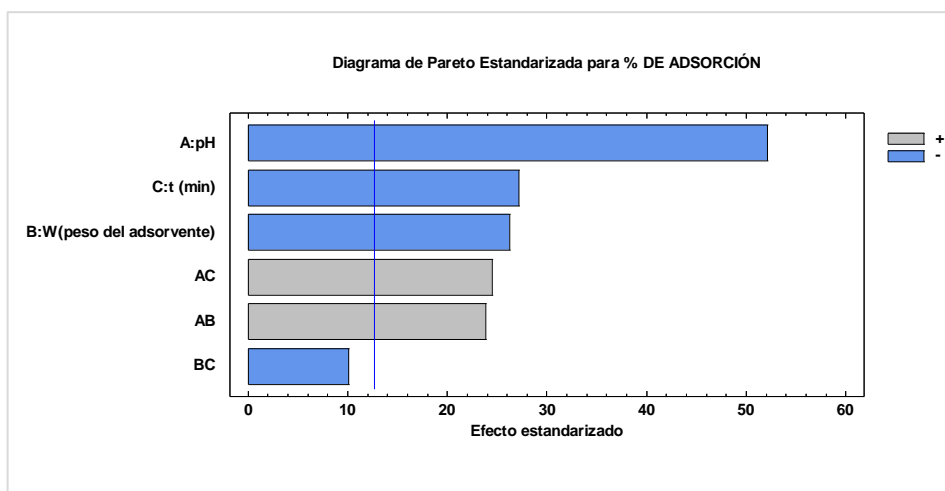
En la **Tabla 17** se puede observar la variación de concentración de las diferentes cantidades de carbón activado 1:1 a través del tiempo, al llegar a un tiempo máximo de 90 minutos se aprecia los porcentajes de remoción máximos, donde se evalúa los datos más significativos.

Se puede observar en la **figura 35** los porcentajes de remoción del tinte capilar CV a través del tiempo, considerando la cantidad de adsorbente y la remoción que presentan, se puede observar que un dato significativo de remoción donde no se utiliza mucha cantidad de adsorbente y se tiene un muy buen resultado es donde se usa 0.1 g de adsorbente ya que nos brinda un porcentaje de remoción de 0.356 mg/L que es el más rentable y brinda buen porcentaje de remoción del tinte capilar CV.

Se realizó también un análisis estadístico en el programa StatGraphics del comportamiento de las variables en estudio en el proceso donde se utilizó un diseño Factorial  $2^k$ , considerando las tres variables consideradas para este estudio las cuales son pH de la solución de tinte, Masa de carbón activado para 100mL de muestra y tiempo de adsorción, de los cuales se tiene:

**Figura 36**

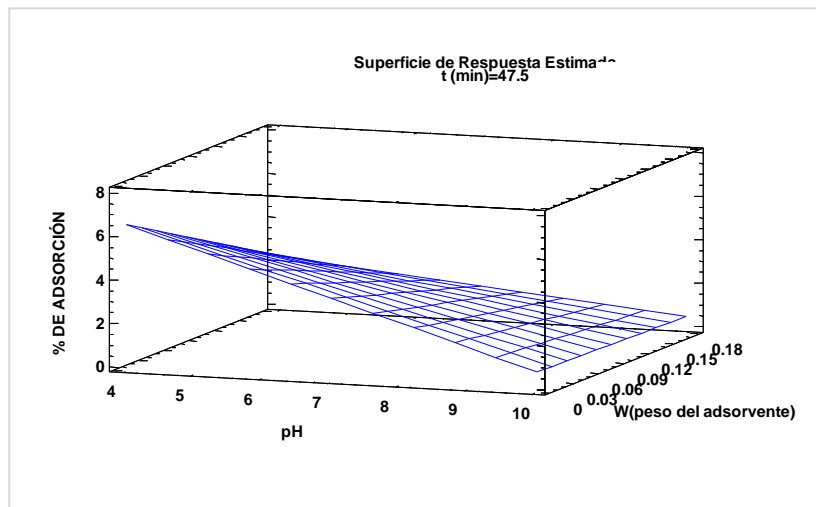
*Diagrama de Pareto estandarizada*



Se observa el comportamiento de las variables en el proceso de adsorción donde la variable más significativa y la que más influye en la experimentación para este caso particular es el pH, luego el tiempo y la cantidad de adsorbente también son relevantes en menor proporción, la interacción entre el pH y el tiempo es significativa como también la interrelación entre el pH y el peso de adsorbente; la relación no significativa en este proceso fue entre el peso de adsorbente y el tiempo de contacto. Por lo tanto el diseño empleado  $2^3$  es relevante en las variables consideradas.

**Figura 37**

*Diagrama de superficie de respuesta estimada para el proceso de adsorción*



La superficie de respuesta explica la interrelación más adecuada de valores de las variables consideradas para el proceso de adsorción.

La ecuación que representa al proceso de adsorción es:

$$\begin{aligned} \% \text{Adsorción} = & 13,6 - 1,28X_1 - 32,41X_2 - 0,06X_3 + 3,65X_1X_2 \\ & + 0,0066X_1X_3 - 0,11X_2X_3 \end{aligned}$$

#### 4.4.5 Resumen

**Tabla 18**

*Datos de adsorción de tinte castaño violeta considerados para la adsorción.*

Carbón Activado con ácido fosfórico (g/g)	pH	Tiempo (min)	Cantidad de adsorbente (g)
Relación 1:1	4	90 min	0,1g

#### 4.5 RESULTADOS PARA EL OBJETIVO 5

Determinar el modelo cinético del proceso de bioadsorción del tinte capilar castaño violeta.





Se utilizó el espectrómetro UV Vis THERMO SCIENTIFIC GENESYS 150 del laboratorio de Ciencia de los materiales de la Universidad Católica de Santa María de la ciudad de Arequipa para analizar el porcentaje de adsorción del tinte capilar castaño violeta usando como adsorbente el CA 1:1 y bajo los parámetros óptimos obtenidos en el objetivo 4.

Las isotermas de adsorción nos dan una guía muy valiosa para poder conocer el comportamiento de las reacciones de adsorción por ello se realizará el estudio de las isotermas de adsorción de Freundlich y Langmuir.

#### 4.5.1 Isoterma de Langmuir

Teniendo en cuenta la ecuación de Langmuir linealizada:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b} C_e + \frac{1}{kb}$$

Donde:

$q_e$  : Cantidad adsorbida

$C_e$  : Cantidad sin adsorber

$k$  : Fuerza de unión

$b$  : Cantidad máxima adsorbida

cuya configuración la podemos asemejar a la ecuación de la recta:

$$y = mx + b$$

Para poder calcular  $q$  se tiene que:

$$q = \frac{x}{m}$$

Donde:

$x$  : Masa del adsorbato que fue adsorbido.

$m$  : Masa del adsorbente

para calcular el valor de  $x$ , se tiene:

$$x = C_0 - C_e$$

Donde:

$C_0$  : Concentración inicial

$C_e$  : Concentración de equilibrio

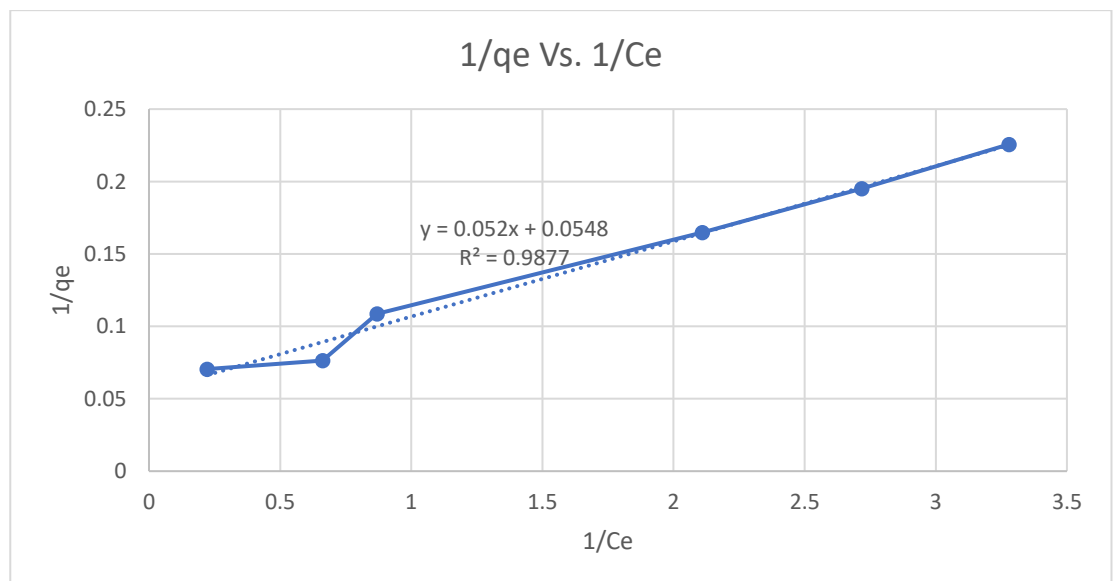
**Tabla 19**

*Datos para armar la isoterma de Langmuir*

$C_e$ (p.p.m)	$q_e$ (mg/g)	$1/C_e$	$1/q_e$ (g/mg)
4,513	14,1840	0,221582096	0,07050197
1,512	13,0940	0,661375661	0,07637086
1,151	9,2107	0,868809731	0,10856977
0,474	6,0680	2,109704641	0,16479895
0,368	5,1273	2,717391304	0,19503316
0,305	4,4309	3,278688525	0,22568997

**Figura 38**

*Isoterma de Langmuir expresado a diferentes cantidades de adsorbentes*





#### 4.5.2 Isoterma de Freundlich

Para poder graficar esta isoterma se usará la expresión linealizada de la ecuación de Freundlich que se define así:

$$\log q = \frac{1}{n} \log C + \log k_d$$

Donde:

q : Cantidad adsorbida

C : Cantidad sin adsorber

kd : Coeficiente de distribución

n : Factor de corrección

$$y = mx + b$$

Para poder calcular q se tiene que:

$$q = \frac{x}{m}$$

Donde:

x : Masa del adsorbato que fue adsorbido.

m : Masa del adsorbente

Para calcular el valor de x, se tiene:

$$x = C_0 - C_e$$

Donde:

C<sub>0</sub> : Concentración inicial

C<sub>e</sub> : Concentración de equilibrio

Con estas ecuaciones se recopila los siguientes datos:

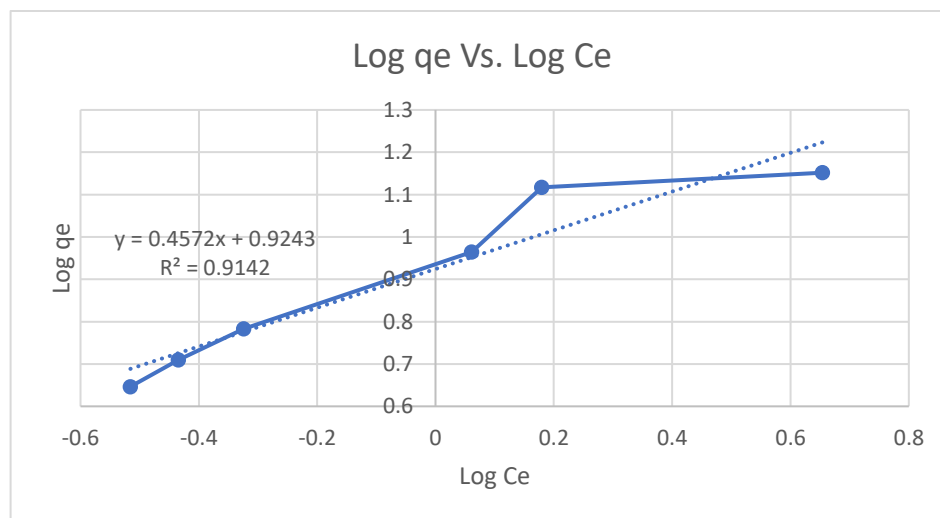
**Tabla 20**

*Datos para armar la isoterma de Freundlich*

<b>C<sub>e</sub></b> <b>(p.p.m)</b>	<b>q<sub>e</sub></b> <b>(mg/g)</b>	<b>Log C<sub>e</sub></b>	<b>Log q<sub>e</sub></b>
4,513	14,1840	0,654465334	1,15179872
1,512	13,0940	0,179551791	1,11707234
1,151	9,2107	0,061075324	0,96429107
0,474	6,680	-0,324221658	0,78304557
0,368	5,1273	-0,434152181	0,70989155
0,305	4,4309	-0,515700161	0,64648775

**Figura 39**

*Isoterma de Freundlich expresado a diferentes cantidades de adsorbente*



De acuerdo con la evaluación realizada, se puede apreciar que la ecuación que más se adapta a los resultados obtenidos de las pruebas de adsorción es la isoterma de Langmuir con un coeficiente de determinación de 0.9877 y una  $q_{\max}$  18.248.

### 4.5.3 Modelos cinéticos de adsorción

#### 4.5.3.1 Modelo cinético de pseudo primer orden

Para desarrollar el estudio de pseudo-primer orden se utiliza la ecuación de Lagergreen que se representa de forma linealizada de la siguiente manera:

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \left(\frac{k_1}{2.3.3}\right)t$$

Donde:

$q_e$  = Capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g).

$q_t$  = Capacidad de adsorción a cualquier tiempo (t).

$k_1$  = Constante de velocidad de pseudo-primer orden ( $\text{min}^{-1}$ )

$t$  = Tiempo (min)

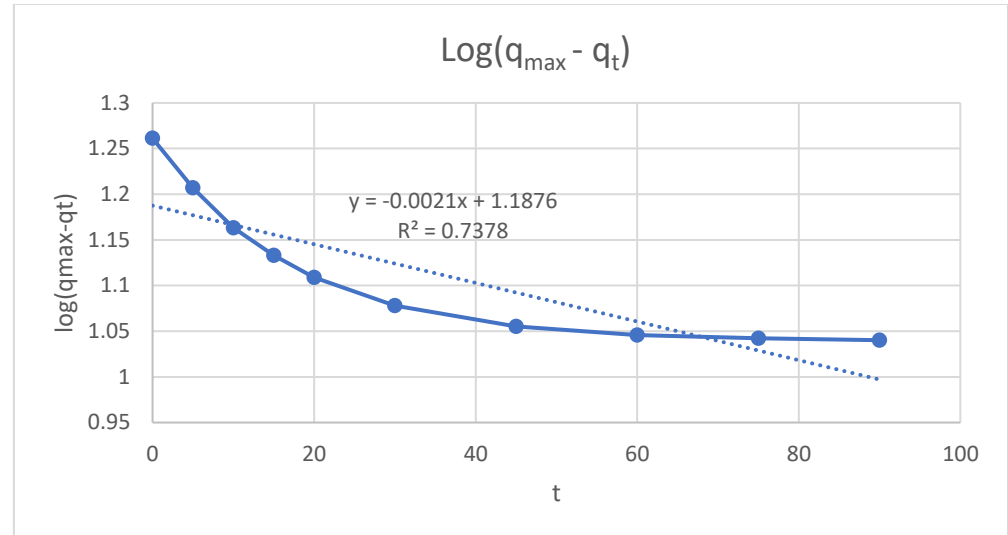
**Tabla 21**

*Datos para armar el gráfico del modelo de Pseudo-primer Orden*

Nº	Tiempo (min)	C <sub>e</sub> (p.p.m.)	q <sub>t</sub> (mg/g)	Log(q <sub>max</sub> -qt)
1	0	7,635	0,0000	1,2612
2	5	5,496	2,1390	1,2071
3	10	3,948	3,6870	1,1632
4	15	2,968	4,6670	1,1329
5	20	2,237	5,3980	1,1089
6	30	1,359	6,2760	1,0782
7	45	0,744	6,8910	1,0553
8	60	0,496	7,1390	1,0457
9	75	0,413	7,2220	1,0424
10	90	0,356	7,2790	1,0402

**Figura 40**

*Gráfica de los datos representados por el modelo cinético de Pseudo-primer orden.*



#### 4.5.3.2 Modelo cinético de pseudo segundo orden

Para desarrollar el estudio de pseudo-segundo orden se utiliza la ecuación de forma linealizada de la siguiente manera:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_{s2} * q_{em}^2} + \frac{1}{q_{em}} * t$$

Donde:

$q_{em}$  = Capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g).

$q_t$  = Capacidad de adsorción a cualquier tiempo (t).

$k_{s2}$  = Constante de velocidad de pseudo-segundo orden (g/mg\*min)

$t$  = Tiempo (min)

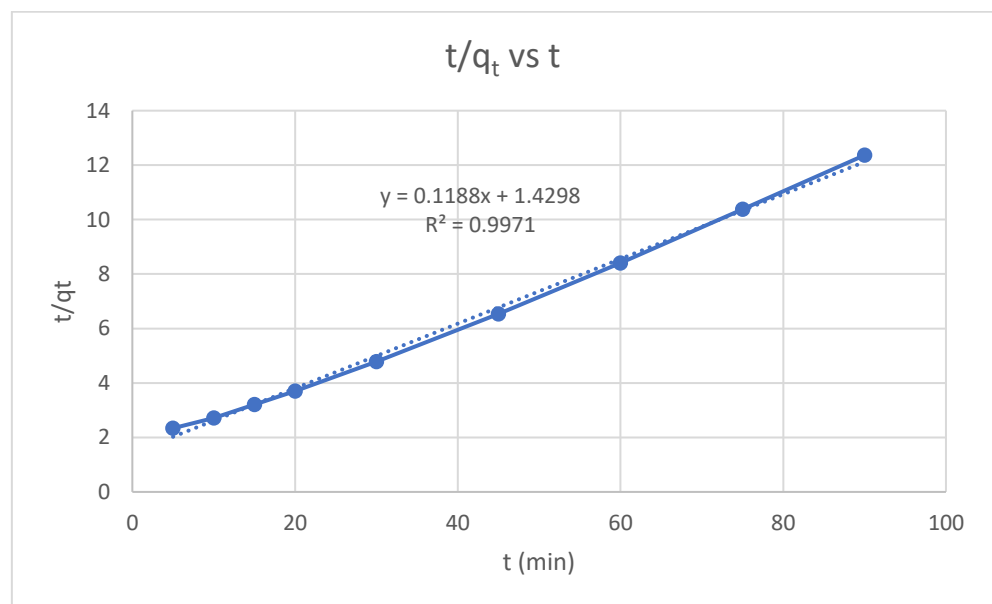
**Tabla 22**

*Datos para armar el gráfico del modelo de Pseudo-Segundo Orden*

N°	Tiempo (min)	C <sub>e</sub> (p.p.m.)	q <sub>t</sub> (mg/g)	t/q <sub>t</sub>
1	0	7,635	0,0000	0.00000
2	5	5,496	2,1390	2,337541
3	10	3,948	3,6870	2,712232
4	15	2,968	4,6670	3,214056
5	20	2,237	5,3980	3,705076
6	30	1,359	6,2760	4,780115
7	45	0,744	6,8910	6,530257
8	60	0,496	7,1390	8,404538
9	75	0,413	7,2220	10,384935
10	90	0,356	7,2790	12,364336

**Figura 41**

*Gráfica de los datos representados por el modelo cinético de Pseudo-Segundo orden.*



De las **Figuras 40 y 41** podemos observar que mediante el modelo cinético de pseudo segundo orden se logra una mejor representación de los datos obtenidos de las pruebas de adsorción con un coeficiente de determinación de 0,9971 en comparación a la cinética de pseudo primer



orden con un coeficiente de determinación de 0,7378, por lo que se puede concluir que la cinética que ocurre es una cinética donde la capacidad de adsorción depende del número de centros activos en el adsorbente y la velocidad de adsorción es regulada por procesos fisicoquímicos que ocurren durante el tiempo de contacto.

En el trabajo realizado por (Barrantes, 2017) realizó un estudio cinético de un carbón activado a partir de hueso de trucha donde le resultó también el modelo de pseudo- segundo orden el más representativo de los datos que obtuvo para adsorción de manganeso de aguas residuales de la mina. Y (Broche et al., 2022) coincide también con el modelo de pseudo- segundo orden para una estudio cinético de adsorción de azul de metileno con residuos agro industriales.





## V. CONCLUSIONES

Se pudo obtener un carbón activado con una buena capacidad de adsorción activado químicamente con ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) en una relación de activante de 1:1 (p/p) usando como material precursor a la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.).

Realizando experiencias de adsorción y un análisis de fisisorción se pudo determinar que el carbón con relación de activante 1:1 es el más eficiente para la prueba de adsorción final.

Para la prueba final de adsorción se pudo adsorber el 94,61% del tinte capilar realizando la adsorción en lecho fijo con 0,1g de adsorbente, 100ml de solución de tinte, a temperatura ambiente, en medio ácido con pH 4 de la solución y tiempo de contacto con agitación constante de 90min y a 300 RPM respectivamente.

Las isotermas de adsorción que mejor explica el fenómeno de adsorción es la isoterma de Langmuir con la que se obtiene un coeficiente de determinación de 0,9877.

El modelo cinético de Pseudo-segundo Orden es el que explica mejor el fenómeno de adsorción efectuado en las experiencias con carbón activado de cascarilla de cacao obteniendo un coeficiente de determinación de 0,9971.

De acuerdo con el gráfico de Pareto se puede concluir en que la variable de mayor significancia para la experimentación fue el pH posteriormente el tiempo y luego el peso de adsorbente, de la interacción de las variables las que tienen significancia para la experimentación fueron el pH con el tiempo y el pH con el peso de



adsorbente, sin embargo, la interacción del peso de adsorbente con el tiempo no tiene mucha significancia.



## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda lo siguiente a los futuros investigadores del tema:

La evaluación del estudio de adsorción de otras tonalidades de tinte capilar para poder describir el comportamiento del carbón activado obtenido.

Realizar el análisis de composición química del carbón activado.

Ser cuidadoso con las temperaturas de activación y secado de la cascarilla de cacao por ser este un material sensible a la temperatura.

Se recomienda verificar el efecto del pH y buscar nuevos métodos para realizar el pretratamiento de la solución del tinte capilar o realizar un post tratamiento con cal para poder regular el pH si se desea reutilizar o liberar las aguas que salen de la adsorción.

Realizar las pruebas de adsorción en sistema continuo para conocer el comportamiento del carbón activado a partir de cascarilla de cacao a diferentes cantidades de agente activante.

Activar térmicamente la cascarilla de cacao y realizar pruebas de adsorción.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, D. B. (2018). “Pruebas de adsorción y regeneración química de carbón activado granular de madera y de cáscara de coco para el tratamiento de agua residual de la industria del teñido textil.” *Tesis de Maestría*.
- Apaico, A. (2020). Capacidad de Adsorción del carbón activado a partir de residuos orgánicos para el tratamiento de aguas residuales: Revisión sistemática. *Universidad Andina Del Cusco*, 1–118.  
[http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez\\_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Asqui, N. R. (2023). *Adsorción de metales As y Pb en aguas de pozos tubulares del centro poblado Villa Asunción Accaso - Pilcuyo con carbón activado obtenido de tallos de quinua (Chenopodium quinoa)*. 129.  
[https://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/19842/Asqui\\_Cabrera\\_No\\_rka\\_Rosmary.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/19842/Asqui_Cabrera_No_rka_Rosmary.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Aymat, E. (2017). *Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales Diseño de un sistema de tratamiento Director: Escola Tècnica Superior d' Enginyeria Industrial de Barcelona*.
- Azizian, S. (2004). Kinetic models of sorption: A theoretical analysis. *Journal of Colloid and Interface Science*, 276(1), 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.03.048>
- Barcelo, D., & Lopez, M. J. (2008). “Contaminación y calidad química del agua: El problema de los contaminantes emergentes.” *Fundación Nueva Cultura Del Agua*, 27.



- Barrantes, F. (2017). Cinética de Adsorción del Mn(+2) de las aguas residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas. *Universidad Nacional Del Altiplano*, 128. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/11358>
- Benaiges, A. (2007). Tintes capilares: evolución histórica y situación actual. *Offarm: Farmacia y Sociedad*, 26(10), 68–72.
- Broche, M., Rodríguez, I., Pérez, M., & Prieto, J. (2022). Equilibrio y modelos cinéticos en la adsorción de azul de metileno sobre residuos agroindustriales Equilibrium and kinetic models in the adsorption of methylene blue on agro-industrial wastes. *Tecnología Química*, 42(3), 420–434. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852022000300420&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852022000300420&script=sci_arttext&tlng=en)
- Burgos, G., & Jaramillo, J. (2015). “Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el cantón milagro, provincia del guayas.” 16.1.2015.
- Calderón, E. A. (2008). “Adsorción de tintes textiles reactivos presentes en aguas residuales de la industria textil nacional mediante el uso de carbón activado.” *Universidad de Los Andes*, 69–73.
- Cardona, M. G., Sorza, J. D., Posada, S. L., Carmona, J. C., Ayala, S. A., & Alvarez, O. L. (2002). Establecimiento de una base de datos para la elaboración de tablas de contenido nutricional de alimentos para animales. *Revista de Ciencias Pecuarias de Colombia*, 15(2), 240–246.
- Carolin, C. F., Kumar, P. S., Saravanan, A., Joshiba, G. J., & Naushad, M. (2017). Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic



- environment: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(3), 2782–2799. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.05.029>
- Carrasco, B. S., & Londa, E. G. (2018). *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco “Cocos Nucifera L.”* <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31705>
- Carrillo, C., Albarracin, J., & Pereira, X. (2013). Producción de carbón activado y sílice a partir de cascarilla de arroz - una revisión. *Scientia et Technica*, 18(2), 422–429. [file:///C:/Users/LUIS CUENCA/Downloads/7855-11071-3-PB \(1\).pdf](file:///C:/Users/LUIS%20CUENCA/Downloads/7855-11071-3-PB%20(1).pdf)
- Castro, M. F., & Salazar, V. (2020). *Evaluación de la remoción del colorante RB46 mediante carbón activado partiendo de fique a nivel laboratorio*. 121.
- Challco, A. V. (2022). *Electrocoagulación acoplada a un sistema de microfiltración membrana/adsorbente en el tratamiento de efluentes residuales provenientes del curtido de pieles en una industria de curtido del parque industrial de Río Seco - Arequipa - Perú*. 1–153.
- Colpas, F., Tarón, A., & González, R. (2017). Área superficial de carbones activados y modificados obtenidos del recurso agrícola *Saccharum officinarum*. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2), 62–72. <https://doi.org/10.22267/rcia.173402.72>
- Correa, A. (2016). *Aprovechamiento de residuos lignocelulosicos para producción de biocombustibles y bioproductos TESIS DOCTORAL : Presentada por Viviane da Silva Lacerda para Jesús Martín-Gil. September 2015.* <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4262.7042>
- Ebele, A. J., Abou-Elwafa Abdallah, M., & Harrad, S. (2017). Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. *Emerging*



*Contaminants*, 3(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2016.12.004>

- Ensuncho, A. E., Milanés, N., & Robles, J. R. (2015). Remoción del colorante rojo allura en solución acuosa utilizando carbones activados obtenidos de desechos agrícolas. *Informacion Tecnologica*, 26(2), 69–78. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200009>
- Gómez, A., Rincón, S., & Klose, W. (2006). Carbón activado de cuesco de palma. In *kassel alemania* (Vol. 29, Issue 1). <https://doi.org/10.1157/13083256>
- González, B. (2017). Desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico. *Departamento De Ingeniería Química Y Biotecnología Desarrollo, Tesis de licenciatura*, 19.
- Guerra, A., & Gonzalez, E. (2014). Cosméticos capilares: tintes. *Actas Dermo-Sifiliográficas*, 105(9), 833–839. <https://doi.org/10.1016/j.ad.2014.02.004>
- Hilasaca, Y. P. (2008). “ Cinética de la bioadsorción de metales pesados de las aguas de la bahía interior del lago titicaca mediante el uso de biopolimeros naturales, (cáscara de cacao).” *Tesis*, 1–142. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza\\_Mamani\\_Joel\\_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- jacorol. (2013). Intermediates Built on Over 100 Years ' Experience in Chemistry . *Vivimed*. <https://biokhim.com/data2/Vivimed/Vivimed catalog dyes.pdf>
- Jawad, A. H., Mohd Firdaus Hum, N. N., Abdulhameed, A. S., & Mohd Ishak, M. A. (2022). Mesoporous activated carbon from grass waste via H3PO4-activation for methylene blue dye removal: modelling, optimisation, and mechanism study. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(17), 6061–6077.



<https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1807529>

Kalvathev, Z., Garzaro, D., & Guerra, F. (1998). Theobroma Cacao L. : Un nuevo enfoque para nutrición y salud. *Agroalimentaria*, 6, 23–25.

Liang, Q., Liu, Y., Chen, M., Ma, L., Yang, B., Li, L., & Liu, Q. (2019). Optimized preparation of activated carbon from coconut shell and municipal sludge. *Materials Chemistry and Physics*, 241, 122327.  
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122327>

Machado, G. (2015). “Quinoa (*Chenopodium quinoa*), Amaranto (*Amaranthus caudatus*) Y Arginina como ingredientes protectores en tintes para cabello.” 1–117.

Macías, G. M. (2021). *Aprovechamiento De Residuos De cáscara de cacao en la obtención de carbón activado para ser usado como medio filtrante.*  
<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6208>

Marín, C., & Colina, G. (2013). *Manual de prácticas de análisis de aguas y de residuos líquidos. 1*, 1–159.

MIDAGRI. (2020). MIDAGRI El cacao en el Perú.pdf. *Producción Nacional de Cacao En Grano Creció En La Última Década En Un 12.6% En El Perú.*

MIDAGRI. (2023). *MIDAGRI 2022 CACAO.pdf.*  
<https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/751663-midagri-se-encuentra-comprometido-en-impulsar-la-competitividad-de-la-cadena-del-valor-del-cacao>

Moreno, A., Ríos, C., & Flores, S. (2021). Carbón activado : generalidades y aplicaciones . Activated carbon : generalities and applications . *CienciaAcierta*, 66, 88–114.  
<http://www.cienciacierta.uadec.mx/articulos/CC66/carbonactivado.pdf>





- Ordoñez, A. (2022). *Aprovechamiento De Cáscaras De Cacao Y De Plátano Como Materia Prima Para La Obtención De Carbón Activado*.  
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/65356>
- Osorio, J. (2022). “*Remoción de colorantes en agua residual textil mediante adsorción con carbón activado obtenido de residuos orgánicos de coco y platano macho.*”
- Pacheco, A. R. (2021). *Evaluación de la remoción del tinte azul plata en una muestra de agua utilizando corbón activado obtenido a partir de cáscaras de bananas*. 88.
- Peña-Guzmán, C., Ulloa-Sánchez, S., Mora, K., Helena-Bustos, R., Lopez-Barrera, E., Alvarez, J., & Rodriguez-Pinzón, M. (2019). Emerging pollutants in the urban water cycle in Latin America: A review of the current literature. *Journal of Environmental Management*, 237(February), 408–423.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.100>
- Peña, C., Ulloa, S., Mora, K., Helena, R., Lopez, E., Alvarez, J., & Rodriguez, M. (2019). Emerging pollutants in the urban water cycle in Latin America: A review of the current literature. *Journal of Environmental Management*, 237, 408–423.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.100>
- Porada, S., Zhao, R., Van Der Wal, A., Presser, V., & Biesheuvel, P. M. (2013). Review on the science and technology of water desalination by capacitive deionization. *Progress in Materials Science*, 58(8), 1388–1442.  
<https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.03.005>
- Quintero, A., Ayala, C., Gallignani, M., Quiroz, C., Brunetto, M., & Delgado, Y. (2016). Determinación de fosfatos en fertilizantes mediante espectroscopia en el infrarrojo medio por transformadas de Fourier en modo Reflectancia Total Atenuada. *Avances*



- En Quimica, 11(3), 99–104.*
- Quiroa, Y. (2020). “ *Determinacion De Sustancias Toxicas Producen a La Salud En La Region Callao .*” 2020.
- Romero, C., Urrego, E., & Acosta, J. (2016). *Situación Actual y Perspectivas en el Mercado Nacional e Internacional al 2015 AUTOR: MINAGRI-DGPA-DEEIA EDICIÓN Y DISEÑO: MINAGRI-DEEIA Diseño de carátula y contenido.* 1–90.
- Ruiz, A. P. (2018). Obtencion de carbon activado a partir de cascara de naranja (*Citrus sinensis* L. Obseck) y su aplicacion como adsorbente de plomo (II) en disolucion acuosa. *Universidad Nacional Agraria La Molina, Ii, 116.*  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4043/ruiz-menendez-amparo-patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sahoo, T. R., & Prelot, B. (2020). Adsorption processes for the removal of contaminants from wastewater: The perspective role of nanomaterials and nanotechnology. In *Nanomaterials for the Detection and Removal of Wastewater Pollutants*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818489-9.00007-4>
- Sánchez, A. G. (2013). *Hueso de aguacate “hass” como precursor de carbón nanoporoso y su evaluación como electrodos de capacitores electroquímicos.*  
<https://eprints.uanl.mx/19361/>
- Sangronis, E., Soto, M. J., Valero, Y., & Buscema, I. (2014). Cascarilla de cacao Venezolano como materia prima de infusiones. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion, 64(2), 123–130.*
- Soto, M. J. (2012). Desarrollo Del Proceso De Producción De Cascarilla De Semilla De Cacao En Polvo Destinada Al Consumo Humano. *Universidad Simón Bolívar, 69.*



<http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/07/000155680.pdf>

- Trelles, J. A. (2013). *Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomásas vegetales inertes*. 1–109.
- Ures, P., Suárez, J., & Jácome, A. (2015). Adsorción en carbón activo. *Water and Environmental Engineering Group*.
- Velázquez, A., Bolaños, E., & Pliego, Y. S. (2010). Optimization of activated carbon production from bamboo. *Revista Mexicana de Ingeniera Química*, 9(3), 359–366.
- Vidal, M. V, Rodríguez Suarez, A., Barrios, K. M., Ocampo Pérez, J., & Lara, W. B. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión Potential of agroindustrial waste for the synthesis of activated carbon: a review. *Scientia et Technica Año XXIII*, 23(03), 411–419.
- Villamizar Jaimes, A. R., & López Giraldo, L. J. (2017). Cáscara de cacao fuente de polifenoles y fibra: simulación de una planta piloto para su extracción. *Respuestas*, 22(1), 75–83. <https://doi.org/10.22463/0122820x.821>
- Vivanco, E., Matute, L., & Campo, M. (2017). Caracterización fisicoquímica de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedades nacional y CCN51. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

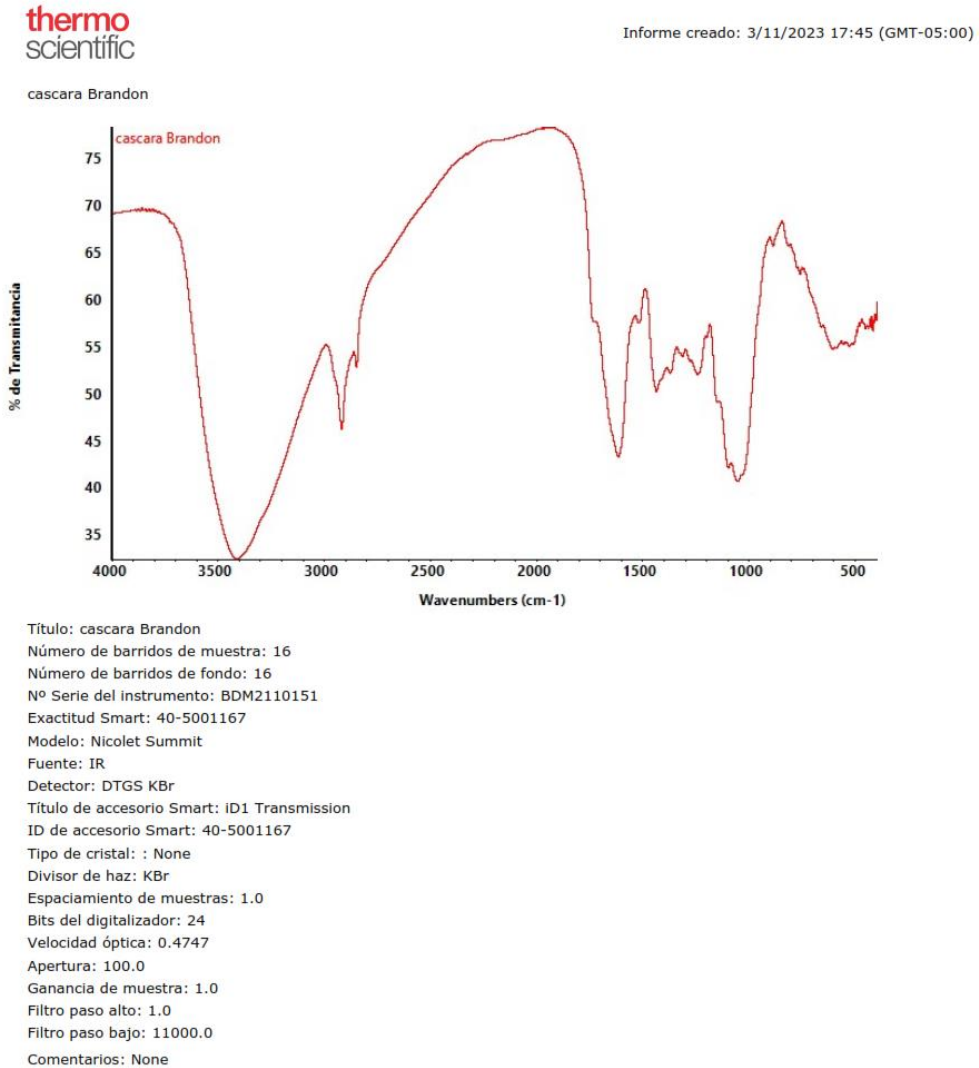


## ANEXOS

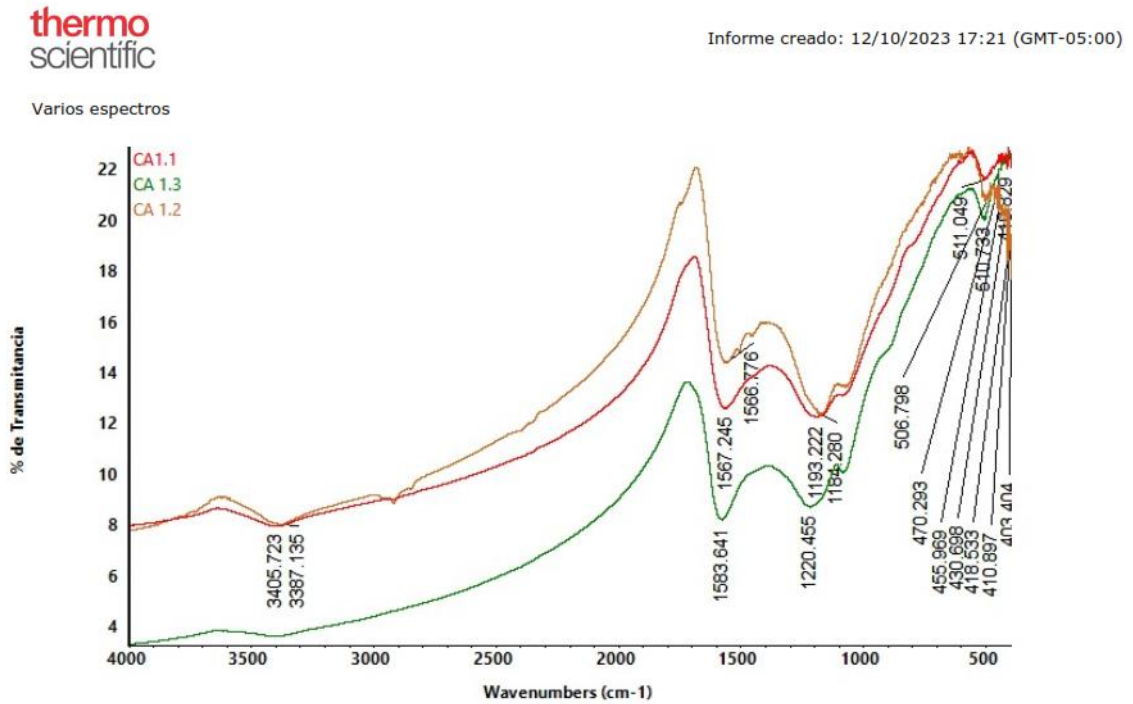


## VII. ANEXOS

### ANEXO 1: Informe de análisis FTIR de la cascara de cacao



## ANEXO 2: Informe de análisis FTIR de los tres carbones preparados



Título: CA1.1  
Número de barridos de muestra: 16  
Número de barridos de fondo: 16  
Nº Serie del instrumento: BDM2110151  
Exactitud Smart: 40-5001167  
Modelo: Nicolet Summit  
Fuente: IR  
Detector: DTGS KBr  
Título de accesorio Smart: iD1 Transmission  
ID de accesorio Smart: 40-5001167  
Tipo de cristal: : None  
Divisor de haz: KBr  
Espaciamento de muestras: 1.0  
Bits del digitalizador: 24  
Velocidad óptica: 0.4747  
Apertura: 100.0  
Ganancia de muestra: 1.0  
Filtro paso alto: 1.0  
Filtro paso bajo: 11000.0  
Comentarios: None

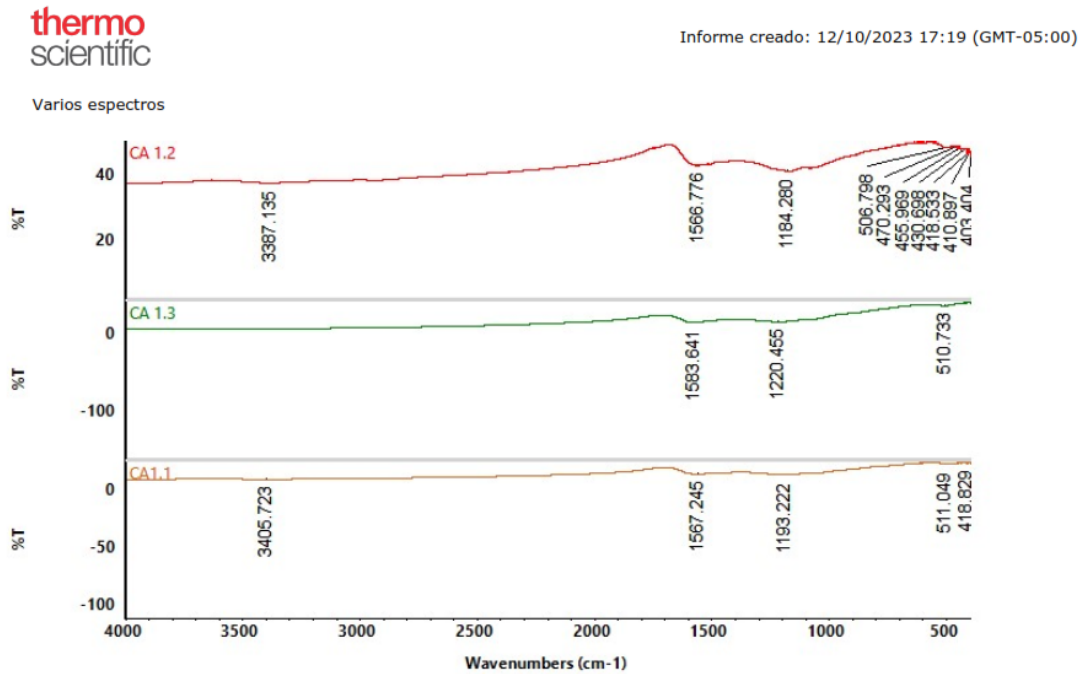
Título: CA 1.3  
Número de barridos de muestra: 16  
Número de barridos de fondo: 16  
Nº Serie del instrumento: BDM2110151  
Exactitud Smart: 40-5001167  
Modelo: Nicolet Summit  
Fuente: IR  
Detector: DTGS KBr



Título de accesorio Smart: iD1 Transmission  
ID de accesorio Smart: 40-5001167  
Tipo de cristal: : None  
Divisor de haz: KBr  
Espaciamiento de muestras: 1.0  
Bits del digitalizador: 24  
Velocidad óptica: 0.4747  
Apertura: 100.0  
Ganancia de muestra: 1.0  
Filtro paso alto: 1.0  
Filtro paso bajo: 11000.0  
Comentarios: None

Título: CA 1.2  
Número de barridos de muestra: 16  
Número de barridos de fondo: 16  
Nº Serie del instrumento: BDM2110151  
Exactitud Smart: 40-5001167  
Modelo: Nicolet Summit  
Fuente: IR  
Detector: DTGS KBr  
Título de accesorio Smart: iD1 Transmission  
ID de accesorio Smart: 40-5001167  
Tipo de cristal: : None  
Divisor de haz: KBr  
Espaciamiento de muestras: 1.0  
Bits del digitalizador: 24  
Velocidad óptica: 0.4747  
Apertura: 100.0  
Ganancia de muestra: 1.0  
Filtro paso alto: 1.0  
Filtro paso bajo: 11000.0  
Comentarios: None

### ANEXO 3: Informe de análisis de espectros FTIR por separado de los 3 carbones preparados.



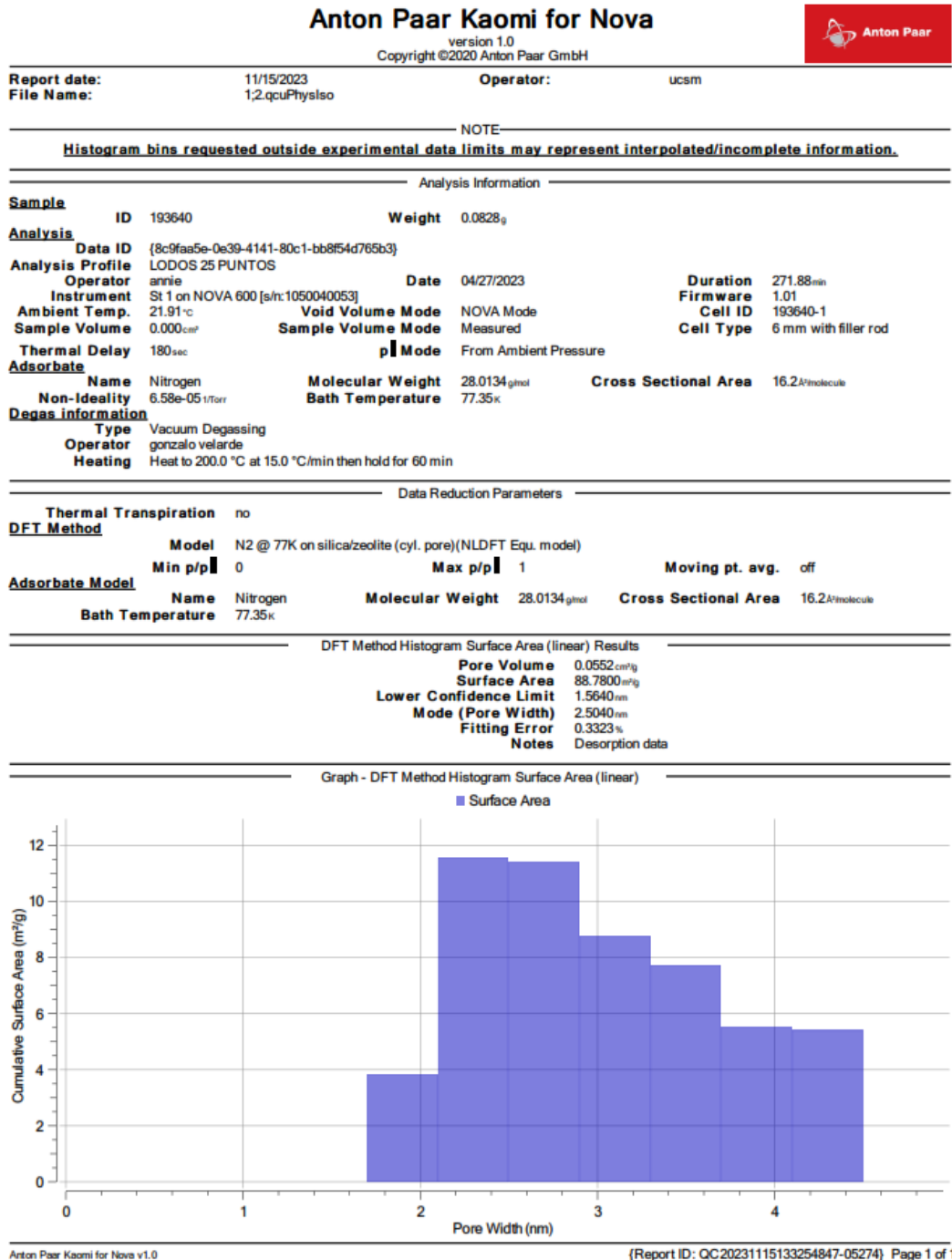
Título: CA 1.2  
Número de barridos de muestra: 16  
Número de barridos de fondo: 16  
Nº Serie del instrumento: BDM2110151  
Exactitud Smart: 40-5001167  
Modelo: Nicolet Summit  
Fuente: IR  
Detector: DTGS KBr  
Título de accesorio Smart: iD1 Transmission  
ID de accesorio Smart: 40-5001167  
Tipo de cristal: : None  
Divisor de haz: KBr  
Espaciamiento de muestras: 1.0  
Bits del digitalizador: 24  
Velocidad óptica: 0.4747  
Apertura: 100.0  
Ganancia de muestra: 1.0  
Filtro paso alto: 1.0  
Filtro paso bajo: 11000.0  
Comentarios: None

Título: CA 1.3  
Número de barridos de muestra: 16  
Número de barridos de fondo: 16  
Nº Serie del instrumento: BDM2110151  
Exactitud Smart: 40-5001167  
Modelo: Nicolet Summit  
Fuente: IR  
Detector: DTGS KBr



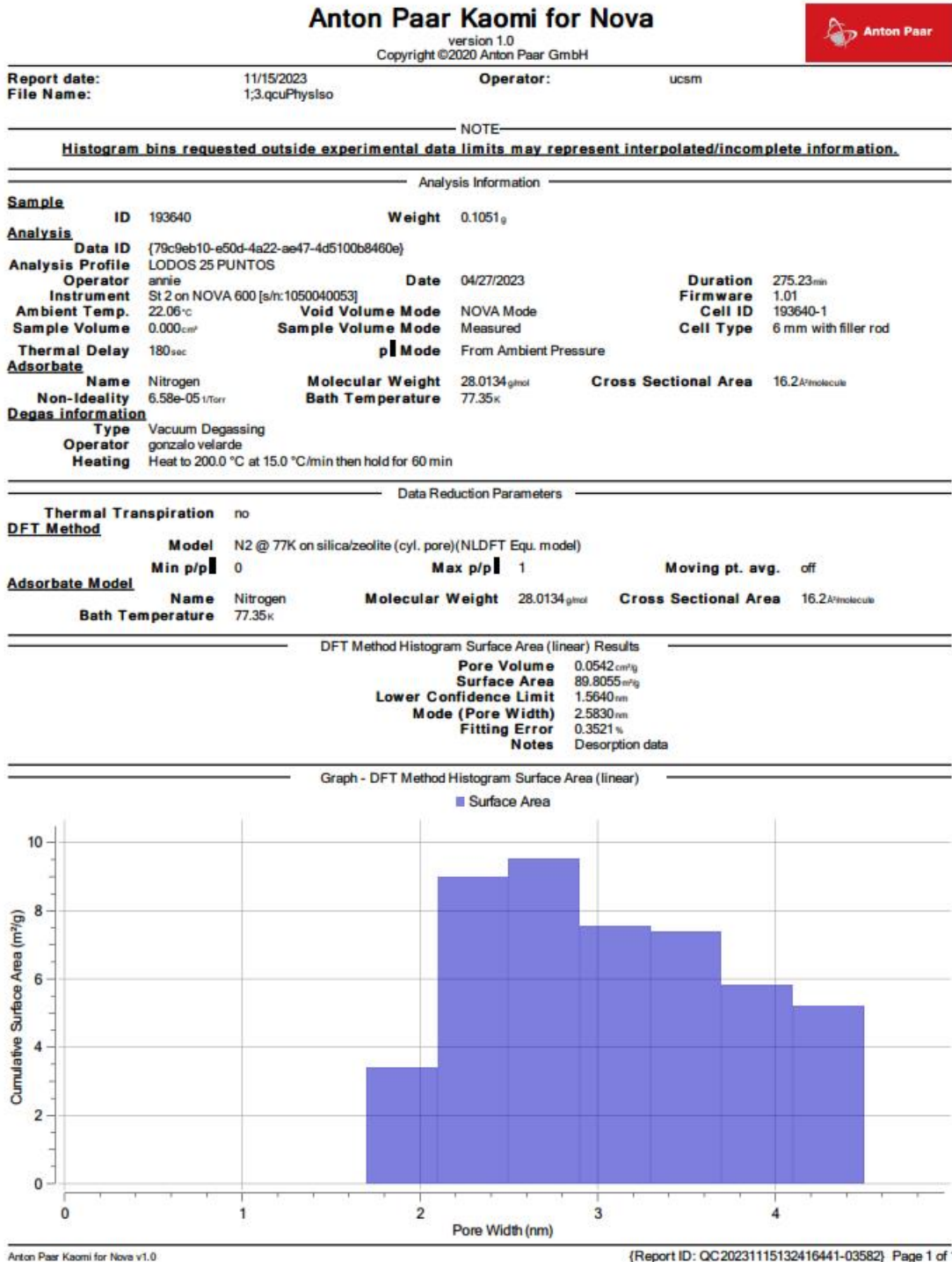


## ANEXO 4: Informe de Fisisorción del carbón activado bajo la relación 1:2





## ANEXO 5: Informe de Fisorción del carbón activado bajo la relación 1:3





## ANEXO 6: Análisis ANOVA del tiempo de adsorción óptimo en el programa

MiniTab.

HOJA DE TRABAJO 1

### ANOVA de un solo factor: %Remocion 1 vs. Tiempo

#### Método

Hipótesis nula      Todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna    No todas las medias son iguales  
Nivel de significancia    $\alpha = 0.05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

#### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tiempo	10	0, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 75, 90

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	9	23149.1	2572.13	521.16	0.000
Error	20	98.7	4.94		
Total	29	23247.9			

#### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
2.22158	99.58%	99.38%	99.04%

#### Medias

Tiempo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	3	8.427	0.760	(5.751, 11.102)
5	3	33.76	2.78	(31.08, 36.43)
10	3	52.083	1.417	(49.408, 54.759)
15	3	63.69	4.08	(61.01, 66.37)
20	3	72.34	3.00	(69.66, 75.02)
30	3	82.74	3.07	(80.06, 85.42)
45	3	90.020	1.457	(87.344, 92.696)
60	3	92.957	0.859	(90.281, 95.632)
75	3	93.947	0.746	(91.271, 96.622)
90	3	94.607	0.786	(91.931, 97.282)

*Desv.Est. agrupada = 2.22158*

#### Comparaciones en parejas de Tukey



### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tiempo	N	Media	Agrupación
90	3	94.607	A
75	3	93.947	A
60	3	92.957	A
45	3	90.020	A
30	3	82.74	B
20	3	72.34	C
15	3	63.69	D
10	3	52.083	E
5	3	33.76	F
0	3	8.427	G

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

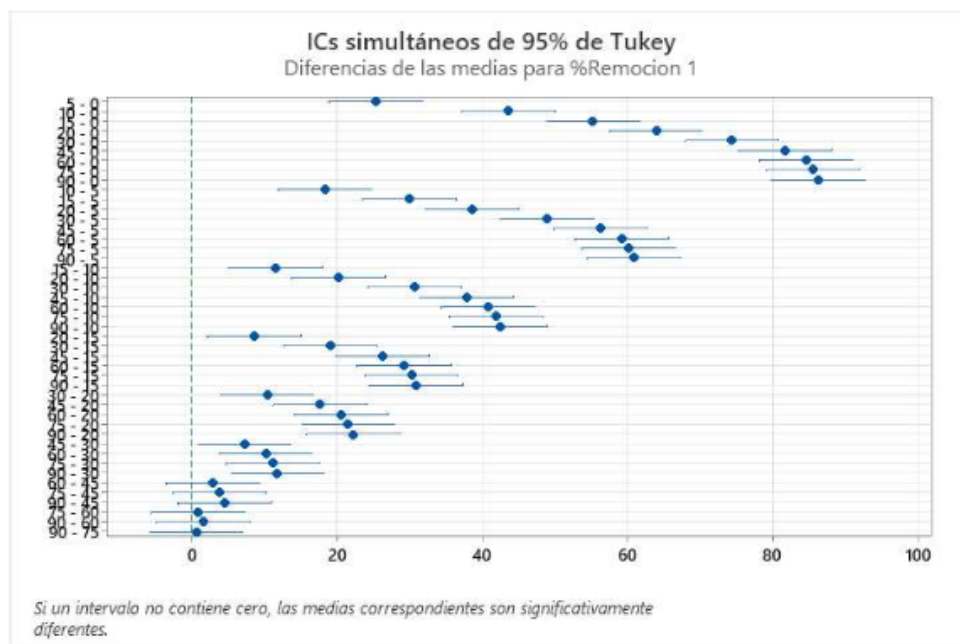
### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

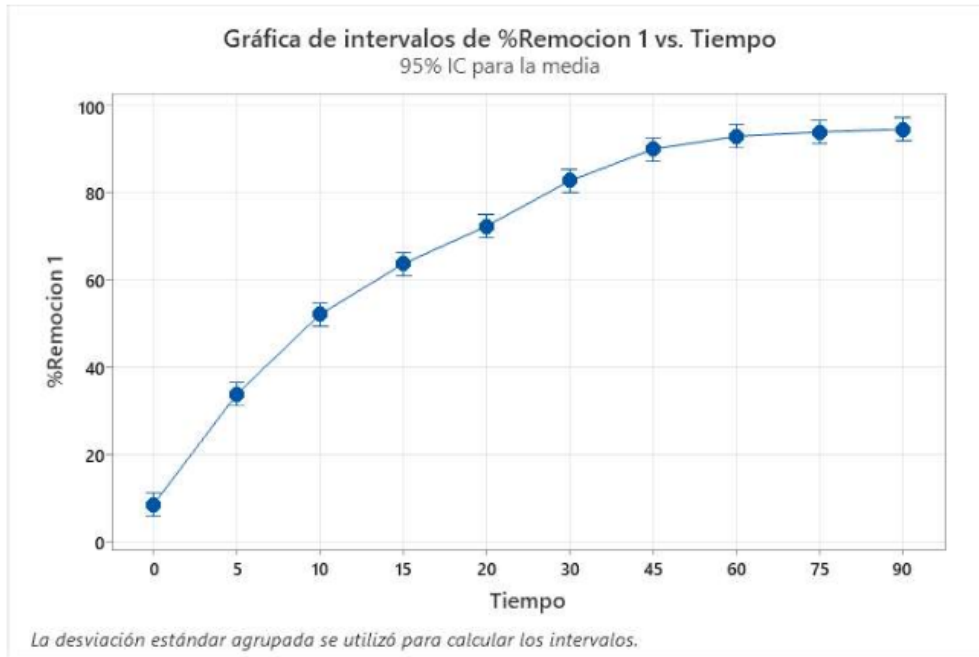
Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
5 - 0	25.33	1.81	(18.90, 31.76)	13.96	0.000
10 - 0	43.66	1.81	(37.23, 50.08)	24.07	0.000
15 - 0	55.26	1.81	(48.84, 61.69)	30.47	0.000
20 - 0	63.91	1.81	(57.49, 70.34)	35.24	0.000
30 - 0	74.31	1.81	(67.89, 80.74)	40.97	0.000
45 - 0	81.59	1.81	(75.17, 88.02)	44.98	0.000
60 - 0	84.53	1.81	(78.10, 90.96)	46.60	0.000
75 - 0	85.52	1.81	(79.09, 91.95)	47.15	0.000
90 - 0	86.18	1.81	(79.75, 92.61)	47.51	0.000
10 - 5	18.33	1.81	(11.90, 24.75)	10.10	0.000
15 - 5	29.93	1.81	(23.51, 36.36)	16.50	0.000
20 - 5	38.58	1.81	(32.16, 45.01)	21.27	0.000
30 - 5	48.98	1.81	(42.56, 55.41)	27.00	0.000
45 - 5	56.26	1.81	(49.84, 62.69)	31.02	0.000
60 - 5	59.20	1.81	(52.77, 65.63)	32.64	0.000
75 - 5	60.19	1.81	(53.76, 66.62)	33.18	0.000
90 - 5	60.85	1.81	(54.42, 67.28)	33.55	0.000
15 - 10	11.61	1.81	(5.18, 18.03)	6.40	0.000
20 - 10	20.26	1.81	(13.83, 26.68)	11.17	0.000
30 - 10	30.66	1.81	(24.23, 37.08)	16.90	0.000
45 - 10	37.94	1.81	(31.51, 44.36)	20.91	0.000
60 - 10	40.87	1.81	(34.45, 47.30)	22.53	0.000
75 - 10	41.86	1.81	(35.44, 48.29)	23.08	0.000
90 - 10	42.52	1.81	(36.10, 48.95)	23.44	0.000
20 - 15	8.65	1.81	(2.22, 15.08)	4.77	0.004
30 - 15	19.05	1.81	(12.62, 25.48)	10.50	0.000
45 - 15	26.33	1.81	(19.90, 32.76)	14.52	0.000
60 - 15	29.27	1.81	(22.84, 35.69)	16.13	0.000
75 - 15	30.26	1.81	(23.83, 36.68)	16.68	0.000
90 - 15	30.92	1.81	(24.49, 37.34)	17.04	0.000
30 - 20	10.40	1.81	(3.97, 16.83)	5.73	0.000



45 - 20	17.68	1.81	(11.25, 24.11)	9.75	0.000
60 - 20	20.62	1.81	(14.19, 27.04)	11.37	0.000
75 - 20	21.61	1.81	(15.18, 28.03)	11.91	0.000
90 - 20	22.27	1.81	(15.84, 28.69)	12.28	0.000
45 - 30	7.28	1.81	(0.85, 13.71)	4.01	0.019
60 - 30	10.22	1.81	(3.79, 16.64)	5.63	0.001
75 - 30	11.21	1.81	(4.78, 17.63)	6.18	0.000
90 - 30	11.87	1.81	(5.44, 18.29)	6.54	0.000
60 - 45	2.94	1.81	(-3.49, 9.36)	1.62	0.824
75 - 45	3.93	1.81	(-2.50, 10.35)	2.16	0.508
90 - 45	4.59	1.81	(-1.84, 11.01)	2.53	0.311
75 - 60	0.99	1.81	(-5.44, 7.42)	0.55	1.000
90 - 60	1.65	1.81	(-4.78, 8.08)	0.91	0.994
90 - 75	0.66	1.81	(-5.77, 7.09)	0.36	1.000

Nivel de confianza individual = 99.80%





## ANEXO 7: Preparación de la materia prima (Reducción de tamaño y tamizado)





**ANEXO 8:** Preparación del carbón activado (Secado de la materia prima)

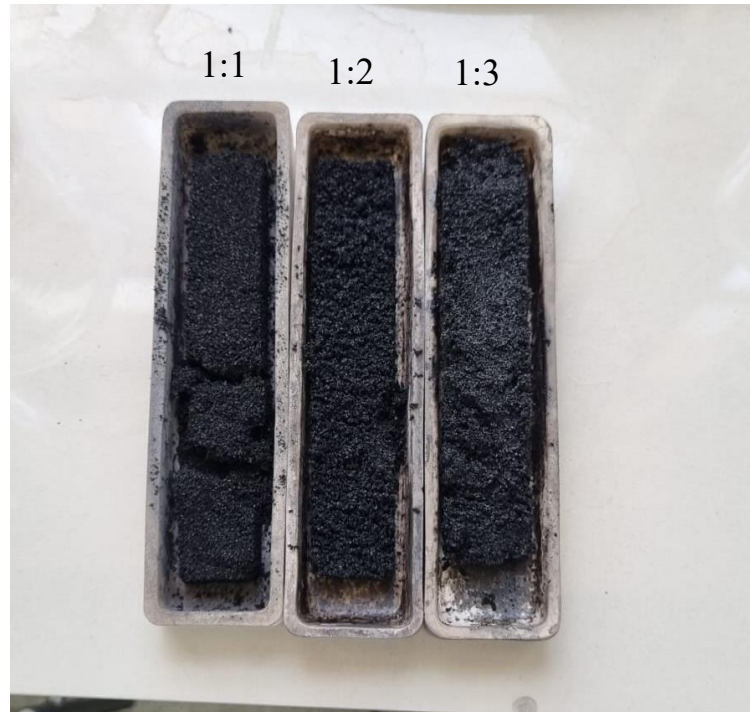




### ANEXO 9: Materia prima impregnada con $H_3PO_4$



### ANEXO 10: Materia prima carbonizada y activada

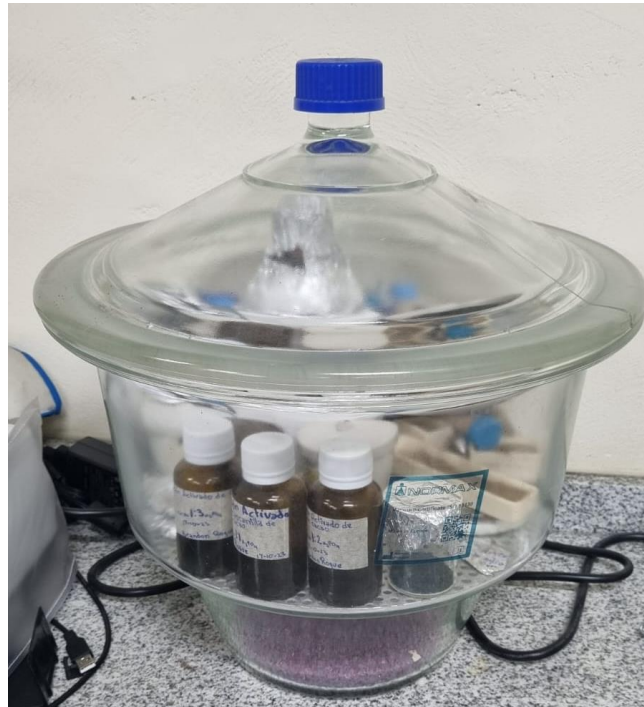


### ANEXO 11: Lavado y neutralización de carbón Activado.



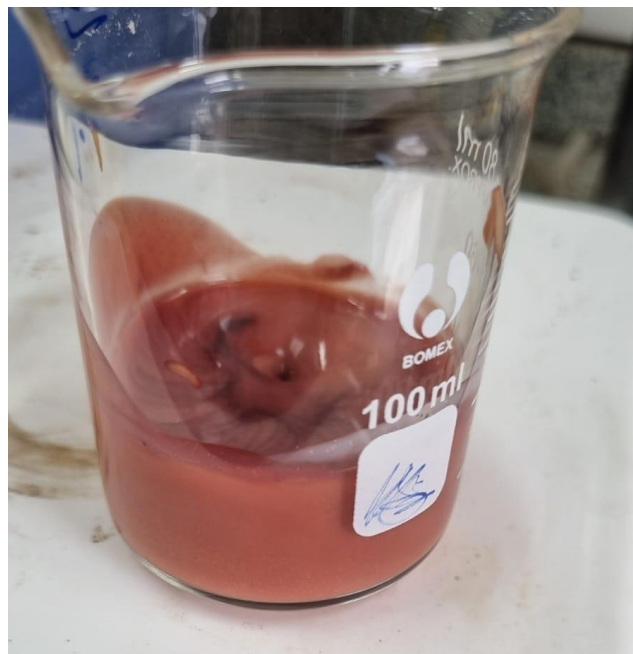
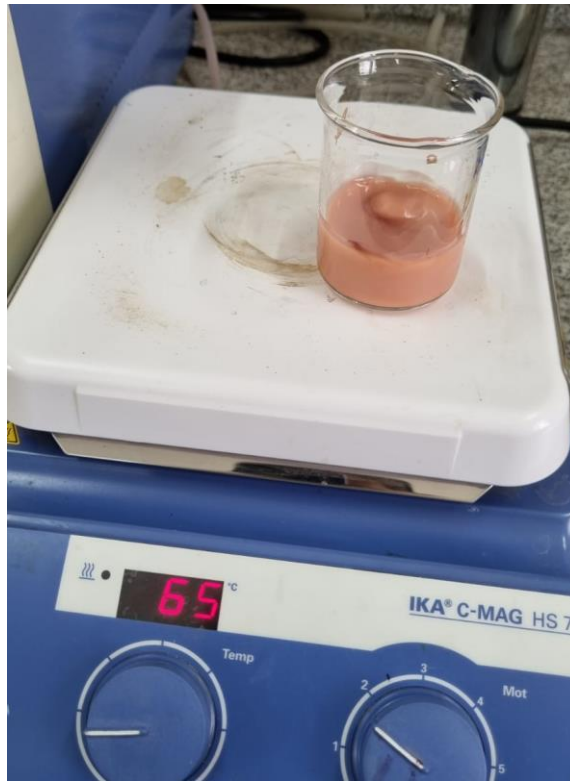


## ANEXO 12: Rotulado y conservación del carbón activado

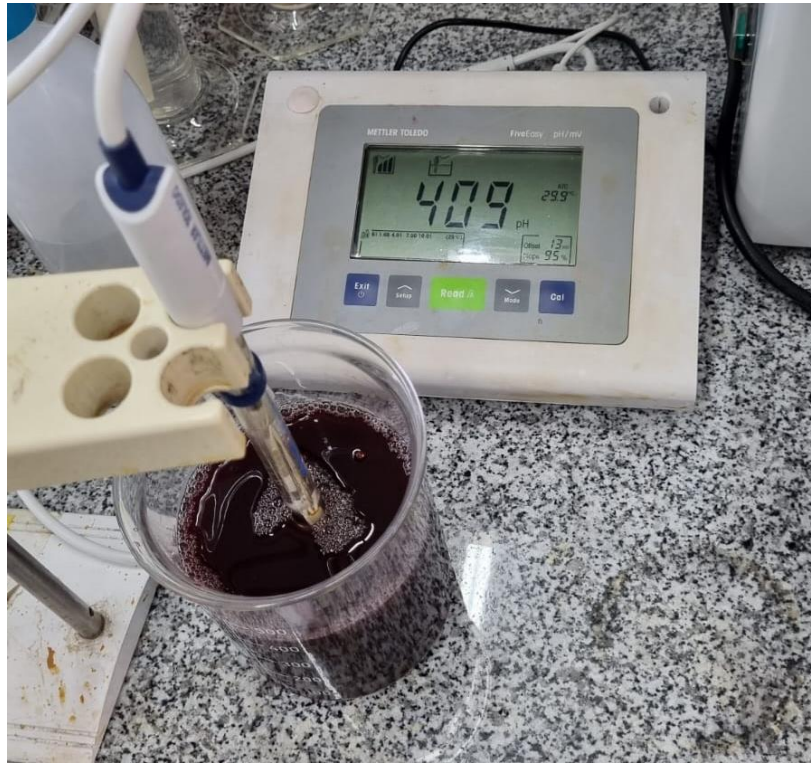


### ANEXO 13: Preparación del tinte capilar

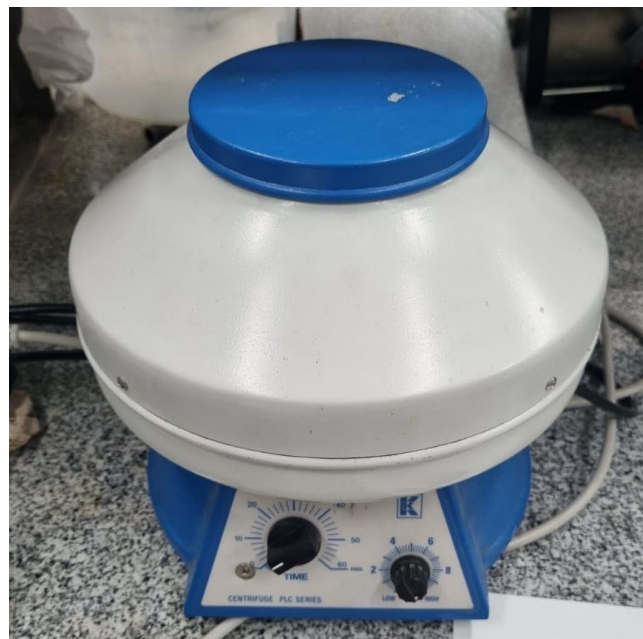
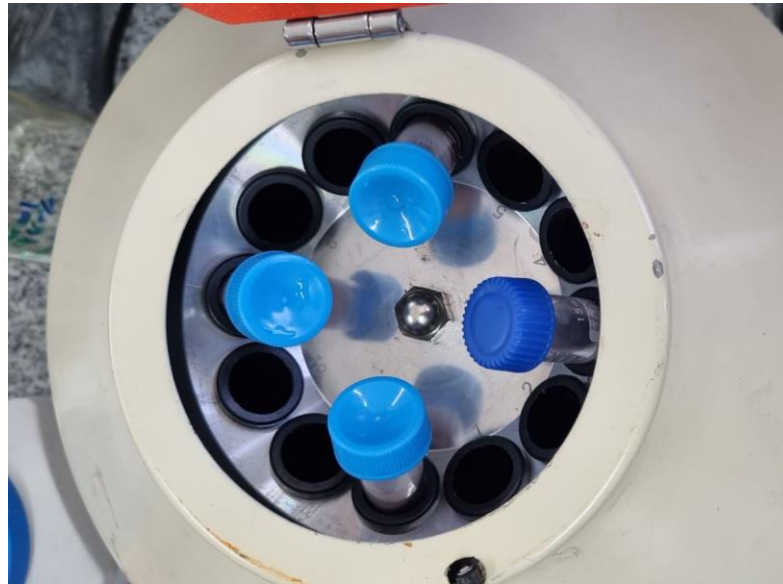




### ANEXO 14: Precipitación ácida de la muestra de tinte capilar CV.



### ANEXO 15: Centrifugación de muestras precipitadas de la solución de tinte capilar CV



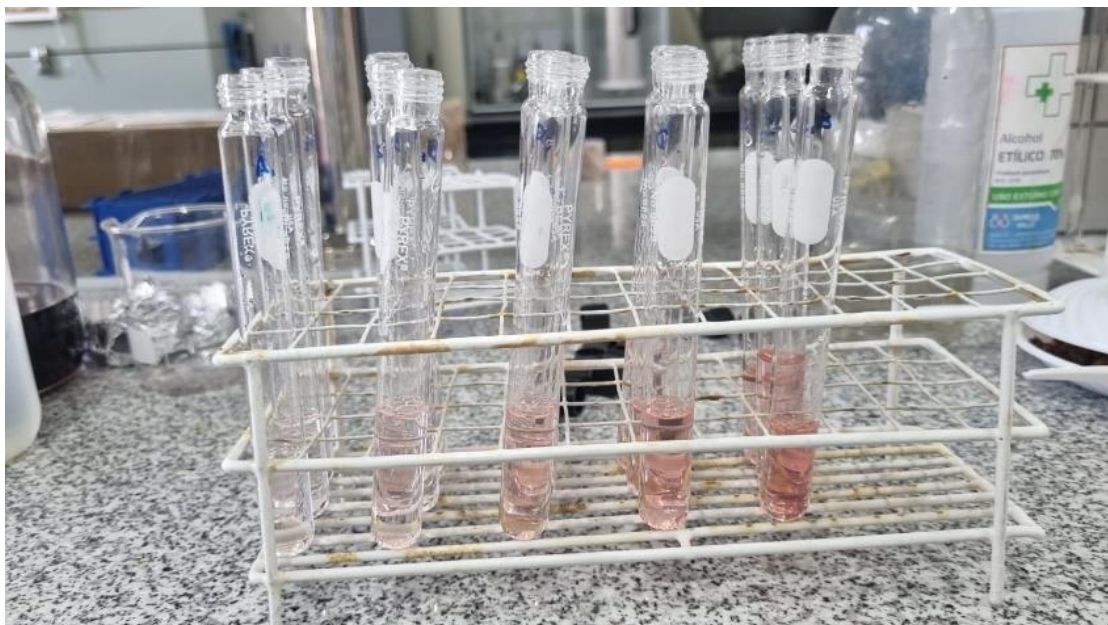
### ANEXO 16: Filtración de la solución de tinte después de la acidificación

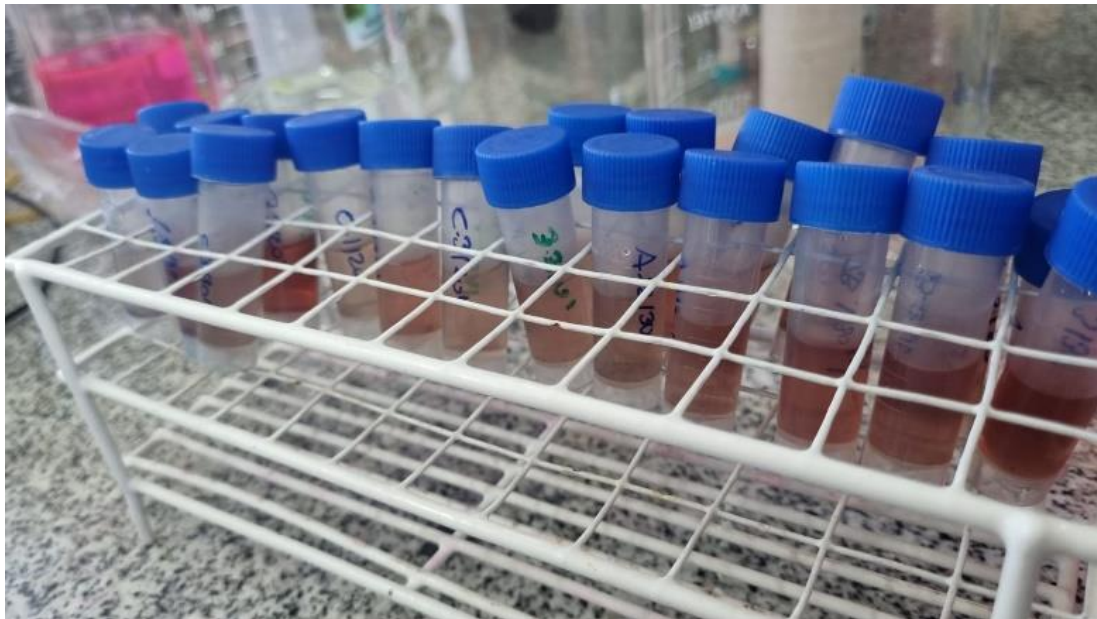


### Anexos 17: Pruebas de adsorción con los 3 carbones preparados.

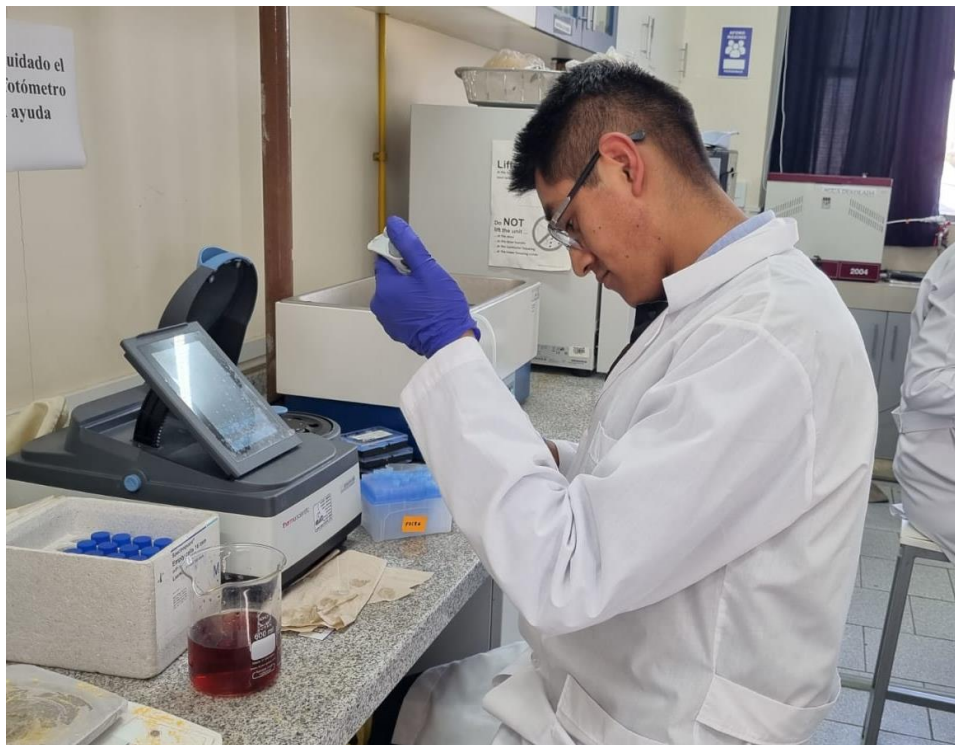








**ANEXO 18:** Lectura de absorbancias en el espectrofotómetro UV – Vis



## ANEXO 19: Equipo de fisisorción.





## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Brandon Christopher Roque Mamani,  
identificado con DNI 72627769 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Química

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
"Cinética de adsorción del tinte capilar castaño violeta  
utilizando carbón activado obtenido a partir de la cascarilla  
del cacao (*Theobroma cacao* L.) de soluciones Acuosas"

Es un tema original.


Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 25 de enero del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Brandon Cristopher Roque Mamani,  
identificado con DNI 72627769 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Química

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"Cinética de adsorción del tinte capilar castaño violeta utilizando carbón activado obtenido a partir de la cascavilla de cacao (Theobroma cacao L.) de soluciones acuosas"

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 25 de enero del 2024

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA (obligatoria)



Huella