

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ADSORBENTE DE LA  
CÁSCARA DE MANÍ PARA LA ELIMINACIÓN DE CAFEÍNA Y  
TRICLOSÁN CONTENIDOS EN AGUA MEDIANTE ENSAYOS  
BATCH**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
AMBIENTAL**

**AUTOR: MAYRA ALEJANDRA FRUTOS GUEVARA**  
mayralejandrafrutos@gmail.com

**DIRECTOR: CRISTINA ELIZABETH ALMEIDA NARANJO**  
cristina.almeida@epn.edu.ec

**CO-DIRECTOR: MARÍA BELÉN ALDÁS SANDOVAL**  
maria.aldas@epn.edu.ec

**Quito, julio 2020**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Mayra Alejandra Frutos Guevara, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

MAYRA ALEJANDRA FRUTOS GUEVARA

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Mayra Alejandra Frutos Guevara, bajo nuestra supervisión.

---

ING. CRISTINA ELIZABETH  
ALMEIDA NARANJO

---

ING. MARÍA BELÉN ÁLDAS  
SANDOVAL

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por bendecirme con mucho más de lo que necesito, por su amor infinito y por no soltarme en ningún momento.

A mi padre y a mi madre por todos los sacrificios que han hecho por mí, por sus enseñanzas y por todo el cariño que me han dado, porque gracias a ellos he podido llegar hasta aquí.

A mi hermanita por su apoyo incondicional, sus consejos y sobre todo por ser mi impulso en muchas ocasiones.

A Liz a quien considero mi hermana mayor quien ha sabido escucharme, aconsejarme y regañarme cuando ha sido necesario.

A Juan Daniel una persona llena de luz quien han sido mi amigo incondicional sin importar la situación, siempre apoyándome y brindándome sus palabras de aliento.

A mis amigas de toda la vida Kathya, Mishell, Daniela, Melisa y Vane quienes a pesar de la distancia y el tiempo siempre han estado junto a mí, apoyándome y enseñándome que no se necesita pensar de la misma manera para estar juntas, pero si se requiere de respeto y cariño.

A mis amigos de la universidad Jennifer T., Sandy, Pauli, Gianni, Negro, Tami, Ronny, Parce, Adrián, Fabri, Gene, Dayo, Vane y a cada una de las personas con las que me encontré en la universidad porque cada uno tiene un espacio en mi corazón, y cada uno de ellos ha sabido mostrarme un poquito de sí, que ha hecho que algo cambie dentro de mí, permitiéndome crecer espiritual, mental y psicológicamente, gracias por cada momento de alegría y nostalgia a lo largo de este camino.

A Jeniffer C. por ser una parte importante en este proyecto, y sobre todo por su amistad y paciencia, sin ella este proceso no hubiera sido igual.

A Titi, quien no solo ha sido mi guía en el camino hacia Dios, sino que ha sido mi amiga, confidente y consejera durante este tiempo.

A la Escuela Politécnica Nacional y a cada uno de mis profesores de carrera, quienes con sus enseñanzas me han sabido inspirar para ser mejor cada día.

Al Laboratorio de Nuevos Materiales (LANUM), al Centro de Investigaciones Aplicadas de Polímeros (CIAP), al Laboratorio de Docencia de Ingeniería Ambiental (LDIA), a la Dra. Cristina Villamar y a la Universidad de Santiago de Chile USACH por la oportunidad que me brindo al trabajar en sus instalaciones y al Dr. Victor Hugo Guerrero su apoyo hizo que este proyecto se haga realidad.

Finalmente quiero hacer un agradecimiento especial a mis tutoras M.Sc. Cristina Almeida y M.Sc. María Belén Aldás de las cuales he aprendido mucho, dos personas maravillosas a las cuales admiro demasiado y su apoyo en este proyecto ha sido esencial, pero más que su guía agradezco su humildad, su paciencia, su don de persona y su capacidad para lograr un equilibrio en todo.

De corazón muchas gracias a todos los que han formado parte de este camino.

## **DEDICATORIA**

Dedicado a Dios quien guía mis pasos día a día,

A mi madre, a mi padre y a mi hermanita, este trabajo es la recompensa de sus sacrificios, esfuerzo y cariño.

A mi mejor amiga Miriam, quien hace poco partió de este mundo y su apoyo incondicional siempre fue una parte importante en cada etapa de mi vida.

Y a todos los que me dieron valor y fuerza para seguir adelante.

## TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA.....	VI
TABLA DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
INDICE DE ANEXOS .....	XIII
RESUMEN .....	XV
ABSTRACT .....	XVI
PRESENTACIÓN .....	XVII
CAPÍTULO 1 .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. OBJETIVO GENERAL .....	3
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3. ALCANCE .....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	4
CAPÍTULO 2 .....	6
MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. CONTAMINANTES EMERGENTES .....	6
2.1.1. GENERALIDADES .....	6
2.1.2. CONSECUENCIAS DE LOS CONTAMINANTES EMERGENTES .....	7
2.2. CAFEÍNA .....	8
2.2.1. CONTAMINACIÓN POR CAFEÍNA .....	9
2.2.2. CONSECUENCIAS DE LA CAFEÍNA EN LOS CUERPOS DE AGUA .....	9
2.3. TRICLOSÁN .....	10

2.3.1.	CONTAMINACIÓN POR TRICLOSÁN .....	11
2.3.2.	CONSECUENCIAS DEL TRICLOSÁN EN LOS CUERPOS DE AGUA .....	12
2.4.	MÉTODOS DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES.....	13
2.4.1.	TRATAMIENTOS FÍSICO-QUÍMICOS.....	13
2.4.2.	PROCESOS BIOLÓGICOS .....	14
2.4.3.	PROCESOS AVANZADOS .....	14
2.4.4.	MÉTODOS DE ELIMINACIÓN DE LA CAFEÍNA.....	15
2.4.5.	MÉTODOS DE ELIMINACIÓN DEL TRICLOSÁN .....	15
2.5.	ADSORCIÓN .....	16
2.5.1.	TIPOS DE ADSORCIÓN .....	16
2.5.2.	ADSORCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES CON RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS .....	17
2.5.3.	ADSORCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES CON CÁSCARA DE MANÍ .....	18
2.5.4.	CINÉTICA DE ADSORCIÓN.....	19
2.5.5.	ISOTERMAS DE ADSORCIÓN .....	19
2.6.	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES ADSORBENTES .....	20
2.6.1.	ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).....	20
2.6.2.	MICROSCOPIA ÓPTICA Y MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB) .....	20
CAPÍTULO 3	.....	21
METODOLOGÍA.....		21
3.1.	ACONDICIONAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MANÍ .....	22
3.2.	CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE MANÍ .....	22
3.2.1.	DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ANÁLISIS PROXIMAL DE LA CÁSCARA DE MANÍ.....	22
3.2.2.	CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE MANÍ MEDIANTE TÉCNICAS INSTRUMENTALES .....	23
3.3.	ENSAYOS DE ADSORCIÓN .....	24
3.3.1.	CURVA DE CALIBRACIÓN CAFEÍNA.....	24



3.3.2.	CURVA DE CALIBRACIÓN TRICLOSÁN.....	25
3.3.3.	DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DEL MATERIAL .....	25
3.3.4.	DETERMINACIÓN DE TIEMPO ÓPTIMO DE CONTACTO .....	27
3.3.5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA ÓPTIMA DEL MATERIAL .....	27
3.4.	CINÉTICA DE ADSORCIÓN.....	28
3.5.	MODELOS DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN .....	29
3.6.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	29
CAPÍTULO 4 .....		31
RESULTADOS.....		31
4.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE MANÍ .....	31
4.1.1.	DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ANÁLISIS PROXIMAL DE LA CÁSCARA DE MANÍ.....	31
4.1.2.	CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE MANÍ MEDIANTE TÉCNICAS INSTRUMENTALES .....	33
4.1.2.1.	ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR) .....	33
4.1.2.2.	MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO .....	37
4.2.	CURVA DE CALIBRACIÓN .....	39
4.3.	ENSAYOS DE ADSORCIÓN BATCH.....	39
4.3.1.	DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA.....	40
4.3.1.1.	DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DEL MATERIAL PARA REMOVER CAFEÍNA .....	40
4.3.1.2.	DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DEL MATERIAL PARA REMOVER TRICLOSÁN .....	41
4.3.2.	DETERMINACIÓN DE TIEMPO ÓPTIMO DE CONTACTO .....	42
4.3.2.1.	TIEMPO ÓPTIMO DE CONTACTO PARA LA ELIMINACIÓN DE CAFEÍNA.....	42
4.3.2.2.	TIEMPO ÓPTIMO DE CONTACTO PARA LA ELIMINACIÓN DE TRICLOSÁN.....	43

4.3.3. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA ÓPTIMA DEL MATERIAL.....	44
4.3.3.1. GRANULOMETRÍA ÓPTIMA DEL MATERIAL PARA REMOVER CAFEÍNA .....	44
4.3.3.2. GRANULOMETRÍA ÓPTIMA DEL MATERIAL PARA REMOVER TRICLOSÁN .....	45
4.4. CINÉTICA DE ADSORCIÓN.....	46
4.4.1. CINÉTICA DE ADSORCIÓN CAFEÍNA .....	46
4.4.2. CINÉTICA DE ADSORCIÓN TRICLOSÁN .....	48
4.5. MODELOS DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN .....	50
4.5.1. MODELO DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN PARA LA CAFEÍNA .....	50
4.5.2. MODELO DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN PARA TRICLOSÁN.....	52
4.6. ANÁLISIS DE COSTOS.....	54
4.6.1. CÁLCULO DE COSTOS PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MANÍ .....	54
4.6.1.1. MANO DE OBRA.....	54
4.6.1.2. COSTO DE LA MATERIA PRIMA .....	55
4.6.1.3. COSTO DE LAVADO Y COSTO ENERGÉTICO PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MANÍ .....	55
4.6.1.4. COSTO TOTAL DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MANÍ .....	56
4.6.1.5. COSTO DEL REACTOR PARA EL TRATAMIENTO .....	57
4.6.2. COSTO DEL TRATAMIENTO POR METRO CÚBICO .....	58
CAPÍTULO 5 .....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	59
5.1. CONCLUSIONES .....	59
5.2. RECOMENDACIONES.....	60
ANEXOS .....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 ESTRUCTURA MOLECULAR DE LA CAFEÍNA .....	8
FIGURA 2.2 ESTRUCTURA MOLECULAR DEL TRICLOSÁN .....	11
FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA .....	21
FIGURA 4.1 ESPECTRO FTIR DE LA CÁSCARA DE MANÍ ACONDICIONADA.....	34
FIGURA 4.2 ESPECTROS FTIR DE CAFEÍNA Y TRICLOSÁN .....	35
FIGURA 4.3 ESPECTROS FTIR DE LA CÁSCARA DE MANÍ DESPUÉS DE LA ADSORCIÓN A) CAFEÍNA Y B) TRICLOSÁN.....	36
FIGURA 4.4 MICROGRAFÍA DE LAS TRES GRANULOMETRÍAS DE PARTÍCULA DE CÁSCARA DE MANÍ .....	37
FIGURA 4.5 IMÁGENES DEL MICROSCOPIO ÓPTICO DE LA PARTÍCULA DE CÁSCARA DE MANÍ .....	38
FIGURA 4.6 CURVA DE CALIBRACIÓN CAFEÍNA Y TRICLOSÁN .....	39
FIGURA 4.7 DOSIS ÓPTIMA DE LA CÁSCARA DE MANÍ PARA LA ELIMINACIÓN DE CAFEÍNA .....	41
FIGURA 4.8 DOSIS ÓPTIMA DE LA CÁSCARA DE MANÍ PARA LA ELIMINACIÓN DE TRICLOSÁN .....	42
FIGURA 4.9 TIEMPO ÓPTIMO DE CONTACTO DE LA CÁSCARA DE MANÍ PARA REMOVER CAFEÍNA .....	43
FIGURA 4.10 TIEMPO ÓPTIMO DE CONTACTO DE LA CÁSCARA DE MANÍ PARA REMOVER TRICLOSÁN .....	44
FIGURA 4.11 GRANULOMETRÍA ÓPTIMA PARA LA ELIMINACIÓN DE CAFEÍNA .....	45
FIGURA 4.12 GRANULOMETRÍA ÓPTIMA PARA LA ELIMINACIÓN DE TRICLOSÁN .....	46
FIGURA 4.13 CINÉTICA DE ADSORCIÓN PARA LA CAFEÍNA .....	47
FIGURA 4.14 CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE TRICLOSÁN .....	48
FIGURA 4.15 ISOTERMA PARA EL MODELO DE LANGMUIR Y FREUNDLICH PARA CAFEÍNA .....	51
FIGURA 4.16 ISOTERMA PARA EL MODELO DE LANGMUIR Y FREUNDLICH PARA TRICLOSÁN .....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1 PARÁMETROS Y NORMAS ASTM UTILIZADOS PARA DETERMINAR LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CÁSCARA DE MANÍ .....	23
TABLA 4.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ANÁLISIS PROXIMAL DE LA CÁSCARA DE MANÍ .....	31
TABLA 4.2 PARÁMETROS ESTIMADOS PARA LOS MODELOS CINÉTICOS DE ADSORCIÓN PARA CAFEÍNA .....	46
TABLA 4.3 PARÁMETROS ESTIMADOS PARA LOS MODELOS CINÉTICOS DE ADSORCIÓN PARA TRICLOSÁN .....	49
TABLA 4.4 PARÁMETROS ESTIMADOS PARA LOS MODELOS DE LANGMUIR Y FREUNDLICH PARA LAS ISOTERMAS DE LA ADSORCIÓN DE CAFEÍNA .....	50
TABLA 4.5 PARÁMETROS ESTIMADOS PARA LOS MODELOS DE LANGMUIR Y FREUNDLICH PARA LAS ISOTERMAS DE LA ADSORCIÓN DE TRICLOSÁN.....	52
TABLA 4.6 COSTOS DE MANO DE OBRA .....	54
TABLA 4.7 COSTOS DE LA MATERIA PRIMA .....	55
TABLA 4.8 COSTO DEL LAVADO DE LAS CÁSCARAS DE MANÍ .....	55
TABLA 4.9 COSTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZADA PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MANÍ .....	56
TABLA 4.10 COSTO TOTAL DEL ACONDICIONAMIENTO .....	56
TABLA 4.11 COSTO DE MANO DE OBRA PARA EL REACTOR .....	57
TABLA 4.12 COSTO DE LA ENERGÍA UTILIZADA EL REACTOR .....	57
TABLA 4.13 COSTO DEL TRATAMIENTO .....	57
TABLA 4.14 COSTO DEL TRATAMIENTO POR GRANULOMETRÍA CON CÁSCARA DE MANÍ .....	58

**INDICE DE ANEXOS**

ANEXO 1. REGISTRO FOTOGRÁFICO ACONDICIONAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MANÍ .....	74
ANEXO 2. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y ANÁLISIS PROXIMAL DE LA CÁSCARA DE MANÍ .....	75
ANEXO 3. DATOS EXPERIMENTALES DE LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y ANÁLISIS PROXIMAL DE LA CÁSCARA DE MANÍ .....	77
ANEXO 4. CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN EN LA SOLUCIÓN ACUOSA .....	78
ANEXO 5. EJEMPLO DE CÁLCULO DE PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN .....	79
ANEXO 6. DATOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE ADSORCIÓN OBTENIDOS PARA DETERMINAR LA DOSIS ÓPTIMA DE CÁSCARA DE MANÍ PARA ELIMINAR CAFEÍNA .....	80
ANEXO 7. DATOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE ADSORCIÓN OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE CÁSCARA DE MANÍ PARA ELIMINAR TRICLOSÁN .....	82
ANEXO 8. DATOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE ADSORCIÓN OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CÁSCARA DE MANÍ PARA ELIMINAR CAFEÍNA .....	83
ANEXO 9. DATOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE ADSORCIÓN OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CÁSCARA DE MANÍ PARA ELIMINAR TRICLOSÁN .....	84
ANEXO 10. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ANOVA PARA DETERMINAR LA DOSIS ÓPTIMA PARA ELIMINAR CAFEÍNA .....	85
ANEXO 11. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ANOVA PARA DETERMINAR LA DOSIS ÓPTIMA PARA ELIMINAR TRICLOSÁN .....	90
ANEXO 12. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS ANOVA PARA DETERMINAR EL TIEMPO ÓPTIMO PARA ELIMINAR CAFEÍNA .....	92
ANEXO 13. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS ANOVA PARA DETERMINAR EL TIEMPO ÓPTIMO PARA ELIMINAR TRICLOSÁN.....	95

ANEXO 14. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LAS VARIABLE PARA CINÉTICA DE PSEUDO-PRIMER Y PSEUDO-SEGUNDO ORDEN .....	98
ANEXO 15. DATOS CALCULADOS PARA LA DE CINÉTICA DE ADSORCIÓN PARA CAFEÍNA A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO .....	100
ANEXO 16. DATOS CALCULADOS PARA LA CINÉTICA DE ADSORCIÓN PARA TRICLOSÁN A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO .....	101
ANEXO 17. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LAS VARIABLES PARA LAS ISOTERMAS DE LANGMUIR Y FREUNDLICH .....	102
ANEXO 18. DATOS CALCULADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE LANGMUIR Y FREUNDLICH PARA CAFEÍNA .....	104
ANEXO 19. DATOS CALCULADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE LANGMUIR Y FREUNDLICH PARA TRICLOSÁN .....	105
ANEXO 20 COSTOS DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MANÍ POR GRANULOMETRÍA .....	106

## RESUMEN

En la actualidad se han encontrado varios contaminantes en los cuerpos de agua. Por lo que se ha buscado alternativas para su remoción, tal como la bioadsorción, el cual es un proceso de fácil acceso y de bajo costo. Este trabajo evaluó la capacidad adsorbente de la cáscara de maní para la eliminación de cafeína y triclosán del agua residual sintética. Para este propósito, la composición química de la cáscara de maní se determinó utilizando normas ASTM, su morfología antes de la adsorción se observó mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) y los grupos funcionales antes y después de la adsorción se estudiaron mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Las pruebas de adsorción por ensayos batch se llevó a cabo con soluciones de cafeína y triclosán de 30 mg/L. Se consideraron tres variables: granulometrías de partículas de cáscara de maní (2 mm - 850  $\mu$ m, 600 - 300  $\mu$ m, 150 - 125  $\mu$ m), dosis de cáscara de maní (para cafeína 1 - 50 g/L y para triclosán 0,1 - 25 g/L) y tiempo de contacto (para cafeína 15, 45, 60, 120, 180, 240, 300 min y para triclosán 5, 10, 20, 30, 45, 60, 120 y 180 min). Las condiciones óptimas de adsorción se determinaron mediante análisis de varianza (ANOVA) aplicando la prueba de Tukey. La mejor granulometría de las cáscaras de maní fue de 125-150  $\mu$ m para eliminar ambos contaminantes. Las dosis óptimas y los tiempos de contacto para la eliminación de cafeína y triclosán fueron de 10 g/L durante 180 min y 0.1 g/L durante 45 min, respectivamente. Los porcentajes de eliminación fueron  $85,64 \pm 1,40\%$  para cafeína y  $89,3 \pm 1,52\%$  para triclosán. El modelo cinético de pseudo-segundo orden se ajustó para ambos contaminantes, lo cual corresponde a un proceso de quimisorción. El modelo de adsorción que mejor se ajustó fue el de Langmuir, que alcanzó una capacidad de adsorción de 3,88 mg/g para cafeína y 243,90 mg/g para triclosán. A pesar que la cáscara de maní fue capaz de eliminar ambos contaminantes del agua, la dosis utilizada para remover triclosán del agua es mucho menos. Esto debido a que el triclosán es hidrofóbico y tiene tendencia a acumularse en la materia orgánica.

**Palabras Clave:** Adsorción, cáscara de maní, cafeína y triclosán

## ABSTRACT

Currently, various pollutants have been found in water bodies. Therefore, alternatives for removal have been sought, such as bioadsorbents, which are easily accessible and inexpensive. Present project studied the adsorption of peanut shells used to eliminate two emerging contaminants from synthetic waters: caffeine and triclosan. For this purpose, the chemical composition of the peanut residue was determined using ASTM standards. Its morphology was studied by means of scanning electron microscopy (SEM) and functional groups before and after adsorption were analyzed by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). Batch adsorption tests were carried out with 30 mg/L caffeine and triclosan solutions. Three variables were considered: peanut shell particle granulometries (2 mm - 850  $\mu\text{m}$ , 600 - 300  $\mu\text{m}$ , 150 - 125  $\mu\text{m}$ ), peanut shell doses (for caffeine 1-60 g/L and for triclosan (0.1-35 g/L) and contact time (for caffeine 15, 45, 60, 120, 180, 240, 300 min and for triclosan 5, 10, 20, 30, 45, 60, 120 and 180 min). Optimal adsorption conditions were determined by analysis of variance (ANOVA) applying the Tukey test. The best granulometry of peanut shells was 125 - 150  $\mu\text{m}$  for removing both contaminants. The optimal doses and contact times for caffeine and triclosan removal were 10 g/L for 180 min and 0.1 g/L for 45 min, respectively. The removal percentages were  $85.64 \pm 1.40\%$  for caffeine and  $89.28 \pm 1.52\%$  for triclosan. Pseudo-second order kinetic models were fitted for both contaminants, corresponding to a chemisorption process. The best-fitting adsorption model was that of Langmuir, achieving an adsorption capacity of 3.88 mg/g for caffeine and 243.90 mg/g for triclosan. Although the peanut shell was able to remove both contaminants from the water, the dose used to remove triclosan was lower. It was because triclosan is hydrophobic and has a tendency to accumulate in organic matter.

**Key words:** Adsorption, peanut shell, caffeine and triclosan.



## PRESENTACIÓN

El presente proyecto de titulación presenta la evaluación de la capacidad adsorbente de la cáscara de maní para la eliminación de cafeína y triclosán contenidos en agua mediante ensayos batch. La investigación se divide en cinco capítulos, estructurados de la siguiente manera:

Capítulo 1: Introducción, constituida por antecedentes, los objetivos: general y específicos, el alcance y la justificación, para la presente investigación.

Capítulo 2: Marco teórico, consta de una revisión bibliográfica sobre contaminantes emergentes y sus consecuencias en el ambiente, enfocándose en las características de la cafeína y el triclosán, la contaminación que estos dos compuestos generan y las consecuencias de su presencia en los cuerpos de agua. Además, se exponen los métodos de eliminación más utilizados para triclosán y cafeína. Finalmente, se describen los fundamentos de la adsorción en los que se incluye los tipos, cinética e isothermas, así como la adsorción de contaminantes emergentes con residuos lignocelulósicos y más específicamente con cáscara de maní.

Capítulo 3: Metodología, describe el acondicionamiento de la cáscara de maní, la determinación de la composición química, proximal y la caracterización de la misma mediante técnicas instrumentales. Además, se explica el procedimiento utilizado para realizar los ensayos de adsorción tipo batch para cafeína y triclosán, incluyendo el cálculo de isothermas y cinética de adsorción.

Capítulo 4: Análisis y discusión de resultados, se presentan los datos de caracterización de la cáscara de maní, una discusión sobre los datos obtenidos a partir de los ensayos de adsorción, la cinética de adsorción y los modelos de isothermas de adsorción

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones, se establece las conclusiones de acuerdo a los objetivos planteados, además de las recomendaciones para investigaciones futuras.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

El constante crecimiento de la población mundial y el desarrollo de actividades cada vez más complejas, ha causado que el ser humano exija más de la naturaleza para crear miles de productos que puedan ser utilizados a diario. Esto ha ocasionado un aumento poco controlado en las emisiones de contaminantes al ambiente. Muchos de estos contaminantes alcanzan los cuerpos de agua, por medio de las descargas de efluentes industriales, municipales y agropecuarios (Gil et al., 2012).

Los avances tecnológicos y científicos han permitido que hoy en día sea posible detectar sustancias químicas, naturales o sintéticas que han sido liberadas al ambiente incluso en bajas concentraciones ( $\mu\text{g/L}$  o  $\text{ng/L}$ ) (Becerril Bravo, 2009; Oropesa, Moreno, & Gómez, 2017). Estas sustancias que antes pasaban inadvertidas, actualmente son conocidas como “contaminantes emergentes” (CEs). A pesar que muchos de estos contaminantes tienen una alta tasa de transformación y remoción, su introducción continua al ambiente trae consigo impactos ecológicos negativos, incluido efectos desfavorables sobre la biota (Gil et al., 2012). La cafeína y el triclosán son dos ejemplos de CEs y representan a los contaminantes de origen antropogénico presentes en los cuerpos de agua.

La cafeína es un compuesto orgánico que está presente en varias bebidas carbonatadas y se usa en la medicina como psicoestimulante, analgésico y broncodilatador (Hernández, 2013). La cafeína ha ocasionado problemas en los ecosistemas y se ha demostrado que suprime el crecimiento de algas y altera comunidades bacterianas (Dafouz Ramírez & Rivera Valcárcel, 2017).

El triclosán es un compuesto orgánico, que por sus propiedades desinfectantes es utilizado en productos domésticos de uso diario como jabones, detergentes y cosméticos (Praveena et al., 2018). Su estructura aromática binuclear triclorinada, puede formar dioxinas altamente tóxicas bajo la irradiación solar, muchas de estas cancerígenas, persistentes y bioacumulables en animales (Heidler & Halden, 2007).

Ambos contaminantes son liberados directamente hacia los cuerpos de agua o pasan por el sistema de alcantarillado cuando son desechados, llegando a las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) en las que solo son eliminados parcialmente. La eficiencia de eliminación varía según los procesos involucrados en las PTAR (Shaheen et al., 2019). Algunos métodos de eliminación como la coagulación, floculación y suavización con cal tienen eficiencias de eliminación menores al 20%. Mientras que la oxidación con ozono y la cloración presentan eficiencias mayores al 90%, pero se ha demostrado que son procesos peligrosos, ya que generan subproductos con efectos desconocidos o aún más peligrosos que los mismos contaminantes. Uno de los métodos más efectivos en cuanto a eliminación de contaminantes es la adsorción con carbón activado, el cual tiene eficiencias mayores al 90% (García-Gómez, Gortáres-Moroyoqui, & Drogui, 2011).

El carbón activado elimina contaminantes gracias a las interacciones hidrofóbicas y electrostáticas entre el adsorbato y el adsorbente, por lo que es considerado un buen adsorbente de moléculas orgánicas (Saha & Orvig, 2010). Una desventaja de usar carbón activado es su alto costo hablando en términos de inversión, aplicabilidad limitada y corta vida útil (García-Gómez et al., 2011). Un mecanismo similar es la bioadsorción, la cual se refiere a una interacción entre un adsorbato que podría ser un átomo o molécula con un adsorbente como una superficie sólida de un material biológico. La bioadsorción ha sido reconocida como una tecnología de tratamiento prometedora por su alta eficiencia, la disponibilidad de los bioproductos y el bajo costo (Al-Qodah, Yahya, & Al-Shannag, 2017).

Entre los materiales biológicos estudiados como bioadsorbentes se encuentran el hueso de durazno, corteza de enebro, aserrín, cáscara de avellana, cascarilla de arroz, cáscara de maní, entre otros (Tapia, Pavez, Santander, & Sepúlveda, 2017). La cáscara de maní contiene lignina y celulosa, que presentan grupos funcionales que son los responsables de que suceda la adsorción química (Tanyildizi, 2011). Además es un material con el 60% de porosidad, esto favorece al acceso de las soluciones acuosas a la estructura, lo que incrementa el número de espacios disponibles para la interacción entre la cáscara de maní y el contaminante (Johnson, Watson, Brown, & Jefcoat, 2002).

La cáscara de maní ya ha sido utilizada en la eliminación de metales como el cobre con una eficiencia mayor al 50% (Tapia et al., 2017) y antibióticos como el sulfathiazole y sulfamerazine con una efectividad de eliminación mayor al 70% y 50% respectivamente (Li, Zhang, Chu, Chen, & Wang, 2018).

Considerando que no se ha realizado un estudio para evaluar la capacidad adsorbente de la cáscara de maní para eliminar contaminantes como el triclosán y la cafeína del agua residual, este estudio pretende definir la influencia de los procesos de adsorción en la eliminación de estos contaminantes, mediante ensayos batch a escala de laboratorio.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la capacidad adsorbente de la cáscara de maní en la eliminación de triclosán y cafeína en agua mediante ensayos batch a escala de laboratorio para definir la influencia del proceso de adsorción en la eliminación de estos contaminantes.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las propiedades físico-químicas de la cáscara de maní mediante métodos analíticos e instrumentales para conocer la morfología y los grupos funcionales que están presentes en la estructura de las cáscaras.
- Determinar la eficiencia de la cáscara de maní en la eliminación de cafeína y triclosán en agua mediante ensayos batch, variando parámetros que permitan obtener la máxima eliminación de los contaminantes.
- Establecer el modelo de adsorción que mejor se adapte al proceso, mediante el ajuste de las isothermas de Freundlich y Langmuir utilizando los datos obtenidos en los ensayos experimentales, para determinar el tipo de adsorción y la relación entre la cantidad de cafeína o triclosán adsorbida por la cáscara de maní.

### **1.3. ALCANCE**

El presente estudio pretende obtener información del uso de la cáscara de maní como adsorbente para remover triclosán y cafeína, para lo cual se determinará las características físico-químicas, la morfología y los grupos funcionales presentes en la cáscara de maní. Utilizando ensayos batch se evaluará las mejores condiciones de adsorción (dosis óptima, tiempo óptimo de contacto y granulometría óptima de partícula) con la finalidad de alcanzar la mayor eficiencia de eliminación de los contaminantes. Finalmente, se determinará el modelo de isoterma y la cinética de adsorción de la cafeína y triclosán. Los resultados obtenidos, contribuirán en posibles tratamientos de aguas contaminadas con cafeína y triclosán, ofreciendo una alternativa para el tratamiento de aguas superficiales y subterráneas. Finalmente, se mencionarán las dificultades presentadas y las recomendaciones para futuras investigaciones.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

La bioadsorción ha demostrado ser una buena alternativa para la eliminación de los CEs por su accesibilidad y bajo costo. Varios residuos agroindustriales han resultado exitosos en la eliminación de metales, colorantes y CEs del agua. El presente estudio busca evaluar la capacidad adsorbente de la cáscara de maní para eliminar cafeína y triclosán del agua mediante ensayos en laboratorio.

La experimentación de este proyecto se ha dividido en tres fases: La primera fase consistirá el acondicionamiento de la cáscara de maní. La cáscara de maní fue lavada y secada procuran mantener las características naturales del material, según los procedimientos de Liu, Sun, & Li (2010) y Taşar, Kaya, & Özer (2014).

En la segunda fase, se realizará la caracterización química y análisis proximal de la cáscara de maní mediante estándares ASTM. La morfología superficial se determinará por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y la determinación de grupos funcionales presentes en la superficie de la cáscara de maní se usará Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), esto antes y después de la adsorción de cafeína y triclosán.

En la tercera fase se realizarán los ensayos de adsorción, utilizando ensayos batch se determinarán las mejores condiciones de adsorción (mejor tiempo de contacto, mejor granulometría y dosis óptima de cáscara de maní) para así alcanzar el máximo porcentaje de eliminación de cafeína y triclosán del agua. A partir de los datos obtenidos, se determinará el mejor modelo de ajuste tanto para isoterma de adsorción entre Langmuir y Freundlich. Así como para la cinética de adsorción entre el modelo de pseudo-primer orden y pseudo-segundo orden. Esto permitirá analizar la velocidad de adsorción, el tipo de adsorción y la relación entre la cantidad de cafeína o triclosán adsorbida por la cáscara de maní (Al-Qodah et al., 2017; Babarinde & Onyiaocha, 2016).

En el Ecuador se produce poco más de 27 mil toneladas anuales de maní, su principal producción se encuentra en la Costa. La cáscara de maní representa entre el 25 y 30% de su peso total, lo que representa unas 6700 toneladas anuales de residuos (Herrera & Silva, 2015; Ravera et al., 2008). La cáscara de maní por tanto es considerada un desecho, si la cáscara de maní actúa como buen adsorbente de cafeína y triclosán le dará una utilidad al residuo, y brindar así una opción amigable para el ambiente y eliminar estos contaminantes, evitando así el daño provocado por la cafeína y el triclosán en el medio acuático. Los resultados obtenidos servirán en el desarrollo de tecnologías de bajo costo y pueden ser aplicadas en el tratamiento de aguas residuales que contengan estos contaminantes, beneficiando a las áreas rurales y urbanas.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. CONTAMINANTES EMERGENTES**

##### **2.1.1. GENERALIDADES**

Los CEs son un grupo bastante diverso y heterogéneo de diferente origen y naturaleza química, entre los cuales se incluyen drogas, fragancias, esteroides, hormonas, productos de cuidado personal y farmacéuticos, compuestos perfluorados, pesticidas, entre otros (Katsigiannis et al., 2015). Hablando en términos de distribución y concentración la presencia de estos no se considera significativa, pero por su introducción continua puede causar efectos adversos sobre los ecosistemas y por ende sobre la salud humana (Quesada et al., 2019).

Los CEs pueden ser introducidos al ambiente por medio del alcantarillado, junto con los residuos producidos por el cuidado personal y por el metabolismo incompleto producidos por la excreción de humanos, o por la mala eliminación de estos componentes en agua (Arrubla et al., 2016). Los CEs han sido detectados en cuerpos de agua superficial, subterráneas e incluso en agua potable. (Gil et al., 2012). Lo que demuestra que las plantas de tratamiento de agua potable y agua residual no están diseñados para eliminar estos contaminante (Bolong, et al., 2009). Incluso tratamientos secundarios, como el sistema de lodos activados y terciarios como la filtración y la desinfección no están diseñadas para eliminar la mayoría de los CEs (Rizzo et al., 2019).

Las descargas de CEs en los cuerpos de agua a nivel mundial son poco controladas. Aun así, la Comisión Europea (2008/105/UE) ha establecido normas de calidad ambiental sobre ciertas sustancias que son identificadas como contaminantes prioritarios debido al riesgo que suponen para el medio acuático. En 2013 esta la lista de sustancias prioritarias fue ampliada a 45, y tan solo 21 fueron identificadas como peligrosas, además se determinó que se requiere nuevas alternativas para detectar y eliminar estas sustancias de las plantas de agua potable y aguas residuales (Reinoso et al., 2017). La última actualización de esta

lista se publicó en la decisión de ejecución 2018/840/UE en la cual se han colocado sustancias que deben ser observadas (European Commission, 2018). Pero si se enfoca el análisis en Latino América, la normativa legal no restringe la descarga de estos contaminantes en los cuerpos de agua, por lo que es evidente que se requiere de mejor tecnología tanto para la detección de estos contaminantes así como para su correcta eliminación de las plantas de tratamiento (Reinoso et al., 2017).

### **2.1.2. CONSECUENCIAS DE LOS CONTAMINANTES EMERGENTES**

Los CEs están constituidos por sustancias activas y presentan efectos significativos en la actividad biológica de los animales y del ser humano. Los CEs pueden originar efectos tóxicos en los organismos, como perturbaciones endocrinas, metabólicas, histopatológicas, genéticas, inmunes, etc.(García-Gómez et al., 2011).

Es complicado predecir cuál será el destino de los CEs en el medio acuático, debido a que es difícil saber la ocurrencia, el riesgos y los datos ecotoxicológicos de la mayoría de los CEs (Petrović, Gonzalez, & Barceló, 2003). Además, el transporte de estos contaminantes depende mayormente de las propiedades de la sustancia, como: volatilidad, polaridad, persistencia, propiedades de adsorción y del comportamiento interactivo (Geissen et al., 2015). Una de las problemáticas ambientales detectadas por las propiedades de los CEs, es la persistencia en el ambiente, la cual causa resistencia a la degradación química o biológica, impidiendo que las PTAR sean eficaces para su degradación (Oropesa et al., 2017).

Los problemas ambientales también pueden ser causadas por las características del contaminante. Por ejemplo, se pueden clasificarse a los contaminantes por sus hidrofobicidades utilizando el coeficiente de partición octanol-agua ( $\log K_{ow}$ ), así, ( $\log K_{ow} < 2$ ) hidrofobicidad baja, ( $2 < \log K_{ow} < 3,5$ ) hidrofobicidad moderada y ( $\log K_{ow} > 3,5$ ) hidrofobicidad alta (Nam et al., 2014). Cuando el coeficiente de partición octanol-agua es alto, se considera que existe un mayor riesgo de bioacumulación en los tejidos de los organismos acuáticos (Oropesa et al., 2017).

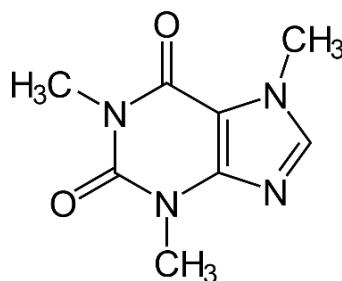


## 2.2. CAFEÍNA

La cafeína (1,3,7-trimetilxantina) también denominada teína, guaranina o mateína es un sólido con aspecto de polvo, incoloro y amargo. Existen más de 60 especies que contienen esta sustancia. El grano de café es el producto que contiene la mayor cantidad de cafeína, seguido por el té y el chocolate (Pardo et al., 2007).

La cafeína es un alcaloide de purina perteneciente a las xantinas, cuya fórmula química  $C_8H_{10}N_4O_2$ , tiene una masa molecular de 194,19 g/mol, un pKa de 10,4. La cafeína es parcialmente soluble en el agua (21,6 g/L). Tiene un bajo coeficiente octanol - agua ( $\log Kow = -0,7$ ) y su dimensión molecular es de 0,98 x 0,87 x 0,56 nm (Sánchez, 2018). La Figura 2.1 muestra la estructura molecular de la cafeína.

Figura 2.1 Estructura Molecular de la Cafeína



**Fuente:** Souza, 2003

La cafeína tiene una lenta degradación en cuanto a oxidación fotoquímica. La biodegradación es su principal mecanismo de eliminación, y se estima que el tiempo de vida medio oscila entre 3,5 a 100 días (Álvarez, 2014). Algunos de los efectos adversos en el ser humano incluyen molestias gástricas, temblores, nerviosismo, palpitaciones, taquicardia, dolor torácico e insomnio. El consumo de dosis elevadas puede provocar miedo y crisis de angustia, intensa ansiedad, depresión, alteraciones en el ciclo del sueño, también puede provocar anafilaxia y urticaria en casos de alergia (Tavares & Sakata, 2012).

### **2.2.1. CONTAMINACIÓN POR CAFEÍNA**

A nivel mundial la cafeína es el psicotrópico más utilizado y ha sido consumida por el ser humano durante siglos, tanto que es considerado un marcador antropogénico (Chtourou et al., 2018). El consumo más importante de la cafeína proviene del café, té y bebidas carbonatadas como refrescos y energizantes. Otra fuente importante son los medicamentos, donde es usada como broncodilatador, para tratamientos del asma, estimulante del sistema nervioso, analgésicos, para perder peso, para el resfriado y como diurético (Álvarez, 2014; Pardo et al., 2007).

En el ser humano metaboliza la cafeína en el hígado, y la mayoría se transforma en paraxantina la cual es excretada en la orina junto con xantinas, ácido úrico y uracilos. Entre el 1 y 3% del total ingerido es excretado como cafeína y termina siendo desalojado por el sistema de agua residual (Gil-Antuñaño et al., 2008). Por lo que su presencia en los cuerpos de agua refleja que no se elimina por completo en las PTAR (Zarrelli et al., 2014). La cafeína también se ha encontrado en agua subterránea esto debido a que es utilizada como plaguicida natural contra plagas comunes como babosas y caracoles. La cafeína es considerada una sustancia fácil de degradar y con poca persistencia en el suelo, pero su dilución con el agua de riego hace que penetre hasta alcanzar el agua subterránea del área labrada (Dafouz Ramírez & Rivera Valcárcel, 2017).

La cafeína se ha encontrado en aguas residuales (20 a 300 µg/L), en los efluentes de plantas de tratamiento (0,1 a 20 µg/L) en mares, lagos y ríos (3 a 1500 ng/L) y en aguas subterráneas (10 a 80 ng/L). A pesar de que se han encontrado en bajas concentraciones, puede tener efectos nocivos en los organismos acuáticos si la exposición es prolongada (Álvarez, 2014).

### **2.2.2. CONSECUENCIAS DE LA CAFEÍNA EN LOS CUERPOS DE AGUA**

La cafeína es considerada un compuesto traza presente en aguas residuales domésticas. Actualmente se están estudiando los efectos ecotoxicológicos en condiciones de laboratorio, una recopilación de varios de estos estudios fue realizada por Dafouz Ramírez & Rivera Valcárcel (2017) donde se encuentran diversos casos, como:

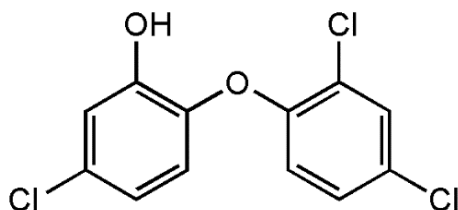
La araña de jardín *Araneus diadematus*, que tras administrarle una dosis de 260 ng/g de cafeína, presentó cambios en la geometría de la telaraña (más redonda, con una disminución del tamaño y un ligero aumento en el espacio en espiral). Se demostró la bioacumulación de cafeína en peces mosquito *Gambusia holbrooki*, provenientes de un estanque afectado por aguas de una PTAR con 81 ng/L de cafeína. En el tejido de los peces se presentó una concentración de cafeína de 1,3 ng/g. Otro caso se encontró en los renacuajos de la rana leopardo *rana pipiens*, a una concentración de 0,6 mg/L. Se demostró que la cafeína aumenta su actividad y al combinarse con paracetamol a 1 mg/L puede tener consecuencia en la cadena trófica debido a la depredación por organismos superiores. Además, se ha encontrado que la cafeína se puede bioacumular en frutas y vegetales a través del agua de riego en una concentración de 208 ng/kg exponiendo al ser humano a los posibles efectos de la cafeína (Dafouz Ramírez & Rivera Valcárcel, 2017).

### 2.3. TRICLOSÁN

El triclosán (2,4,4'-tricloro-2'-hidroxi-difenil éter) o también llamado irgasán, tiene varios nombres comerciales como lexol 300, cloxifenolum, aquasept, sapoderm. Algunos productos que contienen triclosán incorporado en ellos son Ultra-Fresh, Amicor, Microban, Monolith, Bactonix y Sanitized (Dann & Hontela, 2011). El triclosán es un polvo cristalino de color blanco, se usa como agente bactericida y está presente en productos farmacéuticos y de cuidado personal, como jabones, detergentes, dentífrico, lociones, champú, cosméticos y se utiliza en productos textiles plásticos para brindar propiedades antibactericidas (Diomedi et al., 2017)

El triclosán es un compuesto orgánico, con grupos funcionales fenoles y éteres, tiene una estructura aromática binuclear triclorinada. Puede formar dioxinas altamente tóxicas bajo la irradiación solar, siendo muchas de estas cancerígenas, persistentes y bioacumulables en animales (Heidler & Halden, 2007). Su fórmula química  $C_{12}H_7Cl_3O_2$  tiene un peso molecular de 289,55 g/mol, un pKa de 4,5, un log Kow de 4,76 y una baja solubilidad en agua (10 mg/L a 20 °C) aunque ésta aumenta en medios alcalinos (Dann & Hontela, 2011). La Figura 2.2 muestra la estructura molecular del triclosán.

Figura 2.2 Estructura molecular del triclosán



**Fuente:** Petersen, 2016

La vida media del triclosán en aguas superficiales es de aproximadamente 41 minutos, ya que la mayor parte del compuesto se convierte en 2,4-diclorofenol, aunque la tasa de degradación varía entre los ecosistemas acuáticos (Dann & Hontela, 2011). La vida media ambiental del triclosán en sedimentos acuáticos es de 540 días después de la deposición en los mismos (Heidler & Halden, 2007).

### 2.3.1. CONTAMINACIÓN POR TRICLOSÁN

El triclosán al encontrarse en varios productos de consumo diario es desechado al sistema de agua residual e ingresa al medio acuático por medio de los efluentes de las PTAR (Lyndall et al., 2017). Las PTAR pueden tener una eliminación incompleta de triclosán que puede ir del 30 al 70%, dependiendo de la técnica de la planta de tratamiento (Kobusińska, Witt, Łęczyński, & Niemirycz, 2018). Por ello el triclosán está presente en ríos, aguas marinas y sedimentos (Santaeufemia et al., 2019).

En aguas con un pH menor a 8 se espera que el triclosán sea adsorbido por sólidos y sedimentos suspendidos debido a que su coeficiente de carbono orgánico (Koc) estimado es de 9200 considerada una adsorción moderada fuerte, por la cual el triclosán se adhiere fácilmente a la materia orgánica (Kobusińska et al., 2018). Además, el triclosán tiene un alto valor de log Kow de 4,76 que sugiere un alto potencial de sorción, por lo que las propiedades químicas del triclosán indican su posible bioacumulación y una mayor persistencia ambiental (Dhillon et al., 2015).

En aguas residuales se ha encontrado que la concentración de triclosán está entre 0,5 y 30000 µg/L, en los efluentes de agua tratada entre 0,01 y 0,6 µg/L, los sedimentos de los cuerpos de agua pueden contener hasta 800 µg/L (Dann &

Hontela, 2011). En arroyos se ha encontrado concentraciones de entre 50 y 2300 ng/L y en el mar entre 50 y 150 ng/L (Shao et al., 2019).

### **2.3.2. CONSECUENCIAS DEL TRICLOSÁN EN LOS CUERPOS DE AGUA**

Numerosos estudios han evaluado la toxicidad del triclosán en varios organismos, incluyendo algas, invertebrados, anfibios, peces, aves y mamíferos (Dann & Hontela, 2011). Debido a su bioacumulación en el ambiente el triclosán y sus transformados pueden provocar resistencia microbiana, irritación dérmica, alteración del sistema endocrino y del metabolismo de la hormona tiroidea, desarrollo de tumores y mayor repercusión de alergias (Dhillon et al., 2015). De la misma forma se ha observado que el triclosán inhibe el crecimiento de las plantas, la respiración del suelo y perturba el ciclo del nitrógeno en algunos tipos de suelos, esto posiblemente vinculado a la degradación del triclosán (Dann & Hontela, 2011).

Se ha demostrado que el triclosán causa toxicidad en organismos acuáticos, especialmente en algas (Heidler & Halden, 2007). Mediante experimentación se ha estudiado los organismos de lodo, algas, dáfnidos y peces, donde se muestra que los microorganismos del lodo no eran afectados por el triclosán mientras que las especies acuáticas parecían más vulnerables. La concentración efectiva media a las 96 horas fue de 1,4 µg/L mientras que la concentración más alta a la cual no se observa ningún efecto a las 96 horas e 0,69 µg/L (Dann & Hontela, 2011). Además, experimentos in vitro sugieren que el triclosán puede actuar como un disruptor endocrino. El triclosán y el metil triclosán se detectó en peces a concentraciones de hasta 365 µg/g de peso de lípidos en *Rutilus rutilus* (Dann & Hontela, 2011).

En humanos, la exposición permanente y la bioacumulación se demostraron, mediante la detección de triclosán en orina (702 µg/L) y leche materna (300 µg/kg peso lipídico). Estudios adicionales realizados in vitro mostraron que la exposición al triclosán inhibe el metabolismo de enzimas de fase II en el hígado humano. La preocupación más grande hacia este contaminante está en la formación de congéneres dibenzo-p-dioxinas clorados durante la síntesis de triclosán y la transformación ambiental (Heidler & Halden, 2007).

## **2.4. MÉTODOS DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES**

Las plantas de tratamiento de aguas convencionales están compuestas de tres tipos de tratamientos. El tratamiento primario el cual sirve para reducir sólidos gruesos, grasas y aceites. El tratamiento secundario se encarga de degradar fundamentalmente el contenido biológico del agua residual, el cual proviene de los desechos humanos (restos de jabones, detergentes y alimentos). Finalmente, el tratamiento terciario, se encarga de aumentar la calidad del efluente antes de ser descargado al cuerpo receptor (mar, lago, río, campo, etc.).

Los métodos convencionales utilizados para el tratamiento de aguas residuales están diseñados para eliminar materia orgánica y contaminantes que se encuentran en las normativas. A pesar de la aplicación de tratamientos terciarios se detecta que muchos compuestos persisten, por lo que se considera importante la identificación y la evaluación de la eficiencia de otras tecnologías involucradas en el tratamiento de aguas residuales (García-Gómez et al., 2011; Gil et al., 2012). Los CE son muy variados y disponen de una alta gama de propiedades químicas por lo que deben ser tomadas en cuenta para su tratamiento. Los métodos utilizados en la eliminación de CE se clasifican en tres categorías: físico-químicos, biológicos y avanzados (Gil et al., 2012).

### **2.4.1. TRATAMIENTOS FÍSICO-QUÍMICOS**

Dentro de los tratamientos físico-químicos se incluye la adsorción con carbón activado granular, cloración, ozonificación, suavización con cal, flotación, coagulación, etc. (Gil et al., 2012). En un estudio a escala de laboratorio, utilizando diferentes tratamientos físico-químicos, se analizó la eliminación de diferentes compuestos farmacéuticos, y con procesos como, flotación, coagulación y suavización por cal, se obtuvo eficiencias menores al 20%, pero con cloración, oxidación por ozono y carbón activado granular se obtuvo una eliminación mayor al 90%. A pesar de la eficiencia con procesos como la oxidación por ozono y la cloración, son procesos que pueden generar subproductos con efectos desconocidos sobre todo al reaccionar con diferentes químicos (Gil et al., 2012).

La adsorción con carbón activado y tratamientos de oxidación resultan ser eficientes en la eliminación de diferentes CEs. Esta eficiencia se debe a la interacción hidrofóbica con los compuestos orgánicos polares, en especial para aguas residuales que contienen materia orgánica y material no biodegradable (García-Gómez et al., 2011).

#### **2.4.2. PROCESOS BIOLÓGICOS**

Los procesos biológicos están basados en la habilidad de la degradación que tienen ciertos microorganismos para la degradación de la materia orgánica. Biofiltros y sistema de lodos activados son métodos capaces de transformar compuestos orgánicos acuosos en biomasa. Esta puede ser separada por sedimentación de la solución acuosa. Aun así, no todos los CEs pueden ser removidos, particularmente los de origen polar (Gil et al., 2012).

#### **2.4.3. PROCESOS AVANZADOS**

Entre los procesos avanzados se estudia los sistemas por membrana ya sean biológicos o no biológicos como la nanofiltración, ultrafiltración y ósmosis inversa. Los procesos de oxidación avanzada forman radicales hidroxilos en cantidades suficientes para poder oxidar los compuestos químicos presentes en aguas residuales (Gil et al., 2012). Entre estos están: la oxidación fotocatalítica usando radiación UV o luz solar en la presencia de catalizadores, cavitación, combinaciones de ozono con agentes oxidantes y la fotocatalisis heterogénea. El uso de procesos avanzados en las PTAR municipales o industriales es poco común debido a que son procesos costosos (García-Gómez et al., 2011; Gil et al., 2012).

En experimentación a nivel de laboratorio se ha utilizado ozono con peróxido de hidrógeno ( $O_3/H_2O_2$ ) para el tratamiento de ibuprofeno y diclofenaco, logrando un porcentaje de eliminación del 90%. En otro estudio se eliminó carbamazepina completamente utilizando un sistema solar combinado de fotocatalisis con ozono y  $TiO_2/H_2O_2$  (Gil et al., 2012).

#### **2.4.4. MÉTODOS DE ELIMINACIÓN DE LA CAFEÍNA**

Los procesos de oxidación avanzada como ozonización, fotocátalisis y Fenton se han utilizado para la degradación en el agua contaminada con cafeína. El proceso foto-Fenton usado para degradar cafeína de los efluentes de las PTAR, en condiciones óptimas puede reducir de 52 mg/L a 0,76 mg/L de cafeína. A pesar que se ha demostrado que este proceso es efectivo existen varias restricciones como el pH ácido, la alta concentración de hierro ferroso y algunas especies resistentes (Guo, Shen, Wang, Sun, & Wang, 2015).

En las PTAR que utilizan tratamientos convencionales basados en lodos biológicos activados la eliminación de cafeína es incompleta. Por el contrario, se reporta una alta eliminación de la cafeína cuando la cloración se utiliza como tratamiento adicional en plantas de tratamiento de agua potable. A pesar que la reacción del hipoclorito de sodio con la cafeína es muy lenta este puede producir una variedad de subproductos con la materia orgánica (Zarrelli et al., 2014).

#### **2.4.5. MÉTODOS DE ELIMINACIÓN DEL TRICLOSÁN**

Existen diferentes tratamientos mediante los cuales el triclosán puede ser removido de las soluciones acuosas, como los procesos de foto-Fenton, tratamientos de V-UV / UV-C y oxidación por ozono. Estas metodologías pueden ser muy eficientes, pero con altos costos en términos de infraestructura y operación. Además, estos procesos generan productos intermedios tóxicos (Santaeufemia et al., 2019).

El triclosán puede ser eliminado en la PTAR, utilizando un proceso de lodos activados convencional. Entre el 30-40% del triclosán se biodegrada, mientras que el resto es adsorbido por los lodos. Concentraciones típicas del triclosán en lodo está a un nivel de 0,028–37,189 mg/kg, revelando que el lodo activado tiene capacidad adsorbente para este compuesto. También se ha utilizado lodo seco inactivo, mineral diatomita y nanotubos de carbono de pared simple para eliminar triclosán. Muchos de estos potenciales métodos de remoción tienen alto costo y requieren de tratamientos previos (Yan et al., 2019).



Procesos naturales como la biodegradación y la degradación fotolítica disminuyen la disponibilidad del triclosán para biota acuática. Los subproductos derivados del triclosán como el metil triclosán y fenoles clorados, pueden resultar mucho más tóxicos que el triclosán y más resistente a la degradación (Dann & Hontela, 2011).

## 2.5. ADSORCIÓN

La adsorción es un fenómeno superficial y se define como un aumento a la concentración de un componente particular en la superficie o la interfaz entre dos fases. Al compuesto contaminante que se fija a la superficie sólida se le denomina adsorbato y la superficie sólida se conoce como adsorbente (Ali & Gupta, 2007).

La adsorción se ve afectada por ciertos parámetros tales como la naturaleza del adsorbato, la naturaleza del adsorbente, la temperatura, la presencia de otros contaminantes, las condiciones atmosféricas, y experimentales como son el tiempo de contacto, la concentración de contaminantes, el pH y la granulometría de la partícula del adsorbente. Un factor que pueden afectar la adsorción es la presencia de partículas en suspensión, aceites y grasas, por lo que a veces se requiere una prefiltración (Ali & Gupta, 2007).

### 2.5.1. TIPOS DE ADSORCIÓN

**Adsorción Física** o fisorción sucede gracias a las fuerzas de Van der Waals, este tipo de adsorción se da entre moléculas del adsorbato y átomos de la superficie del adsorbente. La fisorción puede generar varias capas adicionales (García-Rojas, Villanueva-Díaz, Campos-Medina, & Velázquez-Rodríguez, 2012). La naturaleza química del adsorbente en la fisorción se conserva (Hernández & Piñeros, 2017).

**Adsorción Química** o quimisorción es una interacción química entre sustancia adsorbida y el adsorbente. Este proceso sucede cuando las sustancias se unen a la superficie del adsorbente mediante fuerzas covalentes. Después del proceso la superficie queda recubierta únicamente por una capa de moléculas adsorbidas, quedando saturada (García-Rojas et al., 2012). En la quimisorción el adsorbato sufre algunas transformaciones de naturaleza química (Hernández & Piñeros, 2017).

**Intercambio Iónico**, se da entre el sorbato y el adsorbente los cuales se atraen por fuerzas electrostáticas. Este ocurre entre los iones mantenidos en la superficie del adsorbente, los cual están cargados eléctricamente con signo contrario a los iones del soluto (Hernández & Piñeros, 2017).

### **2.5.2. ADSORCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES CON RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS**

La adsorción realizada con material lignocelulósico vivo o muerto se conoce como bioadsorción. Este es un proceso físico-químico que implica fenómenos de adsorción y absorción, así como del intercambio iónico (Al-Gheethi et al., 2018). Los biosorbentes de materia viva se tiene la biomasa microbiana (algas, bacterias y hongos). Los biosorbentes de materia muerta, se encuentran productos agroindustriales y biomasa residuales (corteza de árboles y cáscaras de frutos secos y cáscaras de frutas) (Tejada et al., 2015).

La biomasa muerta es una alternativa económicamente viable ya que es considerada un desecho de la industria. Además tiene ventajas de mantenimiento ya que la materia viva tiene un bajo deterioro lo que la hace inmune a las condiciones adversas operativas y a la toxicidad (Fernández, Calzado, Cascaret, & Pérez, 2018). Se ha observado que estos materiales tienen características que brindan porosidad, rigidez y composición química (sitios activos o grupos funcionales) que permiten la unión entre iones (Tejada et al., 2015).

Los métodos basados en la biosorción se han convertido en una interesante tecnología para la eliminación de CEs. Muchos bioadsorbentes obtenidos de los desechos agrícolas han sido estudiados en su mayoría para la eliminación de iones metálicos y colorantes. Dentro de estos bioadsorbentes están la palma aceitera, paja de sorgo, bagazo de agave, paja de avena, cáscaras de plátano, cáscara de limón, pajitas de cebada, semillas de frutas, cáscara de nuez, café molido, hojas de moringa y muchos otros. Estos productos naturales y agrícolas están fácilmente disponibles. El objetivo principal de su uso como biosorbentes es utilizarlos de una manera útil y eficiente, para dejar de causar problemas de eliminación de residuos, si estos no se gestionan adecuadamente (Al-Qodah et al., 2017).

### 2.5.3. ADSORCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES CON CÁSCARA DE MANÍ

La cáscara de maní contiene lignina y celulosa, que permiten la presencia de grupos funcionales polares, carboxilos e hidróxido fenólicos. Estos grupos funcionales son los responsables de que suceda la adsorción química (Tanyildizi, 2011). La cáscara es capaz de adsorber 2,5 veces su peso en agua y tiene una porosidad del 60%, lo que le permite tener mayor número de espacios disponibles para la adsorción (Johnson et al., 2002).

En el estudio hecho por Li et al. (2018) con cáscara de maní para remover del agua cuatro antibióticos (sulfamerazina ST, sulfametazina SM, sulfatiazol SM2 y sulfametoxazol SMX), se analizaron las propiedades de la cáscara de maní por espectroscopía de rayos X, MEB y FTIR. Los datos cinéticos mostraron un ajuste al modelo de pseudo-segundo orden y al modelo lineal de Henry en isotermas de adsorción. Se determinó que la cáscara de maní es un material prometedor en la adsorción de antibióticos cuando están presentes en concentraciones bajas.

Tapia et al. (2017) estudió la eliminación de iones de cobre utilizando sorbetes orgánicos (aserrín, algas, cuesco de durazno, cáscaras de avellana, almendra y maní). La experimentación se realizó a escala batch estudiando los efectos de eliminación. Se determinó que los residuos más eficientes en la eliminación de iones cobre son las cáscaras de nuez-almendra, aserrín y cáscaras de maní. Las isotermas de adsorción se adaptaron al modelo de Freundlich.

El estudio realizado por Babarinde & Onyiaocha (2016), muestra que la bioadsorción de iones Pb(II), Cd(II) and Zn(II) aumentó con el tiempo de contacto, dosis del adsorbente y pH, pero disminuyó con la temperatura del sistema. Los iones metálicos siguieron el modelo cinético de pseudo-segundo orden y estuvieron mejor representados por el modelo de isoterma de Freundlich.

Moreira et al. (2015) realizaron un estudio del efecto de la dureza del agua y el pH para la adsorción de cafeína con varias clases de carbón activado derivados de biomasa (*dende coco* y *babassu coco*) y un carbón activado disponible comercialmente (NO: Norit1GAC 1240 plus). Los resultados resaltan la importancia

del pH en la adsorción de cafeína; las remociones más altas se obtuvieron para pH 3.0 y disminuyeron para pH más alto. Las isothermas de adsorción obtenidas se ajustaron a los modelos Freundlich y Langmuir. La dureza en la solución disminuyó su adsorción debido a un efecto de competencia.

#### **2.5.4. CINÉTICA DE ADSORCIÓN**

La cinética de adsorción describe la tasa de adsorción del soluto. Esta tasa determina el tiempo de la adsorción entre la interfaz sólido-solución. La cinética proporciona información sobre las vías de reacción y el tiempo en el que se consigue el equilibrio. La cinética de adsorción va de la mano con las características físicas y/o químicas del material adsorbente. Entre los datos experimentales y los valores predichos del modelo se expresa la conformidad mediante los coeficientes de correlación donde el valor de  $R^2$  es igual o cercano a 1 (Saha & Orvig, 2010).

#### **2.5.5. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN**

El desarrollo de un modelo de isoterma apropiado para la adsorción es esencial para el diseño y la optimización de los procesos de adsorción. Los modelos más comunes utilizados para investigar la isoterma de adsorción son las ecuaciones de Langmuir y Freundlich (Afkhami, Saber-Tehrani, & Bagheri, 2010).

La isoterma de Langmuir describe el comportamiento interactivo entre solutos y adsorbentes, se basa en el supuesto de que la adsorción máxima se le asigna únicamente a una monocapa saturada de moléculas de adsorbato, la cual sucede en la superficie del adsorbente con una energía constante. No existe transmigración de adsorbato en la superficie del adsorbente (Afkhami et al., 2010).

La isoterma de Freundlich se utiliza para sistemas heterogéneos donde la adsorción no es ideal y se forman multicapas. La interacción entre adsorbente y adsorbato, disminuye en magnitud con el aumento de la extensión de la adsorción. Si esta interacción es logarítmica, implica que los sitios de adsorción se distribuyen exponencialmente con respecto a una energía de adsorción que difiere entre los grupos de sitios de adsorción (Afkhami et al., 2010).

## **2.6. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES ADSORBENTES**

### **2.6.1. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)**

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) se utiliza para identificar y caracterizar materiales orgánicos, inorgánicos y poliméricos, esto permite identificar contaminantes en materiales, encontrar aditivos, identificar descomposición y oxidación en los materiales (Titus, Jebaseelan Samuel, & Roopan, 2019). El análisis FTIR utiliza una forma de espectroscopía vibracional que usa la absorbancia, reflectancia o transmitancia de radiación infrarroja en diferentes cantidades (Lopes et al., 2016). Los espectros FTIR obtenidos se usan para identificar los grupos funcionales y cada material tiene una “huella digital” molecular que contiene picos característicos. Una alteraciones en el patrón de absorción indican claramente un cambio en la composición del material de esta manera se puede identificar si el proceso de adsorción (Tafintseva et al, 2019).

### **2.6.2. MICROSCOPIA ÓPTICA Y MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)**

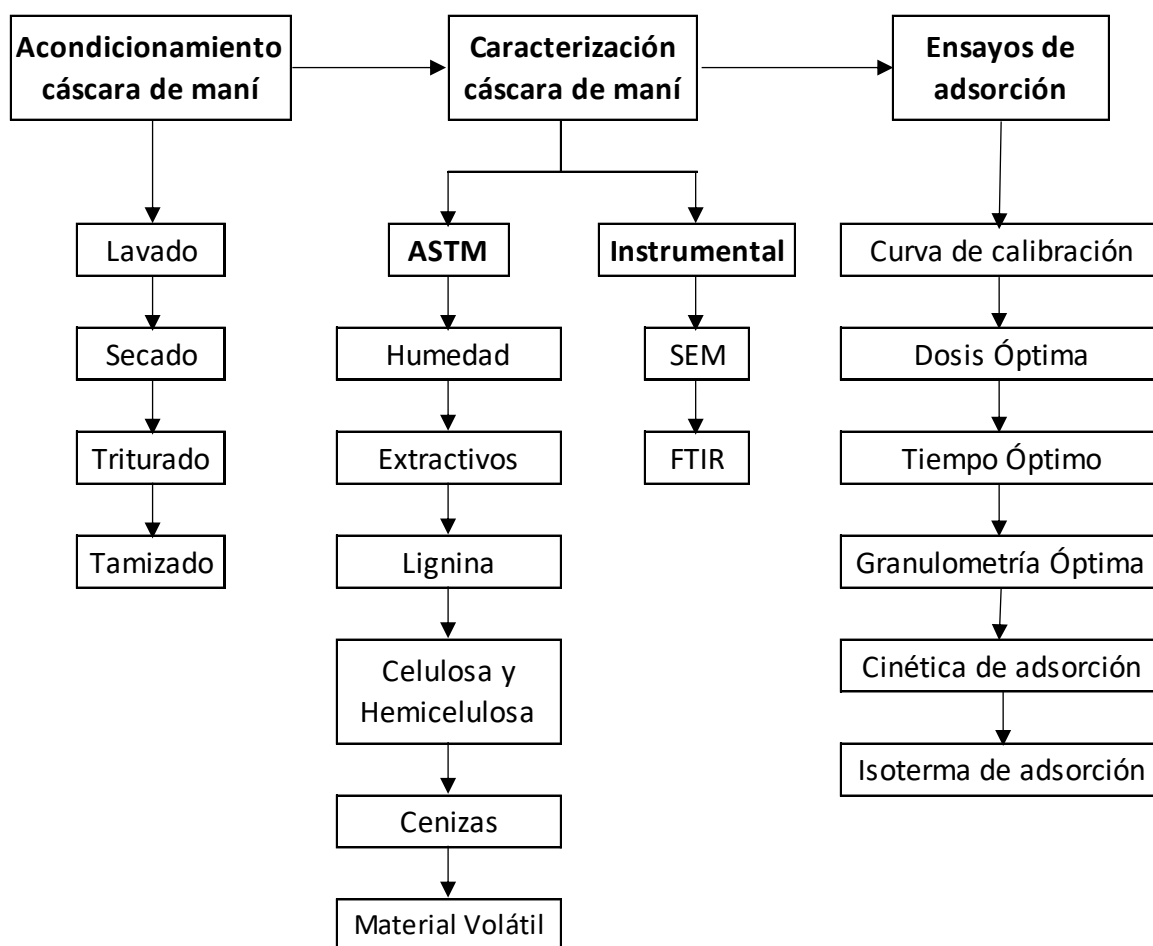
La microscopía óptica ha sido utilizada para observar materiales a un nivel de micras y permite obtener imágenes de calidad, entendibles al ojo humano, pero las aberraciones dificultan la resolución adicional en microscopios ópticos. Por lo tanto, es necesaria utilizar otra técnica como la microscopía electrónica de barrido (MEB), la cual tiene una mejor resolución que permite visualizar las imágenes con más detalles, aun que a menudo las micrografías electrónicas necesitan de las microscopías ópticas para obtener una buena interpretación de la morfología de la muestra (Bishop et al., 2011; Titus et al., 2019).

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGÍA

En la Figura 3.1 se muestra un resumen de la metodología utilizada en el presente proyecto de manera general, para dar a conocer cada etapa del proceso para la obtención de datos. Se ha dividido en tres fases el acondicionamiento, la caracterización química y análisis proximal, así mismo de la caracterización instrumental de la cáscara de maní. Además, se enumera los ensayos que se realizó para remover cafeína y triclosán del agua con el material adsorbente.

Figura 3.1 Diagrama de la metodología



### **3.1. ACONDICIONAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MANÍ**

La cáscara de maní fue obtenida de una planta desvainadora ubicada en el cantón Paltas en la provincia de Loja, Ecuador. Las cáscaras de maní fueron sometida a tres lavados con agua potable para retirar impurezas y polvo. Se realizó un último lavado con agua destilada tal como se describe en el procedimiento de Liu (2010). Posteriormente se secaron a 80°C durante 24 horas en una estufa marca Venticell 404, esto para no alterar las propiedades físicas, químicas o estructurales del material con las altas temperaturas que pueden afectar el proceso de adsorción (Taşar et al., 2014).

El material fue triturado en un molino de cuchillas marca Thomas modelo 3379-K05. Se separó por granulometría de partícula para lo cual se utilizaron 6 tamices, los cuales cumplen con la norma ASTM E11. Los rangos fueron tomados de Li et al. (2018), Taşar et al. (2014) y Wafwoyo, Seo, & Marshall (1999). En el caso de la granulometría de partícula grande (2 mm a 850 µm) se utilizó los tamices número 10 y 20, para la granulometría de partícula mediana (600 a 300 µm) se usó los tamices número 30 y 50, y para la granulometría de partícula pequeña (125 a 150 µm) se usó los tamices número 100 y 120. En este proceso se utilizó una tamizadora mecánica. El material triturado fue guardado en fundas herméticas de polietileno respectivamente etiquetadas. En el ANEXO 1 se encuentran fotografías del proceso de acondicionamiento del material.

### **3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE MANÍ**

#### **3.2.1. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ANÁLISIS PROXIMAL DE LA CÁSCARA DE MANÍ**

En la Tabla 3.1 se encuentran los parámetros analizados para la determinación de la composición química y análisis proximal de la cáscara de maní. Además, se muestra el número y nombre de las normas técnicas ASTM. Estos parámetros han sido estudiados en varios estudios como en Asimbaya (2016), Ferrucho (2014) y Taşar et al. (2014) donde se evaluó diferentes residuos agrícolas como material adsorbente tal como en este estudio.

Tabla 3.1 Parámetros y normas ASTM utilizados para determinar la composición química de la cáscara de maní

Parámetro	Norma Técnica	Descripción
Humedad	ASTM D4442-16	Método de prueba estándar para la determinación directa del contenido de humedad de madera y materiales a base de madera.
Extractivos	ASTM D 1107-96 (2013)	Métodos de prueba estándar para la solubilidad en etanol-tolueno de la madera.
Lignina	ASTM D 1106-96 (2013)	Método de prueba estándar para la lignina ácido-insoluble en madera
Celulosa y hemicelulosa	ASTM D 1109-84 (2013)	Método de prueba estándar para solubilidad de hidróxido de sodio al 1% de la madera.
Cenizas	ASTM D 1102-84 (2013)	Método de prueba estándar para cenizas en madera.
Material volátil y carbón fijo	ASTM E 872-82 (2019)	Método de prueba estándar para materia volátil en el análisis de combustibles de madera particulada.

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

### 3.2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE MANÍ MEDIANTE TÉCNICAS INSTRUMENTALES

El análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) se realizó en el Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (CIAP) y en el Laboratorio de Nuevos Materiales (LANUM) de la EPN, para lo cual se midió en la región del infrarrojo comprendida entre 4000 a 500  $\text{cm}^{-1}$ . Se determinó los grupos funcionales de una muestra del material acondicionado de cáscara de maní antes de la adsorción, así como la cafeína y triclosán. También se determinaron los grupos funcionales de las muestras de la cáscara de maní después de la adsorción de cafeína y triclosán para lo cual se secó la muestra durante 1 hora a 105°C.



La morfología de la cáscara de maní se observó en un microscopio óptico a 100X, 400X y 1000X. Y se complementó con una observación de la misma muestra en un microscopio electrónico de barrido marca ASPEX PSEM eXpress con 15 kV de voltaje de aceleración y distancia de trabajo (WD) de 20,4 mm. Las imágenes se tomaron con magnificación 50X, 100X, 500X y 1000X, pero debido a la naturaleza orgánica de la cáscara de maní no fue posible una mayor magnificación.

### **3.3. ENSAYOS DE ADSORCIÓN**

Para la determinación de las concentraciones de cafeína y triclosán en solución, se utilizó la espectrofotometría UV-Vis, método ya utilizado para medir contaminantes emergentes en otros estudios como Cabrera-Lafaurie, Román, & Hernández-Maldonado (2012), Asimbaya (2016), Oliveros-Batidas, Carrera, & David (2009), entre otros. Las determinaciones cuantitativas se realizaron mediante un barrido entre las longitudes de onda del espectro electromagnético, ultravioleta-visible (UV-Vis). Y se escogió la longitud de onda correspondiente al máximo punto, donde existe el menor error de medición y la máxima sensibilidad (Calle, 2011). En el próximo punto se describe la preparación de las soluciones de los contaminantes, la determinación de la longitud de onda y como se obtuvo la curva de calibración. Esto para cafeína y triclosán siguiendo la metodología de García, Fuentes & Fernández (2018) y Bribiesca & Rivera (2015), respectivamente.

#### **3.3.1. CURVA DE CALIBRACIÓN CAFEÍNA**

Utilizando una solución madre de 100 mg/L preparada en un balón aforado de 250 mL donde se disolvió 25 mg de cafeína estándar de 99% de pureza con agua destilada, se prepararon soluciones entre 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 5, 3, 2 y 1 mg/L de cafeína. El agua destilada se usó como blanco. La medición se realizó en un espectrofotómetro UV-VIS marca Analytik Jena Specord 210 Plus. Un barrido entre las longitudes de onda 190 y 380 nm se realizó para determinar los picos máximos de absorbancia y determinar la longitud de onda adecuada para la medición de cafeína. Una vez obtenidos los valores de absorbancia de las diferentes concentraciones, se graficaron los datos y se obtuvo la ecuación de la recta a partir de la cual se obtuvo la concentración de cafeína.

### **3.3.2. CURVA DE CALIBRACIÓN TRICLOSÁN**

El triclosán es un compuesto poco soluble en agua, por lo que para su dilución se utilizó un solvente. En Bribiesca & Rivera (2015) el triclosán es diluido con metanol pero este es un solvente peligroso por su fácil volatilidad, por lo que se hizo pruebas preliminares con acetona, esto con base en el trabajo de Oliveira et al. (2009). Se probó diluir 25 mg triclosán de pureza de 97% con 250  $\mu$ L, 2,5 mL, 5 mL, 12,5 mL y 25 mL de acetona y se aforó en balones de 250 mL. Las diferentes soluciones se mantuvieron en agitación durante 4 horas. Durante este tiempo las soluciones con 250  $\mu$ L, 2,5 mL, 5 mL precipitaron, separándose el triclosán del agua. Las soluciones de 12,5 y 25 mL se dejaron en refrigeración durante 24 horas para determinar su estabilidad. Ninguna de las dos presentó cambios por lo que se trabajó con 12,5 mL de acetona/L de solución para todos los ensayos.

En la preparación de la solución madre de 100 mg/L se disolvió 25 mg de triclosán con 12,5 mL de acetona y se aforó en un balón aforado de 250 mL. Para la solución utilizada como blanco se colocó 12,5 mL de acetona y se aforó con agua destilada en un balón de 250 mL (solución al 5% v/v de acetona). A partir de la solución madre se preparó soluciones de 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 5, 3, 2 y 1 mg/L de triclosán en balones aforados de 50 mL. La medición de estas soluciones se realizó en un espectrofotómetro UV-VIS marca Analytik Jena Specord 210 Plus. Un barrido entre las longitudes de onda 190 y 380 nm se realizó para determinar los picos máximos de absorbancia y determinar la longitud de onda adecuada para su medición. La medición se realizó con la solución de blanco, solución de acetona al 5% v/v, una vez obtenidos los valores de absorbancia para cada concentración de triclosán, se graficaron los datos y se obtuvo la ecuación de la recta a partir de la cual se obtuvo la concentración de triclosán después de los ensayos de adsorción.

### **3.3.3. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DEL MATERIAL**

La concentración de cafeína utilizada en otros estudios para realizar los ensayos de adsorción, es variable 5, 10, 14, 25, 50 y hasta 100 mg/L (Cabrera-Lafaurie et al., 2012; Marques et al., 2012; Sánchez, 2018; Sotelo et al., 2014) considerando la sensibilidad del equipo usado para la cuantificación de la concentración de los

contaminantes, se optó por trabajar con una concentración de cafeína de 30 mg/L. Esto también considerando que el equipo no mide soluciones menores a 1 mg/L y la recta de la curva de calibración tiene un coeficiente de correlación ajustado ( $R^2$ ) hasta los 50 mg/L. En el caso de triclosán y para la comparación de datos se decidió trabajar con la misma concentración.

Para determinar la dosis óptima del material adsorbente (cáscara de maní) se realizó una prueba preliminar para determinar el tiempo de contacto, en la que se colocó 1 g/L de cáscara de maní de partícula grande (850  $\mu\text{m}$  - 2 mm) con 20 mL de solución de 30 mg/L de contaminante. Se determinó que el tiempo al que se estabiliza la concentración de cafeína es de 3 horas y para triclosán 45 min. La dosis de la cáscara de maní se aumentó hasta obtener la máxima remoción.

En el caso de cafeína, para la partícula grande (850  $\mu\text{m}$  - 2 mm) se evaluaron las dosis de 5, 10, 15, 17, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 g/L. En la partícula mediana (300  $\mu\text{m}$  - 600  $\mu\text{m}$ ) se evaluaron dosis de 3, 5, 7, 10, 15, 17, 20, 25, 30 y 40 g/L, finalmente para la partícula pequeña (125  $\mu\text{m}$  - 150  $\mu\text{m}$ ) se evaluaron dosis de 1, 3, 5, 7, 10, 15, 17 g/L. En el caso de triclosán, para la partícula grande (850  $\mu\text{m}$  - 2 mm) se evaluaron dosis de 0,1; 0,5; 1; 2; 5; 10; 15 y 25 g/L, en la partícula mediana (300  $\mu\text{m}$  - 600  $\mu\text{m}$ ) se evaluaron dosis de 0,1; 0,3; 0,5; 1 y 1,3 g/L. Para la partícula pequeña (125  $\mu\text{m}$  - 150  $\mu\text{m}$ ) se evaluaron dosis de 0,02; 0,05; 0,1 y 0,5 g/L.

Se pesó la cáscara en una balanza de precisión marca Mettler Toledo, modelo ME 204, con una sensibilidad mínima y máxima de 10 mg y 220 g. La misma dosis de material fue pesada para tres vasos de precipitación, con el fin de hacer un blanco y su respectivo duplicado para verificar los datos obtenidos. El blanco utilizado para cafeína fue agua destilada, mientras que el blanco para triclosán fue una solución de acetona al 5% v/v.

Se colocó 20 mL de solución de cafeína, triclosán o de blanco respectivamente en cada vaso de precipitación con la cáscara pesada. Los ensayos se realizaron en oscuridad para prevenir la interferencia con la luz (fotodegradación). En el estudio realizado por Wang, Roddick, & Fan (2017) la fotodegradación para cafeína es mínima, mientras que para triclosán la fotodegradación es elevada. Por motivos de

comparación se prefirió trabajar en las mismas condiciones los dos contaminantes. Los vasos se colocaron sobre una plancha de agitación magnética marca CIMAREC i multipoint. a 150 revoluciones por minuto (rpm) (Ghasemi et al., 2014; Liu et al., 2010), durante 3 horas para cafeína y 45 minutos para triclosán.

Después de la agitación se filtró la solución, primero por un filtro de celulosa de poro de 0,25 mm (para retener la mayor cantidad del material), y después por un filtro de celulosa de 20  $\mu\text{m}$  (Li et al., 2018). Las muestras fueron almacenadas en pequeños frascos de vidrio color ámbar. La absorbancia fue medida en el espectrofotómetro a la longitud más alta correspondiente a cada contaminante. Utilizando la curva de calibración se obtuvo la concentración del contaminante.

El porcentaje de eliminación de cafeína o triclosán se calculó con la ecuación (3.1):

$$(\% \text{eliminación}) = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} * 100 \quad (3.1)$$

donde,  $C_o$  y  $C_e$  son concentración inicial y final de cafeína o triclosán (mg/L).

#### **3.3.4. DETERMINACIÓN DE TIEMPO ÓPTIMO DE CONTACTO**

Se escogió la dosis óptima para cada tamaño de partícula en la eliminación de cafeína y triclosán, y se realizó ensayos a diferentes tiempos. En el caso del tiempo de contacto de la cafeína se realizó mediciones a los 15, 45, 60, 120, 180, 240 y 300 min, y para triclosán a 10, 20, 30, 45, 60, 120 y 180 min. Los ensayos y cuantificación de los contaminantes se realizaron por duplicado, en las mismas condiciones que los ensayos de dosis óptima.

#### **3.3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA ÓPTIMA DEL MATERIAL**

Se determinaron mediante el análisis de varianza de un solo factor (ANOVA) la dosis óptima y el tiempo óptimo por cada tamaño de partícula. El análisis se realizó utilizando el software Minitab 18 (Tanyildizi, 2011). La granulometría óptima se determinó comparando la mejor dosis en el mejor tiempo de cada granulometría de cáscara de maní (2000-850  $\mu\text{m}$ , 600-300  $\mu\text{m}$  y 150-125  $\mu\text{m}$ ).

### 3.4. CINÉTICA DE ADSORCIÓN

La cinética de adsorción de cafeína y triclosán se calculó con los datos obtenidos para el tiempo de contacto óptimo de cada granulometría de partícula. Para determinar la cinética de adsorción se examinaron los dos principales modelos, el modelo cinético de pseudo primer-orden y el modelo cinético de pseudo-segundo orden (Babarinde & Onyiaocha, 2016). La cantidad del adsorbato por gramo de adsorbente se calcula usando la ecuación (3.2).

$$q = \frac{(C_o - C_f)V}{W} \quad (3.2)$$

Donde,  $q$  (mg/g) es la concentración de contaminante por gramo de cáscara de maní,  $C_o$  (g/L) es la dosis inicial del contaminante,  $C_f$  (g/L) es la concentración final del contaminante en solución,  $W$  (g) es la masa de la cáscara de maní, y  $V$  (L) es el volumen de la solución del contaminante (Johnson et al., 2002).

El modelo cinético de pseudo-primer orden es calculado mediante la ecuación (3.3). Mientras que el modelo cinético de pseudo-segundo orden se calcula a partir de la ecuación (3.4).

$$\log(Q_e - Q_t) = \log Q_e - \frac{K_1}{2,303} t \quad (3.3)$$

$$\frac{1}{Q_t} = \frac{1}{K_2 Q_e^2 t} + \frac{1}{Q_e} \quad (3.4)$$

donde,  $K_1$  es la constante de adsorción de pseudo primer orden,  $K_2$  es la constante del modelo cinético de pseudo segundo orden,  $Q_e$  y  $Q_t$  son las cantidades de contaminante adsorbido por la cáscara de maní en el equilibrio y en el tiempo  $t$  (Babarinde & Onyiaocha, 2016).

### 3.5. MODELOS DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Se colocó la dosis óptima de cáscara de maní correspondiente a cada granulometría de cada contaminante, se añadió 20 mL de solución de cafeína o triclosán de 10, 20, 30, 40 y 50 mg/L. Los ensayos fueron pesados, agitados, filtrados y cuantificados de la misma manera que los ensayos de dosis óptima.

Para determinar el tipo de isotermas de adsorción, se emplearon los modelos de Langmuir y Freundlich en sus formas linealizadas (Al-Qodah et al., 2017), las cuales se describen en las ecuaciones (3.5) y (3.6).

$$\text{Langmuir} \quad \frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}K_L} + \frac{C_e}{q_{max}} \quad (3.5)$$

$$\text{Freundlich} \quad \log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F \quad (3.6)$$

Donde  $q_e$  es la cantidad de contaminante adsorbido por la cantidad de material adsorbente (mg/g),  $C_e$  es la concentración en el equilibrio de la solución tratada (mg/L),  $q_{max}$  es la cantidad necesaria para formar una monocapa alrededor del adsorbente (mg/g),  $K_L$  constante de Langmuir,  $K_F$  y  $n$  son las constantes de la ecuación de Freundlich (Al-Qodah et al., 2017).

### 3.6. ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costos muestra los costos involucrados en la producción del material adsorbente. El costo del material adsorbente depende de varios factores, la disponibilidad del residuo, la recolección y el transporte de materia prima, el proceso que requiere para ser utilizado como adsorbente (Shaheen et al., 2019).

El maní se cultiva en todo el mundo y se estima que la producción de cáscara de maní es de 230 a 300 g de cáscara de maní por kg de maní (Zhao, Chen, & Du, 2012). El material utilizado en este estudio fue obtenido de una planta desvainadora de manera gratuita, aunque se tuvo que pagar el transporte desde el cantón Paltas a Quito. El tratamiento para su acondicionamiento fue sencillo, lavado, triturado, molienda, tamizaje. Ya que este estudio tiene como objetivo conocer las

características naturales adsorbentes de la cáscara de maní, por lo que se espera que el costo sea menor a los materiales existentes en el mercado como es el carbón activado o zeolitas los cuales pueden tener costos elevados (Gil et al., 2018). Cabe recalcar que los ensayos se han hecho en laboratorio por lo que la capacidad de adsorción del material podría variar cuando se lo use con agua residual real.

El análisis de costos para el uso de cáscara de maní como adsorbente, tanto de cafeína como de triclosán, se realizaron con los resultados óptimos obtenidos en el presente estudio y se adaptaron a un caso supuesto en el que se trata 1 m<sup>3</sup> de agua residual con 30 mg/L de cafeína y triclosán respectivamente. Se tomaron en cuenta los costos de la materia prima, la mano de obra, los insumos y el consumo energético de los equipos.

La mano de obra se hizo tomando en cuenta que se requiere de dos días laborables para obtener la cáscara de maní acondicionada. El costo del material incluye el costo de la cáscara de maní obtenida de la planta desvainadora, y el costo del transporte de Paltas a Quito. El costo de lavado toma en cuenta el agua potable utilizada para eliminar impurezas y el agua destilada utilizada en el lavado final. Por último, se toma en cuenta el costo energético, esta se hizo tomando en cuenta la potencia de la estufa utilizada para secar el material, el molino de cuchillas y la maquina tamizadora. La especificación de cada equipo fue utilizada para el cálculo del consumo de energía y se tomó como referencia el precio de kilovatio para mediana tensión por hora a nivel industrial (ARCODEL, 2019).

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

#### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE MANÍ

##### 4.1.1. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ANÁLISIS PROXIMAL DE LA CÁSCARA DE MANÍ

En la Tabla 4.1 se encuentra el promedio de la composición química y análisis proximal de la cáscara de maní, junto con la comparación con otros estudios. El contenido de humedad, cenizas, volátiles, extractivos y pH son muy parecidos entre los estudios. Mientras que el porcentaje de celulosa es más bajo que en los otros estudios y los porcentajes de lignina y hemicelulosa son mayores, esto debido a que el maní tiene una gran variedad de especies, lo que hace que su composición sea diferente (Mazzani C., Segovia, Marín R., & Pacheco, 2009). Además, el método utilizado por Taşar et al. (2014) para la determinación de la composición química es diferente al estipulado en la normativa ASTM.

Tabla 4.1 Composición química y análisis proximal de la cáscara de maní

Composición Química	Otros Estudios				Estudio Actual
	Johnson et al. (2002)	Taşar et al. (2014)	Gurevich et al. (2015)	Fasina (2008)	
Humedad	8-10%	-	6,50%	9,95%	8,91 ± 0,05 %
Celulosa	35-45%	34,71%	54,60%	-	19,37 ± 5,90 %
Lignina	27-33%	31,60%	30,9%	-	36,20 ± 4,43 %
Ceniza	2-4%	5,49%	5,50%	2,91%	3,12 ± 0,09 %
pH	6,68	-	-	-	6,62 ± 0,11
Volátiles	-	76,02%	68,80%	-	74,15 ± 0,35 %
Extractivos	-	13,76%	-	-	15,22 ± 0,40 %
Hemicelulosa	-	8,95%	14,50%	-	26,10 ± 1,70 %
Carbón fijo	-	-	19,20%	20,5	13,83 ± 0,40 %

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

La celulosa es una sustancia fibrosa, resistente e insoluble en agua y en solventes convencionales, esto debido a su estructura semicristalina, la cual está unida por átomos de hidrógeno. La hemicelulosa está presente en las paredes celulares, tiene



una estructura amorfa aleatoria con menos fuerza ya que se hidroliza más fácilmente que la celulosa y se puede disolver en soluciones alcalinas fuertes. (Khezami, Chetouani, Taouk, & Capart, 2005; Tabil, Adapa & Kashaninejad, 2011).

La celulosa es considerada una sustancia capaz de eliminar y reducir compuestos contaminantes, debido a la presencia de grupos hidroxilos, los cuales se encuentran unidos a la hemicelulosa. Los grupos hidroxilos promueven la interacción con cationes, favoreciendo los procesos de adsorción de contaminantes (El-Sayed, Salama, El-Rafie, & Emam, 2017; Emam & El-Bisi, 2014); aunque existe un factor de competitividad con el agua ya que el grupo hidroxilo es muy afín a esta, y se une a ellos por valencias polares y por puentes de hidrógeno (Turrado, Saucedo, Ramos, & Reynoso, 2008).

La lignina actúa como aglutinante de las fibras llenando los espacios entre la celulosa y la hemicelulosa, lo que confiere resistencia mecánica a la pared celular y, en consecuencia, a toda la estructura (Khezami et al., 2005). La lignina presenta grupos funcionales, los cuales permiten el proceso de adsorción. Entre estos grupos funcionales están los hidroxilos, metoxilos, carbonilos, carboxilos y sulfonatos, aunque estos dos últimos pueden variar según el material lignocelulósico. Además la lignina tiene propiedades dispersantes, aglomerantes, emulsionantes y estabilizante de emulsiones (Ramírez & Enríquez, 2015).

En conjunto la celulosa, hemicelulosa y lignina forman la pared celular de la cáscara de maní, dándole porosidad, lugar donde la cafeína y el triclosán pueden interactuar con diferentes componentes de la pared celular (Al-Qodah et al., 2017).

El contenido de extractivos fue de 15,22%. Los extractivos pueden estar formados de compuestos como terpenos, taninos, alcoholes, ceras, esteroides, ácidos grasos libres, entre otros. Estos dan color, olor y gusto a las cáscaras (Ferrucho, 2014). La presencia de extractivos disminuye la disponibilidad de poros, interfiriendo con el proceso de adsorción de los contaminantes (Pholosi, Ofomaja, & Naidoo, 2013)

En el análisis proximal de la cáscara de maní, el mayor valor corresponde a los sólidos volátiles 74,15%. La lignina, celulosa y hemicelulosa en el proceso de volatilización se descompone en gases como metano, monóxido de carbono,

dióxido de carbono, hidrogeno y agua (Ferrucho, 2014), lo que deja una estructura formada por carbono y materia inorgánica (Feijoo, Torre, & Uribe, 2019). El material no volátil (carbón fijo) es de 13,86% compuesto que favorece el proceso de adsorción. Finalmente, el contenido de cenizas de la cáscara de maní fue de 3,12%, representan el contenido de sales inorgánicas presentes en la cáscara de maní, especialmente sílice. En comparación con la materia orgánica la capacidad de adsorción de los minerales es menor, por lo que no influirá de gran manera en los procesos de adsorción (Ferrucho, 2014).

La humedad de la cáscara de maní sin lavar fue del 8,91%, esto debido a que el residuo fue obtenido de una planta desvainadora. En estos lugares las cáscaras de maní pasan por un proceso de secado para obtener su semilla, por lo regular para desvainar se requiere de una humedad de 8-10%, por lo que el porcentaje medido está dentro del rango (Padelini, 2012).

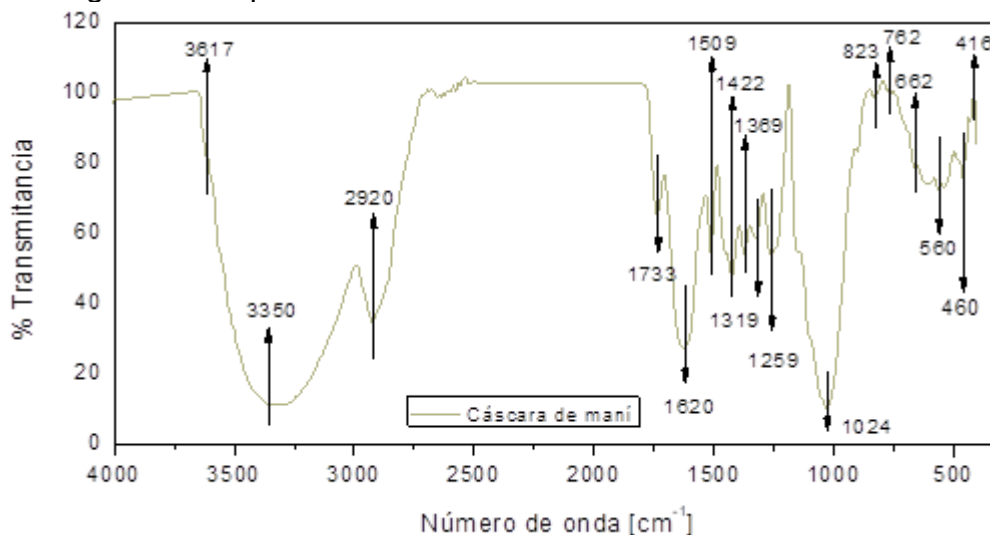
#### **4.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE MANÍ MEDIANTE TÉCNICAS INSTRUMENTALES**

##### **4.1.2.1. Espectroscopía Infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)**

La Figura 4.1 muestra el espectrograma de la cáscara de maní de granulometría 125-150  $\mu\text{m}$  después del acondicionamiento y antes de la adsorción de contaminantes. La primera banda de  $3350\text{ cm}^{-1}$  se atribuye los grupos amino e hidroxilo. La banda en  $2920\text{ cm}^{-1}$  se asocia a un estiramiento del enlace C-O. La banda  $1733\text{ cm}^{-1}$ ,  $1422\text{ cm}^{-1}$  y  $1369\text{ cm}^{-1}$  se asignan al grupo carboxilo, grupo  $\text{CH}_2$  y al grupo O-H, respectivamente (Zhu, Wang, & Chen, 2009).

La banda  $1259\text{ cm}^{-1}$  es un indicador de presencia de celulosa del enlace C-O, las bandas  $1620$ ,  $1509$  y  $1422\text{ cm}^{-1}$  se relacionan con la presencia de lignina y la vibración de sus anillos aromáticos, la banda  $1369\text{ cm}^{-1}$  está asociada al enlace C-H el cual está presente en la celulosa y hemicelulosa. La banda  $1509\text{ cm}^{-1}$  indica un enlace C=C y la  $1024\text{ cm}^{-1}$  se asocia al  $\text{CH}_2$  de la celulosa (Zhang et al., 2017).

Figura 4.1 Espectro FTIR de la cáscara de maní acondicionada

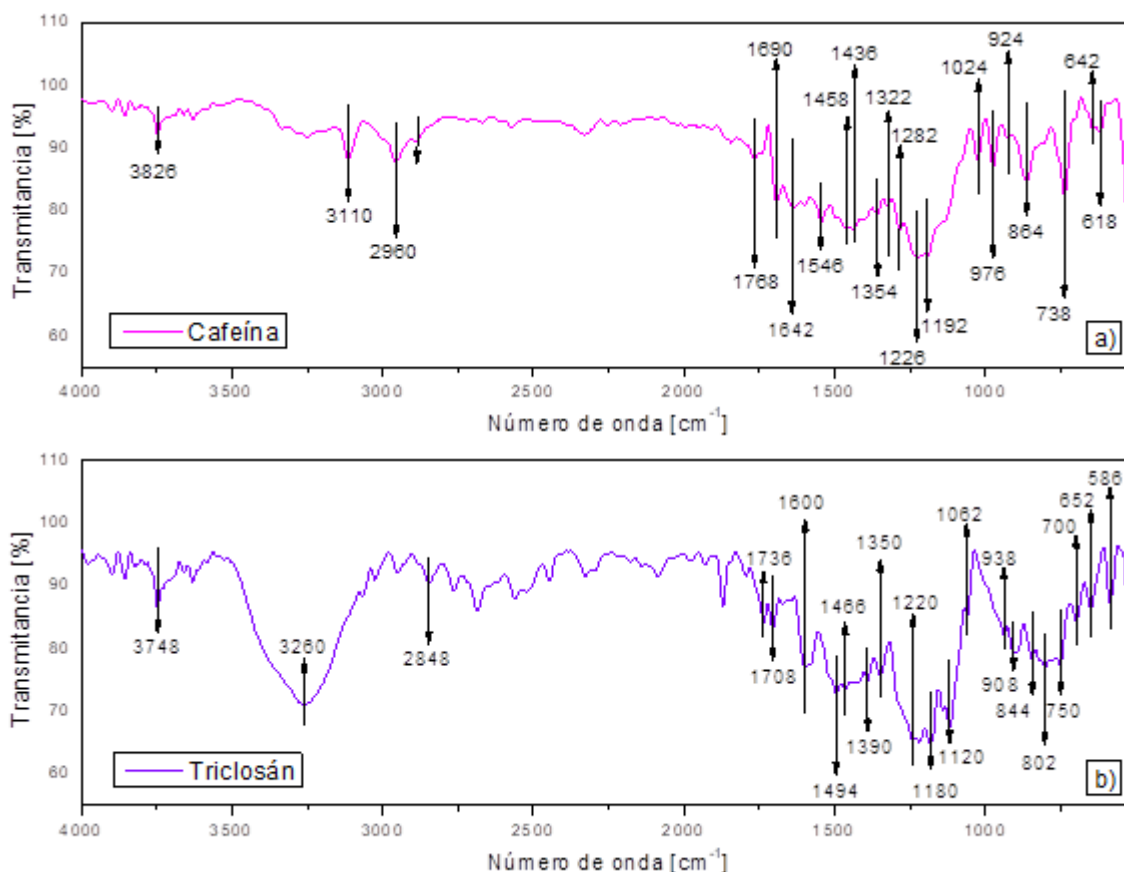


**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

En la Figura 4.2 a) se observa el espectro FTIR obtenido para cafeína. En el mismo se encuentran dos bandas  $3110$  y  $2960\text{ cm}^{-1}$  atribuidas al enlace CH del grupo metilo ( $\text{CH}_3$ ). La molécula de cafeína tiene tres grupos metilo, por lo tanto, este pico puede desempeñar un papel importante en la estimación de cafeína (Paradkar & Irudayaraj, 2002). Las bandas  $1024$  y  $924\text{ cm}^{-1}$  son atribuidas a los enlaces entre  $\text{N-CH}_3$  y las bandas  $1226\text{ cm}^{-1}$  y  $1354\text{ cm}^{-1}$  al enlace  $\text{C-N}$ . En  $1690\text{ cm}^{-1}$  está la banda que representa al enlace  $\text{C=O}$  y entre  $1550$  a  $1665\text{ cm}^{-1}$  las bandas son asignadas al estiramiento de  $\text{C=C}$  y  $\text{C=N}$  en el sistema de anillo de purina. La banda  $864\text{ cm}^{-1}$ ,  $738\text{ cm}^{-1}$  y  $618\text{ cm}^{-1}$  se les asigna a los enlaces entre  $\text{N=C-H}$ ,  $\text{O=C-C}$  y  $\text{C=C-C}$ , respectivamente (Nafisi, Shamloo, Mohajerani, & Omid, 2002).

En la Figura 4.2 b) se muestra el espectro FTIR obtenido para triclosán. La banda más amplia e intensa está en  $3260\text{ cm}^{-1}$  y corresponde a las vibraciones de estiramiento de  $\text{O-H}$  (alcoholes, fenoles y ácidos tricarbónicos). Las bandas en  $2948\text{ cm}^{-1}$  y en  $1736\text{ cm}^{-1}$  corresponden a los estiramientos de  $\text{C-H}$  y  $\text{C=O}$ , respectivamente (Santaefemia et al., 2019). Las bandas en  $1600$ ,  $1496$ ,  $1466$ ,  $1419$  y  $1390\text{ cm}^{-1}$  son vibraciones que implican estiramiento  $\text{C-C}$  dentro del anillo de benceno, mientras que los picos en la región de  $1300$  a  $1000$  y  $900$  a  $650\text{ cm}^{-1}$  pertenece a los enlaces  $\text{C-H}$ . Las bandas  $1390$  y  $1350\text{ cm}^{-1}$  aparecen por los enlaces  $\text{O-H}$ , mientras que los picos en  $1062\text{ cm}^{-1}$  corresponden al enlace  $\text{C-C}$  (Jug, Kosalec, Maestrelli, & Mura, 2011).

Figura 4.2 Espectros FTIR de a) cafeína y b) triclosán

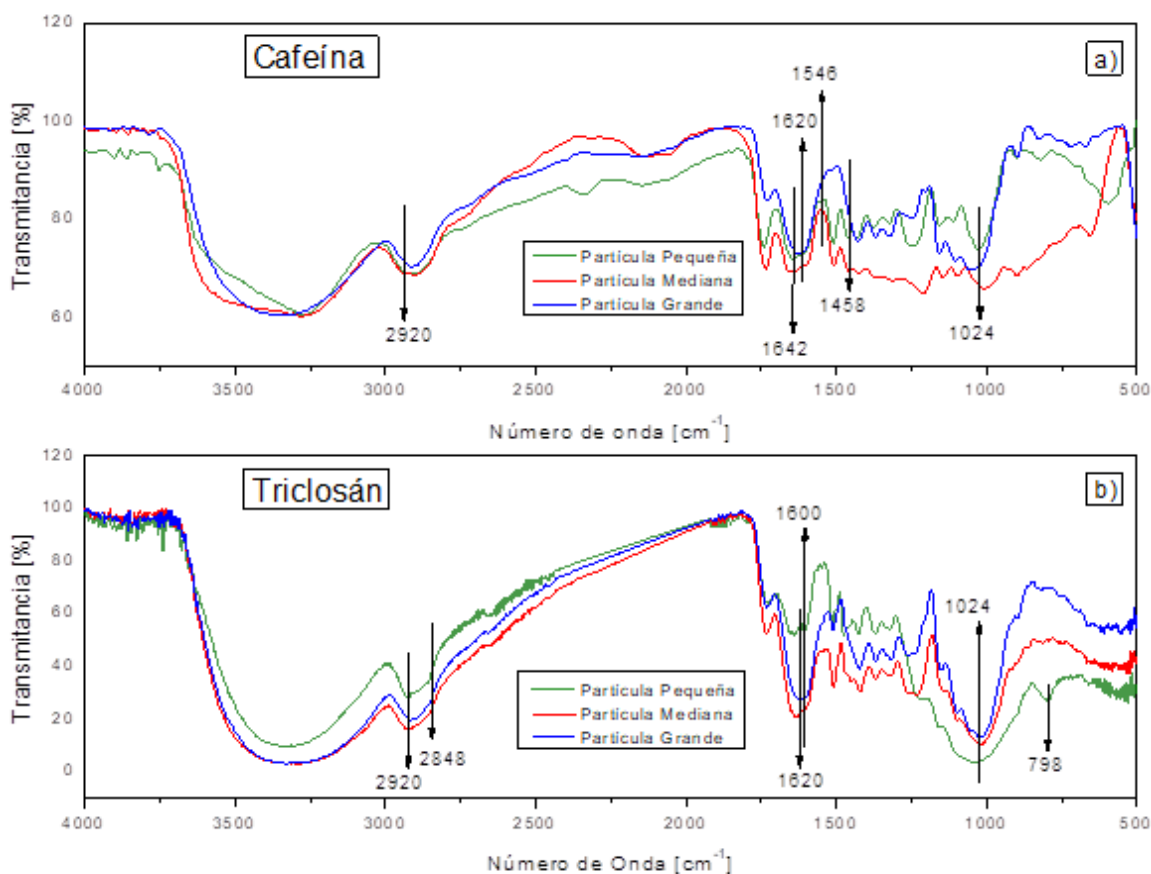


Elaborado por: Mayra Frutos, 2020

En la Figura 4.3 a) se muestran los espectros FTIR de las tres granulometrías de cáscara de maní, después de la adsorción de cafeína. Se puede observar que desde 1530 a 1183  $\text{cm}^{-1}$  existe un desplazamiento hacia abajo, es decir una disminución de transmitancia, que corresponde a las bandas de celulosa y hemicelulosa presentes en la cáscara de maní (1369 y 1509  $\text{cm}^{-1}$ , respectivamente). Los picos 1620, 1509 y 1422  $\text{cm}^{-1}$  pertenecen a la lignina, zona donde también coinciden la gran mayoría de las bandas de cafeína. La banda 1620  $\text{cm}^{-1}$  es más ancha lo que puede significar que se unió a la banda de cafeína 1642  $\text{cm}^{-1}$ , lo mismo ocurre con la banda 1024  $\text{cm}^{-1}$ . Además, en la partícula pequeña aparecen dos bandas de cafeína en 1548 y 1458  $\text{cm}^{-1}$ . En la partícula media y grande estas bandas no son perceptibles, probablemente porque la cantidad de cafeína adsorbida por la cáscara de maní es menor, en estas dos granulometrías.

En la Figura 4.3 b) se muestran las tres granulometrías de partícula de cáscara de maní después de la adsorción de triclosán. Las bandas que presentan son muy similares entre sí. La diferencia más grande entre el antes y después de la adsorción es un leve desplazamiento hacia abajo de todo el espectro, es decir una disminución de transmitancia. Las diferencias más notorias están en el ensanchamiento de la banda  $2920\text{ cm}^{-1}$ , ya que se une a la banda  $2848\text{ cm}^{-1}$  del triclosán. En la partícula pequeña se puede ver la banda  $1600\text{ cm}^{-1}$  que pertenece al triclosán. Además, se puede apreciar una unión de las bandas ubicadas entre  $1290$  y  $850\text{ cm}^{-1}$ , esto probablemente a que los picos de triclosán coinciden con estas bandas, por lo que se puede asumir que es el lugar en donde sucede el proceso de adsorción, lugar donde se encuentran los enlaces  $\text{CH}_2$  y  $\text{C-O}$  que se le asigna a la celulosa presente en la cáscara de maní.

Figura 4.3 Espectros FTIR de la cáscara de maní después de la adsorción a) cafeína y b) triclosán

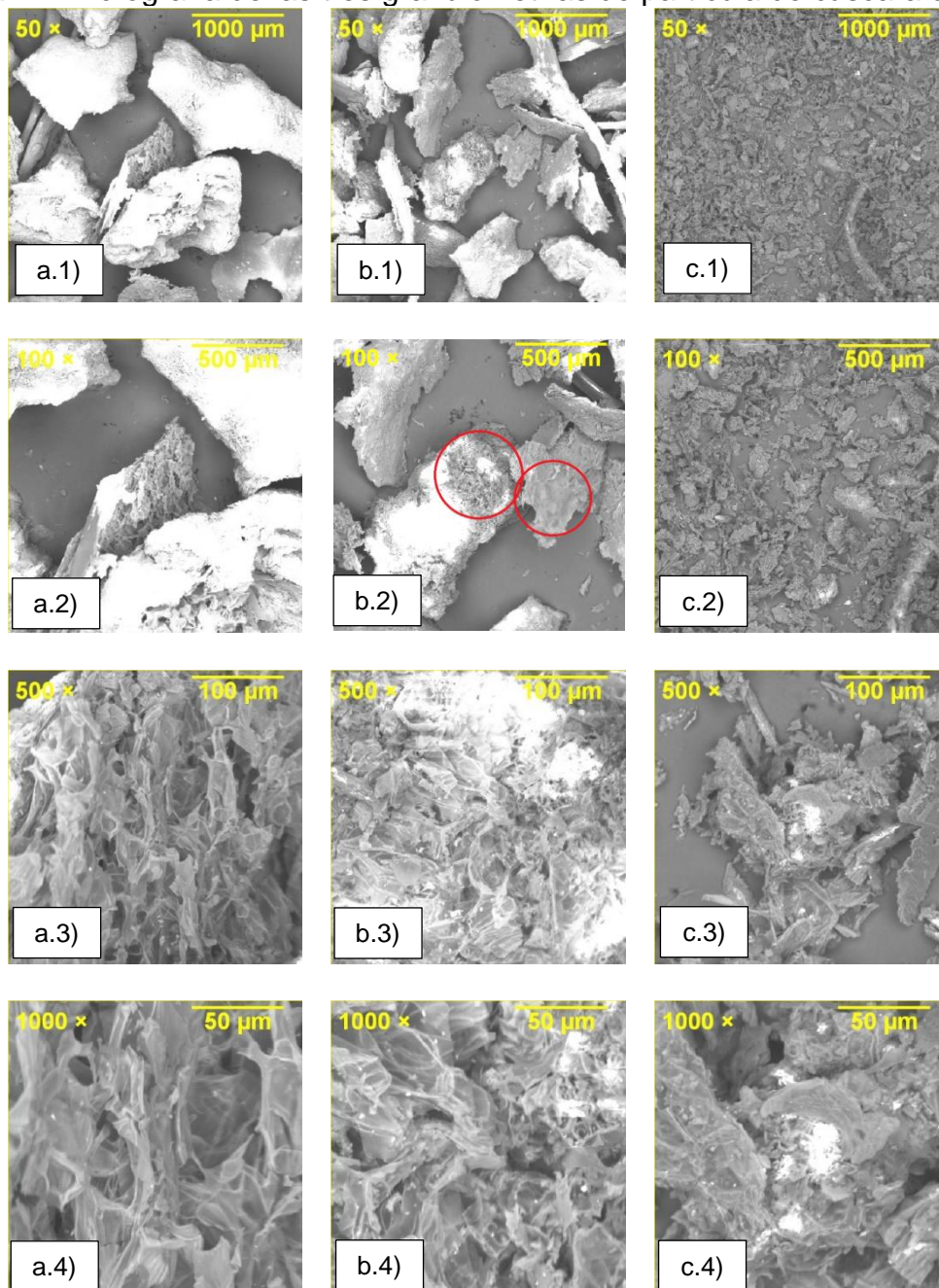


Elaborado por: Mayra Frutos, 2020

#### 4.1.2.2. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

En la Figura 4.4 se observan las micrografías de la cáscara de maní en sus tres granulometrías de partícula a una magnificación de 1000X, 500X, 100X y 50X y en la Figura 4.5 se muestra las imágenes del microscopio óptico.

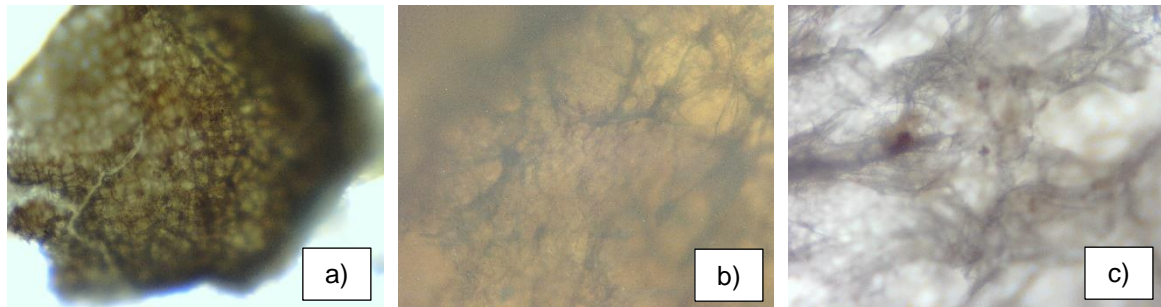
Figura 4.4 Micrografía de las tres granulometrías de partícula de cáscara de maní



a) Partícula grande (2 mm - 850 μm), b) Partícula mediana (500 - 300 μm) y c) Partícula pequeña (150-125 μm)

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

Figura 4.5 Imágenes del microscopio óptico de la partícula de cáscara de maní



Cáscara de maní a, a) 100X, b) 400X y c) 1000X

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

En la Figura 4.4, en la micrografía a.1), b.1) y c.1) se puede observar la morfología irregular que tiene la cáscara de maní en sus tres diferentes granulometrías. En la imagen b.2) se puede apreciar que existen dos estructuras diferentes, una muy porosa que es la parte externa de la cáscara de maní y otra más lisa que es la parte interna de la misma. En la imagen a.4), b.4) y c.4) se observan poros del tamaño de micrómetro, no se observa una diferencia notable entre los diferentes tamaños, pero entre más pequeña es la granulometría, mayor será el área superficial disponible (Engates & Shipley, 2011).

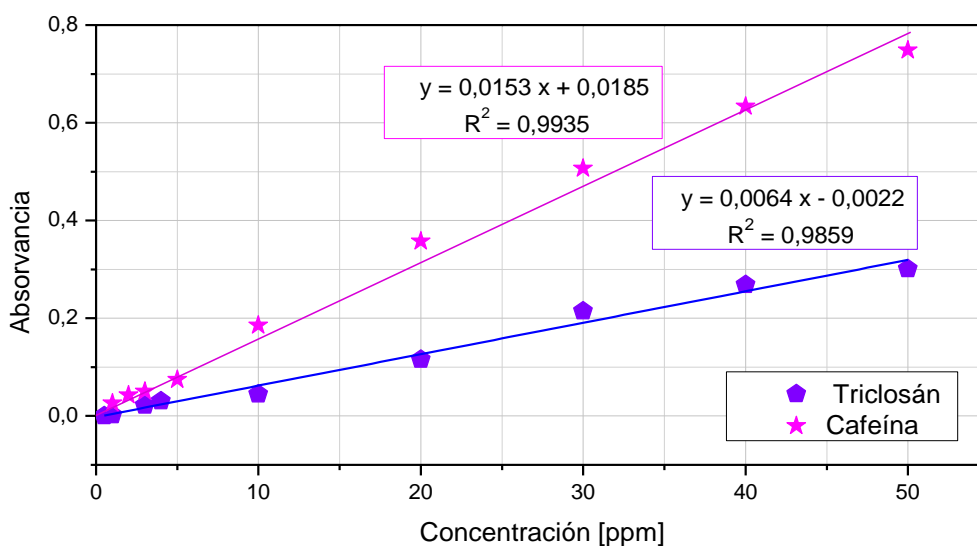
La Figura 4.5 se muestra las imágenes tomadas con el microscopio óptico, en la imagen a) se puede ver una estructura porosa que está ordenada en una especie de panel, en la imagen b) un acercamiento de la cáscara de maní donde se aprecia que el panel está formado por fibras, las cuales están entrelazadas, en algunos espacios existe más fibras que en otros. Finalmente, en la figura c) se observa como cada uno de esas fibras está formada por otras más delgadas. Los componentes como las ligninas y las hemicelulosas, se encuentran en la capa externa, por lo que es difícil observar cada fibra individualmente (Wang & Li, 2015). Los espacios entre estas fibras es donde los contaminantes pueden interactuar con la cáscara de maní para realizar el proceso de adsorción.

En el estudio realizado por Li et al. (2018), en una partícula de 0,5 a 0,6 mm se denomina a la superficie de la cáscara de maní como rugosa, y para Deng et al. (2015) la cáscara de maní de 0,59 - 2,0 mm tiene una estructura fibrosa, existen algunos poros del tamaño de micras en la superficie.

## 4.2. CURVA DE CALIBRACIÓN

Se determinó que la longitud de onda donde existe una mayor absorbancia para medir cafeína en el espectrofotómetro UV-Vis fue 287 nm. Para triclosán la longitud de onda con mayor absorbancia fue 295 nm. En la Figura 4.6 se representa la curva de calibración para cafeína y triclosán con su respectiva ecuación.

Figura 4.6 Curva de calibración cafeína y triclosán



Elaboración: Mayra Frutos, 2020

## 4.3. ENSAYOS DE ADSORCIÓN BATCH

Durante los ensayos de adsorción se notó que, al mezclar la solución de cafeína o triclosán con la cáscara de maní, desprendía un color amarillento el cual aumentaba en intensidad con el incremento de la dosis. En estudios previos como el de Li et al. (2018) se encontraron problemas similares, asociados a la dilución de los compuestos de la cáscara de maní. Para eliminar el error en la cuantificación de los dos contaminantes se realizó un blanco de agua destilada para cafeína y agua destilada con acetona (5% v/v) para triclosán. Esto elimina la interferencia de la absorbancia debida al color (Owen, 2000). En el ANEXO 4 se presenta un ejemplo de cálculo de como utilizando la ecuación de la curva de calibración se determinar la concentración de los contaminantes en la solución acuosa. Mientras que en el ANEXO 5 se presenta un ejemplo de cálculo del porcentaje de eliminación.



### **4.3.1. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DEL MATERIAL**

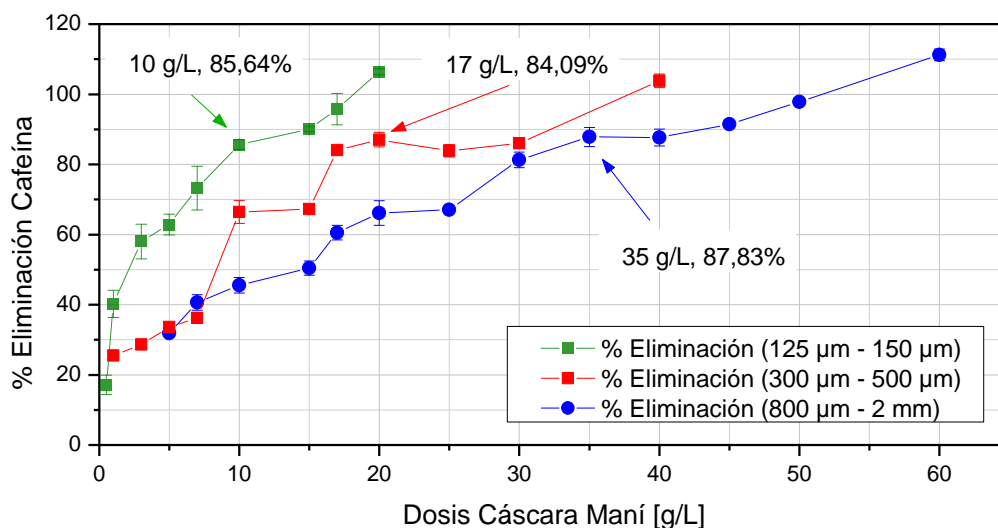
#### **4.3.1.1. Determinación de la dosis óptima del material para remover cafeína**

En la Figura 4.7 se observa el porcentaje de eliminación de cafeína de la solución de 30 mg/L, usando las tres granulometrías de partícula de cáscara de maní (125  $\mu\text{m}$  – 150  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$  - 600  $\mu\text{m}$  y 850  $\mu\text{m}$  - 2 mm) y diferentes dosis hasta alcanzar su eliminación máxima. El porcentaje de eliminación de cafeína utilizando la partícula pequeña con dosis de 1 a 17 g/L fue de  $17,06 \pm 2,75\%$  a  $95,76 \pm 4,46\%$ . En la partícula mediana con dosis de 1 a 30 g/L, el porcentaje de eliminación fue de  $25,51 \pm 0,63\%$  a  $85,98 \pm 0,21\%$ . En la partícula grande con dosis de 5 a 50 g/L, el porcentaje de eliminación fue de  $31,84 \pm 0,10\%$  a  $97,85 \pm 0,03\%$ . El ANEXO 6 muestra los datos experimentales de los ensayos de adsorción para determinar la dosis óptima para eliminar cafeína.

Mediante el análisis de varianza ANOVA aplicando la prueba de Tukey con una significancia de  $p < 0,05$  (ANEXO 10) se determinó que la dosis óptima, es 10 g/L donde el porcentaje de eliminación fue de  $85,64 \pm 1,40\%$  utilizando la partícula pequeña, 17 g/L cuando el porcentaje de eliminación fue de  $84,09 \pm 0,10\%$  con la partícula mediana y 35 g/L cuando el porcentaje de eliminación fue  $87,83 \pm 2,71\%$  con la partícula grande.

Se puede notar que mientras se usa mayor dosis de cáscara de maní la eliminación de cafeína de la solución acuosa se hace más difícil. Esto debido a que el color desprendido por la cáscara de maní, proviene del contenido de extractivos de la misma, los cuales están formados por diferentes compuestos orgánicos que compiten por los espacios que podría ocupar la cafeína (Pholosi et al., 2013). En general la adsorción en fases sólido-líquido es una adsorción competitiva entre dos o más componentes, lo que la hace una situación compleja, ya que el agua es en sí misma es un solvente reactivo que está presente en varias formas ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{OH}^-$  y  $\text{H}^+$ ). Estas moléculas se adsorben a los grupos de oxígeno polar hidrofílico (grupos carboxilo) ubicados en la entrada de los poros (Moreira et al., 2015).

Figura 4.7 Dosis óptima de la cáscara de maní para la eliminación de cafeína



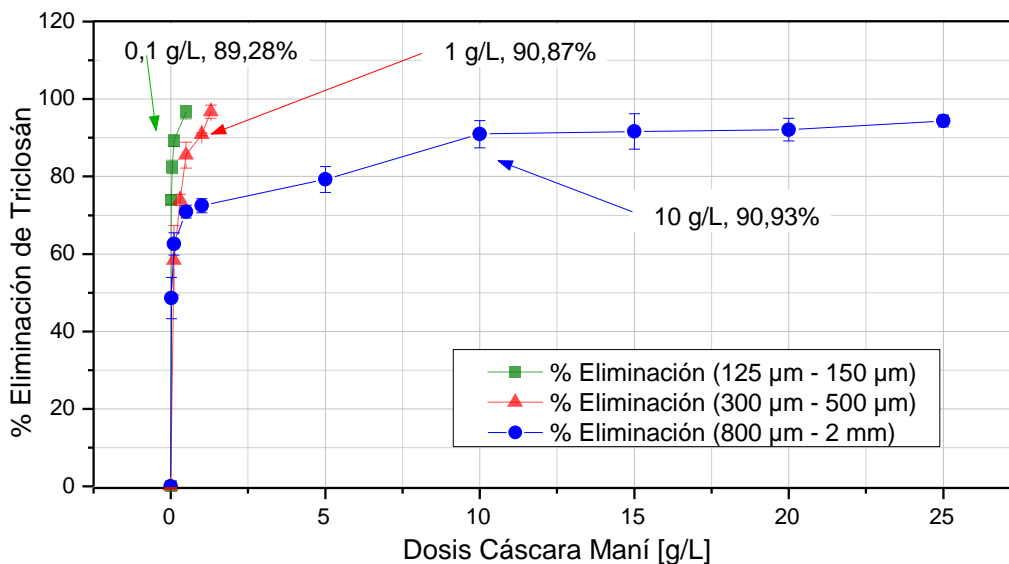
Elaboración: Mayra Frutos, 2020

#### 4.3.1.2. Determinación de la dosis óptima del material para remover triclosán

En la Figura 4.8, se observa el porcentaje de eliminación de triclosán de la solución de 30 mg/L, usando las tres granulometrías de partícula de cáscara de maní (125 µm - 150 µm, 300 µm - 600 µm y 850 - 2 mm) y diferentes dosis hasta alcanzar su eliminación máxima. El porcentaje de eliminación de triclosán fue de  $74,02 \pm 1,19\%$  a  $96,61 \pm 1,76\%$  utilizando la partícula pequeña con dosis de 0,02 a 0,5 g/L. Para la partícula mediana se usó dosis entre 0,1 a 1,3 g/L y el porcentaje de eliminación varió de  $58,32 \pm 8,97\%$  a  $96,70 \pm 1,69\%$ . Las dosis utilizadas con la partícula grande fueron de 0,02 a 25 g/L donde el porcentaje de eliminación fue de  $48,64 \pm 5,34\%$  a  $94,39 \pm 1,53\%$ . El ANEXO 7 muestra los datos experimentales de los ensayos de adsorción para determinar la dosis óptima para eliminar triclosán del agua.

Utilizando el análisis de varianza ANOVA aplicando la prueba de Tukey con una significancia de  $p < 0,05$  (ANEXO 11) se determinó que la dosis óptima para la partícula pequeña es 0,1 g/L cuando el porcentaje de eliminación fue de  $89,28 \pm 1,52\%$ , para la partícula mediana es 1 g/L cuando el porcentaje de eliminación fue de  $90,87 \pm 0,34\%$  y para la partícula grande es 10 g/L cuando el porcentaje de eliminación fue de  $90,93 \pm 4,58\%$ .

Figura 4.8 Dosis óptima de la cáscara de maní para la eliminación de triclosán



**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

En ambos casos, cafeína y triclosán, se puede obtener buenos porcentajes de eliminación del agua, esto con cualquiera de las tres granulometrías de la cáscara de maní. Si se comparan las dosis del material adsorbente utilizados para eliminar cafeína y triclosán del agua, se puede observar que se requiere de una menor cantidad de cáscara de maní para eliminar triclosán.

#### 4.3.2. DETERMINACIÓN DE TIEMPO ÓPTIMO DE CONTACTO

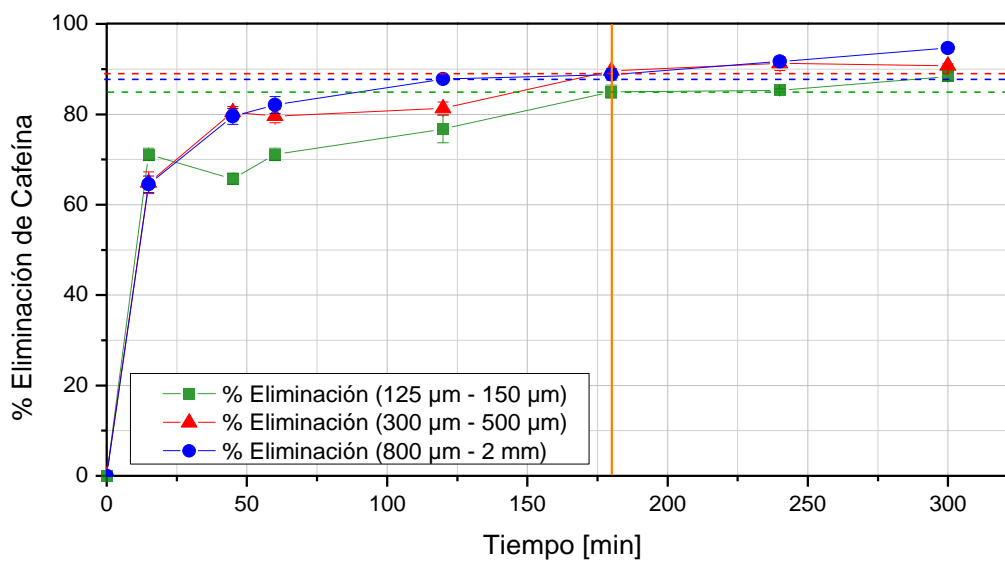
##### 4.3.2.1. Tiempo óptimo de contacto para la eliminación de cafeína

A partir de la dosis óptima de eliminación de cafeína de cada granulometría de partícula, pequeña (150 µm-125 µm), mediana (600 µm-300 µm) y grande (2 mm-850 µm), se determinó el tiempo de contacto óptimo. En la Figura 4.9 se muestra el porcentaje de eliminación utilizando las tres granulometrías de partícula de cáscara de maní, variando su tiempo de contacto hasta llegar al equilibrio. Los datos de los ensayos de adsorción se observan en el ANEXO 8.

Mediante el ANOVA utilizando la prueba de Tukey (ANEXO 12), se determinó que el tiempo óptimo de contacto para la adsorción de cafeína con las tres granulometrías fue de 180 min (3 h). Utilizando 10 g/L de la partícula pequeña a los 180 min se eliminó el 85,01% mientras que a los 300 min (5h) fue de 88,36%.

Usando 17 g/L de la partícula mediana a los 180 min se eliminó 89,67% mientras que a los 300 min 90,80%. Y con 35 g/L de la partícula grande a los 180 min el porcentaje de eliminación fue de 88,83% y del 94,68% a los 300 min. La variación entre los 180 min y 300 min fue de 3,36%, 1,13% y 5,85% respectivamente.

Figura 4.9 Tiempo óptimo de contacto de la cáscara de maní para remover cafeína



Elaboración: Mayra Frutos, 2020

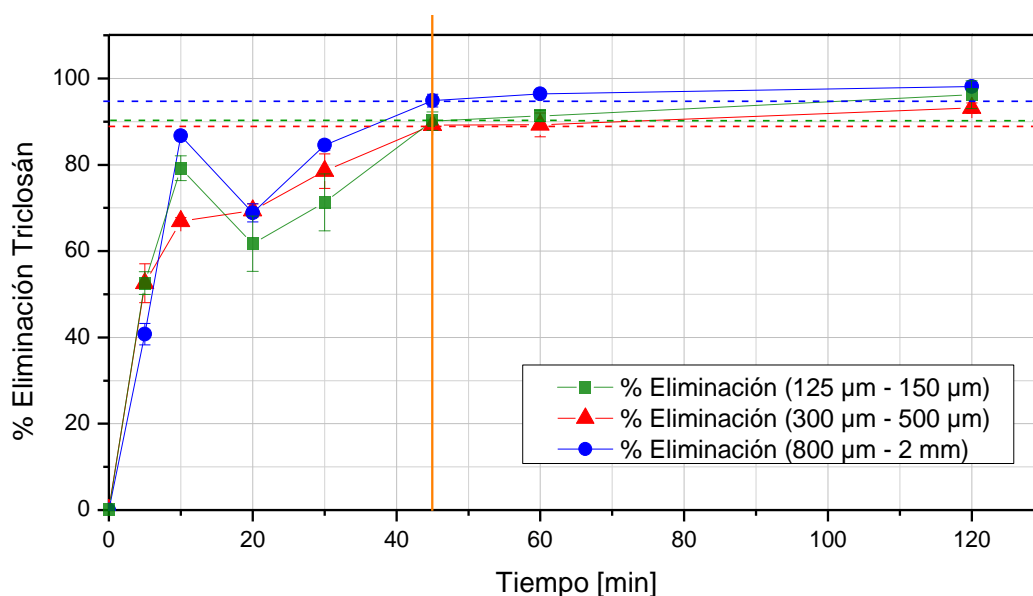
#### 4.3.2.2. Tiempo óptimo de contacto para la eliminación de triclosán

A partir de la dosis óptima de eliminación de triclosán de cada granulometría de partícula, se determinó el tiempo óptimo de contacto. La Figura 4.10 muestra el porcentaje de eliminación de la solución de cafeína de 30 mg/L usando las tres granulometrías de cáscara de maní, variando su tiempo de contacto hasta llegar al equilibrio. Los datos de los ensayos de adsorción se encuentran en el ANEXO 9.

A los 10 min existe un porcentaje de eliminación alto para las partículas mediana y grande, pero disminuye a los 20 min. A partir de este tiempo vuelve a elevar su eficiencia. Esto se puede explicar como una adsorción rápida que sucede en la superficie externa, seguida de una adsorción más lenta que sucede dentro de los poros hasta llegar al equilibrio. El tiempo óptimo de contacto para la adsorción de triclosán fue de 45 min para las tres granulometrías de partícula. Utilizando 0,1 g/L de la partícula pequeña a los 45 min se eliminó el 90,11% mientras que a los 120 min el 96,23%. Usando 1 g/L de la partícula mediana a los 45 min se eliminó 89,23%

mientras que a los 120 min el 93,15%. Finalmente, con 10 g/L de la partícula grande a los 45 min el porcentaje de eliminación fue del 94,87% y a los 120 min fue del 98,15%. La variación entre los 45 min y 120 min fue de 6,12%, 3,92% y 3,29%, respectivamente. El análisis de varianza ANOVA aplicando el método de Tukey se encuentra en el ANEXO 13.

Figura 4.10 Tiempo óptimo de contacto de la cáscara de maní para remover triclosán



Elaboración: Mayra Frutos, 2020

### 4.3.3. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA ÓPTIMA DEL MATERIAL

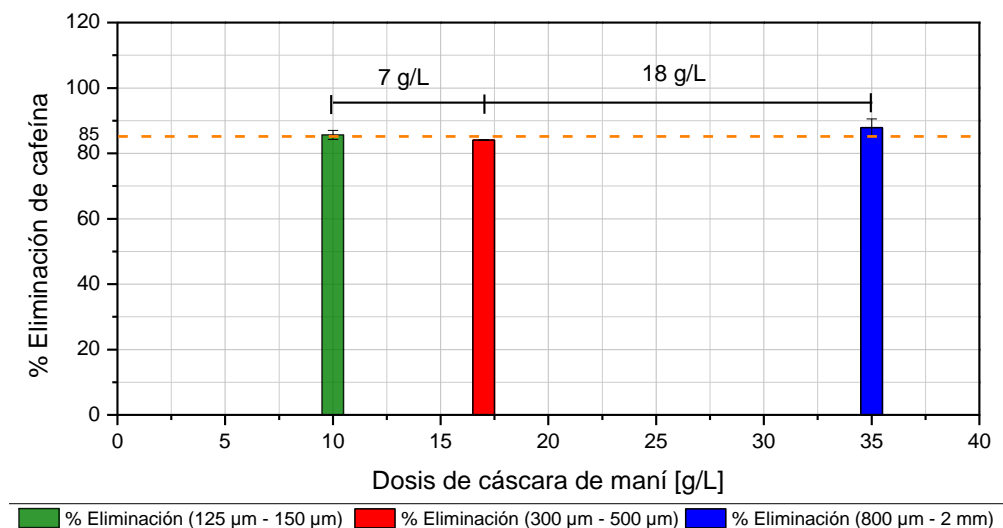
#### 4.3.3.1. Granulometría óptima del material para remover cafeína

Los datos obtenidos en los ensayos de dosis óptima y tiempo óptimo de contacto, determinaron que utilizando 10 g/L de la partícula pequeña, 17 g/L de la partícula mediana o 35 g/L de la partícula grande de cáscara de maní, en un tiempo de contacto de 180 min se elimina cerca del 85% de cafeína del agua. En la Figura 4.11 se observa por granulometría el porcentaje de eliminación de cafeína del agua.

Existe una diferencia de 7 g/L entre las partículas pequeña y mediana, y una diferencia de 25 g/L entre la partícula pequeña y la grande. Es decir, se requirió de una mayor dosis de cáscara de maní para remover 30 mg/L de cafeína del agua, cuando la granulometría del material es más grande.

Esto ocurre porque entre menor es la granulometría de la partícula, mayor es el área superficial disponible (Engates & Shipley, 2011). Por lo tanto, el tamaño de partícula óptimo para la eliminación de cafeína fue el pequeño (150  $\mu\text{m}$  - 125  $\mu\text{m}$ ) ya que se requiere una menor dosis.

Figura 4.11 Granulometría óptima para la eliminación de cafeína

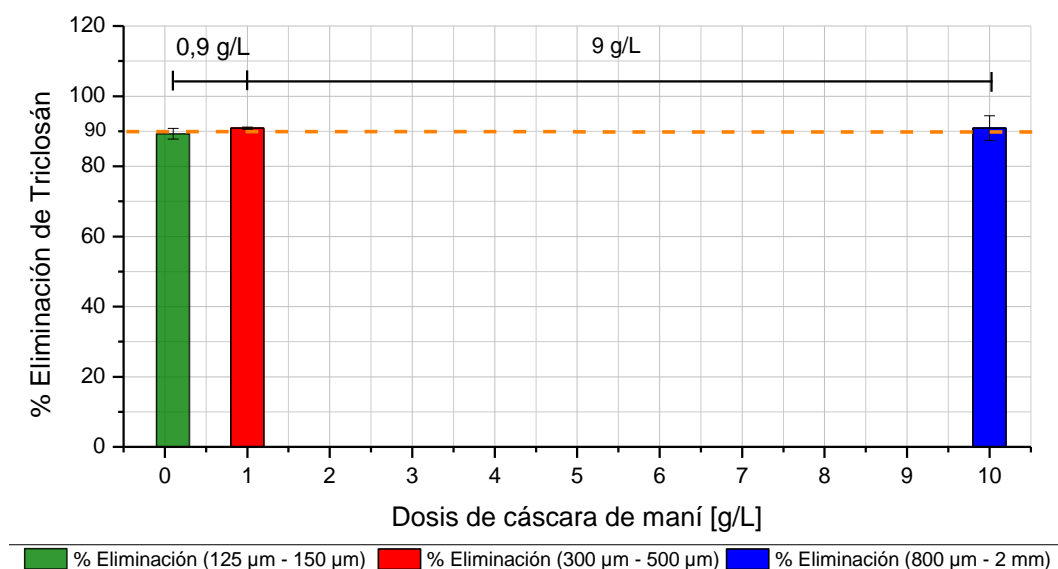


Elaboración: Mayra Frutos, 2020

#### 4.3.3.2. Granulometría óptima del material para remover triclosán

Los datos obtenidos en los ensayos de dosis óptima y tiempo óptimo de contacto, determinaron que utilizando 0,1 g/L de la partícula de granulometría pequeña, 1 g/L de la partícula mediana o 10 g/L de la partícula grande de cáscara de maní, en un tiempo de contacto de 45 min se elimina alrededor del 90% de triclosán del agua. En la Figura 4.12 se puede observar por granulometría el porcentaje de eliminación de triclosán. Existe una diferencia de 0,9 g/L entre partículas pequeña y mediana y de 9,9 g/L entre la partícula pequeña y la grande. La dosis de cáscara de maní para remover 30 mg/L de triclosán del agua, aumenta con la granulometría del material, al igual que para cafeína se asume que es debido al área superficial. La granulometría óptima para la eliminación de triclosán fue la partícula pequeña (125 - 150  $\mu\text{m}$ ) ya que requiere una menor dosis.

Figura 4.12 Granulometría óptima para la eliminación de triclosán



Elaboración: Mayra Frutos, 2020

#### 4.4. CINÉTICA DE ADSORCIÓN

##### 4.4.1. CINÉTICA DE ADSORCIÓN CAFEÍNA

En la Figura 4.13 se muestran los datos linealizados para la cinética de pseudo-primer y pseudo-segundo orden para las tres granulometrías de partícula, con su respectiva ecuación. En el ANEXO 14 se encuentra el ejemplo de cálculo para los parámetros de la cinética pseudo-primer y pseudo.segundo orden. En el ANEXO 15 se presentan los datos calculados para determinar la cinética de adsorción a partir de los datos del tiempo óptimo. La Tabla 4.2 presenta en resumen los parámetros determinados de los modelos cinéticos para cafeína.

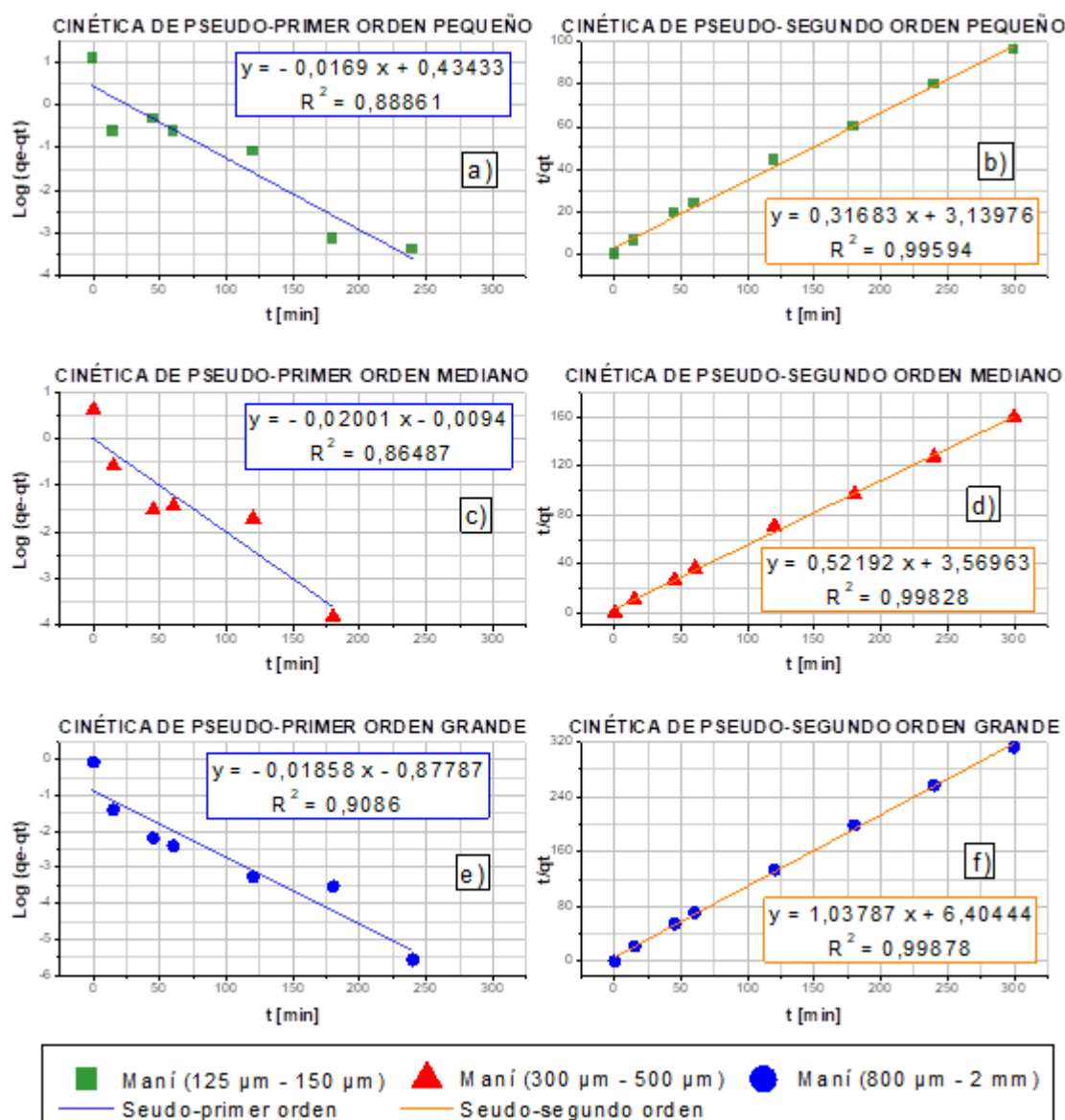
Tabla 4.2 Parámetros estimados para los modelos cinéticos de adsorción para cafeína

	Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden		
	$Q_e$ [mg/g]	$K_1$ [1/min]	$R^2$	$Q_e$ [mg/g]	$K_2$ [g/mg <sup>2</sup> min]	$R^2$
Pequeña	1,5439	0,0169	0,8886	3,1566	0,032	0,9959
Mediana	0,8661	0,0189	0,8855	1,9161	0,0763	0,9983
Grande	0,4157	0,0186	0,9088	0,9635	0,1682	0,9988

Elaboración: Mayra Frutos, 2020

Los datos se ajustan mejor al modelo de pseudo-segundo orden teniendo un  $R^2$  de 0,9959 y un  $Q_e$  de 3,15 mg/g para la granulometría pequeña, un  $R^2$  de 0,9983 y un  $Q_e$  de 1,9161 mg/g en la granulometría mediana y un  $R^2$  de 0,9988 y un  $Q_e$  de 0,9635 mg/g para la granulometría grande.

Figura 4.13 Cinética de adsorción para la cafeína



a), c), e) Cinética de pseudo-primero orden para cafeína, b), d), f) Cinética de pseudo-segundo orden para cafeína para las partículas pequeña, mediana y grande.

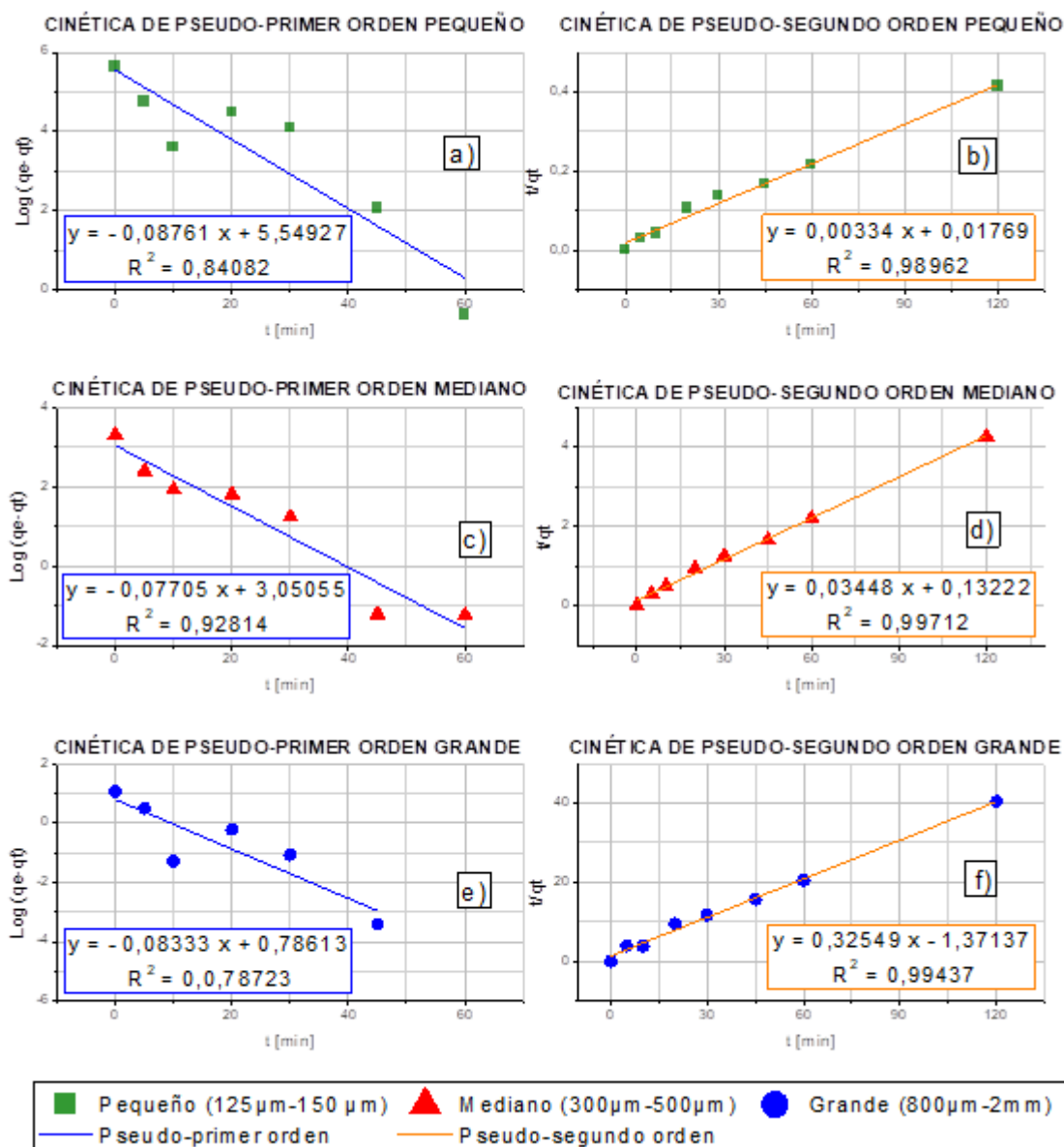
**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020



#### 4.4.2. CINÉTICA DE ADSORCIÓN TRICLOSÁN

En la Figura 4.14 se muestran los datos linealizados para la cinética de pseudo-primer orden y pseudo-segundo orden para las tres granulometrías, con su respectiva ecuación. El ANEXO 16 presenta los datos calculados para determinar la cinética de adsorción a partir de los datos del tiempo óptimo.

Figura 4.14 Cinética de adsorción de triclosán



a), c), e) Cinética de pseudo-primer orden para triclosán para las partículas pequeña, media y grande respectivamente. b), d), f) Cinética de pseudo-segundo orden para triclosán para las partículas pequeña, media y grande.

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

La Tabla 4.3 presenta en resumen los parámetros determinados a partir de la ecuación de la curva, para la cinética de adsorción de triclosán. Se puede ver que los datos tienen un mejor ajuste con el modelo de pseudo segundo orden teniendo un  $R^2$  de 0,9896 y un  $Q_e$  de 303,030 mg/g para la partícula pequeña, un  $R^2$  de 0,9971 y un  $Q_e$  de 28,736 mg/g para la partícula mediana y un  $R^2$  de 0,9944 y para la partícula grande un  $Q_e$  de 3,0722 mg/g.

Tabla 4.3 Parámetros estimados para los modelos cinéticos de adsorción para Triclosán

	Pseudo-primero orden			Pseudo-segundo orden		
	$Q_e$	$K_1$	$R^2$	$Q_e$	$K_2$	$R^2$
	[mg/g]	[1/min]		[mg/g]	[g/mg*min]	
Pequeña	257,0576	0,0876	0,8408	303,0303	0,0006	0,9896
Mediana	21,1280	0,077	0,9281	28,7356	0,0092	0,9971
Grande	2,1948	0,0833	0,7872	3,0722	0,0773	0,9944

**Elaborado:** Mayra Frutos, 2020

El ajuste a la cinética de pseudo-segundo orden muestra que existe una adsorción química. Esto indica que el control de la velocidad está dado por las reacciones entre la cáscara de maní y el contaminante (cafeína y triclosán), más que por una transferencia de masa. Esto implica que el adsorbente y el adsorbato intercambien electrones (Al-Qodah et al., 2017).

En estudios de adsorción previos en los que se utilizó cáscara de maní, como el realizado por Li et al. (2018) para la eliminación de cuatro tipos de sulfonamidas se determinó que el mejor modelo que se ajusta es el de pseudo-segundo orden y de igual manera para el colorante PB5 realizado por Tanyldizi (2011). Así mismo se presenta el mismo modelo en otros estudios en los cuales se eliminan metales como Cu (II), Cd<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Pb (II) hechos por Liu et al. (2010), Taşar et al. (2014) y Zhu et al. (2009) respectivamente.

## 4.5. MODELOS DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

### 4.5.1. MODELO DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN PARA LA CAFEÍNA

Los parámetros obtenidos para las isothermas para cafeína son mostrados en la Tabla 4.4. En la Figura 4.15 se encuentran las isothermas linealizadas de Langmuir y Freundlich con su respectiva ecuación. El ANEXO 17 muestra el ejemplo de cálculo para las variables de las isothermas de Langmuir y Freundlich, mientras que en el ANEXO 18 se encuentran los datos y cálculos realizados para determinar los parámetros de las isothermas de Langmuir y Freundlich para cafeína.

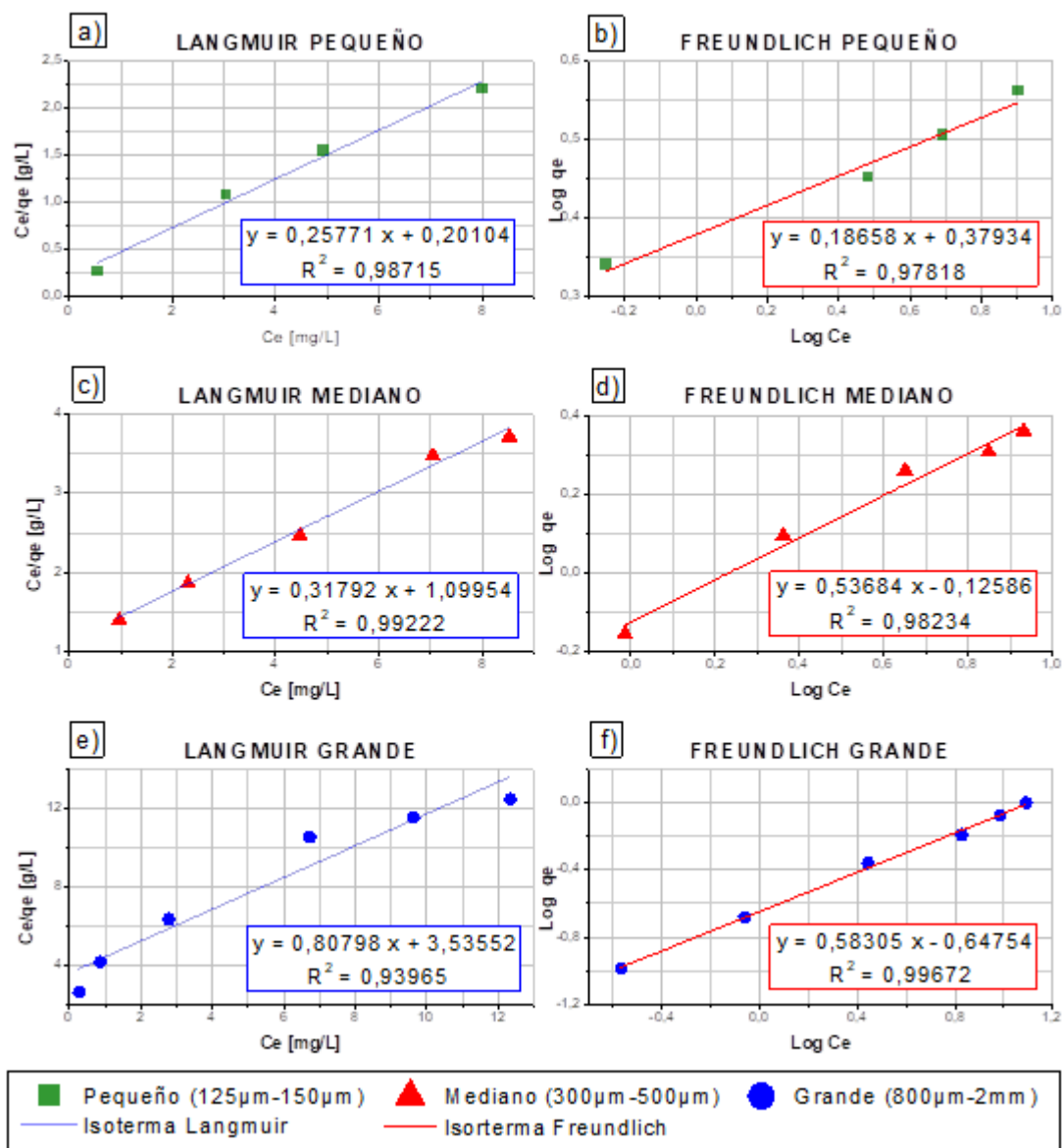
Tabla 4.4 Parámetros estimados para los modelos de Langmuir y Freundlich para las isothermas de la adsorción de cafeína

	Langmuir			Freundlich		
	$q_{\max}$	$K_L$	$R^2$	$1/n$	$K_F$	$R^2$
	[mg/g]	[L/mg]				
Pequeña	3,8804	1,2820	0,9872	0,1866	2,3949	0,9782
Mediana	3,1456	0,2891	0,9922	0,5368	0,7483	0,9823
Grande	1,2376	0,2285	0,9397	0,583	0,2252	0,9974

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

Una de las constantes calculadas para el modelo de isoterma de Freundlich es  $1/n$ , donde un valor por encima de 1 indica una adsorción cooperativa, mientras que, si está por debajo indica que se trata de una isoterma de Langmuir (Khezami et al., 2005). En el caso de las tres granulometrías de partícula los valores calculados de  $1/n$  están en el rango de 0,18 a 0,56, lo que indica que el modelo de isothermas debería ajustarse mejor al de Langmuir. Por esto es probable que la partícula grande se haya ajustado mejor al modelo de Freundlich debido a que los sitios vacantes son más irregulares que sitios vacíos en las partículas más pequeñas (Tohidi & Cai, 2016).

Figura 4.15 Isoterma para el modelo de Langmuir y Freundlich para cafeína



a), c), e) Isoterma de Langmuir para cafeína. b), d), f) Isoterma de Freundlich para cafeína para las partícula pequeña, mediana y grande respectivamente.

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

El modelo de adsorción para las partícula pequeña y mediana fueron el modelo de Langmuir con un  $R^2$  de 0,9972 y 0,9922 respectivamente. Su  $q_{max}$  fue de 3,88 y 3,14 mg/g. Esto indica que es una adsorción homogénea y que tiene una cobertura superficial en monocapa sin interacción entre las moléculas adsorbidas (Oré, Lavado, & Bendezú, 2015). Para la partícula grande el mejor modelo de adsorción de ajuste es Freundlich con un  $R^2$  de 0,9967. Esto indica que existe una interacción entre las moléculas del adsorbato, además de una heterogeneidad en la superficie

de la cáscara de maní (Moreira et al., 2015). Pero el  $R^2$  de Langmuir para este caso es de 0,9397 el cual está muy cerca del ajuste, por lo cual se podría decir que la cafeína en la partícula grande se ajusta a ambos modelos de adsorción. Esto es posible si los primeros puntos se ajustan al modelo de Langmuir, pero al aumentar puntos a la curva se termina ajustando mejor al modelo de Freundlich.

#### 4.5.2. MODELO DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN TRICLOSÁN

Los parámetros obtenidos de las isotermas para triclosán se muestran en la Tabla 4.5. En la Figura 4.16 se encuentran las isotermas de Langmuir y Freundlich para triclosán con su respectiva ecuación. En el ANEXO 19 se encuentran los cálculos para determinar los parámetros de Langmuir y Freundlich para triclosán.

Tabla 4.5 Parámetros estimados para los modelos de Langmuir y Freundlich para las isotermas de la adsorción de triclosán

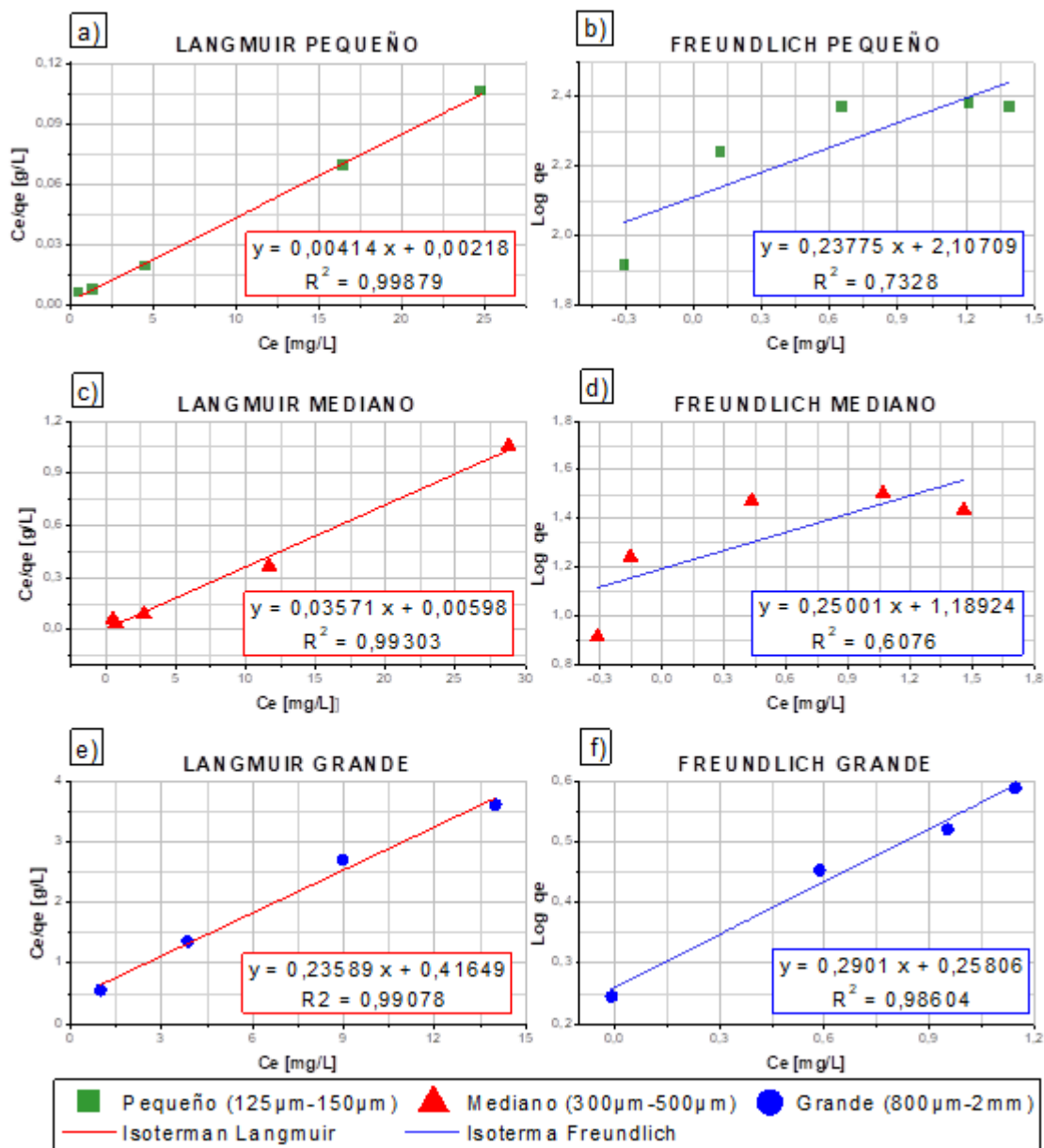
	Langmuir			Freundlich		
	$q_{m\acute{a}x}$	$K_L$	$R^2$	$1/n$	$K_F$	$R^2$
	[mg/g]	[L/mg]			[L/mg]	
Pequeña	243,9024	1,8636	0,9998	0,2377	127,9675	0,7328
Mediana	28,0112	5,95	0,993	0,25	15,4596	0,6076
Grande	4,2390	0,5663	0,9908	0,2901	1,8117	0,986

Elaboración Mayra Frutos, 2020

El modelo de adsorción para las tres granulometrías pequeña, mediana y grande son el modelo de Langmuir con un  $R^2$  de 0,9988, 0,993 y 0,9908 respectivamente. Su  $q_{max}$  es de 243,9 mg/g, 28,01 mg/g y 4,24 mg/g. Esto indica que es una adsorción homogénea y que tiene una cobertura superficial en monocapa sin interacción entre las moléculas adsorbida (Oré et al., 2015).

Comprobando con el valor de  $1/n$ , la granulometría pequeña es 0,2377, la granulometría mediana es 0,25 y la granulometría grande es 0,2901. Esto muestra que se debería ajustar mejor al modelo de Langmuir, tal como es en este caso.

Figura 4.16 Isoterma para el modelo de Langmuir y Freundlich para triclosán



a), c), e) Isoterma de Langmuir para triclosán b), d), f) Isoterma de Freundlich para triclosán para las partícula pequeña, mediana y grande. respectivamente

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

En otros estudios realizados con cáscara de maní, como en el de Liu et al. (2010) la capacidad adsorbente para remover  $\text{Cd}^{+2}$  y  $\text{Hg}^{+2}$  fue de 6 y 1,9 mg/g. En el trabajo realizado por Taşar et al. (2014) para eliminar  $\text{Pb}^{+2}$  la capacidad adsorbente fue de 38,91 mg/g, mientras que para remover RB5 fue de 50 mg/g según el estudio de Tanyildizi (2011). En este estudio estudio, la capacidad adsorbente de la cáscara de maní varía según la granulometría. En el caso de cafeína la capacidad de

adsorción se encuentra entre los valores más bajos, esto refiriéndose a las tres granulometrías. Mientras que en el caso de triclosán esto es variable, es así que la partícula pequeña tiene una capacidad de adsorción alta, con la partícula media la capacidad adsorbente es media y con la partícula grande es baja.

La capacidad adsorbente de la cafeína es mucho menor que la de triclosán, como se ha podido apreciar en los resultados. Esto puede ser debido a que el triclosán tiene un coeficiente de partición octanol-agua ( $\log K_{ow}$ ) de 4,76, el cual excede el valor de  $\log K_{ow} > 3,5$ . Esto hace que el triclosán sea un compuesto poco soluble en agua (hidrofóbico) con tendencia acumularse en la materia orgánica (Blanco et al., 2019), mientras que la cafeína tiene un  $\log K_{ow}$  de -0,7 lo que lo hace hidrofílico. Esto explica también porque la dosis de cáscara de maní usada para remover 30 mg/L de triclosán es mucho menor que la dosis usada para remover 30 mg/L de cafeína de la solución acuosa.

## 4.6. ANÁLISIS DE COSTOS

### 4.6.1. CÁLCULO DE COSTOS PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MANÍ

#### 4.6.1.1. Mano de obra

El proceso de acondicionamiento requiere de dos días en horario laborable de 8 horas. Para hacer este cálculo se asumió el sueldo básico (400 dólares por 160 horas de trabajo). En la Tabla 4.6 se presenta el costo de la mano de obra para el acondicionamiento de la cáscara de maní.

Tabla 4.6 Costos de mano de obra

Concepto	Cantidad	Unidad	Costo total (USD)
Operación	16	Hora	40
		TOTAL	40

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

#### 4.6.1.2. Costo de la materia prima

La cáscara de maní fue obtenida de una planta desvainadora ubicada en el cantón Paltas de la provincia de Loja, Ecuador. La cáscara no tuvo costo ya que para el establecimiento representa un desecho, lo único que se pagó fue el envío por transporte terrestre de Paltas a Quito. En la Tabla 4.7 se encuentran los datos del costo de la materia prima.

Tabla 4.7 Costos de la materia prima

<b>Materia Prima</b>	<b>Costo [USD]</b>
Cáscara de maní	0
Transporte	10
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

#### 4.6.1.3. Costo de lavado y costo energético para el acondicionamiento de la cáscara de maní

En la Tabla 4.8 los costos del lavado para 5 kg de cáscaras de maní y en la Tabla 4.9 el costo de la energía eléctrica utilizada en los equipos para el acondicionamiento de 5 kg de cáscara de maní. Estos datos varían según la cantidad de cáscara requerida.

Tabla 4.8 Costo del lavado de las cáscaras de maní

<b>Materiales utilizados en el lavado</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad Utilizada</b>	<b>Costo</b>
	<b>[L]</b>	<b>[USD]</b>	<b>[L]</b>	<b>[USD]</b>
Agua potable	1000	0,43	15	0,006
Agua destilada	3,8	2,2	5	2,895
			<b>TOTAL</b>	<b>2,901</b>

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020



Tabla 4.9 Costo de la energía eléctrica utilizada para el acondicionamiento de la cáscara de maní

Nombre del equipo utilizados para el acondicionamiento	Potencia	Tiempo	Potencia por Tiempo	Precio kWh	Costo kWh usados
	[kW]	[h]	[kWh]	[USD]	[USD]
Estufa	3,7	24	88,8	0,089	7,903
Molino de cuchillas	0,248	4	0,992		0,088
Tamizadora	0,75	1	0,75		0,067
				TOTAL	8,058

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

#### 4.6.1.4. Costo total del acondicionamiento de la cáscara de maní

En la Tabla 4.10 se encuentra la sumatoria de los costos de la materia prima, el lavado y el costo de la electricidad, para el cálculo del costo del acondicionamiento por 5 kg de cáscara de maní.

Tabla 4.10 Costo total del acondicionamiento

Concepto	Costo [USD]
Mano de obra (16h)	40
Costos de materia prima	10
Costo del Lavado	2,901
Costo de la electricidad de los equipos utilizados para el acondicionamiento	8,058
TOTAL	60,959

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

El costo para obtener 5 kg de cáscara de maní preparadas para ser utilizadas en el proceso de adsorción fue de 60,96 USD. Los cálculos presentados son los realizados para los 5 kg que fueron utilizados en este proyecto.

#### 4.6.1.5. Costo del reactor para el tratamiento

Se asumió un reactor donde la potencia es la misma que la plancha de agitación utilizada en este estudio, El caudal a tratarse se asumirá de 0,125 m<sup>3</sup>/h, por lo que en un día de trabajo (8 horas) se tratará un volumen de 1 m<sup>3</sup>. Se considera que el flujo tendrá una concentración de 30 mg/L de cafeína o triclosán. En la Tabla 4.11 se detalla la mano de obra para un día de trabajo, en la Tabla 4.12 el costo de energía requerido por el reactor durante 8 horas y en la Tabla 4.13 el costo total del reactor. El costo total del reactor es el mismo para todos los materiales adsorbentes.

Tabla 4.11 Costo de mano de obra para el reactor

Concepto	Cantidad	Unidad	costo total [USD]
<b>Mano de obra</b>			
Operación	8	Hora	20
		TOTAL	20

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

Tabla 4.12 Costo de la energía utilizada por el reactor

Concepto	Potencia [kw]	Tiempo de uso [h]	Potencia*Tiempo de uso [kwh]	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
<b>Energía</b>					
Reactor *	0,9	8	7,2	0,089	0,6408
Bomba	0,19	5	0,95		0,0845
				TOTAL	0,7253

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

Tabla 4.13 Costo del tratamiento

CONCEPTOS	COSTO
<b>REACTOR</b>	
Mano de obra	20
Energía	0,7253
TOTAL	20,7253

**Elaboración:** Mayra Frutos, 2020

#### 4.6.2. COSTO DEL TRATAMIENTO POR METRO CÚBICO

Basándose en los costos de acondicionamiento del adsorbente, en la Tabla 4.14 se presenta una comparación de los costos del tratamiento (costo acondicionamiento + costo reactor). Los cálculos para cada granulometría se encuentran en el ANEXO 20. La dosis de cáscara de maní se calculó tomando en cuenta la capacidad adsorbente para cafeína y triclosán, suponiendo que se tratará 1 m<sup>3</sup> de agua residual con 30 mg/L de cafeína o triclosán respectivamente. Para reducir costos se considera que el secado se realiza al sol y no en una estufa. Además, se hace una comparación con carbón activado, la capacidad adsorbente utilizada se obtuvo del estudio realizado por Gil et al. (2018) para eliminar cafeína del agua.

Tabla 4.14 Costo del tratamiento por granulometría con cáscara de maní

	Granulometría	q <sub>max</sub> [mg/g]	V [m <sup>3</sup> ]	Concentración Contaminante [mg/l]	Masa del Contaminante [mg]	Masa requerida del adsorbente [g]	Costo [USD]	
Cafeína Maní	Pequeña	3,88	1	30	30000	7731,96	75,45	
	Mediana	3,15				9554,14	76,57	
	Grande	1,24				24193,55	85,51	
Triclosán Maní	Pequeña	243,90		30	30000	123,00	70,80	
	Mediana	28,01				1071,05	71,38	
	Grande	4,24				7075,47	75,05	
Carbón activado	Malla 12-40 0,42-1,68 mm	88			30	30000	340,91	73,46

Elaborado por: Mayra Frutos, 2020

El costo para remover cafeína del agua con cáscara de maní de partícula pequeña, mediana y grande, sobrepasan el precio del carbón activado. La cantidad requerida del material es muy alta en comparación con la del carbón activado, en 22, 28 y 70 veces respectivamente. En cuanto a triclosán, el costo para removerlo del agua con la partícula pequeña es menor, la cantidad requerida es menos de la mitad que la requerida por el carbón activado. El costo de eliminación de triclosán con la partícula mediana es menor que el del carbón activado pero la dosis de cáscara utilizada es casi 3 veces mayor. En el caso de la partícula grande el costo es mayor y la dosis requerida es 20 veces del requerido por el carbón activado.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- La eliminación de cafeína y triclosán de las soluciones acuosas fue posible mediante el uso de cáscara de maní. Se determinó que son los diferentes componentes de la pared celular de la cáscara de maní, celulosa, hemicelulosa y lignina los que contienen grupos funcionales, tales como hidroxilos, metilos, carbonilos, carboxilos, los cuales contribuyen al proceso de adsorción de la cafeína y el triclosán. Además, la morfología de la cáscara de maní brinda una estructura porosa donde los contaminantes pueden interactuar.
- La granulometría de las partículas es un factor que interfiere en el proceso de adsorción. Se observó que la cáscara de maní de granulometría pequeña 150  $\mu\text{m}$  - 125  $\mu\text{m}$  elimina la misma cantidad de contaminante (cafeína o triclosán) con menos dosis de cáscara de maní en comparación con la granulometría grande 2 mm - 850  $\mu\text{m}$ . Esto debido a que las partículas más pequeñas tienen mayor área superficial, lo que permite un mejor contacto entre el contaminante y la cáscara de maní.
- Ambos contaminantes pueden ser removidos del agua, con eficiencias mayores del 85% en el caso de cafeína y del 90% en el caso de triclosán. Esto utilizando cualquiera de las granulometrías probadas en este estudio (150 $\mu\text{m}$  - 125 $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$  - 300  $\mu\text{m}$  y 2 mm - 850  $\mu\text{m}$ ). La diferencia en cada uno de ellos es la dosis de cáscara de maní que se requiere para su eliminación. La granulometría de partícula óptima en la eliminación de 30 mg/L de cafeína y 30 mg/L de triclosán es la partícula pequeña (120 - 150  $\mu\text{m}$ ) ya que se requiere de 10 g/L y 0,1 g/l de cáscara de maní respectivamente para cada material. Esto en el tiempo óptimo de 180 min para cafeína y 45 min para triclosán.

- La eliminación de triclosán con menor dosis de cáscara de maní se debe a que el triclosán es hidrofóbico y tiene una constante de octanol-agua más alta que la cafeína, lo que facilita el proceso de adsorción. Además, el triclosán tiene afinidad con la materia orgánica, lo que reduce el tiempo en el que la cáscara de maní elimina el triclosán del agua.
- Ambos contaminantes, cafeína y triclosán se ajustan a la cinética de pseudo-segundo orden, lo que significa que el proceso de adsorción sucede por quimisorción, esto indica que los grupos funcionales en la composición química de la cáscara de maní son los encargados de la eliminación de estos dos contaminantes del agua.
- El proceso de adsorción de los dos contaminantes se ajustó al modelo de Langmuir, lo que indica que el proceso de adsorción sucede en una monocapa para ambos contaminantes, cafeína y triclosán, exceptuando cafeína con partícula de granulometría grande, eliminación que se ajustó a ambos modelos de adsorción Langmuir y Freundlich.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Utilizar otros métodos de acondicionamiento para la cáscara de maní, en bibliografía se encuentran varios tratamientos químicos con ácidos o bases, que permitan incrementar la capacidad adsorbente del material y su afinidad con otros contaminantes.
- Realizar otros estudios de adsorción alternando parámetros de temperatura, pH y velocidad de agitación para verificar si existe una variación positiva o negativa del proceso de adsorción de los contaminantes.
- Realizar ensayos en agua residual sintética o real, que contengan cafeína y/o triclosán, para verificar cual es la capacidad de eliminación de estos compuestos al interactuar con otros contaminantes.
- Estudiar otros contaminantes orgánicos, que sean afines al agua, para observar el comportamiento de la cáscara de maní.

- La medición de los contaminantes en el agua debería hacerse con métodos más sofisticados, que pueda medir concentraciones trazas. Esto para disminuir la dosis con la que se trabajan los contaminantes y utilizar dosis parecidas a las encontradas en los cuerpos de agua.
- Para estudios próximos, se debería emplear alternativas para reducir el costo del acondicionamiento, implementando métodos que permitan ahorrar agua en el proceso de lavado, así como cambiar el secado en la estufa por el secado al sol, para eliminar el costo de energía, así como crear convenios con plantas desvainadoras para conseguir los residuos agrícolas.
- Se debería estudiar las limitaciones que la cáscara de maní podría representar en un biofiltro, ya que uno de las limitaciones que se tuvo en este estudio es el color que desprende la cáscara. Esto podría implicar una complicación el momento de medir otros parámetros en el agua residual real.

## BIBLIOGRAFÍA

- Afkhami, A., Saber-Tehrani, M., & Bagheri, H. (2010). Modified maghemite nanoparticles as an efficient adsorbent for removing some cationic dyes from aqueous solution. *Desalination*, 263, 240–248. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.06.065>
- Agencia de regulación y control de electricidad ARCODEL (2019). Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución codificado. *Resolución Nro. ARCONEL - 002/19*.
- Al-Gheethi, A., Noman, E., Mohamed, R., Mohammad, M., & Amir, M. (2018). Removal of pharmaceutically active compounds from contaminated water and wastewater using biochar as low-cost adsorbents, an overview. *Handbook of Environmental Materials Management*, 1–9. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-58538-3\\_25-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58538-3_25-1)
- Al-Qodah, Z., Yahya, M. A., & Al-Shannag, M. (2017). On the performance of bioadsorption processes for heavy metal ions removal by low-cost agricultural and natural by-products bioadsorbent: a review. *Desalination and Water Treatment*, 85, 339–357. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21256>

- Ali, I., & Gupta, V. K. (2007). Advances in water treatment by adsorption technology. *Nature Protocols*, 1(6), 2661–2667. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.370>
- Álvarez, S. (2014). *Eliminación de contaminantes emergentes presentes en aguas mediante adsorción en lecho fijo* (Tesis Doctoral). Universidad Complutense de Madrid.
- Arrubla, J. P., Cubillos, J. A., Ramírez, C. A., Arredondo, J. A., Arias, C. A., & Paredes, D. (2016). Pharmaceutical and personal care products in domestic wastewater and their removal in anaerobic treatment systems: Septic tank – Up flow anaerobic filter. *Ingeniería e Investigación*, 36(1), 70–78. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v36n1.53076>
- Asimbaya, C. G. (2016). Obtención de materiales compuestos con propiedades magnéticas para la remoción de zinc a partir de residuos lignocelulósicos. Recuperado desde: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15352/1/CD-7048.pdf>
- Babarinde, A., & Onyiaocha, G. (2016). Equilibrium sorption of divalent metal ions onto groundnut (*Arachis hypogaea*) shell: kinetics, isotherm and thermodynamics. *Chemistry International*, 2(1), 37–46. Recuperado desde: <http://bosajournals.com/chemint/images/pdf/files/24.pdf>
- Becerril Bravo, J. E. (2009). Contaminantes emergentes en el agua. *Revista Digital Universitaria*, 10(8), 1–7.
- Bishop, D., Nikić, I., Brinkoetter, M., Knecht, S., Potz, S., Kerschensteiner, M., & Misgeld, T. (2011). Near-infrared branding efficiently correlates light and electron microscopy. *Nature Methods*, 8(7), 568–572. <https://doi.org/10.1038/nmeth.1622>
- Blanco Enríquez, E. G., Zavala Díaz de la Serna, F. J., Peralta Pérez, M. del R., Ballinas Casarrubias, L., & Rocha Gutiérrez, B. A. (2019). Analysis of the bioremoval of polycyclic aromatic hydrocarbons in water by SPME-GC/MS. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(3), 27–36. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp03.04>
- Bolong, N., Ismail, A. F., Salim, M. R., & Matsuura, T. (2009). A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal. *Desalination*, 239(1–3), 229–246. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.020>

- Bribiesca, J., & Rivera, M. (2015). Evaluación cinética de la actividad fotocatalítica del cobre y zinc para la degradación de triclosán. *Jóvenes Investigadores*, 1(3), 1–6.
- Cabrera-Lafaurie, W. A., Román, F. R., & Hernández-Maldonado, A. J. (2012). Transition metal modified and partially calcined inorganic-organic pillared clays for the adsorption of salicylic acid, clofibric acid, carbamazepine, and caffeine from water. *Journal of Colloid and Interface Science*, 386, 381–391. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2012.07.037>
- Calle, S. (2011). *Determinación analítica de la cafeína en diferentes productos comerciales* (Tesis de pregrado). Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona.
- Chtourou, M., Mallek, M., Dalmau, M., Mamo, J., Santos-Clotas, E., Salah, A. Ben, ... Monclús, H. (2018). Triclosan, carbamazepine and caffeine removal by activated sludge system focusing on membrane bioreactor. *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.019>
- Dafouz Ramírez, R., & Rivera Valcárcel, Y. (2017). Revista de Toxicología 28 (1) 2011. *Rev. Toxicol*, 34, 136–142.
- Dann, A. B., & Hontela, A. (2011). Triclosan : environmental exposure , toxicity and mechanisms of action. *Journal of Applied Toxicology*, 285–311. <https://doi.org/10.1002/jat.1660>
- Deng, S., Hu, B., Chen, T., Wang, B., Huang, J., Wang, Y., & Yu, G. (2015). Activated carbons prepared from peanut shell and sunflower seed shell for high CO<sub>2</sub> adsorption. *Adsorption*, 21(1–2), 125–133. <https://doi.org/10.1007/s10450-015-9655-y>
- Dhillon, G. S., Kaur, S., Pulicharla, R., Brar, S. K., Cledón, M., Verma, M., & Surampalli, R. Y. (2015). Triclosan: Current status, occurrence, environmental risks and bioaccumulation potential. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(5), 5657–5684. <https://doi.org/10.3390/ijerph120505657>
- Diomedi, A., Chacón, E., Delpiano, L., Hervé, B., Jemenao, M. I., Medel, M., Quintanilla M., Riedel G., Tinoco J., Cifuentes, M. (2017). Antisépticos y



- desinfectantes: apuntando al uso racional. recomendaciones del comité consultivo de infecciones asociadas a la atención de salud, sociedad chilena de infectología. *Revista Chilena de Infectología*, 34(2), 156–174. <https://doi.org/10.4067/s0716-10182017000200010>
- El-Sayed, A. A., Salama, M., El-Rafie, M. H., & Emam, H. E. (2017). Modified rice straw as a template in syntheses of nano TiO<sub>2</sub> loaded on wool fibers for wastewater treatment. *Journal of Natural Fibers*, 14(2), 297–309. <https://doi.org/10.1080/15440478.2016.1206501>
- Emam, H. E., & El-Bisi, M. K. (2014). Merely Ag nanoparticles using different cellulose fibers as removable reductant. *Cellulose*, 21(6), 4219–4230. <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0438-5>
- Engates, K. E., & Shipley, H. J. (2011). Adsorption of Pb, Cd, Cu, Zn, and Ni to titanium dioxide nanoparticles: Effect of particle size, solid concentration, and exhaustion. *Environmental Science and Pollution Research*, 18(3), 386–395. <https://doi.org/10.1007/s11356-010-0382-3>
- European Commission. Decisión de Ejecución (UE) 2018/840 de la Comisión. Diario Oficial de la Unión Europea (2018).
- Fasina, O. O. (2008). Physical properties of peanut hull pellets. *Bioresource Technology*, 99(5), 1259–1266. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.02.041>
- Feijoo, C., Torre, E. De, & Uribe, R. (2019). Determinación de la capacidad de adsorción del complejo oro-cianuro en compósitos de carbón activado-vidrio. *Rev. Afinidad*, 588(December), 299–306.
- Fernández, M., Calzado, O., Cascaret, D., & Pérez, R. (2018). Factores de mayor influencia en la adsorción de metales pesados por biomasa seca de *Kluyveromyces Marxianus* CCEBI 2011. *Tecnología Química*, 38(2), 335–345.
- Ferrucho, G. (2014). *Determinación de la composición química de la corteza y madera de Apuleia leiocarpa (Vogel) J. F. Macbr. (ana caspi) y posibles usos* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Uycallpa, Perú. Recuperado desde: <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/1536>
- García-Gómez, C., Gortáres-Moroyoqui, P., & Drogui, P. (2011). Emerging contaminants: effects and removal treatments. *Revista Química Viva*, 2(10), 96–105. Recuperado desde

<http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v10n2/garcia.pdf>

- García-Rojas, N., Villanueva-Díaz, P., Campos-Medina, E., & Velázquez-Rodríguez, A. (2012). Análisis de la adsorción como método de pulimento en el tratamiento de aguas residuales. *Quivera*, 14, 109–129.
- García Martínez, E., Fuentes López, A., & Fernández Segovia, I. (2018). Extracción y cuantificación de cafeína mediante espectroscopía UV-Visible en café, té y cacao. *Universitat Politècnica de València*, 1–9. Recuperado desde: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/104055/García%3BFuentes%3BFernández - Extracción y cuantificación de cafeína mediante espectroscopía UV-Visi....pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/104055/García%3BFuentes%3BFernández-Extracción-y-cuantificación-de-cafeína-mediante-espectroscopía-UV-Visi....pdf?sequence=1)
- Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., van der Ploeg M., van de Zee S. E. A. T. M., Ritsema, C. J. (2015). Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 3, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>
- Ghasemi, M., Naushad, M., Ghasemi, N., & Khosravi-fard, Y. (2014). Adsorption of Pb(II) from aqueous solution using new adsorbents prepared from agricultural waste: Adsorption isotherm and kinetic studies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 2193–2199. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.09.050>
- Gil, A., Taoufik, N., García, A. M., & Korili, S. A. (2018). Comparative removal of emerging contaminants from aqueous solution by adsorption on an activated carbon. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 40(23), 3017–3030. <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1464066>
- Gil, M., Soto, A., Usma, J., & Gutierrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 7(2), 52–73.
- Gil-Antuñaño, N., Iglesias-Gutiérrez, E., & Úneda, N. (2008). Efecto de la cafeína en el rendimiento deportivo. *Medicina Clínica*, 131(19), 751–755. [https://doi.org/10.1016/s0025-7753\(08\)75492-7](https://doi.org/10.1016/s0025-7753(08)75492-7)
- Guo, Y., Shen, T., Wang, C., Sun, J., & Wang, X. (2015). Rapid removal of caffeine in aqueous solutions by peroxymonosulfate oxidant activated with cobalt ion. *Water Science and Technology*, 72(3), 478–483.

<https://doi.org/10.2166/wst.2015.151>

- Gurevich Messina, L., Bonelli, P. R., & Cukierman, A. L. (2015). Coprolysis of peanut shells and cassava starch mixtures: Effect of the components proportion. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 113, 508–517. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.03.017>
- Heidler, J., & Halden, R. U. (2007). Mass balance assessment of triclosan removal during conventional sewage treatment. *Chemosphere*, 66, 362–369. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.04.066>
- Hernández, H., & Piñeros, E. (2017). Evaluación del biochar producido por pirólisis lenta como medio adsorbente de cinc, cobre, cromo y níquel. Recuperado desde: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria)
- Herrera, A., & Silva, A. (2015). Diseño de una desvainadora de maní con capacidad de 600 kil0gramos/hora (Tesis de pregrado). *Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.*
- Johnson, P. D., Watson, M. A., Brown, J., & Jefcoat, I. A. (2002). Peanut hull pellets as a single use sobent for the capture of Cu (II) from wastewater. *Waste Management*, 22, 471–480. [https://doi.org/10.1016/s0956-053x\(01\)00036-8](https://doi.org/10.1016/s0956-053x(01)00036-8)
- Jug, M., Kosalec, I., Maestrelli, F., & Mura, P. (2011). Analysis of triclosan inclusion complexes with  $\beta$ -cyclodextrin and its water-soluble polymeric derivative. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 54(5), 1030–1039. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2010.12.009>
- Katsigiannis, A., Noutsopoulos, C., Mantziaras, J., & Gioldasi, M. (2015). Removal of emerging pollutants through Granular Activated Carbon. *Chemical Engineering Journal*, 280, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.05.109>
- Khezami, L., Chetouani, A., Taouk, B., & Capart, R. (2005). Production and characterisation of activated carbon from wood components in powder: Cellulose, lignin, xylan. *Powder Technology*, 157(1–3), 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2005.05.009>
- Kobusińska, M. E., Witt, M., Łęczyński, L., & Niemirycz, E. (2018). Optimisation of sample pre-treatment method for the determination of triclosan in marine sediments by high-performance liquid chromatography and marine benthic quality assessment in the southern Baltic Sea. *International Journal of*

- Environmental Analytical Chemistry*, 98(5), 453–476.  
<https://doi.org/10.1080/03067319.2018.1477135>
- León, H. (2019). Evaluación de la remoción de methomyl en soluciones acuosas sintéticas utilizando arcillas bentonita natural y modificada. Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1664/1/CD-2283.pdf>
- Li, R., Zhang, Y., Chu, W., Chen, Z., & Wang, J. (2018). Adsorptive removal of antibiotics from water using peanut shells from agricultural waste. *RSC Advances*, 8, 13546–13555. <https://doi.org/10.1039/c7ra11796e>
- Liu, Y., Sun, X., & Li, B. (2010). Adsorption of Hg<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> by ethylenediamine modified peanut shells. *Carbohydrate Polymers*, 81(2), 335–339. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.02.020>
- Lopes, J., Correia, M., Martins, I., Henriques, A. G., Delgadillo, I., Da Cruz E Silva, O., & Nunes, A. (2016). FTIR and RAMAN spectroscopy applied to dementia diagnosis through analysis of biological fluids. *Journal of Alzheimer's Disease*, 52(3), 801–812. <https://doi.org/10.3233/JAD-151163>
- Lyndall, J., Barber, T., Mahaney, W., Bock, M., & Capdevielle, M. (2017). Evaluation of triclosan in Minnesota lakes and rivers : Part I – ecological risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 142, 578–587. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.04.049>
- Mazzani C., E., Segovia, V., Marín R., C., & Pacheco, W. (2009). Clasificación de cultivares de maní (*Arachis hypogaea* L.) por caracteres cuantitativos para el establecimiento de colecciones nucleares del banco de germoplasma del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(4).
- Moreira, O., Matos, I., da Fonseca, I. M., Arroyo, P. A., da Silva, E. A., & de Barros, M. A. S. D. (2015). Effect of solution pH and influence of water hardness on caffeine adsorption onto activated carbons. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 93, 68–77. <https://doi.org/10.1002/cjce.22104>
- Nafisi, S., Shamloo, D. S., Mohajerani, N., & Omid, A. (2002). A comparative study of caffeine and theophylline binding to Mg(II) and Ca(II) ions: Studied by FTIR and UV spectroscopic methods. *Journal of Molecular Structure*, 608(1), 1–7. [https://doi.org/10.1016/S0022-2860\(01\)00876-6](https://doi.org/10.1016/S0022-2860(01)00876-6)

- Nam, S. W., Choi, D. J., Kim, S. K., Her, N., & Zoh, K. D. (2014). Adsorption characteristics of selected hydrophilic and hydrophobic micropollutants in water using activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 270, 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.01.037>
- Oliveira, R., Domingues, I., Grisolia, C. K., & Soares, A. M. V. M. (2009). Effects of triclosan on zebrafish early-life stages and adults. *Environmental Science and Pollution Research*, 16, 679–688. <https://doi.org/10.1007/s11356-009-0119-3>
- Oré, F., Lavado, C., & Bendezú, S. (2015). Biosorción de Pb (II) de aguas residuales de mina usando el marlo de maíz (*Zea mays*). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 81(2), 122–134.
- Oropesa, A., Moreno, J., & Gómez, L. (2017). Lesiones histopatológicas en peces originadas por la exposición a contaminantes emergentes: recopilando y analizando datos. *Rev. Toxicol*, 34, 99–108.
- Owen, T. (2000). *Fundamentos de la espectroscopía UV-visible moderna. Conceptos básicos*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Padelini, R. (2012). Maní guía práctica para su cultivo. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Cordoba, Argentina*, 2, 1–20.
- Paradkar, M. M., & Irudayaraj, J. (2002). A rapid FTIR spectroscopic method for estimation of caffeine in soft drinks and total methylxanthines in tea and coffee. *Journal of Food Science*, 67(7), 2507–2511. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08767.x>
- Pardo, R., Álvarez, Y., Barral, D., & Farré, D. (2007). Caffeine: a nutrient, a drug or a drug of abuse. *Adicciones*, 19(3), 225–238. <https://doi.org/10.20882/adicciones.303>
- Petersen, R. C. (2016). Triclosan antimicrobial polymers. *AIMS Molecular Science*, 3(1), 88–103. <https://doi.org/10.3934/molsci.2016.1.88>
- Petrović, M., Gonzalez, S., & Barceló, D. (2003). Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water. *Trends in Analytical Chemistry*, 22(10), 685–696. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(03\)01105-1](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(03)01105-1)
- Pholosi, A., Ofomaja, A. E., & Naidoo, E. B. (2013). Effect of chemical extractants on the biosorptive properties of pine cone powder: Influence on lead(II) removal mechanism. *Journal of Saudi Chemical Society*, 17(1), 77–86.

<https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.10.017>

- Quesada, B., Alves, A., Cuisili, L., Selbert, D., Bezerra, C., & Bargamasco, R. (2019). Surface water pollution by pharmaceuticals and an alternative of removal by low-cost adsorbents: A review. *Chemosphere*, 222, 766–780. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.009>
- Ramírez, J., & Enríquez, M. (2015). Eliminación de plomo (II) usando lignina obtenida a partir del procesamiento del pseudotallo de plátano. *Acta Agronómica*, 64(3), 209–213. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.43488>
- Reinoso, J., Serrano, C., & Orellana, D. (2017). Contaminantes emergentes y su impacto en la salud. *Revista de La Facultad de Ciencias Médicas de La Universidad de Cuenca*, 35(2), 55–59.
- Rizzo, L., Malato, S., Antakyali, D., Beretsou, V. G., Đolić, M. B., Gernjak, W., Heath E., Ivancev-Tumbas I., Karaolina P., Lado Ribeiro A. R., Macolo, G. McArdell C. S., Schaar H., Silva A. M. T. y Fatta-Kassinos, D. (2019). Consolidated vs. new advanced treatment methods for the removal of contaminants of emerging concern from urban wastewater. *Science of the Total Environment*, 655, 986–1008. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.265>
- Saha, B., & Orvig, C. (2010). Biosorbents for hexavalent chromium elimination from industrial and municipal effluents. *Coordination Chemistry Reviews*, 254(23–24), 2959–2972. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2010.06.005>
- Sánchez, A. (2018). Evaluación de técnicas de oxidación avanzada y adsorción para la eliminación de cafeína en disolución acuosa (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Cartagena. Colombia.
- Santaeufemia, S., Abalde, J., & Torres, E. (2019). Eco-friendly rapid removal of triclosan from seawater using biomass of a microalgal species: Kinetic and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials*, 369, 674–683. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.083>
- Shaheen, S. M., Niazi, N. K., Hassan, N. E. E., Bibi, I., Wang, H., Tsang, D. C. W., Sik Ok Y., Bolan N. y Rinklebe, J. (2019). Wood-based biochar for the removal of potentially toxic elements in water and wastewater: a critical review. *International Materials Reviews*, 64(4), 216–247. <https://doi.org/10.1080/09506608.2018.1473096>

- Shao, Y., Chen, Z., Hollert, H., Zhou, S., Deutschmann, B., & Seiler, T. (2019). Toxicity of 10 organic micropollutants and their mixture : Implications for aquatic risk assessment. *Science of the Total Environment*, 666, 1273–1282. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.047>
- Souza, E. (2003). A extração de cafeína em bebidas estimulantes – uma nova abordagem para um experimento clássico em química orgânica. *Quim.Nova*, 26(1), 136–138. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000100023>.
- Tabil, L., Adapa, P., & Kashaninejad, M. (2011). Biomass Feedstock Pre-Processing – Part 1: Pre- Treatment, Biofuel's Engineering Process Technology, Marco Aurelio Dos Santos Bernardes, IntechOpen, <https://doi.org/10.5772/17086>
- Tafintseva, V., Shapaval, V., Smirnova, M., & Kohler, A. (2019). Extended multiplicative signal correction for FTIR spectral quality test and pre-processing of infrared imaging data. *J Biophotonics*. <https://doi.org/10.1002/jbio.201960112>
- Tanyildizi, M. S. (2011). Modeling of adsorption isotherms and kinetics of reactive dye from aqueous solution by peanut hull. *Chemical Engineering Journal*, 168(3), 1234–1240. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.02.021>
- Tapia, P., Pavez, O., Santander, M., & Sepúlveda, B. (2017). Eliminación de iones cobre con sorbentes orgánicos. *Holos*, 8, 42–55. <https://doi.org/10.15628/holos.2017.6661>
- Taşar, Ş., Kaya, F., & Özer, A. (2014). Biosorption of lead(II) ions from aqueous solution by peanut shells: Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies. *Journal of Enviromental Chemical Engineering*, 2, 1018–1026. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.03.015>
- Tavares, C., & Sakata, K. R. (2012). Cafeína para el tratamiento del dolor. *Revista Brasileira de Anestesiologia*, 62(3), 387–401. <https://doi.org/10.1590/S0034-70942012000300011>
- Tejada, C., Villabona Ortiz, Á., & Garcés Jaraba, L. (2015). Adsorption of heavy metals in waste water using biological materials. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109–123.
- Titus, D., Jebaseelan S., E. J., & Roopan, S. M. (2019). Nanoparticle characterization techniques. *Green Synthesis, Characterization and*

- Applications of Nanoparticles*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102579-6.00012-5>
- Tohidi, F., & Cai, Z. (2016). Adsorption isotherms and kinetics for the removal of triclosan and methyl triclosan from wastewater using inactivated dried sludge. *Process Biochemistry*, 51(8), 1069–1077. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2016.04.018>
- Turrado, J., Saucedo, A. R., Ramos, J., & Reynoso, M. L. (2008). Comportamiento de la fibra de celulosa reciclada en el proceso de hidratación. *Información Tecnológica*, 19(5), 129–136. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.3955it.07>
- Wafwoyo, W., Seo, C. W., & Marshall, W. E. (1999). Utilization of peanut shells as adsorbents for selected metals. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 74(11), 1117–1121. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4660\(199911\)74:11<1117::aid-jctb151>3.0.co;2-r](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4660(199911)74:11<1117::aid-jctb151>3.0.co;2-r)
- Wang, B., & Li, D. (2015). Strong and optically transparent biocomposites reinforced with cellulose nanofibers isolated from peanut shell. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 79, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.029>
- Wang, Y., Roddick, F. A., & Fan, L. (2017). Direct and indirect photolysis of seven micropollutants in secondary effluent from a wastewater lagoon. *Chemosphere*, 185, 297–308. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.122>
- Yan, Z. run, Meng, H. shan, Yang, X. yuan, Zhu, Y. ying, Li, X. yan, Xu, J., & Sheng, G. ping. (2019). Insights into the interactions between triclosan (TCS) and extracellular polymeric substance (EPS) of activated sludge. *Journal of Environmental Management*, 232, 219–225. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.059>
- Zarrelli, A., DellaGreca, M., Iesce M. R., Lavorgna, M., Temussi, F., Schiavone, L., Criscuolo, E., Parrella, A., Previtera, L. & Isidori, M. (2014). Ecotoxicological evaluation of caffeine and its derivatives from a simulated chlorination step. *Science of The Total Environment*, 470–471, 453–458. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.005>
- Zhang, Y., Hou, Q., Xu, W., Qin, M., Fu, Y., Wang, Z., ... Xu, C. (2017). Revealing the structure of bamboo lignin obtained by formic acid delignification at different



pressure levels. *Industrial Crops and Products*, 108(August), 864–871.  
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.065>

Zhao, X., Chen, J., & Du, F. (2012). Potential use of peanut by-products in food processing: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(5), 521–529. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0449-2>

Zhu, C. S., Wang, L. P., & Chen, W. bin. (2009). Removal of Cu(II) from aqueous solution by agricultural by-product: Peanut hull. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2–3), 739–746. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.02.085>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. REGISTRO FOTOGRÁFICO ACONDICIONAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MANÍ

**Fotografía 1.** Lavado cáscaras de maní



**Fotografía 2.** Secado cáscaras de maní



**Fotografía 3.** Molienda cáscara de maní



**Fotografía 4.** Tamizado de la cáscara de maní en tres diferentes granulometrías



**Fotografía 5.** Granulometría de las partículas



## ANEXO 2. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y ANÁLISIS PROXIMAL DE LA CÁSCARA DE MANÍ

### CONTENIDO DE EXTRACTIVOS ASTM D 1107-96

**Fotografía 6.** Capuchón para extracción



Capuchón de papel filtro de 200  $\mu\text{m}$ , con 2 g de cáscara de maní de 250-425  $\mu\text{m}$

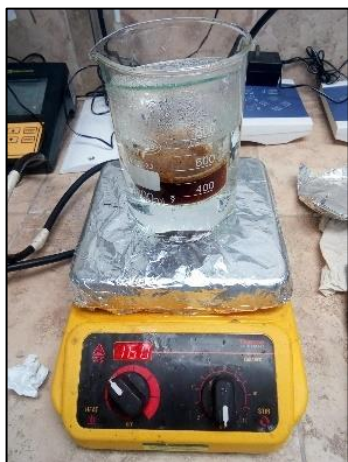
**Fotografía 7.** Equipo de extracción soxhlet



Etanol-tolueno después de la extracción

### CONTENIDO DE CELULOSA Y HEMICELULOSA ASTM D 1109-84

**Fotografía 8.** Baño maría



2 g de cáscara de maní de 250-425  $\mu\text{m}$  con 100 ml de NaOH al 1%

**Fotografía 9.** Filtrado de la muestra



Filtrado de la muestra en un matraz Kitasato

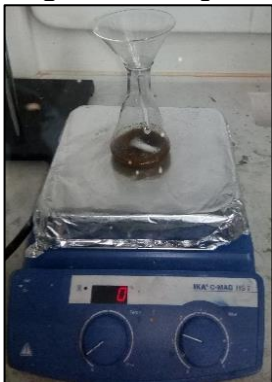
**Fotografía 10.** Lavado de la muestra



Muestra después del lavado con agua destilada

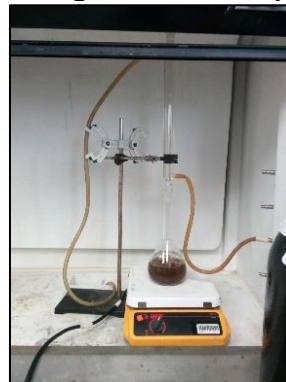
### CONTENIDO DE LIGNINA ASTM D1106-96

**Fotografía 11. Agitación**



Después de lavar la muestra de etanol-tolueno con metanol y secar a 80°C. Se agitó con 15 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 72%

**Fotografía 12. Reflujo**



En un balón se añade la mezcla anterior y 560 mL de agua y se hace un reflujo durante 4 horas a 91 °C

**Fotografía 13. Filtración**



La mezcla se filtró en un matraz kitasato

**Fotografía 14. Lavado**



Muestra después del lavado con 500 mL de agua destilada caliente

### CONTENIDO DE CENIZAS ASTM1102-84

**Fotografía 15. Muestra después de la estufa**



1 g de cáscara de maní de 250-425 µm después de la estufa a 105°C

**ANEXO 3. DATOS EXPERIMENTALES DE LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y ANÁLISIS PROXIMAL DE LA CÁSCARA DE MANÍ**

	<b>Ensayo 1</b>	<b>Ensayo 2</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>
<b>Humedad</b>	8,87%	8,94%	8,905%	0,05%
<b>Carbón fijo</b>	13,55%	14,11%	13,830%	0,40%
<b>Lignina</b>	34,01%	40,28%	37,145%	4,43%
<b>Ceniza</b>	3,18%	3,05%	3,115%	0,09%
<b>pH</b>	6,54	6,7	6,62	0,11
<b>Volátiles</b>	74,40%	73,90%	74,150%	0,35%
<b>Extractivos</b>	15,32%	15,12%	15,220%	0,14%
<b>Hemicelulosa</b>	24,20%	26,60%	25,400%	1,70%
<b>Holocelulosa</b>	47,49%	41,55%	44,520%	4,20%
<b>celulosa</b>	23,29%	14,95%	19,120%	5,90%

**Elaborado.** Mayra Frutos

**ANEXO 4. CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN EN LA SOLUCIÓN ACUOSA**

La fórmula para determinar la concentración de cafeína y triclosán están dadas por la curva de calibración:

$$\text{Cafeína} \quad \text{Abs.} = 0,0153 * [\text{Cafeína}] + 0,0185$$

$$\text{Triclosán} \quad \text{Abs.} = 0,0064 * [\text{Triclosán}] - 0,0022$$

Ejemplo de cálculo, tomando como base al primer dato del ensayo de dosis óptima de cafeína.

$$[\text{Cafeína}] = \frac{\text{Abs.} - 0,0185}{0,0153} = \frac{0,3682 - 0,0185}{0,0153} = \frac{0,3497}{0,0153} = 22,85 \text{ ppm}$$

**ANEXO 5. EJEMPLO DE CÁLCULO DE PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN**

Fórmula para la determinación porcentaje de eliminación para los datos obtenidos en los ensayos de dosis óptima.

$$(\%eliminación) = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} * 100$$

Ejemplo de cálculo, tomando como base al primer dato del ensayo de dosis óptima de cafeína.

$C_o$  = concentración inicial = 28,56

$C_e$  = concentración final = 22,86

$$\%eliminación = \frac{(28,56 - 22,86)}{28,86} * 100 = \frac{5,71}{28,86} * 100$$

$$\%eliminación = 19,96 \%$$



**ANEXO 6. DATOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE ADSORCIÓN OBTENIDOS PARA DETERMINAR LA DOSIS ÓPTIMA DE CÁSCARA DE MANÍ PARA ELIMINAR CAFEÍNA**

<b>Dosis óptima cáscara maní partícula pequeña (125-150 µm)</b>											
Dosis Cáscara Maní	Absorbancia			Concentración			Porcentaje de eliminación				Desv. Están.
	M1	M2	M3	[M1]	[M2]	[M3]	%RM1	%RM2	%RM3	Prom.	
[g/L]				mg/L	mg/L	mg/L	%	%	%	%	
0,5	0,368	0,392	0,382	22,856	24,425	23,765	19,959	14,466	16,777	17,067	2,758
1	0,369	0,406	0,363	22,895	25,340	22,523	41,955	35,758	42,900	40,204	3,879
3	0,179	0,276	0,300	10,503	16,843	18,373	63,218	57,299	53,422	57,980	4,934
5	0,243	0,210	0,231	14,673	12,516	13,908	60,195	66,046	62,270	62,837	2,967
7	0,162	0,155	0,224	9,379	8,935	13,399	76,198	77,326	65,998	73,174	6,240
10	0,095	0,095	0,109	4,967	5,026	5,889	86,525	86,365	84,025	85,638	1,400
15	0,072	0,079	0,074	3,471	3,967	3,634	90,585	89,238	90,142	89,988	0,687
17	0,022	0,036	0,073	0,222	1,137	3,562	99,426	97,062	90,797	95,762	4,459

<b>Dosis óptima cáscara maní partícula mediana (300-500 µm)</b>								
Dosis Cáscara Maní	Absorbancia		Concentración		Porcentaje de eliminación		Prom.	Desv. Están.
	M1	M2	[M1]	[M2]	%RM1	%RM2		
[g/L]			mg/L	mg/L	%	%	%	
1	0,4233	0,4185	26,4575	26,1438	25,0648	25,9534	25,5091	0,6283
3	0,3951	0,3855	24,6144	23,9869	27,7437	29,5856	28,6646	1,3024
5	0,3606	0,3679	22,3595	22,8366	34,3630	32,9624	33,6627	0,9904
7	0,3565	0,3454	22,0915	21,3660	35,1497	37,2794	36,2145	1,5059
8	0,2492	0,2584	15,0784	15,6797	59,4552	57,8383	58,6467	1,1433
10	0,2225	0,1963	13,3333	11,6209	64,1476	68,7522	66,4499	3,2559
15	0,1897	0,1891	11,1895	11,1503	67,1527	67,2678	67,2103	0,0814
17	0,1094	0,1086	5,9412	5,8889	84,0246	84,1652	84,0949	0,0994
20	0,0829	0,0993	4,2092	5,2810	88,5266	85,6048	87,0657	2,0660
25	0,1019	0,1161	5,4510	6,3791	85,1416	82,6118	83,8767	1,7889
30	0,0963	0,0980	5,0850	5,1961	86,1393	85,8365	85,9879	0,2142
40	0,0048	-0,0109	-0,8954	-1,9215	102,5188	105,4054	103,9621	2,0411

Dosis óptima cáscara maní partícula grande (800 $\mu\text{m}$ -2 mm)								
Dosis Cáscara Maní	Absorbancia		Concentración		Porcentaje de eliminación		Prom.	Desv. Están.
	M1	M2	[M1]	[M2]	%RM1	%RM2		
[g/L]			mg/L	mg/L	%	%	%	
5	0,3961	0,3969	24,6797	24,7320	31,9149	31,7706	31,8428	0,1020
10	0,3120	0,3292	19,1830	20,3072	47,0790	43,9776	45,5283	2,1930
15	0,2853	0,3015	17,4379	18,4967	51,8933	48,9722	50,4327	2,0655
17	0,2456	0,2290	14,8431	13,7582	59,0516	62,0447	60,5481	2,1165
20	0,2202	0,1926	13,1830	11,3791	63,6314	68,6080	66,1197	3,5190
25	0,2006	0,2019	11,9020	11,9869	67,1655	66,9311	67,0483	0,1657
30	0,1136	0,1311	6,2157	7,3595	82,8525	79,6971	81,2748	2,2312
35	0,0982	0,0765	5,2092	3,7908	85,9088	89,7454	87,8271	2,7129
40	0,0979	0,0787	5,1895	3,9346	85,9618	89,3564	87,6591	2,4004
45	0,0670	0,0669	3,1699	3,1634	91,4250	91,4427	91,4339	0,0125
50	0,0301	0,0303	0,7582	0,7712	97,8673	97,8305	97,8489	0,0260

**ANEXO 7. DATOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE ADSORCIÓN OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE CÁSCARA DE MANÍ PARA ELIMINAR TRICLOSÁN**

<b>Dosis óptima cáscara maní partícula pequeña (125-150 µm)</b>								
Dosis Cáscara Maní	Absorbancia		Concentración		Porcentaje de eliminación		Prom.	Desv. Están.
	M1	M2	[M1]	[M2]	%RM1	%RM2		
[g/L]			mg/L	mg/L	%	%	%	
0,02	0,0575	0,0615	9,3281	9,9531	74,8632	73,1789	74,0211	1,1909
0,05	0,0366	0,0424	6,0672	6,9688	83,6505	81,2211	82,4358	1,7179
0,1	0,0258	0,0207	4,3750	3,5781	88,2105	90,3579	89,2842	1,5184
0,5	0,0088	0,0029	1,7188	0,7969	95,3684	97,8526	96,6105	1,7566

<b>Dosis óptima cáscara maní partícula mediana (300-500 µm)</b>											
Dosis Cáscara Maní	Absorbancia			Concentración			Porcentaje de eliminación			Desv. Están.	
	M1	M2	M3	[M1]	[M2]	[M3]	%RM1	%RM2	%RM3		Prom.
[g/L]				mg/L	mg/L	g/L	%	%	%	%	
0,1	0,064	0,088	0,070	10,313	14,016	11,328	64,668	51,981	61,188	58,324	8,971
0,3	0,045	0,048	0,040	7,313	7,906	6,594	74,946	72,912	77,409	73,929	1,438
0,5	0,029	0,020	0,025	4,922	3,531	4,234	83,137	87,901	85,493	85,519	3,369
1	0,014	0,015	0,031	2,594	2,734	5,109	91,113	90,632	82,495	90,873	0,341
1,3	0,002	0,006	0,010	0,578	1,234	1,875	97,894	95,504	93,170	96,699	1,690

<b>Dosis óptima cáscara maní partícula grande (800 µm-2 mm)</b>								
Dosis Cáscara Maní	Absorbancia		Concentración		Porcentaje de eliminación		Prom.	Desv. Están.
	M1	M2	[M1]	[M2]	%RM1	%RM2		
[g/L]			mg/L	mg/L	%	%	%	
0,1	0,0693	0,0697	11,1719	11,2344	64,6040	60,5595	62,5817	2,8599
0,5	0,0418	0,0455	6,8750	7,4531	72,0812	69,7335	70,9074	1,6601
1	0,0456	0,0503	7,4688	8,2031	73,7795	71,2013	72,4904	1,8230
5	0,0399	0,0313	6,5781	5,2344	76,9062	81,6237	79,2649	3,3358
10	0,0197	0,0103	3,4219	1,9531	88,4555	93,4106	90,9331	3,5039
15	0,0198	0,0075	3,4375	1,5156	88,4027	94,8867	91,6447	4,5848
20	0,0089	0,0167	1,7344	2,9531	94,1487	90,0369	92,0928	2,9075
25	0,0105	0,0064	1,9844	1,3438	93,3052	95,4665	94,3859	1,5283

## ANEXO 8. DATOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE ADSORCIÓN OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CÁSCARA DE MANÍ PARA ELIMINAR CAFEÍNA

Dosis óptima cáscara maní partícula pequeña (125-150 µm)											
Tiempo de contac. [min]	Absorbancia			Concentración			Porcentaje de eliminación				Desv. Están.
	M1	M2	M3	[M1]	[M2]	[M3]	%RM1	%RM2	%RM3	Prom.	
				mg/L	mg/L	mg/L	%	%	%	%	
300	0,0762	0,0812	0,0867	3,771	4,098	4,458	89,323	88,397	87,380	88,367	0,972
240	0,0962	0,0979	0,1002	5,078	5,190	5,340	85,622	85,307	84,882	85,270	0,371
180	0,0945	0,0954	0,1086	4,967	5,026	5,889	85,936	85,770	83,327	85,011	1,461
120	0,1563	0,1254	0,1511	9,007	6,987	8,667	74,500	80,218	75,463	76,727	3,062
60	0,1831	0,1709	0,1699	10,758	9,961	9,895	69,541	71,799	71,984	71,108	1,360
45	0,1967	0,2042	0,2101	11,647	12,137	12,523	67,024	65,637	64,545	65,735	1,243
15	0,1831	0,1709	0,1699	10,758	9,961	9,895	69,541	71,799	71,984	71,108	1,360

Dosis óptima cáscara maní partícula mediana (300-500 µm)											
Tiempo de contac. [min]	Absorbancia			Concentración			Porcentaje de eliminación				Desv. Están.
	M1	M2	M3	[M1]	[M2]	[M3]	%RM1	%RM2	%RM3	Prom.	
				mg/L	mg/L	mg/L	%	%	%	%	
300	0,0677	0,0702	0,0726	3,216	3,379	3,536	91,241	90,796	90,369	90,802	0,436
240	0,0624	0,0774	0,0632	2,869	3,850	2,922	92,184	89,514	92,042	91,247	1,502
180	0,0778	0,0752	-	3,876	3,706	-	89,443	89,906	-	89,674	0,327
120	0,1291	0,1178	-	7,229	6,490	-	80,310	82,322	-	81,316	1,423
60	-	0,1389	0,1271	-	7,869	7,098	-	78,565	80,666	79,615	1,485
45	0,1303	0,1203	0,1342	7,307	6,654	7,562	80,096	81,876	79,402	80,458	1,276
15	-	0,2252	0,2064	-	13,510	12,281	-	63,201	66,548	64,874	2,367

Dosis óptima cáscara maní partícula grande (800 µm-2 mm)											
Tiempo de Contac. [min]	Absorbancia			Concentración			Porcentaje de eliminación				Desv. Están.
	M1	M2	M3	[M1]	[M2]	[M3]	%RM1	%RM2	%RM3	Prom.	
				mg/L	mg/L	mg/L	%	%	%	%	
300	0,0400	0,0443	0,0481	1,405	1,686	1,935	95,540	94,648	93,860	94,683	0,841
240	0,0583	0,0602	0,0575	2,601	2,725	2,549	91,744	91,350	91,910	91,668	0,288
180	0,0682	0,0765	-	3,248	3,791	-	89,691	87,969	-	88,830	1,217
120	0,0764	0,0779	0,0774	3,784	3,882	3,850	87,990	87,679	87,783	87,817	0,158
60	0,0946	0,1116	0,1087	4,974	6,085	5,895	84,215	80,689	81,290	82,065	1,886
45	0,1189	0,1246	0,1079	6,562	6,935	5,843	79,174	77,992	81,456	79,541	1,761
15	0,1792	0,1947	0,1944	10,503	11,516	11,497	66,667	63,452	63,514	64,544	1,839

**ANEXO 9. DATOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE ADSORCIÓN OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CÁSCARA DE MANÍ PARA ELIMINAR TRICLOSÁN**

<b>Dosis óptima cáscara maní partícula pequeña (125-150 µm)</b>											
Tiempo de Contac. [min]	Absorbancia			Concentración			Porcentaje de eliminación				Desv. Están.
	M1	M2	M3	[M1]	[M2]	[M3]	%RM1	%RM2	%RM3	Prom.	
				mg/L	mg/L	mg/L	%	%	%	%	
180	FR	FR	FR	-	-	-	-	-	-	-	-
120	-	0,0093	0,0006	-	1,797	0,438	-	93,938	98,524	96,231	3,243
60	0,0153	0,0115	0,0162	2,734	2,141	2,875	90,775	92,778	90,300	91,284	1,315
45	0,0119	0,0193	0,0185	2,203	3,359	3,234	92,567	88,666	89,088	90,107	2,141
30	0,0391	0,064	0,0539	6,453	10,344	8,766	78,229	65,103	70,427	71,253	6,602
20	0,0632	0,0845	0,0638	10,219	13,547	10,313	65,525	54,296	65,208	61,676	6,393
10	0,0356	0,0329	0,0433	5,906	5,484	7,109	80,074	81,497	76,015	79,195	2,845
5	0,0936	0,0848	0,0849	14,969	13,594	13,609	49,499	54,138	54,085	52,574	2,663

<b>Dosis óptima cáscara maní partícula mediana (300-500 µm)</b>											
Tiempo de Contac. [min]	Absorbancia			Concentración			Porcentaje de eliminación				Desv. Están.
	M1	M2	M3	[M1]	[M2]	[M3]	%RM1	%RM2	%RM3	Prom.	
				mg/L	mg/L	mg/L	%	%	%	%	
180	FR	FR	FR	-	-	-	-	-	-	-	-
120	0,0131	0,0085	0,0108	2,391	1,672	2,031	91,935	94,360	93,147	93,147	1,212
60	0,0125	0,0227	0,0193	2,297	3,891	3,359	92,251	86,874	88,666	89,264	2,738
45	0,0181	0,0163	0,0203	3,172	2,891	3,516	89,299	90,248	88,139	89,229	1,056
30	0,0372	0,0316	0,0467	6,156	5,281	7,641	79,230	82,182	74,222	78,545	4,024
20	0,0567	0,0525	0,0584	9,203	8,547	9,469	68,951	71,165	68,055	69,390	1,601
10	0,0592	0,0601	0,0625	9,594	9,734	10,109	67,633	67,159	65,894	66,895	0,899
5	0,078	0,0913	0,0939	12,531	14,609	15,016	57,723	50,712	49,341	52,592	4,496

<b>Dosis óptima cáscara maní partícula grande (800 µm-2 mm)</b>											
Tiempo de Contac. [min]	Absorbancia			Concentración			Porcentaje de eliminación				Desv. Están.
	M1	M2	M3	[M1]	[M2]	[M3]	%RM1	%RM2	%RM3	Prom.	
				mg/L	mg/L	mg/L	%	%	%	%	
180	FR	FR	FR	-	-	-	-	-	-	-	-
120	0,0007	0,0019	FR	0,453	0,641	-	98,471	97,839	-	98,155	0,447
60	0,0064	0,0044	0,0027	1,344	1,031	0,766	95,467	96,521	97,417	96,468	0,976
45	0,0102	0,0047	0,0077	1,938	1,078	1,547	93,463	96,363	94,781	94,869	1,452
30	0,0247	0,0277	0,0289	4,203	4,672	4,859	85,820	84,238	83,606	84,555	1,140
20	0,0589	0,0523	0,0593	9,547	8,516	9,613	67,791	71,270	67,570	68,877	2,076
10	0,0228	0,0213	0,0248	3,906	3,672	4,219	86,821	87,612	85,767	86,733	0,926
5	0,1152	0,1094	0,1058	18,344	17,438	16,875	38,113	41,170	43,068	40,784	2,500

## ANEXO 10. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ANOVA PARA DETERMINAR LA DOSIS ÓPTIMA PARA ELIMINAR CAFEÍNA

**Comparaciones en parejas de Tukey para determinar la dosis óptima de cáscara de maní de partícula pequeña (125-150  $\mu\text{m}$ ) para eliminar cafeína**

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

Factor	N	Media	Agrupación
17	3	95,76	A
15	3	89,988	A
10	3	85,638	A
7	3	73,17	B
5	3	62,84	B C
3	3	57,98	C
1	3	40,20	D
0,5	3	17,07	E

*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
1 - 0,5	23,14	3,12	(12,32; 33,96)	7,41	0,000
3 - 0,5	40,91	3,12	(30,09; 51,73)	13,10	0,000
5 - 0,5	45,77	3,12	(34,95; 56,59)	14,65	0,000
7 - 0,5	56,11	3,12	(45,29; 66,93)	17,96	0,000
10 - 0,5	68,57	3,12	(57,75; 79,39)	21,96	0,000
15 - 0,5	72,92	3,12	(62,10; 83,74)	23,35	0,000
17 - 0,5	78,69	3,12	(67,87; 89,52)	25,20	0,000
3 - 1	17,78	3,12	(6,95; 28,60)	5,69	0,001
5 - 1	22,63	3,12	(11,81; 33,45)	7,25	0,000
7 - 1	32,97	3,12	(22,15; 43,79)	10,56	0,000
10 - 1	45,43	3,12	(34,61; 56,26)	14,55	0,000
15 - 1	49,78	3,12	(38,96; 60,61)	15,94	0,000
17 - 1	55,56	3,12	(44,74; 66,38)	17,79	0,000
5 - 3	4,86	3,12	(-5,96; 15,68)	1,56	0,768
7 - 3	15,19	3,12	(4,37; 26,02)	4,87	0,003
10 - 3	27,66	3,12	(16,84; 38,48)	8,86	0,000
15 - 3	32,01	3,12	(21,19; 42,83)	10,25	0,000
17 - 3	37,78	3,12	(26,96; 48,60)	12,10	0,000
7 - 5	10,34	3,12	(-0,48; 21,16)	3,31	0,066
10 - 5	22,80	3,12	(11,98; 33,62)	7,30	0,000
15 - 5	27,15	3,12	(16,33; 37,97)	8,69	0,000
17 - 5	32,92	3,12	(22,10; 43,75)	10,54	0,000
10 - 7	12,46	3,12	(1,64; 23,29)	3,99	0,018
15 - 7	16,81	3,12	(5,99; 27,64)	5,38	0,001
17 - 7	22,59	3,12	(11,77; 33,41)	7,23	0,000
15 - 10	4,35	3,12	(-6,47; 15,17)	1,39	0,848
17 - 10	10,12	3,12	(-0,70; 20,94)	3,24	0,075
17 - 15	5,77	3,12	(-5,05; 16,59)	1,85	0,600

*Nivel de confianza individual = 99,68%*

## Comparaciones en parejas de Tukey para determinar la dosis óptima de cáscara de maní de partícula mediana (300-500 $\mu\text{m}$ ) para eliminar cafeína

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

Factor	N	Media	Agrupación
20	2	87,07	A
30	2	85,988	A
17	2	84,0949	A
25	2	83,88	A
15	2	67,2103	B
10	2	66,45	B
8	2	58,647	C
7	2	36,21	D
5	2	33,663	D E
3	2	28,665	E F
1	2	25,509	F

*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
3 - 1	3,16	1,50	(-2,80; 9,11)	2,10	0,597
5 - 1	8,15	1,50	(2,20; 14,11)	5,43	0,006
7 - 1	10,71	1,50	(4,75; 16,66)	7,13	0,001
8 - 1	33,14	1,50	(27,18; 39,09)	22,08	0,000
10 - 1	40,94	1,50	(34,99; 46,89)	27,28	0,000
15 - 1	41,70	1,50	(35,75; 47,65)	27,78	0,000
17 - 1	58,59	1,50	(52,63; 64,54)	39,03	0,000
20 - 1	61,56	1,50	(55,60; 67,51)	41,01	0,000
25 - 1	58,37	1,50	(52,41; 64,32)	38,89	0,000
30 - 1	60,48	1,50	(54,53; 66,43)	40,30	0,000
5 - 3	5,00	1,50	(-0,96; 10,95)	3,33	0,128
7 - 3	7,55	1,50	(1,60; 13,50)	5,03	0,010
8 - 3	29,98	1,50	(24,03; 35,94)	19,98	0,000
10 - 3	37,79	1,50	(31,83; 43,74)	25,18	0,000
15 - 3	38,55	1,50	(32,59; 44,50)	25,68	0,000
17 - 3	55,43	1,50	(49,48; 61,38)	36,93	0,000
20 - 3	58,40	1,50	(52,45; 64,35)	38,91	0,000
25 - 3	55,21	1,50	(49,26; 61,17)	36,79	0,000
30 - 3	57,32	1,50	(51,37; 63,28)	38,19	0,000
7 - 5	2,55	1,50	(-3,40; 8,51)	1,70	0,810
8 - 5	24,98	1,50	(19,03; 30,94)	16,65	0,000
10 - 5	32,79	1,50	(26,83; 38,74)	21,85	0,000
15 - 5	33,55	1,50	(27,59; 39,50)	22,35	0,000
17 - 5	50,43	1,50	(44,48; 56,39)	33,60	0,000
20 - 5	53,40	1,50	(47,45; 59,36)	35,58	0,000
25 - 5	50,21	1,50	(44,26; 56,17)	33,46	0,000
30 - 5	52,33	1,50	(46,37; 58,28)	34,86	0,000
8 - 7	22,43	1,50	(16,48; 28,39)	14,95	0,000
10 - 7	30,24	1,50	(24,28; 36,19)	20,15	0,000
15 - 7	31,00	1,50	(25,04; 36,95)	20,65	0,000

17 - 7	47,88	1,50	(41,93; 53,83)	31,90	0,000
20 - 7	50,85	1,50	(44,90; 56,80)	33,88	0,000
25 - 7	47,66	1,50	(41,71; 53,62)	31,76	0,000
30 - 7	49,77	1,50	(43,82; 55,73)	33,16	0,000
10 - 8	7,80	1,50	(1,85; 13,76)	5,20	0,008
15 - 8	8,56	1,50	(2,61; 14,52)	5,71	0,004
17 - 8	25,45	1,50	(19,49; 31,40)	16,96	0,000
20 - 8	28,42	1,50	(22,47; 34,37)	18,93	0,000
25 - 8	25,23	1,50	(19,28; 31,18)	16,81	0,000
30 - 8	27,34	1,50	(21,39; 33,29)	18,22	0,000
15 - 10	0,76	1,50	(-5,19; 6,71)	0,51	1,000
17 - 10	17,64	1,50	(11,69; 23,60)	11,76	0,000
20 - 10	20,62	1,50	(14,66; 26,57)	13,74	0,000
25 - 10	17,43	1,50	(11,47; 23,38)	11,61	0,000
30 - 10	19,54	1,50	(13,58; 25,49)	13,02	0,000
17 - 15	16,88	1,50	(10,93; 22,84)	11,25	0,000
20 - 15	19,86	1,50	(13,90; 25,81)	13,23	0,000
25 - 15	16,67	1,50	(10,71; 22,62)	11,10	0,000
30 - 15	18,78	1,50	(12,82; 24,73)	12,51	0,000
20 - 17	2,97	1,50	(-2,98; 8,92)	1,98	0,665
25 - 17	-0,22	1,50	(-6,17; 5,74)	-0,15	1,000
30 - 17	1,89	1,50	(-4,06; 7,85)	1,26	0,958
25 - 20	-3,19	1,50	(-9,14; 2,76)	-2,12	0,585
30 - 20	-1,08	1,50	(-7,03; 4,88)	-0,72	0,999
30 - 25	2,11	1,50	(-3,84; 8,06)	1,41	0,923

*Nivel de confianza individual = 99,78%*



## Comparaciones en parejas de Tukey para determinar la dosis óptima de cáscara de maní de partícula grande (800 $\mu\text{m}$ -2 mm) para eliminar cafeína

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

Factor	N	Media	Agrupación
50	2	97,8489	A
45	2	91,4339	A B
35	2	87,83	B C
40	2	87,66	B C
30	2	81,27	C
25	2	67,048	D
20	2	66,12	D
17	2	60,55	D
15	2	50,43	E
10	2	45,53	E
5	2	31,8428	F

*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
10 - 5	13,69	2,00	(5,74; 21,63)	6,84	0,001
15 - 5	18,59	2,00	(10,65; 26,53)	9,29	0,000
17 - 5	28,71	2,00	(20,76; 36,65)	14,34	0,000
20 - 5	34,28	2,00	(26,34; 42,22)	17,12	0,000
25 - 5	35,21	2,00	(27,26; 43,15)	17,59	0,000
30 - 5	49,43	2,00	(41,49; 57,37)	24,69	0,000
35 - 5	55,98	2,00	(48,04; 63,92)	27,97	0,000
40 - 5	55,82	2,00	(47,88; 63,76)	27,88	0,000
45 - 5	59,59	2,00	(51,65; 67,53)	29,77	0,000
50 - 5	66,01	2,00	(58,07; 73,95)	32,97	0,000
15 - 10	4,90	2,00	(-3,04; 12,85)	2,45	0,415
17 - 10	15,02	2,00	(7,08; 22,96)	7,50	0,000
20 - 10	20,59	2,00	(12,65; 28,53)	10,29	0,000
25 - 10	21,52	2,00	(13,58; 29,46)	10,75	0,000
30 - 10	35,75	2,00	(27,81; 43,69)	17,86	0,000
35 - 10	42,30	2,00	(34,36; 50,24)	21,13	0,000
40 - 10	42,13	2,00	(34,19; 50,07)	21,05	0,000
45 - 10	45,91	2,00	(37,96; 53,85)	22,93	0,000
50 - 10	52,32	2,00	(44,38; 60,26)	26,14	0,000
17 - 15	10,12	2,00	(2,17; 18,06)	5,05	0,010
20 - 15	15,69	2,00	(7,75; 23,63)	7,84	0,000
25 - 15	16,62	2,00	(8,67; 24,56)	8,30	0,000
30 - 15	30,84	2,00	(22,90; 38,78)	15,41	0,000
35 - 15	37,39	2,00	(29,45; 45,33)	18,68	0,000
40 - 15	37,23	2,00	(29,29; 45,17)	18,60	0,000
45 - 15	41,00	2,00	(33,06; 48,94)	20,48	0,000
50 - 15	47,42	2,00	(39,48; 55,36)	23,69	0,000
20 - 17	5,57	2,00	(-2,37; 13,51)	2,78	0,275
25 - 17	6,50	2,00	(-1,44; 14,44)	3,25	0,145

30 - 17	20,73	2,00	(12,79; 28,67)	10,35	0,000
35 - 17	27,28	2,00	(19,34; 35,22)	13,63	0,000
40 - 17	27,11	2,00	(19,17; 35,05)	13,54	0,000
45 - 17	30,89	2,00	(22,95; 38,83)	15,43	0,000
50 - 17	37,30	2,00	(29,36; 45,24)	18,63	0,000
25 - 20	0,93	2,00	(-7,01; 8,87)	0,46	1,000
30 - 20	15,16	2,00	(7,21; 23,10)	7,57	0,000
35 - 20	21,71	2,00	(13,77; 29,65)	10,84	0,000
40 - 20	21,54	2,00	(13,60; 29,48)	10,76	0,000
45 - 20	25,31	2,00	(17,37; 33,25)	12,65	0,000
50 - 20	31,73	2,00	(23,79; 39,67)	15,85	0,000
30 - 25	14,23	2,00	(6,29; 22,17)	7,11	0,001
35 - 25	20,78	2,00	(12,84; 28,72)	10,38	0,000
40 - 25	20,61	2,00	(12,67; 28,55)	10,30	0,000
45 - 25	24,39	2,00	(16,44; 32,33)	12,18	0,000
50 - 25	30,80	2,00	(22,86; 38,74)	15,39	0,000
35 - 30	6,55	2,00	(-1,39; 14,49)	3,27	0,140
40 - 30	6,38	2,00	(-1,56; 14,32)	3,19	0,157
45 - 30	10,16	2,00	(2,22; 18,10)	5,08	0,010
50 - 30	16,57	2,00	(8,63; 24,51)	8,28	0,000
40 - 35	-0,17	2,00	(-8,11; 7,77)	-0,08	1,000
45 - 35	3,61	2,00	(-4,33; 11,55)	1,80	0,760
50 - 35	10,02	2,00	(2,08; 17,96)	5,01	0,011
45 - 40	3,77	2,00	(-4,17; 11,72)	1,89	0,716
50 - 40	10,19	2,00	(2,25; 18,13)	5,09	0,009
50 - 45	6,41	2,00	(-1,53; 14,36)	3,20	0,154

*Nivel de confianza individual = 99,78%*

## ANEXO 11. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ANOVA PARA DETERMINAR LA DOSIS ÓPTIMA PARA ELIMINAR TRICLOSÁN

**Comparaciones en parejas de Tukey para determinar la dosis óptima de cáscara de maní de partícula pequeña (125-150  $\mu\text{m}$ ) para eliminar triclosán**

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

Factor	N	Media	Agrupación
0,1	2	95,22	A
0,05	2	87,99	B
0,02	2	78,940	C

*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
0,05 - 0,02	9,05	1,63	(2,23; 15,87)	5,55	0,023
0,1 - 0,02	16,28	1,63	(9,46; 23,10)	9,98	0,004
0,1 - 0,05	7,23	1,63	(0,41; 14,05)	4,43	0,043

*Nivel de confianza individual = 97,50%*

**Comparaciones en parejas de Tukey para determinar la dosis óptima de cáscara de maní de partícula mediana (300-500  $\mu\text{m}$ ) para eliminar triclosán**

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

Factor	N	Media	Agrupación
1,3	2	94,34	A
0,5	2	86,70	A B
1	2	86,56	A B
0,3	2	75,16	B
0,1	2	56,58	C

*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
0,3 - 0,1	18,58	4,27	(1,45; 35,70)	4,35	0,037
0,5 - 0,1	30,11	4,27	(12,99; 47,24)	7,05	0,005
1 - 0,1	29,98	4,27	(12,85; 47,10)	7,02	0,005
1,3 - 0,1	37,75	4,27	(20,63; 54,88)	8,84	0,002
0,5 - 0,3	11,54	4,27	(-5,59; 28,66)	2,70	0,185
1 - 0,3	11,40	4,27	(-5,72; 28,53)	2,67	0,191
1,3 - 0,3	19,18	4,27	(2,05; 36,30)	4,49	0,032
1 - 0,5	-0,13	4,27	(-17,26; 16,99)	-0,03	1,000
1,3 - 0,5	7,64	4,27	(-9,49; 24,77)	1,79	0,466
1,3 - 1	7,77	4,27	(-9,35; 24,90)	1,82	0,453

*Nivel de confianza individual = 98,98%*

## Comparaciones en parejas de Tukey para determinar la dosis óptima de cáscara de maní de partícula grande (800 $\mu\text{m}$ -2 mm) para eliminar triclosán

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

Factor	N	Media	Agrupación
25	2	94,926	A
15	2	93,27	A
10	2	92,17	A
20	2	91,06	A
5	2	80,44	B
1	2	71,846	C
0,5	2	70,320	C
0,1	2	61,57	D
0,02	2	50,52	E

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
0,1 - 0,02	11,05	1,65	(4,52; 17,58)	6,70	0,002
0,5 - 0,02	19,80	1,65	(13,27; 26,33)	12,00	0,000
1 - 0,02	21,32	1,65	(14,79; 27,85)	12,93	0,000
5 - 0,02	29,92	1,65	(23,39; 36,45)	18,14	0,000
10 - 0,02	41,65	1,65	(35,12; 48,18)	25,25	0,000
15 - 0,02	42,74	1,65	(36,21; 49,27)	25,91	0,000
20 - 0,02	40,54	1,65	(34,01; 47,07)	24,58	0,000
25 - 0,02	44,40	1,65	(37,87; 50,94)	26,92	0,000
0,5 - 0,1	8,75	1,65	(2,22; 15,28)	5,30	0,009
1 - 0,1	10,28	1,65	(3,74; 16,81)	6,23	0,003
5 - 0,1	18,87	1,65	(12,34; 25,40)	11,44	0,000
10 - 0,1	30,60	1,65	(24,07; 37,13)	18,55	0,000
15 - 0,1	31,70	1,65	(25,16; 38,23)	19,22	0,000
20 - 0,1	29,49	1,65	(22,96; 36,03)	17,88	0,000
25 - 0,1	33,36	1,65	(26,82; 39,89)	20,22	0,000
1 - 0,5	1,53	1,65	(-5,01; 8,06)	0,92	0,985
5 - 0,5	10,12	1,65	(3,59; 16,66)	6,14	0,003
10 - 0,5	21,85	1,65	(15,32; 28,38)	13,25	0,000
15 - 0,5	22,95	1,65	(16,41; 29,48)	13,91	0,000
20 - 0,5	20,74	1,65	(14,21; 27,28)	12,58	0,000
25 - 0,5	24,61	1,65	(18,07; 31,14)	14,92	0,000
5 - 1	8,60	1,65	(2,07; 15,13)	5,21	0,010
10 - 1	20,33	1,65	(13,79; 26,86)	12,32	0,000
15 - 1	21,42	1,65	(14,89; 27,95)	12,99	0,000
20 - 1	19,22	1,65	(12,69; 25,75)	11,65	0,000
25 - 1	23,08	1,65	(16,55; 29,61)	13,99	0,000
10 - 5	11,73	1,65	(5,20; 18,26)	7,11	0,001
15 - 5	12,82	1,65	(6,29; 19,35)	7,77	0,001
20 - 5	10,62	1,65	(4,09; 17,15)	6,44	0,002
25 - 5	14,48	1,65	(7,95; 21,01)	8,78	0,000
15 - 10	1,09	1,65	(-5,44; 7,63)	0,66	0,998
20 - 10	-1,11	1,65	(-7,64; 5,42)	-0,67	0,998
25 - 10	2,75	1,65	(-3,78; 9,29)	1,67	0,751
20 - 15	-2,20	1,65	(-8,73; 4,33)	-1,33	0,897
25 - 15	1,66	1,65	(-4,87; 8,19)	1,01	0,975
25 - 20	3,86	1,65	(-2,67; 10,39)	2,34	0,406

Nivel de confianza individual = 99,67%

## ANEXO 12. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS ANOVA PARA DETERMINAR EL TIEMPO ÓPTIMO PARA ELIMINAR CAFEÍNA

Comparaciones en parejas de Tukey para determinar el tiempo óptimo de cáscara de maní de partícula pequeña (125-150  $\mu\text{m}$ ) para eliminar cafeína

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

Factor	N	Media	Agrupación
300	3	88,367	A
240	3	85,270	A
180	3	85,011	A
120	3	76,73	B
15	3	71,108	C
60	3	71,108	C
45	3	65,735	D

*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
240 - 300	-3,10	1,30	(-7,55; 1,35)	-2,38	0,277
180 - 300	-3,36	1,30	(-7,81; 1,10)	-2,57	0,206
120 - 300	-11,64	1,30	(-16,09; -7,19)	-8,93	0,000
60 - 300	-17,26	1,30	(-21,71; -12,81)	-13,24	0,000
45 - 300	-22,63	1,30	(-27,08; -18,18)	-17,37	0,000
15 - 300	-17,26	1,30	(-21,71; -12,81)	-13,24	0,000
180 - 240	-0,26	1,30	(-4,71; 4,19)	-0,20	1,000
120 - 240	-8,54	1,30	(-12,99; -4,09)	-6,56	0,000
60 - 240	-14,16	1,30	(-18,61; -9,71)	-10,87	0,000
45 - 240	-19,53	1,30	(-23,99; -15,08)	-14,99	0,000
15 - 240	-14,16	1,30	(-18,61; -9,71)	-10,87	0,000
120 - 180	-8,28	1,30	(-12,73; -3,83)	-6,36	0,000
60 - 180	-13,90	1,30	(-18,35; -9,45)	-10,67	0,000
45 - 180	-19,28	1,30	(-23,73; -14,82)	-14,79	0,000
15 - 180	-13,90	1,30	(-18,35; -9,45)	-10,67	0,000
60 - 120	-5,62	1,30	(-10,07; -1,17)	-4,31	0,010
45 - 120	-10,99	1,30	(-15,44; -6,54)	-8,43	0,000
15 - 120	-5,62	1,30	(-10,07; -1,17)	-4,31	0,010
45 - 60	-5,37	1,30	(-9,82; -0,92)	-4,12	0,014
15 - 60	0,00	1,30	(-4,45; 4,45)	0,00	1,000
15 - 45	5,37	1,30	(0,92; 9,82)	4,12	0,014

*Nivel de confianza individual = 99,58%*

## Comparaciones en parejas de Tukey para determinar el tiempo óptimo de cáscara de maní de partícula mediana (300-500 $\mu\text{m}$ ) para eliminar cafeína

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

Factor	N	Media	Agrupación
240	3	91,247	A
300	3	90,802	A
180	2	89,674	A
120	2	81,32	B
45	3	80,458	B
60	2	79,62	B
15	2	64,87	C

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
240 - 300	0,45	1,10	(-3,53; 4,42)	0,41	0,999
180 - 300	-1,13	1,23	(-5,57; 3,32)	-0,92	0,961
120 - 300	-9,49	1,23	(-13,93; -5,04)	-7,73	0,000
60 - 300	-11,19	1,23	(-15,63; -6,74)	-9,11	0,000
45 - 300	-10,34	1,10	(-14,32; -6,37)	-9,42	0,000
15 - 300	-25,93	1,23	(-30,37; -21,48)	-21,12	0,000
180 - 240	-1,57	1,23	(-6,02; 2,87)	-1,28	0,846
120 - 240	-9,93	1,23	(-14,38; -5,49)	-8,09	0,000
60 - 240	-11,63	1,23	(-16,08; -7,19)	-9,47	0,000
45 - 240	-10,79	1,10	(-14,76; -6,81)	-9,82	0,000
15 - 240	-26,37	1,23	(-30,82; -21,93)	-21,48	0,000
120 - 180	-8,36	1,35	(-13,23; -3,49)	-6,21	0,001
60 - 180	-10,06	1,35	(-14,93; -5,19)	-7,48	0,000
45 - 180	-9,22	1,23	(-13,66; -4,77)	-7,51	0,000
15 - 180	-24,80	1,35	(-29,67; -19,93)	-18,44	0,000
60 - 120	-1,70	1,35	(-6,57; 3,17)	-1,26	0,853
45 - 120	-0,86	1,23	(-5,30; 3,59)	-0,70	0,990
15 - 120	-16,44	1,35	(-21,31; -11,57)	-12,22	0,000
45 - 60	0,84	1,23	(-3,60; 5,29)	0,69	0,991
15 - 60	-14,74	1,35	(-19,61; -9,87)	-10,96	0,000
15 - 45	-15,58	1,23	(-20,03; -11,14)	-12,69	0,000

Nivel de confianza individual = 99,53%

## Comparaciones en parejas de Tukey para determinar el tiempo óptimo de cáscara de maní de partícula grande (800 $\mu$ m-2 mm) para eliminar cafeína

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

Factor	N	Media	Agrupación
300	3	94,683	A
240	3	91,668	A B
180	2	88,830	B C
120	3	87,8172	C
60	3	82,06	D
45	3	79,54	D
15	3	64,54	E

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
240 - 300	-3,01	1,09	(-6,78; 0,75)	-2,76	0,157
180 - 300	-5,85	1,22	(-10,06; -1,65)	-4,80	0,005
120 - 300	-6,87	1,09	(-10,63; -3,10)	-6,30	0,000
60 - 300	-12,62	1,09	(-16,38; -8,86)	-11,57	0,000
45 - 300	-15,14	1,09	(-18,91; -11,38)	-13,89	0,000
15 - 300	-30,14	1,09	(-33,90; -26,38)	-27,64	0,000
180 - 240	-2,84	1,22	(-7,05; 1,37)	-2,33	0,301
120 - 240	-3,85	1,09	(-7,61; -0,09)	-3,53	0,044
60 - 240	-9,60	1,09	(-13,37; -5,84)	-8,81	0,000
45 - 240	-12,13	1,09	(-15,89; -8,36)	-11,12	0,000
15 - 240	-27,12	1,09	(-30,89; -23,36)	-24,87	0,000
120 - 180	-1,01	1,22	(-5,22; 3,19)	-0,83	0,977
60 - 180	-6,77	1,22	(-10,97; -2,56)	-5,55	0,001
45 - 180	-9,29	1,22	(-13,50; -5,08)	-7,62	0,000
15 - 180	-24,29	1,22	(-28,49; -20,08)	-19,92	0,000
60 - 120	-5,75	1,09	(-9,52; -1,99)	-5,28	0,002
45 - 120	-8,28	1,09	(-12,04; -4,51)	-7,59	0,000
15 - 120	-23,27	1,09	(-27,04; -19,51)	-21,34	0,000
45 - 60	-2,52	1,09	(-6,29; 1,24)	-2,31	0,306
15 - 60	-17,52	1,09	(-21,28; -13,76)	-16,07	0,000
15 - 45	-15,00	1,09	(-18,76; -11,23)	-13,75	0,000

Nivel de confianza individual = 99,57%

### ANEXO 13. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS ANOVA PARA DETERMINAR EL TIEMPO ÓPTIMO PARA ELIMINAR TRICLOSÁN

Comparaciones en parejas de Tukey para determinar el tiempo óptimo de cáscara de maní de partícula pequeña (125-150  $\mu\text{m}$ ) para eliminar triclosán

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

Factor	N	Media	Agrupación
120	2	96,23	A
60	3	91,284	A
45	3	90,11	A B
10	3	79,20	B C
30	3	71,25	C D
20	3	61,68	D E
5	3	52,57	E

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
60 - 120	-4,95	3,78	(-17,98; 8,08)	-1,31	0,836
45 - 120	-6,12	3,78	(-19,15; 6,91)	-1,62	0,673
30 - 120	-24,98	3,78	(-38,01; -11,95)	-6,61	0,000
20 - 120	-34,55	3,78	(-47,58; -21,52)	-9,15	0,000
10 - 120	-17,04	3,78	(-30,07; -4,01)	-4,51	0,008
5 - 120	-43,66	3,78	(-56,69; -30,63)	-11,56	0,000
45 - 60	-1,18	3,38	(-12,83; 10,48)	-0,35	1,000
30 - 60	-20,03	3,38	(-31,69; -8,38)	-5,93	0,001
20 - 60	-29,61	3,38	(-41,26; -17,95)	-8,77	0,000
10 - 60	-12,09	3,38	(-23,74; -0,44)	-3,58	0,040
5 - 60	-38,71	3,38	(-50,36; -27,06)	-11,46	0,000
30 - 45	-18,85	3,38	(-30,51; -7,20)	-5,58	0,001
20 - 45	-28,43	3,38	(-40,09; -16,78)	-8,42	0,000
10 - 45	-10,91	3,38	(-22,57; 0,74)	-3,23	0,073
5 - 45	-37,53	3,38	(-49,19; -25,88)	-11,11	0,000
20 - 30	-9,58	3,38	(-21,23; 2,08)	-2,84	0,140
10 - 30	7,94	3,38	(-3,71; 19,60)	2,35	0,291
5 - 30	-18,68	3,38	(-30,33; -7,02)	-5,53	0,001
10 - 20	17,52	3,38	(5,86; 29,17)	5,19	0,003
5 - 20	-9,10	3,38	(-20,76; 2,55)	-2,70	0,175
5 - 10	-26,62	3,38	(-38,28; -14,97)	-7,88	0,000

Nivel de confianza individual = 99,57%



## Comparaciones en parejas de Tukey para determinar el tiempo óptimo de cáscara de maní de partícula mediana (300-500 $\mu\text{m}$ ) para eliminar triclosán

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

Factor	N	Media	Agrupación
120	3	93,147	A
60	3	89,26	A
45	3	89,229	A
30	3	78,55	B
20	3	69,390	C
10	3	66,895	C
5	3	52,59	D

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
60 - 120	-3,88	2,18	(-11,33; 3,56)	-1,78	0,579
45 - 120	-3,92	2,18	(-11,36; 3,52)	-1,80	0,569
30 - 120	-14,60	2,18	(-22,04; -7,16)	-6,70	0,000
20 - 120	-23,76	2,18	(-31,20; -16,31)	-10,90	0,000
10 - 120	-26,25	2,18	(-33,69; -18,81)	-12,05	0,000
5 - 120	-40,56	2,18	(-48,00; -33,11)	-18,61	0,000
45 - 60	-0,04	2,18	(-7,48; 7,41)	-0,02	1,000
30 - 60	-10,72	2,18	(-18,16; -3,28)	-4,92	0,003
20 - 60	-19,87	2,18	(-27,32; -12,43)	-9,12	0,000
10 - 60	-22,37	2,18	(-29,81; -14,93)	-10,27	0,000
5 - 60	-36,67	2,18	(-44,11; -29,23)	-16,83	0,000
30 - 45	-10,68	2,18	(-18,13; -3,24)	-4,90	0,003
20 - 45	-19,84	2,18	(-27,28; -12,40)	-9,10	0,000
10 - 45	-22,33	2,18	(-29,78; -14,89)	-10,25	0,000
5 - 45	-36,64	2,18	(-44,08; -29,19)	-16,81	0,000
20 - 30	-9,15	2,18	(-16,60; -1,71)	-4,20	0,012
10 - 30	-11,65	2,18	(-19,09; -4,21)	-5,35	0,002
5 - 30	-25,95	2,18	(-33,40; -18,51)	-11,91	0,000
10 - 20	-2,50	2,18	(-9,94; 4,95)	-1,15	0,903
5 - 20	-16,80	2,18	(-24,24; -9,36)	-7,71	0,000
5 - 10	-14,30	2,18	(-21,75; -6,86)	-6,56	0,000

Nivel de confianza individual = 99,58%

## Comparaciones en parejas de Tukey para determinar el tiempo óptimo de cáscara de maní de partícula grande (800 $\mu\text{m}$ -2 mm) para eliminar triclosán

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

Factor	N	Media	Agrupación
120	2	98,155	A
60	3	96,468	A
45	3	94,869	A
10	3	86,733	B
30	3	84,555	B
20	3	68,88	C
5	3	40,78	D

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
60 - 120	-1,69	1,43	(-6,61; 3,24)	-1,18	0,889
45 - 120	-3,29	1,43	(-8,21; 1,64)	-2,30	0,311
30 - 120	-13,60	1,43	(-18,52; -8,68)	-9,53	0,000
20 - 120	-29,28	1,43	(-34,20; -24,35)	-20,52	0,000
10 - 120	-11,42	1,43	(-16,34; -6,50)	-8,01	0,000
5 - 120	-57,37	1,43	(-62,29; -52,45)	-40,21	0,000
45 - 60	-1,60	1,28	(-6,00; 2,80)	-1,25	0,861
30 - 60	-11,91	1,28	(-16,32; -7,51)	-9,34	0,000
20 - 60	-27,59	1,28	(-31,99; -23,19)	-21,62	0,000
10 - 60	-9,73	1,28	(-14,14; -5,33)	-7,63	0,000
5 - 60	-55,68	1,28	(-60,09; -51,28)	-43,64	0,000
30 - 45	-10,31	1,28	(-14,72; -5,91)	-8,08	0,000
20 - 45	-25,99	1,28	(-30,40; -21,59)	-20,37	0,000
10 - 45	-8,14	1,28	(-12,54; -3,73)	-6,38	0,000
5 - 45	-54,09	1,28	(-58,49; -49,68)	-42,38	0,000
20 - 30	-15,68	1,28	(-20,08; -11,27)	-12,29	0,000
10 - 30	2,18	1,28	(-2,22; 6,58)	1,71	0,623
5 - 30	-43,77	1,28	(-48,17; -39,37)	-34,30	0,000
10 - 20	17,86	1,28	(13,45; 22,26)	13,99	0,000
5 - 20	-28,09	1,28	(-32,50; -23,69)	-22,02	0,000
5 - 10	-45,95	1,28	(-50,35; -41,55)	-36,01	0,000

Nivel de confianza individual = 99,57%

#### ANEXO 14. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LAS VARIABLE PARA CINÉTICA DE PSEUDO-PRIMER Y PSEUDO-SEGUNDO ORDEN

El ejemplo de cálculo se realizó para la cinética de pseudo-primer orden y pseudo-segundo orden de cafeína adsorbida por la partícula pequeña (125-150  $\mu\text{m}$ ) de cáscara de maní.

Determinación de  $Q_t$  para el tiempo de adsorción de 15 min:

$$Q_t = \frac{(C_o - C_e)}{\text{Dosis Cáscara}}$$

$$C_e = \frac{[M1] + [M2] + [M3]}{3}$$

$$C_e = \frac{(10,758 + 9,961 + 9,895) \text{ mg/L}}{3} = 10,205 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$Q_t = \frac{(35,32 - 10,205) \text{ mg/L}}{10 \text{ g/L}}$$

$$Q_t = 2,51 \frac{\text{mg}}{\text{g}}$$

Cálculo del  $Q_e$  experimental:

$$Q_e = \frac{(C_o - C_{\text{equilibrio}})}{\text{Dosis Cáscara}}$$

$$C_{\text{equilibrio}} = \text{Promedio } [M1: M3] \text{ en los tiempos } [180: 300]$$

$$C_{\text{equilibrio}} = 4,868 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$Q_e = \frac{(35,32 - 4,868) \text{ mg/L}}{10 \text{ g/L}}$$

$$Q_e = 3,0452 \frac{\text{mg}}{\text{g}}$$

Determinación de las constantes para el modelo de pseudo-primer orden linealizado  $Q_e$  y  $K_1$

$$\log(Q_e - Q_t) = \log Q_e - \frac{K_1}{2,303} t$$

A partir de la ecuación obtenida en la gráfica Figura 4.13 a)

$$y = -0,0169 x + 0,4343$$

Se obtienen las siguientes variables:

$$Q_e = \text{Exp}^{0,4343}$$

$$Q_e = 1,5439$$

$$-\frac{K_1}{2,303} = -0,0169$$

$$K_1 = 0,0389$$

Determinación de las constantes para el modelo de pseudo segundo orden linealizado  $Q_e$  y  $K_2$ ,

$$\frac{1}{Q_t} = \frac{1}{K_2 Q_e^2 t} + \frac{1}{Q_e}$$

A partir de la ecuación obtenida en la Figura 4.13 b)

$$y = 0,3168 x + 3,1398$$

Se obtienen las siguientes variables:

$$\frac{1}{Q_e} = 0,3168$$

$$Q_e = 3,1566$$

$$\frac{1}{K_2 Q_e^2} = 3,1398$$

$$K_2 = \frac{1}{3,1398 * (3,1566)^2}$$

$$K_2 = 0,0319$$

**ANEXO 15. DATOS CALCULADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CINÉTICA DE ADSORCIÓN PARA CAFEÍNA A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO**

<b>Cinética cáscara maní partícula pequeña (125-150 <math>\mu\text{m}</math>) para Cafeína</b>					
<b>Tiempo de contacto</b>	<b>Qt</b>	<b>Qe</b>	<b>Qe-Qt</b>	<b>Ln(Qe-Qt)</b>	<b>t/Qt</b>
<b>[min]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
0	0	3,0452	3,0452	1,1136	0
15	2,5115	3,0452	0,5336	-0,6281	5,9724
45	2,3218	3,0452	0,7234	-0,3238	19,3816
60	2,5115	3,0452	0,5336	-0,6281	23,8897
120	2,7100	3,0452	0,3351	-1,0932	44,2801
180	3,0026	3,0452	0,0426	-3,1569	59,9478
240	3,0118	3,0452	0,0334	-3,3990	79,6875
300	3,1211	3,0452	-0,0760	-	96,1189

<b>Cinética cáscara maní partícula mediana (300-500 <math>\mu\text{m}</math>) para Cafeína</b>					
<b>Tiempo de contacto</b>	<b>Qt</b>	<b>Qe</b>	<b>Qe-Qt</b>	<b>Ln(Qe-Qt)</b>	<b>t/Qt</b>
<b>[min]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
0	0	1,8765	1,8765	0,6294	0
15	1,3191	1,8765	0,5574	-0,5844	11,3713
45	1,6596	1,8765	0,2170	-1,5279	27,1157
60	1,6409	1,8765	0,2356	-1,4455	36,5651
120	1,6959	1,8765	0,1807	-1,7112	70,7595
180	1,8547	1,8765	0,0219	-3,8228	97,0522
240	1,8886	1,8765	-0,0121		127,0761
300	1,8790	1,8765	-0,0025		159,6576

<b>Cinética cáscara maní partícula grande (800 <math>\mu\text{m}</math>-2 mm) para Cafeína</b>					
<b>Tiempo de contacto</b>	<b>Qt</b>	<b>Qe</b>	<b>Qe-Qt</b>	<b>Ln(Qe-Qt)</b>	<b>t/Qt</b>
<b>[min]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
0	0	0,9379	0,9379	-0,0641	0
15	0,6899	0,9379	0,2480	-1,3944	21,7408
45	0,8250	0,9379	0,1130	-2,1806	54,5480
60	0,8477	0,9379	0,0903	-2,4052	70,7813
120	0,8995	0,9379	0,0385	-3,2581	133,4118
180	0,9086	0,9379	0,0293	-3,5287	198,1091
240	0,9341	0,9379	0,0038	-5,5756	256,9201
300	0,9613	0,9379	-0,0234		312,0831

**ANEXO 16. DATOS CALCULADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CINÉTICA DE ADSORCIÓN PARA TRICLOSÁN A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO**

<b>Cinética cáscara maní partícula pequeña (125-150 <math>\mu\text{m}</math>) para triclosán</b>					
<b>t</b>	<b>Qt</b>	<b>Qe</b>	<b>Qe-Qt</b>	<b>Ln(Qe-Qt)</b>	<b>t/Qt</b>
<b>[min]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>Pseudo-primer orden</b>	<b>Pseudo-segundo orden</b>
0	0	277,9688	277,9688	5,6275	0
5	162,7083	277,9688	115,2604	4,7472	0,0307
10	241,6146	277,9688	36,3542	3,5933	0,0414
20	189,6875	277,9688	88,2813	4,4805	0,1054
30	218,0729	277,9688	59,8958	4,0926	0,1376
45	270,1042	277,9688	7,8646	2,0624	0,1666
60	277,4479	277,9688	0,5208	-0,6523	0,2163
120	290,5469	277,9688	-12,5781		0,4130

<b>Cinética cáscara maní partícula mediana (300-500 <math>\mu\text{m}</math>) para triclosán</b>					
<b>t</b>	<b>Qt</b>	<b>Qe</b>	<b>Qe-Qt</b>	<b>Ln(Qe-Qt)</b>	<b>t/Qt</b>
<b>[min]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>Pseudo-primer orden</b>	<b>Pseudo-segundo orden</b>
0	0	28,1000	28,1000	3,3358	0
5	16,2760	28,1000	11,8240	2,4701	0,3072
10	20,5156	28,1000	7,5844	2,0261	0,4874
20	21,2552	28,1000	6,8448	1,9235	0,9409
30	23,9688	28,1000	4,1313	1,4186	1,2516
45	27,1354	28,1000	0,9646	-0,0361	1,6583
60	27,1458	28,1000	0,9542	-0,0469	2,2103
120	28,0156	28,1000	0,0844	-2,4725	4,2833

<b>Cinética cáscara maní partícula grande (800 <math>\mu\text{m}</math>-2 mm) para triclosán</b>					
<b>t</b>	<b>Qt</b>	<b>Qe</b>	<b>Qe-Qt</b>	<b>Ln(Qe-Qt)</b>	<b>t/Qt</b>
<b>[min]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>Pseudo-primer orden</b>	<b>Pseudo-segundo orden</b>
0	0	2,9136	2,9136	1,0694	0
5	1,2776	2,9136	1,6360	0,4923	3,9136
10	2,6396	2,9136	0,2740	-1,2945	3,7885
20	2,1103	2,9136	0,8033	-0,2190	9,4773
30	2,5750	2,9136	0,3386	-1,0829	11,6505
45	2,8807	2,9136	0,0329	-3,4147	15,6210
60	2,9281	2,9136	-0,0145		20,4909
120	2,9688	2,9136	-0,0551		40,4211

## ANEXO 17. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LAS VARIABLES PARA LAS ISOTERMAS DE LANGMUIR Y FREUNDLICH

El ejemplo de cálculo se realizará para la variable de las isotermas de Langmuir y Freundlich para cafeína adsorbida por la partícula pequeña (125-150  $\mu\text{m}$ ) de cáscara de maní.

Masa de cafeína removida de la solución:

$$x = (C_0 - C_e) * V$$

$$x = (22,4312 - 0,5621) \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 0,02 \text{ L}$$

$$x = 0,4374 \text{ mg}$$

Cálculo de  $q_e$ , cantidad de contaminante adsorbido por la cáscara de maní:

$$q_e = \frac{x}{m_{\text{cáscara maní}}}$$

$$q_e = \frac{0,4374 \text{ mg}}{0,2 \text{ g}}$$

$$q_e = 2,1869 \frac{\text{mg}}{\text{g}}$$

Determinación de las constantes para el modelo de Langmuir linealizado  $q_{\text{máx}}$  y  $K_L$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m}$$

A partir de la ecuación obtenida en la Figura 4.15 a)

$$y = 0,2577x + 0,201$$

Se obtiene las siguientes variables:

$$0,2577 x = \frac{x}{q_{\text{máx}}}$$

$$q_{\text{máx}} = 3,8805 \frac{\text{mg}}{\text{g}}$$

$$0,201 = \frac{1}{K_L q_{\text{máx}}}$$

$$0,201 = \frac{1}{K_L * 3,8805}$$

$$K_L = 1,2821$$

Determinación de las constantes para el modelo de Freundlich  $1/n$  y  $K_F$

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$$

A partir de la ecuación de la Figura 4.15 b)

$$y = 0,1866 + 0,3793$$

Se obtienen las siguientes variables:

$$\log C_e = X$$

Entonces:

$$0,1866 x = \frac{1}{n} \log C_e$$

$$0,1866 x = \frac{1}{n} x$$

$$\frac{1}{n} = 0,1866$$

$$0,3793 = \log K_F$$

$$K_F = 10^{0,3793}$$

$$K_F = 2,3949$$



**ANEXO 18. DATOS CALCULADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE LANGMUIR Y FREUNDLICH PARA CAFEÍNA**

Isoterma de adsorción maní partícula pequeña (125-150 $\mu\text{m}$ ) para cafeína					
Co	Ce	Co-Ce	qe	Ce/qe	Log qe
Concentración inicial de cafeína	Concentración final de cafeína	Concentración Adsorbida por la cáscara	mg de cafeína por g de cáscara de maní	Langmuir	Freundlich
[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/g]	[g/L]	-
11,3660	0	-	.	-	-
22,4314	0,5621	21,8693	2,1869	0,2570	0,3398
31,3333	3,0490	28,2843	2,8284	1,0780	0,4515
36,9739	4,9379	32,0359	3,2036	1,5414	0,5056
44,5229	8,0294	36,4935	3,6493	2,2002	0,5622

Isoterma de adsorción maní partícula mediana (300-500 $\mu\text{m}$ ) para cafeína					
Co	Ce	Co-Ce	qe	Ce/qe	Log qe
Concentración inicial de cafeína	Concentración final de cafeína	Concentración Adsorbida por la cáscara	mg de cafeína por g de cáscara de maní	Langmuir	Freundlich
[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/g]	[g/L]	-
12,8105	0,9673	11,8431	0,6967	1,3885	-0,1570
23,3791	2,3007	21,0784	1,2399	1,8555	0,0934
35,3072	4,4771	30,8301	1,8135	2,4687	0,2585
41,4837	7,0490	34,4346	2,0256	3,4800	0,3065
47,5229	8,5359	38,9869	2,2933	3,7220	0,3605

Isoterma de adsorción maní partícula grande (800 $\mu\text{m}$ -2 mm) para cafeína					
Co	Ce	Co-Ce	qe	Ce/qe	Log qe
Concentración inicial de cafeína	Concentración final de cafeína	Concentración Adsorbida por la cáscara	mg de cafeína por g de cáscara de maní	Langmuir	Freundlich
[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/g]	[g/L]	-
3,8758	0,2702	3,6057	0,1030	2,6224	-0,9871
8,1373	0,8671	7,2702	0,2077	4,1744	-0,6825
18,1503	2,7821	15,3682	0,4391	6,3361	-0,3574
29,1765	6,7364	22,4401	0,6411	10,5068	-0,1930
38,9608	9,6427	29,3181	0,8377	11,5115	-0,0769
47,1046	12,3573	34,7473	0,9928	12,4472	-0,0031

**ANEXO 19. DATOS CALCULADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE LANGMUIR Y FREUNDLICH PARA TRICLOSÁN**

<b>Isoterma de adsorción maní partícula pequeña (125-150 µm) para triclosán</b>					
<b>Co</b>	<b>Ce</b>	<b>Co-Ce</b>	<b>qe</b>	<b>Ce/qe</b>	<b>Log qe</b>
<b>Concentración inicial de cafeína</b>	<b>Concentración final de cafeína</b>	<b>Concentración Adsorbida por la cáscara</b>	<b>mg de cafeína por g de cáscara de maní</b>	<b>Langmuir</b>	<b>Freundlich</b>
<b>[mg/L]</b>	<b>[mg/L]</b>	<b>[mg/L]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>[g/L]</b>	<b>-</b>
8,6875	0,5000	8,1875	81,8750	0,0061	1,9132
18,7031	1,3281	17,3750	173,7500	0,0076	2,2399
27,9375	4,5156	23,4219	234,2188	0,0193	2,3696
40,3750	16,4844	23,8906	238,9063	0,0690	2,3782
48,2188	24,8333	23,3854	233,8542	0,1062	2,3689

<b>Isoterma de adsorción maní partícula mediana (300-500 µm) para triclosán</b>					
<b>Co</b>	<b>Ce</b>	<b>Co-Ce</b>	<b>qe</b>	<b>Ce/qe</b>	<b>Log qe</b>
<b>Concentración inicial de cafeína</b>	<b>Concentración final de cafeína</b>	<b>Concentración Adsorbida por la cáscara</b>	<b>mg de cafeína por g de cáscara de maní</b>	<b>Langmuir</b>	<b>Freundlich</b>
<b>[mg/L]</b>	<b>[mg/L]</b>	<b>[mg/L]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>[g/L]</b>	<b>-</b>
8,6875	0,4844	8,2031	8,2031	0,0590	0,9140
18,1875	0,6979	17,4896	17,4896	0,0399	1,2428
32,4219	2,7031	29,7188	29,7188	0,0910	1,4730
43,5156	11,6667	31,8490	31,8490	0,3663	1,5031
56,0313	28,7969	27,2344	27,2344	1,0574	1,4351

<b>Isoterma de adsorción maní partícula grande (800 µm-2 mm) para triclosán</b>					
<b>Co</b>	<b>Ce</b>	<b>Co-Ce</b>	<b>qe</b>	<b>Ce/qe</b>	<b>Log qe</b>
<b>Concentración inicial de cafeína</b>	<b>Concentración final de cafeína</b>	<b>Concentración Adsorbida por la cáscara</b>	<b>mg de cafeína por g de cáscara de maní</b>	<b>Langmuir</b>	<b>Freundlich</b>
<b>[mg/L]</b>	<b>[mg/L]</b>	<b>[mg/L]</b>	<b>[mg/g]</b>	<b>[g/L]</b>	<b>-</b>
18,5781	0,9792	17,5990	1,7599	0,5564	0,2455
32,2656	3,8594	28,4063	2,8406	1,3586	0,4534
42,1406	8,9688	33,1719	3,3172	2,7037	0,5208
52,8281	14,0104	38,8177	3,8818	3,6093	0,5890

## ANEXO 20 COSTOS DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA CÁSCARA DE MANÍ POR GRANULOMETRÍA

Costo de eliminación de cafeína del agua con cáscara de maní de partícula pequeña (125-150  $\mu\text{m}$ )

Concentración de cafeína	30	mg/L
Capacidad adsorbente	3,88	mg/g
Volumen de AR	1	m <sup>3</sup>

Salario mensual (160 horas)	400	USD
Masa cafeína en 1 m <sup>3</sup> de agua	30000	mg
Masa cáscara necesaria	7731,96	g

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL (USD)
<b>MANO DE OBRA</b>			
Operación	16	Hora	40
		TOTAL	40

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL (USD)
<b>MATERIA PRIMA</b>			
Cáscara de maní	7,7319	kg	0
Transporte	-	-	10
		TOTAL	10

CONCEPTO	CANTIDAD [L]	PVP [USD]	CANTIDAD UTILIZADA [L]	COSTO TOTAL [USD]
<b>INSUMOS</b>				
Agua potable	1000	0,43	23,20	0,010
Agua destilada	3,8	2,2	7,73	4,476
			TOTAL	4,486

CONCEPTO	POTENCIA [KW]	TIEMPO DE USO [h]	POTENCIA*TIEMPO DE USO [KWh]	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL (USD)
<b>ENERGÍA</b>					
Estufa	3,7	24	88,8	0,089	7,903
Molino de cuchillas	0,248	6,19	1,53		0,137
Tamizadora	0,75	1,55	1,16		0,103
				TOTAL	8,143

CONCEPTO	POTENCIA [KW]	TIEMPO DE USO [h]	POTENCIA*TIEMPO DE USO [KWh]	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL (USD)
<b>ENERGÍA (Ahorro de secado)</b>					
Estufa *	0	24	0	0,089	0
Molino de cuchillas	0,248	6,19	1,534		0,137
Tamizadora	0,75	1,55	1,159		0,103
				<b>TOTAL</b>	<b>0,240</b>

\* secado al sol

CONCEPTOS	COSTO
<b>COSTO DE ACONDICIONAMIENTO</b>	
Mano de obra	40,00
Insumos	4,486
Materia prima	10,00
Energía (ahorro)	0,24
<b>TOTAL</b>	<b>54,73</b>

TRATAMIENTO	COSTO
Acondicionamiento	54,73
Reactor	20,73
<b>TOTAL</b>	<b>75,45</b>

**Costo de eliminación de cafeína del agua con cáscara de maní de partícula mediana (300-500 µm)**

<b>Concentración de cafeína</b>	30	mg/L
<b>Capacidad adsorbente</b>	3,14	mg/g
<b>Volumen de AR</b>	1	m3

<b>Salario mensual (160 horas)</b>	400	USD
<b>Masa cafeína en 1 m3 de agua</b>	30000	mg
<b>Masa cáscara necesaria</b>	9554,14	g

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL (USD)
<b>MANO DE OBRA</b>			
Operación	16	Hora	40
		<b>TOTAL</b>	<b>40</b>

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL (USD)
<b>MATERIA PRIMA</b>			
Cáscara de maní	9,5541	kg	0
Transporte	-	-	10
TOTAL			10

CONCEPTO	CANTIDAD [L]	PVP [USD]	CANTIDAD UTILIZADA [L]	COSTO TOTAL [USD]
<b>INSUMOS</b>				
Agua potable	1000	0,43	28,66	0,012
Agua destilada	3,8	2,2	9,55	5,531
TOTAL				5,544

CONCEPTO	POTENCIA [KW]	TIEMPO DE USO [h]	POTENCIA*TIEMPO DE USO [KWh]	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL (USD)
<b>ENERGÍA</b>					
Estufa	3,7	24	88,8	0,089	7,903
Molino de cuchillas	0,248	7,64	1,90		0,169
Tamizadora	0,75	1,91	1,43		0,128
TOTAL					8,199

CONCEPTO	POTENCIA [KW]	TIEMPO DE USO [h]	POTENCIA*TIEMPO DE USO [KWh]	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL (USD)
<b>ENERGÍA (Ahorro de secado)</b>					
Estufa *	0	24	0	0,089	0
Molino de cuchillas	0,248	7,64	1,895541401		0,169
Tamizadora	0,75	1,91	1,433121019		0,128
TOTAL					0,296

\* secado al sol

CONCEPTOS	COSTO
<b>COSTO DE ACONDICIONAMIENTO</b>	
Mano de obra	40,00
Insumos	5,544
Materia prima	10,00
Energía (ahorro)	0,30
TOTAL	55,84

TRATAMIENTO	COSTO
Acondicionamiento	55,84
Reactor	20,73
<b>TOTAL</b>	<b>76,57</b>

**Costo de eliminación de cafeína del agua con cáscara de maní de partícula grande (800  $\mu$ m - 2 mm)**

Concentración de cafeína	30	mg/L
Capacidad adsorbente	1,24	mg/g
Volumen de AR	1	m <sup>3</sup>

Salario mensual (160 horas)	400	USD
Masa cafeína en 1 m <sup>3</sup> de agua	30000	mg
Masa cáscara necesaria	24193,54	g

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL (USD)
<b>MANO DE OBRA</b>			
Operación	16	Hora	40
		TOTAL	40

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL (USD)
<b>MATERIA PRIMA</b>			
Cáscara de maní	24,1935	kg	0
Transporte	-	-	10
		TOTAL	10

CONCEPTO	CANTIDAD [L]	PVP [USD]	CANTIDAD UTILIZADA [L]	COSTO TOTAL [USD]
<b>INSUMOS</b>				
Agua potable	1000	0,43	72,58	0,031
Agua destilada	3,8	2,2	24,19	14,007
			TOTAL	14,038

CONCEPTO	POTENCIA [KW]	TIEMPO DE USO [h]	POTENCIA*TIEMPO DE USO [KWh]	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL (USD)
<b>ENERGÍA</b>					
Estufa	3,7	24	88,8	0,089	7,903
Molino de cuchillas	0,248	19,35	4,80		0,427
Tamizadora	0,75	4,84	3,63		0,323
				TOTAL	8,653

CONCEPTO	POTENCIA [KW]	TIEMPO DE USO [h]	POTENCIA*TIEMPO DE USO [KWh]	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL (USD)
<b>ENERGÍA (Ahorro de secado)</b>					
Estufa *	0	24	0	0,089	0
Molino de cuchillas	0,248	19,35	4,8		0,427
Tamizadora	0,75	4,84	3,629032258		0,323
				TOTAL	0,750

\* secado al sol

CONCEPTOS	COSTO
<b>COSTO DE ACONDICIONAMIENTO</b>	
Mano de obra	40,00
Insumos	14,038
Materia prima	10,00
Energía (ahorro)	0,75
TOTAL	64,79

TRATAMIENTO	COSTO
Acondicionamiento	64,79
Reactor	20,73
TOTAL	85,51

**Costo de eliminación de triclosán del agua con cáscara de maní de partícula pequeña (125-150 µm)**

Concentración de cafeína	30	mg/L
Capacidad adsorbente	243,9	mg/g
Volumen de AR	1	m3

Salario mensual (160 horas)	400	USD
Masa cafeína en 1 m3 de agua	30000	mg
Masa cáscara necesaria	123	g

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL (USD)
<b>MANO DE OBRA</b>			
Operación	16	Hora	40
TOTAL			40

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL (USD)
<b>MATERIA PRIMA</b>			
Cáscara de maní	0,123	kg	0
Transporte	-	-	10
TOTAL			10

CONCEPTO	CANTIDAD [L]	PVP [USD]	CANTIDAD UTILIZADA [L]	COSTO TOTAL [USD]
<b>INSUMOS</b>				
Agua potable	1000	0,43	0,37	0,000
Agua destilada	3,8	2,2	0,12	0,071
TOTAL				0,071

CONCEPTO	POTENCIA [KW]	TIEMPO DE USO [h]	POTENCIA*TIEMPO DE USO [KWh]	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL (USD)
<b>ENERGÍA</b>					
Estufa	3,7	24	88,8	0,089	7,903
Molino de cuchillas	0,248	0,10	0,02		0,002
Tamizadora	0,75	0,02	0,02		0,002
TOTAL					7,907

CONCEPTO	POTENCIA [KW]	TIEMPO DE USO [h]	POTENCIA*TIEMPO DE USO [KWh]	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL (USD)
<b>ENERGÍA (Ahorro de secado)</b>					
Estufa *	0	24	0	0,089	0
Molino de cuchillas	0,248	0,10	0,024403444		0,002
Tamizadora	0,75	0,02	0,018450185		0,002
TOTAL					0,004

\* secado al sol



CONCEPTOS	COSTO
<b>COSTO DE ACONDICIONAMIENTO</b>	
Mano de obra	40,00
Insumos	0,071
Materia prima	10,00
Energía (ahorro)	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>50,08</b>

TRATAMIENTO	COSTO
Acondicionamiento	50,08
Reactor	20,73
<b>TOTAL</b>	<b>70,80</b>

**Costo de eliminación de triclosán del agua con cáscara de maní de partícula mediana (300-500  $\mu\text{m}$ )**

<b>Concentración de cafeína</b>	30	mg/L
<b>Capacidad adsorbente</b>	28,01	mg/g
<b>Volumen de AR</b>	1	m <sup>3</sup>

<b>Salario mensual (160 horas)</b>	400	USD
<b>Masa cafeína en 1 m<sup>3</sup> de agua</b>	30000	mg
<b>Masa cáscara necesaria</b>	1071,05	g

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL (USD)
<b>MANO DE OBRA</b>			
Operación	16	Hora	40
		<b>TOTAL</b>	<b>40</b>

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL (USD)
<b>MATERIA PRIMA</b>			
Cáscara de maní	1,0711	kg	0
Transporte	-	-	10
		<b>TOTAL</b>	<b>10</b>

CONCEPTO	CANTIDAD [L]	PVP [USD]	CANTIDAD UTILIZADA [L]	COSTO TOTAL [USD]
<b>INSUMOS</b>				
Agua potable	1000	0,43	8,00	0,003
Agua destilada	3,8	2,2	1,07	0,620
			TOTAL	0,623

CONCEPTO	POTENCIA [KW]	TIEMPO DE USO [h]	POTENCIA*TIEMPO DE USO [KWh]	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL (USD)
<b>ENERGÍA</b>					
Estufa	3,7	24	88,8	0,089	7,903
Molino de cuchillas	0,248	0,86	0,21		0,019
Tamizadora	0,75	0,21	0,16		0,014
				TOTAL	7,936

CONCEPTO	POTENCIA [KW]	TIEMPO DE USO [h]	POTENCIA*TIEMPO DE USO [KWh]	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL (USD)
<b>ENERGÍA (Ahorro de secado)</b>					
Estufa *	0	24	0	0,089	0
Molino de cuchillas	0,248	0,86	0,212495537		0,019
Tamizadora	0,75	0,21	0,160656908		0,014
				TOTAL	0,033

\* secado al sol

CONCEPTOS	COSTO
<b>COSTO DE ACONDICIONAMIENTO</b>	
Mano de obra	40,00
Insumos	0,624
Materia prima	10,00
Energía (ahorro)	0,03
TOTAL	50,66

TRATAMIENTO	COSTO
Acondicionamiento	50,66
Reactor	20,73
<b>TOTAL</b>	<b>71,38</b>

### Costo de eliminación de triclosán del agua con cáscara de maní de partícula grande (800 µm - 2 mm)

Concentración de cafeína	30	mg/L
Capacidad adsorbente	4,24	mg/g
Volumen de AR	1	m3

Salario mensual (160 horas)	400	USD
Masa cafeína en 1 m3 de agua	30000	mg
Masa cáscara necesaria	7075,47	g

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL (USD)
<b>MANO DE OBRA</b>			
Operación	16	Hora	40
		TOTAL	40

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL (USD)
<b>MATERIA PRIMA</b>			
Cáscara de maní	7,0755	kg	0
Transporte	-	-	10
		TOTAL	10

CONCEPTO	CANTIDAD [L]	PVP [USD]	CANTIDAD UTILIZADA [L]	COSTO TOTAL [USD]
<b>INSUMOS</b>				
Agua potable	1000	0,43	21,23	0,009
Agua destilada	3,8	2,2	7,08	4,096
			TOTAL	4,105

CONCEPTO	POTENCIA [KW]	TIEMPO DE USO [h]	POTENCIA*TIEMPO DE USO [KWh]	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL (USD)
<b>ENERGÍA</b>					
Estufa	3,7	24	88,8	0,089	7,903
Molino de cuchillas	0,248	5,66	1,40		0,125
Tamizadora	0,75	1,42	1,06		0,094
				TOTAL	8,123

CONCEPTO	POTENCIA [KW]	TIEMPO DE USO [h]	POTENCIA*TIEMPO DE USO [KWh]	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL (USD)
<b>ENERGÍA (Ahorro de secado)</b>					
Estufa *	0	24	0,00	0,089	0
Molino de cuchillas	0,248	5,66	1,40		0,125
Tamizadora	0,75	1,42	1,06		0,094
				TOTAL	0,219

\* secado al sol

CONCEPTOS	COSTO
<b>COSTO DE ACONDICIONAMIENTO</b>	
Mano de obra	40,00
Insumos	4,105
Materia prima	10,00
Energía (ahorro)	0,22
<b>TOTAL</b>	<b>54,32</b>

TRATAMIENTO	COSTO
Acondicionamiento	54,32
Reactor	20,73
<b>TOTAL</b>	<b>75,05</b>

### Costo de eliminación de cafeína del agua con carbón activado

	CAPACIDAD ADSORBENTE [mg/g]	COSTO/kg [USD]	MASA NECESARIA [g]	MASA [kg]	COSTO TOTAL [USD]
Carbón activado	88	154,7	340,909	0,341	52,739

	COSTO
Carbón Activado	52,74
Reactor	20,73
<b>TOTAL</b>	<b>73,46</b>