



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**EVALUACION DE LA ACTIVIDAD ADSORTIVA DE OXIDO DE
GRAFENO REDUCIDO Y NANOCELULOSA PARA LA
REMOCION DE ARSENICO PRESENTE EN EL AGUA.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: EVELYN ANDREA SALAZAR LOPEZ

DIRECTOR: Ing. GABRIELA VIVIANA TUBON USCA.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Evelyn Andrea Salazar López

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

Yo, EVELYN ANDREA SALAZAR LOPEZ, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; es patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de marzo 2022



Evelyn Andrea Salazar López

100512590-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que; El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACION DE LA ACTIVIDAD ADSORTIVA DE OXIDO DE GRAFENO REDUCIDO Y NANOCELULOSA PARA LA REMOCION DE ARSENICO PRESENTE EN EL AGUA.**, realizado por la señorita: **EVELYN ANDREA SALAZAR LÓPEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera Mst. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-08-11
Ing. Gabriela Viviana Tubón Usca PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-08-11
Ing. Mónica Lilián Andrade Avalos Mst MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-08-11

DEDICATORIA

Lleno de regocijo, amor y esperanza, dedico esta tesis principalmente a Dios que ha sido mi fortaleza. A mis padres Bayardo y Rose Mary quienes, con su paciencia, dedicación, amor y esfuerzo me han permitido cumplir un sueño más. A mi hermano Fernando, por su apoyo incondicional durante todo este proceso de formación y Sofía por su cariño y por confiar siempre en mí.

A toda mi familia que con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona. Finalmente, a Bryan Yuquilema, por el apoyo y amor incondicional en todo momento, y a sus padres quienes creyeron en mí sin dudar.

Evelyn

AGRADECIMIENTOS

Mi profundo agradecimiento a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida. A toda mi familia por estar siempre presentes y apoyarme en todo momento, a mis padres por inculcar en mí el ejemplo de la perseverancia valentía y esfuerzo, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo. Quiero expresar mi gratitud a cada uno de los docentes que con sus enseñanzas me han permitido formarme académicamente.

Evelyn

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Antecedentes de la Investigación.....	5
1.2. Marco Conceptual o Glosario.....	6
1.2.1. Nanocelulosa.....	6
1.2.2. Aplicaciones de la nanocelulosa.....	6
1.3. Oxido de grafeno reducido (rGO).....	7
1.3.1. Aplicaciones de óxido de grafeno reducido.....	7
1.4. Arsénico.....	8
1.4.1. Distribución y usos del arsénico.....	8
1.4.2. Adsorción.....	9
1.4.2.1. Aplicaciones de la adsorción.....	10
1.4.2.2. Espectrómetro de adsorción atómica.....	10
1.4.2.3. Cinética de adsorción.....	11
1.4.3. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes.....	12
1.4.3.1. Revisión del anexo I del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.....	12
1.4.3.2. Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce.....	13

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	15
2.1. Hipótesis y variables.....	15
2.1.1. Hipótesis General.....	15

2.1.2.	<i>Hipótesis Específicas</i>	15
2.2.	Se calculará el porcentaje de arsénico removido en el proceso de adsorción con óxido de grafeno reducido y nanocelulosa	15
2.2.1.	<i>Variables Independientes</i>	15
2.2.2.	<i>Variables Dependientes</i>	15
2.3.	Operacionalización de Variables	17
2.4.	Matriz de Consistencia	18
2.5.	Tipo y Diseño de Investigación	20
2.5.1.	<i>Tipo de Investigación</i>	20
2.5.1.1.	<i>Descriptiva</i>	20
2.5.1.2.	<i>Bibliográfica</i>	20
2.5.1.3.	<i>Experimental</i>	20
2.5.2.	<i>Diseño de la Investigación</i>	20
2.6.	Unidad de Análisis	21
2.7.	Población de Estudio	21
2.8.	Tamaño de Muestra	21
2.9.	Selección de muestra	22
2.10.	Técnicas de Recolección de Datos	22
2.10.1.	<i>Procedimiento para obtención de materia prima de partida</i>	22
2.10.1.1.	<i>Extracción de celulosa</i>	22
2.10.1.2.	<i>Obtención de nanocelulosa</i>	24
2.10.1.3.	<i>Obtención de Oxido de grafeno reducido</i>	25
2.10.2.	<i>Funcionalización NC y rGO</i>	27
2.10.3.	<i>Caracterización de la materia prima</i>	27
2.10.3.1.	<i>Mediante espectroscopia de infrarrojo</i>	27
2.10.3.2.	<i>Mediante microscopia óptica</i>	28
2.10.3.3.	<i>Mediante microscopia electrónica de barrido SEM</i>	28
2.10.4.	<i>Solución madre de Arsénico</i>	29
2.10.5.	<i>Tiempo al contacto</i>	29
2.10.6.	<i>Espectroscopia por adsorción atómica</i>	31
2.10.6.1.	<i>Preparación de soluciones estándares y soluciones para preparación muestras</i>	31
2.11.	Materiales	34
CAPÍTULO III		
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
3.1.	Caracterización de la materia prima	36

3.1.1.	<i>Nanocelulosa, NC</i>	36
3.1.1.1.	<i>Caracterización morfológica</i>	36
3.1.1.2.	<i>Análisis por espectroscopia infrarroja FTIR</i>	37
3.1.1.3.	<i>Caracterización SEM</i>	39
3.1.1.4.	<i>Oxido de grafeno reducido, rGO</i>	40
3.1.1.5.	<i>Análisis de espectro infrarrojo FTIR</i>	40
3.1.1.6.	<i>Caracterización SEM</i>	41
3.1.1.7.	<i>Microscopia EDS, rGO</i>	42
3.1.1.8.	<i>Nanocelulosa y oxido de grafeno reducido (NC y rGO) f</i>	43
3.1.1.9.	<i>Caracterización morfológica</i>	43
3.1.1.10.	<i>Análisis de espectro infrarrojo FTIR,</i>	44
3.1.2.	<i>Caracterización SEM</i>	45
3.1.2.1.	<i>Microscopia EDS, (rGO y NC) f</i>	45
3.1.3.	<i>Adsorción</i>	47
3.1.4.	<i>Tiempo al contacto</i>	47
3.1.4.1.	<i>Peso en equilibrio de (NC y rGO) f, en tiempo al contacto</i>	47
3.1.4.2.	<i>Cantidades de arsénico adsorbidas</i>	48
3.1.4.3.	<i>Promedio de concentraciones y pesos en equilibrio</i>	50
3.2.	Experimento 1 pH 5	51
3.3.	Experimento 2 pH7	55
3.4.	Experimento 3 pH9	59
3.5.	Validación de experimentos	62
3.6.	Porcentaje adsorbido	65
 CONCLUSIONES		20
RECOMENDACIONES		21
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Criterios de calidad de aguas que para consumo humano y domestico que requieren tratamientos convencional.....	12
Tabla 2-1:	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.	14
Tabla 1-2:	Diseño de experimentación para evaluar la actividad adsortiva de rGO y NC para la remoción de arsénico.....	20
Tabla 2-2:	Recolección de datos	22
Tabla 3-2:	Experimento para la obtención de celulosa.....	22
Tabla 4-2:	Experimento realizado en pruebas piloto	30
Tabla 5-2:	Experimentos desarrollados	30
Tabla 6-2:	Soluciones iniciales para preparar muestras estándares	32
Tabla 7-2:	Soluciones estándares.....	32
Tabla 8-2:	Soluciones para muestras y espectrómetro de adsorción atómica.....	32
Tabla 9-2:	Materiales y equipos para la funcionalización de NC y rGO.....	34
Tabla 10-2:	Equipos y reactivos para la caracterización del material.....	35
Tabla 11-2:	Materiales, equipos y reactivos para; muestra madre, tiempo al contacto, centrifugación y secado de muestras.....	35
Tabla 12-2:	Materiales, equipos y reactivos para el proceso de adsorción.....	35
Tabla 1-3:	Imagen de nanocelulosa obtenida mediante hidrolisis acida y tratamiento de ultrasonido.....	36
Tabla 2-3:	Fórmula rGO	43
Tabla 3-3:	Fórmula (rGO y NC) f	46
Tabla 4-3:	Concentraciones finales de las muestras piloto.....	48
Tabla 5-3:	Concentraciones finales y pesos en equilibrios de experimentos y replicas	49
Tabla 6-3:	Promedio de concentraciones y pesos en equilibrio en cada experimento.....	50
Tabla 7-3:	Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 1 pH5 y T25°C.....	51
Tabla 8-3:	Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 1 pH5 y T40°C.....	52
Tabla 9-3:	Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 1 pH5 y T60°C.....	54
Tabla 10-3:	Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 2 pH7 y T25°C.....	55
Tabla 11-3:	Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 2 pH7 y T40°C.....	56
Tabla 12-3:	Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 2 pH7 y T60°C.....	57
Tabla 13-3:	Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 3 pH9 y T25°C.....	59
Tabla 14-3:	Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 3 pH9 y T40°C.....	60
Tabla 15-3:	Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 3 pH9 y T60°C.....	61
Tabla 16-3:	Concentraciones finales. Experimento de validación.....	63

Tabla 17-3:	Concentraciones finales. Validación de rGO	64
Tabla 18-3:	Concentraciones finales. Validación de NC	64
Tabla 19-3:	Porcentajes de arsénico adsorbidos	65
Tabla 20-3:	Porcentajes de arsénico adsorbidos	65
Tabla 21-3:	Porcentajes de arsénico adsorbidos	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Equipo de espectrometría de adsorción atómica con llama. ESPOCH.	11
Figura 1-2:	Imágenes SEM de nanocelulosa Fuente: Salazar, E.....	39
Figura 2-2:	Imagen SEM rGO Fuente: Salazar, E.....	41
Figura 3-2:	Imagen óptica de (NC y rGO) _f . fuente: Salazar, E.	43

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Proceso para la obtención de celulosa.....	23
Gráfico 2-2:	Proceso de obtención de Nanocelulosa mediante hidrolisis acida con ultrasonido de alta intensidad.....	24
Gráfico 3-2:	Proceso de obtención de Oxido de grafeno reducido.....	26
Gráfico 4-2:	Proceso de funcionalización de Nanocelulosa y Oxido de grafeno reducido....	27
Gráfico 5-2:	Preparación de solución madre de Arsénico.	29
Gráfico 6-2:	Proceso de tiempo al contacto.....	29
Gráfico 1-3:	Espectro de infrarrojo de la nanocelulosa.	37
Gráfico 2-3:	Espectro FTIR de óxido de grafeno reducido fuente: Salazar, E.	40
Gráfico 3-3:	Microscopia EDS, rGO.....	42
Gráfico 4-3:	Espectro infrarrojo de (NC y rGO) f. Fuente: Salazar, E.....	44
Gráfico 5-3:	Microscopia EDS, (rGO y NC).....	46
Gráfico 6-3:	a) Cinética de adsorción de (rGO y NC) f; pH5 a 25°C. b) Modelo de pseudo primer orden. c) Modelo de pseudo segundo orden.	52
Gráfico 7-3:	a) Cinética de adsorción de (rGO y NC) f; pH5 a 40°C. b) Modelo de pseudo primer orden. c) Modelo de pseudo segundo orden.	53
Gráfico 8-3:	a) Cinética de adsorción de (rGO y NC) f; pH5 a 60°C. b) Modelo de pseudo primer orden. c) Modelo de pseudo segundo orden.	54
Gráfico 9-3:	a) Cinética de adsorción de (rGO y NC) f; pH7 a 25°C. b) Modelo de pseudo primer orden. c) Modelo de pseudo segundo orden.	55
Gráfico 10-3:	a) Cinética de adsorción de (rGO y NC) f; pH7 a 40°C. b) Modelo de pseudo primer orden. c) Modelo de pseudo segundo orden.	57
Gráfico 11-3:	a) Cinética de adsorción de (rGO y NC) f; pH7 a 60°C. b) Modelo de pseudo primer orden. c) Modelo de pseudo segundo orden.	58
Gráfico 12-3:	a) Cinética de adsorción de (rGO y NC) f; pH9 a 25°C. b) Modelo de pseudo primer orden. C) Modelo de pseudo segundo orden.	59
Gráfico 13-3:	a) Cinética de adsorción de (rGO y NC) f; pH9 a 40°C. b) Modelo de pseudo primer orden. C) Modelo de pseudo segundo orden.	61
Gráfico 14-3:	a) Cinética de adsorción de (rGO y NC) f; pH9 a 60°C. b) Modelo de pseudo primer orden. C) Modelo de pseudo segundo orden.	62

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: REPORTE DE ADSORCIÓN DE (rGO + NC)f (1)

ANEXO B: REPORTE DE ADSORCIÓN DE (rGO + NC)f (2)

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la actividad adsortiva de óxido de grafeno reducido y nanocelulosa para la remoción de arsénico presente en el agua. Para ello, primero se caracterizó los nanomateriales funcionalizados de rGO y NC mediante microscopia IR y de barrido. Segundo, se procedió a realizar el tiempo de contacto considerando las condiciones de temperatura, agitación, pH, tiempo y volumen de solución madre de As (25, 40 y 60°C; 250 rpm; 5, 7 y 9; 1, 5, 10, 15 y 30 min; 200 ml), realizando 250 muestras. Posterior, con las muestras anteriores se obtuvo la concentración final mediante lecturas de cada una de ellas en el espectrómetro de adsorción atómica. Seguido, se estudió la actividad adsortiva de las muestras anteriores realizando cálculos de concentración y peso en equilibrio. Los resultados obtenidos en las lecturas de cada muestra, presentan actividad adsortiva ya que existió disminución de la concentración inicial de arsénico (10ppm) con respecto a las concentraciones finales. De igual manera, al realizar los cálculos de concentración y peso en equilibrio se encontró comportamiento de actividad adsortiva ya que muestran un decrecimiento de concentración de arsénico. Concluyendo que, el (rGO y NC)_f como adsorbentes presentan actividad adsortiva para la remoción de arsénico presente en el agua. Se recomienda realizar la nanocelulosa bajo otros experimentos diferentes al utilizado en esta investigación, además, variar los pesos de cada nanomaterial para su funcionalización.

Palabras clave: <ACTIVIDAD ADSORTIVA>, <ÓXIDO DE GRAFENO REDUCIDO>, <NANOCELULOSA>, <MICROSCOPIA IR>, <ESPECTRÓMETRO DE ADSORCIÓN ATÓMICA>, <CONCENTRACIÓN EN EQUILIBRIO>, <PESO EN EQUILIBRIO>.

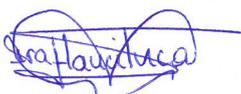


1898-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The aim of the present work was to evaluate the adsorptive activity of reduced graphene oxide and nanocellulose for the removal of arsenic from water. For this purpose, rGO and NC functionalized nanomaterials were first characterized by IR and scanning microscopy. Second, the contact time was carried out considering the conditions of temperature, agitation, pH, time and volume of As stock solution (25, 40 and 60°C; 250 rpm; 5, 7 and 9; 1, 5, 10, 15 and 30 min; 200 ml), making 250 samples. Subsequently, with the above samples, the final concentration was obtained by means of readings of each one of them in the atomic adsorption spectrometer. Then, the adsorptive activity of the previous samples was studied by performing concentration and equilibrium weight calculations. The results obtained in the readings of each sample show adsorptive activity since there was a decrease in the initial concentration of arsenic (10ppm) with respect to the final concentrations. Likewise, when calculating the concentration and weight in equilibrium, adsorptive activity behavior was found, since they show a decrease in arsenic concentration. It was concluded that, the (rGO and NC) f as adsorbents present adsorptive activity for the removal of arsenic present in water. It is recommended to perform the nanocellulose under other experiments different from the one used in this research, in addition, to vary the weights of each nanomaterial for its functionalization.

Keywords: <ADSORPTIVE ACTIVITY>, <REDUCED GRAPHENE OXIDE>, <NANOCELLULOSE>, <IR MICROSCOPY>, <ATOMIC ADSORPTION SPECTROMETER>, <CONCENTRATION IN EQUILIBRIUM>, <WEIGHT IN EQUILIBRIUM>.



Dra. Nancy Margarita Inca Chunata

0602926719

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

Enunciado del problema

El agua, siendo un elemento vital, necesario para toda forma de vida, se lo considera una necesidad, si el ser humano bien se encuentra en desarrollo es adulto o adulto mayor, y consumen por lo mínimo 3 litros diarios por persona, se han encontrado estudios que en promedio necesitamos de 20 a 50 litros aproximadamente para nuestro diario vivir, esto también varía de acuerdo a la persona ya que depende mucho de la edad, características físicas y fisiológicas, por otro lado para nuestras acciones cotidianas como es el tomar una ducha, o el aseo personal en general, se usa alrededor de 70 litros por persona, para lavar prendas, alimentos entre otras acciones el ser humano consume 20 litros por persona diario (Tello, 2013, pp. 4-7).

La necesidad de agua dulce apta para el consumo o agua potable, se convirtió en un bien básico que es importante satisfacer o adquirirlo, es decir si en el caso de que esta llegara a faltar o a existir carencia se compromete la subsistencia de la misma, esta es la llamada necesidad absoluta (Tello, 2013, p. 5) (Vázquez & Montoya 2004, p. 2).

Sin embargo, existe mucha contaminación o descuido del tratamiento de aguas residuales, a causa de industrias ya que estas expulsan grandes cantidades de desechos contaminantes, metales tóxicos como el arsénico, compuestos orgánicos como pesticidas, detergentes, tintes fenoles, entre otros, afectando directamente a al agua (Hokkanen, Bhatnagar & Sillanpää 2016, p. 1). También es de nuestro conocimiento que el arsénico (As), al ser considerado un metaloide altamente tóxico, no es apto para el consumo humano, ni en las más mínimas cantidades y para el riego de sembríos, ya que este se va a encontrar de forma inorgánica y natural en el agua, al provenir de partes subterráneas de la tierra, la presencia de arsénico en el agua se vuelve un problema ambiental (Lima Cardona 1967, p. 1.3). Hoy en día sigue siendo un gran desafío tener un método de tratamiento de aguas residuales, y más aún remover las cantidades de arsénico, según la investigación realizada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), el cual se centró en el estudio de los efectos que causa la concentración de arsénico en la salud humana, los cuales explican que así se encuentre una concentración muy baja de arsénico en el agua potable que sería de 0.01-0.05 mg/L, puede ser causante de enfermedades letales tal como es el cáncer al pulmón a la piel y la vejiga y en una menor fuerza también se presenta con cáncer de hígado (Hokkanen, Bhatnagar & Sillanpää 2016), (Li et al. 2014, p. 1).

Formulación del problema

¿Se puede realizar adsorción o remoción de arsénico presente en el agua usando nanocelulosa y oxido de grafeno funcionalizados como adsorbentes, en una concentración determinada y temperatura, tiempo de contacto y pH diferentes?

Justificación de la Investigación

Ante la gran problemática que se desencadena y teniendo la necesidad de contar con agua potable, se propone una solución alternativa mediante un método eficaz como es el de adsorción, el cual consiste en funcionalizar dos nanomateriales que son oxido de grafeno reducido (rGO) y nanocelulosa (NC), que según la teoría estudiada del rGO actúa como un buen adsorbente. (Pradhan et al. 2020, p. 1-2) Para el proceso de adsorción se toma en cuenta que, actualmente la tecnología emergente es la llamada nanotecnología, la cual se ofrece como un futuro prometedor y rentable.

Para este proceso de adsorción se ha estudiado que el óxido de grafeno reducido (rGO), como material adsorbente de metales pesados tóxicos, es muy prometedor, ya que este posee propiedades únicas como material adsorbente por su relación superficie volumen (Pradhan et al. 2020, p. 1-2). El rGO tiene varias características como son la alta conductividad la que depende de la estructura química y atómica, las cuales se muestran óptimas para ser adsorbente de metales pesados y tóxicos. (Pacheco Páez y Rincón Castro 2019, p. 19). El uso de grafeno en este tipo de pruebas muestra que tiene una afinidad con sustancias tóxicas, que al encontrarse a ciertas temperaturas y pH controlados van a crear una interacción entre cargas iónicas (HERUZO, 2014)(Pacheco Páez & Rincón Castro 2019, p. 18).

Por otro lado, el estudio del uso de compuestos de nanocelulosa (NC) como adsorbente, para el tratamiento de aguas residuales y aguas contaminadas, ha mostrado gran efectividad por sus excelentes propiedades adsorptivas, se han investigado varios compuestos de base nano para la eliminación de contaminantes, entre ellos se encuentra los nano compuestos de celulosa/grafeno. (Tshikovhi, Mishra & Mishra 2020, p. 618).

Al ser un biopolímero cuyas dimensiones son nanométricas y por ende encontrarse en una escala manométrica, la nanocelulosa NC, posee de características que la hacen ser un nanomaterial perdurable para la adsorción y remoción de metales pesados y tóxicos en cuerpos de agua, como es la alta resistencia, dispersión, área superficial y resistencia en medios agresivos y en temperaturas elevadas (Alejandra & Zaldumbide 2017, p. 12).

En un estudio realizado por (Suman et al. 2015) demostró que la nanocelulosa bacteriana al

encontrarse cubierta por nano partículas, logro remover iones de Pb (II) y Cr (III) y bacterias *E. Coli* en un 99.48 %, 98,3% y 100% respectivamente.

Con el desarrollo de esta investigación se espera dar un aporte a la sociedad y al medio ambiente con la implementación de un nanomaterial emergente el cual se presenta como una propuesta tecnológica de la nanocelulosa (NC) que al ser un material cristalino procedente de los residuos orgánicos, y el óxido de grafeno reducido (rGO) procedente del grafeno, se propone funcionalizar estos dos nanomateriales, el cual al estar en contacto con una solución madre de arsénico se lo someterá a un proceso de adsorción mediante un espectrofotómetro de adsorción atómica, que nos permitirá obtener la concentración final luego de la adsorción y con esto analizar la actividad adsorptiva en diferentes soluciones las cuales estarán en pH, temperatura y tiempo diferente cada una, y de acuerdo a este resultado podremos observar si adsorbe arsénico y en qué cantidades lo hace, de igual manera se podrá analizar si no llega adsorber arsénico y llegar a una conclusión del porque esto llega a suceder usando las cantidades especificadas en la metodología, un punto importante a recalcar es que la nanocelulosa NC con la cual se esta trabajando es realizada a base de hojas de choclo, con esto podremos afirmar o negar si dicha NC es un buen adsorbente.

Por lo antes expuesto el desarrollo y estudio del tema de investigación en cuestión, se enfoca en la funcionalización de dos nanomateriales a los que se realizarán experimentos con el fin de analizar si estos son adsorbentes, en este caso se hará la experimentación con arsénico, mediante sus concentraciones finales y su actividad adsorptiva llegaremos a deducir si existió o no adsorción analizando su actividad adsorptiva.

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Evaluar la actividad adsorptiva de rGO y nanocelulosa para la remoción de arsénico.

Objetivos Específicos

- Caracterizar los nanomateriales rGO y nanocelulosa utilizando microscopia y espectroscopia disponible.
- Evaluar la actividad adsorptiva modificando parámetros tales como: temperatura, agitación, pH, tiempo y volumen de solución madre de As.
- Estudiar la cinética de adsorción utilizando el modelo de pseudo primer orden y pseudo segundo orden, para verificar la efectividad de remoción de arsénico utilizando óxido de

grafeno y nanocelulosa.

- Determinar el porcentaje de arsénico removido mediante el proceso de adsorción, usando óxido de grafeno reducido (rGO) y nanocelulosa (NC) funcionalizados como adsorbentes.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la Investigación

De acuerdo a *Pradhan, Konwar, Ghosh, Mondal, Jarkar y Deb; 2020*, en su investigación sobre “Óxido de hierro multifuncional integrado con óxido de grafeno reducido como un candidato adsorbente versátil para la eliminación eficaz de arsénico y tinte”, de acuerdo al desarrollo y resultados expuestos de dicha investigación indica que al usar un compuesto de óxido de grafeno reducido (rGO) y nanopartículas de magnetita en una proporción de 1:1 lograron remover hasta un 96% de cantidad de metales pesados en este caso el arsénico de aguas residuales o contaminadas así como también tintes de las mismas, para un tiempo de contacto de 120 min a pH 7 (*Pradhan et al. 2020, p. 412*). Mediante un proceso de adsorción se llegó a obtener grandes y ventajosos resultados frente al gran enigma de la contaminación de agua por metales y tintes, mostrando así que este proceso tiene un gran potencial y tiene fines excelentes.

Como se expone en la investigación de *Tshikovhi, Shivani, Mishra y Ajay; 2020*, titulada “Nanocellulose-based composites for the removal of contaminants from wastewater”, nos indica que al trabajar con nanocelulósicos y por las propiedades que cuentan, muestran que tienen un gran potencial para la remoción de materiales pesados o de diferentes contaminantes existentes en el agua. La nanocelulosa tiene una gran afinidad con los contaminantes orgánicos e inorgánicos, y al estar en interacción entre contaminantes, mediante el proceso de adsorción trabajan a través de diferentes mecanismos como la interacción electrostática, las fuerzas de van der Waals, los enlaces de hidrógeno y las interacciones pi-pi (*Tshikovhi, Mishra y Mishra 2020, p. 629*). De esta manera se demuestra que el proceso de adsorción con nanocelulosa es eficaz al momento de remover metales pesados y materiales tóxicos de aguas contaminadas.

De este modo podemos notar que el proceso de adsorción con nanomateriales, siendo el óxido de grafeno reducido y nanocelulosa como adsorbentes, es una manera efectiva para la eliminación de metales pesados del agua, esperando tener resultados prometedores para los fines correspondientes de esta investigación.

1.2. Marco Conceptual o Glosario

1.2.1. Nanocelulosa

Actualmente recibe una gran acogida de parte de los investigadores ya que tiene algunas aplicaciones en muchas áreas de estudio, y sobretodo es un nanomaterial muy poco explotado.

Se la obtiene de la celulosa de cualquier tipo de material apto para procesarlo, convirtiéndose así en una fibra natural, llama mucho el interés para trabajar con este nanomaterial ya que el tamaño de la fibra de la nanocelulosa es de menos de 100 nm de diámetro y tiene varios micrómetros de longitud, su peso es sumamente ligero y de baja densidad la cual oscila alrededor de $1,6 \text{ g/cm}^3$, tiene una alta resistencia a la tracción de hasta 10 GPa, y una excelente propiedad de fuerza. La nanocelulosa en su mayoría de ocasiones es transparente con un tono leve blanquecino (Phanthong et al., 2018p. 33-34). Tienen también propiedades dieléctricas, ya que son altamente cristalinos y al tener un módulo de Young muy alto, son los ideales candidatos para la industria eléctrica. (Fernando, Guerrero y Arroyo 2016, p. 59)

La nanocelulosa contiene en su estructura diversos grupos hidroxilos (R-OH) también se encuentran fuertes redes de enlaces de hidrogeno (H), estos grupos hidroxilos son aptos para funcionalizarse con algunas propiedades superficiales de la nanocelulosa (Phanthong et al. 2018, p. 33,34)

1.2.2. Aplicaciones de la nanocelulosa

Tiene propiedades para formar cristales líquidos los cuales tienen diversas aplicaciones. Al poseer materiales altamente cristalinos, tienen propiedades mecánicas altas, es un material muy resistente y ligero (Fernando, Guerrero & Arroyo 2016, p. 59).

Con esta fabrican dispositivos de anti falsificación, tintas para imprimir, materiales iridiscentes (Fernando, Guerrero & Arroyo 2016, p. 60)

Transformadores eléctricos, ya que estos son más estables químicamente (Fernando, Guerrero y Arroyo 2016, p. 60)

Otra aplicación de la nanocelulosa es que son usados para capacitores (Fernando, Guerrero y Arroyo 2016, p. 60)

Materiales nanocompuestos:

- Alta resistencia mecánica.
- Altas propiedades térmicas con ligereza y transparencia.
- Estructura de alta resistencia.
- Armadura ligera.

El poli ácido láctico llega a ser uno de los materiales poliméricos más atrayente para materiales de nanocompuestos ya que poseen propiedades renovables. Según estudios del uso de la nanocelulosa como refuerzo en el poli ácido láctico (PLA) en los cuales se forman nuevos materiales compuestos y mejoran la interacción entre los rellenos de la matriz. Materiales modificados en la superficie y papel transparente con funciones especiales (Phanthong et al. 2018, p. 35, 36)

1.3. Oxido de grafeno reducido (rGO)

Producto exfoliado y análogo del grafeno (OG), ya que se excluyen, parcial o completamente los 8 grupos oxigenados, convirtiendo de esta manera la hibridación de los átomos de carbono del plano basal sp^3 a sp^2 , restaurando parcialmente la aromaticidad del sistema (Vargas, 2016, p. 7).

Por lo general para sintetizar oxido de grafeno reducido (rGO), en muchos de los casos involucran hidracina o derivados de borohidruro de sodio, existen varios métodos de obtención de este nanomaterial como son: reducción térmica, fototérmica, inducido, por láser y reducción química, los cuales dan como resultado al grafeno funcionalizado que viene a convertirse en rGO, lo cual recupera la gran mayoría de carácter sp^2 .(Vargas, 2016, p. 8).

1.3.1. Aplicaciones de óxido de grafeno reducido

El rGO y el GO actúan también como un dispositivo en el cual es posible acumular energía ya que tienen superficie extremadamente alta por ende este tipo de materiales se juzga para darle uso como de:

- Electrodo en baterías
- Condensadores de doble capa
- Celdas de combustible
- Celdas solares
- Baterías de iones de litio de alta capacidad (Tovar, 2017, p. 20).

También este nanomaterial tiene grandes aplicaciones como biosensores. Incluso para un pronto

rastreo de enfermedades y curas de enfermedades como el cáncer entre otras (Tovar, 2017, p. 21).

Una aplicación de las más importantes para esta investigación es como purificador de agua en manera de filtro, la distancia que existe entre la capa intermedia de óxido de grafito secado se ha reportado como 6.3 A, pero en agua líquida aumenta a 11.6 A, tiene una velocidad de penetración de este tipo de filtro en el agua es de 0.1 mg/min/cm², y la velocidad de difusión del agua es de 1 cm/h (Tovar, 2017, p. 22).

1.4. Arsénico

Elemento químico de la tabla periódica que concierne al grupo de los metaloides, también toman el nombre de semimetales, se encuentra en estados diferentes, aunque; raramente se encuentra en estado sólido. El estado de oxidación del arsénico le hace que su toxicidad aumente, así como también la estructura química y la solubilidad que tiene este en el ambiente biológico (Alarcón et al. 2013, p. 9). Se usa también las aleaciones las cuales aumentan la dureza y la resistencia al calor como la aleación del plomo, tiene un uso en la fabricación de algunos tipos de vidrio y como componentes equipos eléctricos (Nordberg et al. 2001, p. 9).

Al ser un elemento como son los metales este se encuentra muy fácilmente en la atmosfera, rocas, suelo, como también en la hidrosfera y la biosfera, abarcando procesos naturales como también antropogénicos, siendo este un elemento que tiene una toxicidad extremadamente toxico llega a ser cancerígeno, al tener altas concentraciones, al estar expuestos tienen un efecto de causa agudos y potencialmente fatales, sino que así mismo tienen efectos crónicos negativos por beber agua en bajas concentraciones durante periodos de tiempo largos (Alarcón et al. 2013, p. 9).

1.4.1. Distribución y usos del arsénico

✓ Compuestos inorgánicos trivalentes

Tiene un gran uso en la industria cerámica, en la fabricación de arsenicales con contenido de cloro, para esto se usa el tricloruro de arsénico (AsCl₃) (Nordberg et al. 2001, p. 9).

Para la purificación de gases sintéticos es un ideal usar el trióxido de arsénico (As₂O₃) así como también el arsénico blanco, también son aptos para el uso de la industria textil (Nordberg et al. 2001, p. 9).

El tipo de arsénico que es utilizado para insecticidas es el arsenito cálcico [Ca (As₂H₂O₄)]. (Nordberg et al. 2001, p. 9).

Para pinturas de barcos y submarinos se usa el acetoarsenito cúprico.(Nordberg et al. 2001, p. 9)

✓ Compuestos inorgánicos pentavalentes

En la elaboración de arsenatos, de vidrio se usa el ácido arsénico ($H_3AsO_{4.1/2}H_2O$) también es utilizado para el tratamiento de madera (Nordberg et al. 2001, p. 9).

Para los conservantes de madera y la manufactura de vidrio coloreado y de herbicida se usa el pentaóxido de arsénico (As_2O_5) (Nordberg et al. 2001, p. 9).

✓ Compuestos de arsénico orgánico

Como herbicida y defoliante es usado ácido cacodílico ($(CH_3)_2AsOOH$) (Nordberg et al. 2001, p. 9).

El cebo para saltamontes tiene como su principal compuesto el ácido arsánico ($NH_2C_6H_4AsO(OH)_2$) así como también se utiliza para la elaboración de aditivos para piensos animales (Nordberg et al. 2001, p. 9).

Cabe recalcar que cada uso de arsénico tiene daños perjudiciales para la salud del ser humano por más pequeñas cantidades que se usen o se consuman mediante el agua, el nivel de toxicidad de este llega a ser peligroso.

1.4.2. Adsorción

Siendo este un fenómeno fisicoquímico, viene a ser primordial para procesos químicos, los cuales son acelerados por la presencia de catalizadores, teniendo estos un estado de agregación diferente al de los reactivos.

Mientras se da el proceso de adsorción sea de un gas o soluto en disolución, las partículas existentes se van a acumular por encima de la superficie del otro material, la sustancia que va a absorber se denominara adsorbato, mientras que el adsorbente viene a ser el material que se encuentra sobre el que lo hace, a esto se le llama desorción, que es el proceso contrario de la adsorción. Se reconoce dos tipos básicos de la adsorción: adsorción física y la adsorción química (Química y Unam 1997, p. 186).

✓ **Adsorción física.-** También llamado como fisisorción, tiene como diferente las relaciones que son preeminente son de tipo Van der Waals (Química y Unam 1997, p. 186).

- ✓ **Adsorción química.-** conocida también como quimiadsorción, en este las relaciones semejan en los enlaces químicos, haciendo que el proceso en este sea más selectivo (Química y Unam 1997, p. 186).

Se puede resumir que entre estos dos tipos de adsorción se encuentran en los tipos de interrelaciones que existen entre el adsorbato y el adsorbente.

1.4.2.1. Aplicaciones de la adsorción

Se usa en los procesos como:

- Pirolisis del petróleo.
- Síntesis de amoníaco.
- Fabricación de ácido sulfúrico
- Fabricación de ácido nítrico.
- Hidrogenación catalítica de aceites y grasas.
- Convertidores catalíticos de los automóviles
- Doméstico e industrial, como el extractor de cocina (Química y Unam 1997, p. 186).

1.4.2.2. Espectrómetro de adsorción atómica

La función de espectrómetro de adsorción atómica (AAS) consta de, el haz que emana por la fuente traspasa el sistema de atomización que abarca la muestra en estado de gas atómico, este haz llega al monocromador en el que excluye la radiación que no es de interés, de esta manera pasa al revelador de la radiación adsorbida que después la misma es procesada y acrecentada, y como resultado se obtiene una lectura final. (Gallegos, Vega y Noriega 2012, p. 19,20).

Está compuesta de un origen de radiación monocromática, la cual es característico para cada componente al cual se lo someterá a un proceso de análisis, también tiene un atomizador que produce átomos excitados de la sustancia que se analiza, un monocromador el que elige la longitud de onda de la radiación característica del cada elemento, un detector de la señal y de la lectura de salida (Gallegos, Vega y Noriega 2012, p. 20).



Figura 1-1. Equipo de espectrometría de adsorción atómica con llama. ESPOCH.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

1.4.2.3. Cinética de adsorción

En la deducción de la cinética de adsorción, nos ayuda a esclarecer el tiempo en el que se ha efectuado el proceso de adsorción y de esta manera poder estudiar y analizar a que modelo de pseudo primer y segundo orden se apega el proceso de adsorción, con las fórmulas expresadas matemáticamente podemos investigar el mecanismo de adsorción y la interacción del adsorbato frente al adsorbente.

Ecuación de pseudo primer orden:

$$\frac{dq}{dt} = k_1(q_e - qt)$$

Ecuación integrada para pseudo primer orden:

$$\ln(q_e - qt) = \ln q_e - k_1 t$$

Donde k_1 corresponde a la constante de velocidad de pseudo primer orden (min^{-1}), q_e pertenece a la capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g), la capacidad de adsorción en un tiempo t (mg/g) corresponde a qt .

Ecuación para pseudo segundo orden:

$$\frac{dq}{dt} = k_2(q_e - qt)^2$$

Donde k_2 es la constante de velocidad de pseudo segundo orden ($\text{g/mg}\cdot\text{min}$), la capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g) se la expresa como q_e , y qt corresponde a la capacidad de adsorción en un tiempo t (mg/g).

Ecuación integrada de la ecuación de pseudo segundo orden:

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 qe^2} + \frac{t}{qe}$$

Para el estudio de la cinética de adsorción de los nanocompuestos funcionalizados (rGO y NC) _f como adsorbentes, en una solución madre de arsénico como adsorbato, los resultados de adsorción se les analiza a modelos de pseudo primer y segundo orden, para de esta manera determinar con qué orden cumplen mejor su ajuste de adsorción.

1.4.3. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes

1.4.3.1. Revisión del anexo I del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua

El objetivo de esta norma del (*Ministerio de Ambiente 2015*) cita lo siguiente “La norma tiene como objetivo la prevención y control de la contaminación ambiental, en lo relativo al recurso agua.”, “El objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.”, “las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua deberán realizarse en los términos de la presente Norma.” (Ministerio de Ambiente 2015, p. 1).

El fin de utilizar esta norma, es para tener como base las cantidades de arsénico que se son aceptables en el agua, tanto como el agua de uso doméstico como el del agua dulce, ya que estas son las que tienen más facilidad acceso al ser humano.

Tabla 1-1. Criterios de calidad de aguas que para consumo humano y domestico que requieren tratamienos convencional.

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y Grasas	Película visible		Ausencia
Aluminio total	Al	mg/l	0,2
Amoníaco	N	mg/l	0,5
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Coliformes Totales	NMP	NMP/100 ml	20000
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01

Cianuro	CN ⁻	mg/l	0,2
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	250,0
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Color	Color real	Unidades de Pt-Co	20,0
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,001
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	<2mg/l
Difeniles policlorinados	Concentración de agente reactivo	mg/l	No detectable
Hierro total	Fe	mg/l	0,3
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,002
Nitratos	N	mg/l	10,0
Nitritos	N	mg/l	1,0
Olor y sabor			Ausencia
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	>75% del OD Sat.
pH		pH	6-9
Plata	Ag	mg/l	0,05
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	250
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	10,0

Fuente: (Ministerio de Ambiente 2015, p. 12).

1.4.3.2. Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce

En base al porcentaje de arsénico permitido en cuerpos de agua dulce según esta tabla es del 0.1 mg/l, de acuerdo a lo expresado en lo siguiente se evita contaminaciones futuras en el agua e intoxicaciones en el ser humano.

Tabla 2-1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	50,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	100,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	80,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

Fuente: (Ministerio de Ambiente 2015, p. 26).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Hipótesis y variables

2.1.1. *Hipótesis General*

Mediante la evaluación de la actividad adsorptiva del óxido de grafeno reducido y nanocelulosa se podrá remover arsénico del agua contaminada.

2.1.2. *Hipótesis Específicas*

- La microscopía y espectroscopía disponible permitirá caracterizar los materiales óxido de grafeno reducido y nanocelulosa.
- La variación de la temperatura agitación y volumen permitirá evaluar la actividad adsorptiva de óxido de grafeno reducido y nanocelulosa.
- El modelo de isothermas y la cinética de adsorción permitirán verificar la efectividad de remoción de arsénico.

2.2. Se calculará el porcentaje de arsénico removido en el proceso de adsorción con óxido de grafeno reducido y nanocelulosa.

Identificación de Variables

2.2.1. *Variables Independientes*

Temperatura del proceso de funcionalización de los nanomateriales

Temperatura de secado del nanomaterial funcionalizado

Peso en contacto de la muestra con el agua

Tamaño de partícula de nanomaterial Tiempo de funcionalización

2.2.2. *Variables Dependientes*

Funcionalización de nanomateriales

Tiempo de contacto entre el nanomaterial y el agua contaminada

Temperatura de contacto entre el nanomaterial y la solución madre

pH del volumen de agua que va a estar en contacto con el nanomaterial

2.3. Operacionalización de Variables

	VARIABLES	CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	INDICADOR	INSTRUMENTO
VARIABLES INDEPENDIENTES	Temperatura del proceso de funcionalización	Magnitud la cual mide el calor que se aplica a los dos nanomateriales.	°C	Homogeneización de partículas del nanomaterial	Termómetro
	Temperatura de secado del nanomaterial funcionalizado	Magnitud que mide el calor del nanomaterial obtenido.	°C	Eliminación de agua	Termómetro
	Peso en contacto del nanomaterial con la solución madre de Arsénico	Magnitud que indica peso del nanomaterial al encontrarse en contacto con el agua contaminada.	g, mg	Peso total	Balanza
	Tamaño de partícula de nanomaterial	Magnitud que mide el tamaño del rGO y NC.	µm	Medición de partículas de la muestra de r(GO) y NC	Microscopia
	Tiempo de funcionalización	Periodo determinado mientras se realiza la funcionalización de los materiales.	Horas (h)	Caracterización de los nanomateriales.	Reloj Cronómetro
VARIABLES DEPENDIENTES	Funcionalización de nanomateriales	Proceso mediante el cual se establece la afinidad físico-química de los materiales funcionalizados.	Peso (mg), volumen (ml)	Caracterización del material.	Balanza, probetas
	Tiempo de contacto para la adsorción, adsorbente-adsorbato (rGO NC + As)	Periodo determinado entre el nanomaterial y el agua contaminada del laboratorio.	Minutos (min), horas (h).	Observación	Reloj Cronómetro
	Temperatura de contacto	Magnitud que mide el calor de contacto con el compuesto de nanomateriales.	°C	Observación y toma de temperatura.	Termómetro
	pH del volumen de agua que va a estar en contacto con el nanomaterial	Medida del grado alcalinidad encontrada en el agua al encontrarse en contacto con el nanomaterial.	Litros (l)	Acidez	pH-metro

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

2.4. Matriz de Consistencia

Tema: Evaluación de la actividad adsorptiva de óxido de grafeno reducido y nanocelulosa para la remoción de arsénico presente en el agua.		
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general
¿Se podrá remover arsénico del agua mediante un proceso de adsorción con NC y rGO?	Evaluar la actividad adsorptiva de rGO y nanocelulosa para la remoción de arsénico.	Mediante la evaluación de la actividad adsorptiva del óxido de grafeno reducido y nanocelulosa se podrá remover arsénico del agua contaminada.

Problema específico	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	VARIABLES ESPECÍFICAS	Método de análisis
¿Será apto el método de microscopia y espectrofotometría para realizar la caracterización de rGO y NC?	Caracterizar los materiales rGO y nanocelulosa utilizando microscopia y espectroscopia disponible.	La microscopia y espectroscopia disponible permitirá caracterizar los materiales óxido de grafeno reducido y nanocelulosa.	Caracterización de rGO y NC	Microscopia Espectroscopia
¿Es conveniente modificar los parámetros de temperatura, agitación y volumen para evaluar la actividad adsorptiva presente en el precipitado obtenido?	Evaluar la actividad adsorptiva modificando parámetros tales como: temperatura, agitación y volumen.	La variación de la temperatura agitación y volumen permitirá evaluar la actividad adsorptiva de óxido de grafeno reducido y nanocelulosa.	Evaluación de la actividad adsorptiva.	Método de adsorción
¿Es efectivo el modelo de isoterma y así verificar la efectividad de remoción del arsénico? ¿Se puede estudiar la cinética de adsorción usando este método?	Estudiar la cinética de adsorción utilizando el modelo de isoterma para verificar la efectividad de remoción de arsénico utilizando óxido de grafeno y nanocelulosa	El modelo de isoterma y la cinética de adsorción permitirán verificar la efectividad de remoción de arsénico.	Efectividad de remoción de arsénico.	Modelo de isoterma.
Si al usar rGO y NC como adsorbentes mediante un proceso de adsorción, ¿Se podrá obtener el porcentaje de arsénico removido del agua?	Determinar el porcentaje de arsénico removido mediante el proceso de adsorción, usando óxido de grafeno reducido (rGo) y nanocelulosa (NC) como adsorbentes, respectivamente.	Se calculará el porcentaje de arsénico removido en el proceso de adsorción con óxido de grafeno reducido y nanocelulosa.	Porcentaje de arsénico removido.	Método de adsorción.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

2.5. Tipo y Diseño de Investigación

2.5.1. Tipo de Investigación

2.5.1.1. Descriptiva

Esta investigación presenta varios indicadores con los cuales podremos detallar resultados obtenidos del proceso expuesto con los nanomateriales que son rGO y NC.

2.5.1.2. Bibliográfica

Al ser un trabajo de investigación es necesario realizar una búsqueda exhaustiva de tesis, trabajos pregrado y posgrado, artículos científicos, para establecer el estado del arte, y de esta manera sustentar cada concepto expuesto o información requerida.

2.5.1.3. Experimental

Para el progreso de esta investigación será indispensable el uso del laboratorio, materiales y equipos de laboratorio, así como también de reactivos químicos. Esto lo convierte en un tipo de investigación experimental y de tal manera realizar la toma de datos y resultados obtenidos.

2.5.2. Diseño de la Investigación

Para realizar esta investigación se plantearon 3 experimentos con sus respectivas replicas, y con parámetros que se encuentran especificados en la tabla 2.5.2-1, se trabajará con la concentración inicial de la solución madre de arsénico de 10 ppm, se variaran los pH en cada experimento E1 Ph5; E2 pH7; E3 pH9, bajo una concentración de 10 ppm cada uno. Cabe recalcar que las concentraciones que se trabajarán en el espectrómetro de adsorción atómica serán en ppb, ya que esta realiza las lecturas en concentraciones bajas, al tratarse de arsénico y ser un metal pesado.

Tabla 1-2. Diseño de experimentación para evaluar la actividad adsorptiva de rGO y NC para la remoción de arsénico.

EXPERIMENTO 1 pH5					
PARAMETROS		REPLICA 1		REPLICA 2	
t(min)	T(°C)	t(min)	T(°C)	t(min)	T(°C)
1	25, 40 y 60°C	1	25, 40 y 60°C	1	25, 40 y 60°C
5		5		5	

10		10		10	
15		15		15	
30		30		30	
EXPERIMENTO 2 pH7					
PARÁMETROS		REPLICA 1		REPLICA 2	
t(min)	T(°C)	t(min)	T(°C)		T(°C)
1	25, 40 y 60°C	1	25, 40 y 60°C	1	25, 40 y 60°C
5		5		5	
10		10		10	
15		15		15	
30		30		30	
EXPERIMENTO 3 pH9					
PARÁMETROS		REPLICA 1		REPLICA 2	
t(min)	T(°C)	t(min)	T(°C)	t(min)	T(°C)
1	25, 40 y 60°C	1	25, 40 y 60°C	1	25, 40 y 60°C
5		5		5	
10		10		10	
15		15		15	
30		30		30	

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Estos experimentos serán realizados para analizar y estudiar si al funcionalizar los nanomateriales (rGO y NC)_f, serán aptos como adsorbentes para adsorber o remover el arsénico presente en el agua.

2.6. Unidad de Análisis

Los cuerpos de aguas contaminadas.

2.7. Población de Estudio

Para obtener resultados ciertos se trabajará con agua a nivel de laboratorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

2.8. Tamaño de Muestra

Para la elaboración del proceso de adsorción se tomó como base adsorbente los nanomateriales, se tendrá un aproximado 1g de Oxido de grafeno reducido y 1g de nanocelulosa, los cuales se los llevaran a cabo en los laboratorios de la “ESPOCH”. El agua con la cual se realizarán los experimentos será a nivel de laboratorio para la mejor remoción de arsénico.

2.9. Selección de muestra

Las cantidades de muestra a experimentar de óxido de grafeno reducido y nanocelulosa funcionalizados, será en un aproximado de 20 a 25 mg, en la solución madre de arsénico.

2.10. Técnicas de Recolección de Datos

Esta investigación será netamente basada en documentos publicados, revistas científicas, tesis, libros y normas técnicas que traten una temática similar a la obtención de nanomateriales o nanotecnología, óxido de grafeno reducido y nanocelulosa para la remoción de arsénico presente en el agua, así como también en los procesos utilizados en investigaciones.

Tabla 2-2. Recolección de datos

TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTOS
Recolección de información	Tesis Artículos científicos Libros Normas técnicas Internet Microscopia Espectroscopia
Recolección y análisis de datos	Excel Hojas de reporte de instrumentos Espectros

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

2.10.1. Procedimiento para obtención de materia prima de partida

2.10.1.1. Extracción de celulosa

Este proceso de extracción y obtención de celulosa se realizó en base al experimento número 5 específicamente de la tesis “*OBTENCION DE NANOCELULOSA A PARTIR DE LA HOJA DE MAZORCA DE MAIZ (Zea mays L.) MEDIANTE EL PROCESO DE HIDROLISIS ACIDA*”(Sanaguano 2021, p. 27).

Tabla 3-2. Experimento para la obtención de celulosa

Experimentos	NaOH (5%)	Temperatura (°C)	Respuesta
E5	5	50	CELULOSA

Fuente: (Sanaguano 2021, p. 27).

El objetivo de usar este experimento en específico es que con estos dos factores en específico se obtiene una celulosa de mejores resultados.

Para la obtención de Celulosa se usó hojas de mazorca de choclo, seleccionando las que no tienen impurezas y se encuentran en mejor estado, para con esto garantizar que no exista algún tipo de contaminantes. En este proceso se toma en cuenta la combinación de 2 factores que son la concentración de NaOH y la temperatura de extracción.

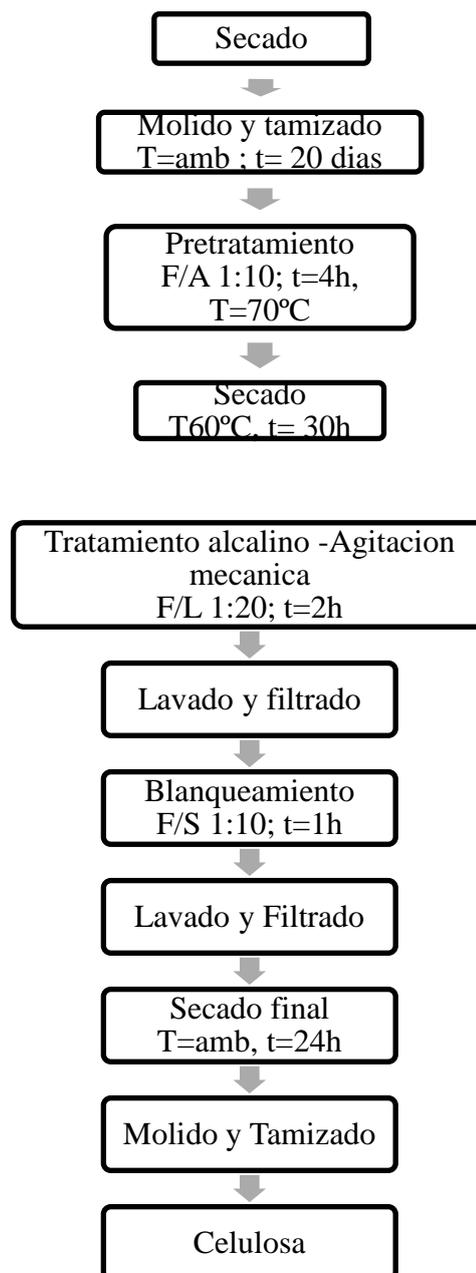


Gráfico 1-2. Proceso para la obtención de celulosa

Fuente: (Sanaguano 2021, p. 29).

Al realizar el pretratamiento con fibra/agua (F/A) se toma en cuenta el factor de temperatura del agua destilada a 70°C, de este paso se obtiene la fibra y el licor negro. De igual manera al realizar el tratamiento alcalino con fibra/licor (F/L) se usa NaOH al 5% p/v a una Temperatura de 50°C. Para el blanqueamiento se usó una relación de 1:10 de fibra/solución (F/S) siendo la solución NaClO al 1%, los lavados que se realizan después del blanqueamiento se los hace con agua destilada caliente hasta llegar a un pH neutro.

2.10.1.2. *Obtención de nanocelulosa*

Para la obtención de nanocelulosa se usó la metodología de hidrolisis acida en combinación con ultrasonidos de alta intensidad. Se usa ultrasonidos de alta intensidad con el fin de reducir el tamaño del agregado en este caso de la celulosa.

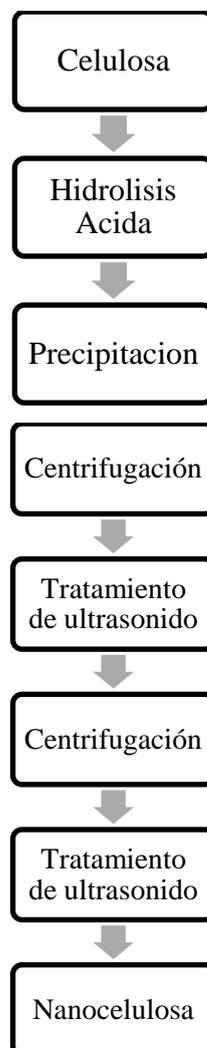


Gráfico 2-2. Proceso de obtención de Nanocelulosa mediante hidrolisis acida con ultrasonido de alta intensidad.

Fuente: (Sanaguano 2021, p. 31).

En este proceso se toma en cuenta que al trabajar con hidrolisis ácida con fibra/solución acida (F/SA) en relación de 1:20, se realiza con una solución de H₂SO₄ al 60 y 65 % a una temperatura de 45°C y un tiempo de 45 min. La precipitación en este caso va a ser el medio de reacción. Al momento de realizar las centrifugaciones se las realiza a una velocidad de 3000 rpm en un tiempo de 10 min. Para los tratamientos de ultrasonido se los realizara en un tiempo de 30 min cada uno. Una vez finalizado este proceso obtenemos la nanocelulosa, esta se la almacena herméticamente para evitar contaminaciones y se las mantiene a una temperatura de 5°C. (Sanaguano 2021, p. 31, 32).

2.10.1.3 Obtención de Oxido de grafeno reducido

Para la obtención de rGO, se usó grafito suministrado por el grupo de investigación GIMA de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

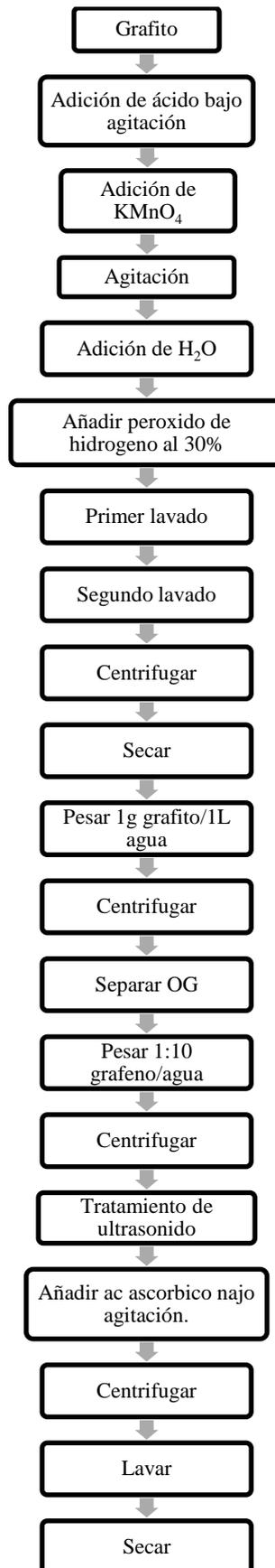


Gráfico 3-2. Proceso de obtención de Oxido de grafeno reducido

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

En el proceso de obtención de óxido de grafeno reducido se usó 3g de grafito, a esto se le realiza una mezcla con ácido con 70 ml de H_2SO_4 , bajo agitación constante y a una temperatura menor a $20^\circ C$. Se agrega a esta solución 9g de $KMnO_4$, esto se lo realiza muy lentamente bajo agitación durante 45 min (Arias et al. 2020, p. 2, 3).

2.10.2. Funcionalización NC y rGO

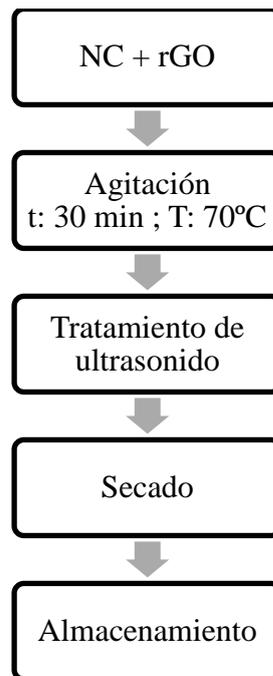


Gráfico 4-2. Proceso de funcionalización de Nanocelulosa y Oxido de grafeno reducido.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Para la obtención de estas dos nanomateriales funcionalizadas se usa una muestra 1:1, es decir 125 mg de cada una, tanto de Nanocelulosa como de óxido de grafeno reducido, a esto se añade 100 ml de agua destilada. Esta solución se la mantiene bajo agitación durante 30 min y a una temperatura de $70^\circ C$, posterior a esto la muestra se le somete a un tratamiento de ultrasonido durante 30 min, se deja secar la muestra durante 24 horas a una temperatura de $50^\circ C$. Almacenar la muestra seca con mucho cuidado ya que al encontrarse funcionalizadas las dos nanopartículas esta se la obtiene en forma de polvo.

2.10.3. Caracterización de la materia prima

2.10.3.1. Mediante espectroscopia de infrarrojo

Es necesario realizar análisis de espectroscopía de infrarrojo (FTIR) para determinar grupos

funcionales existentes en la materia prima, y también tiene un método fácil de obtener resultados directos de cambios químicos existentes (Fauziyah, Yuwono y Isnaeni 2021, p. 991) Usa energía del infrarrojo medio modulada para de esta manera analizar la muestra, la luz infrarroja se consume a frecuencias que ya son específicas y son directamente relacionadas con las energías de enlace vibratorio interatómico de la molécula. En los espectros IR las moléculas tienen la capacidad de rotar y vibrar en diferentes frecuencias, es decir las moléculas pueden atraer la energía de los fotones (Piqué & Vázquez 2012, p. 63).

Se utilizó el espectrofotómetro infrarrojo con las siguientes características:

- Marca JASCO
- Modelo FT/IR-4100, trabaja en las regiones $4000-550\text{ cm}^{-1}$

El cual se encuentra en el laboratorio de química instrumental en la facultad de ciencias de la ESPOCH. Cabe recalcar que se obtienen mejores resultados cuando la muestra se encuentra de forma sólida en condiciones ambientales, ya que si se quiere realizar pruebas en muestras líquidas se observarían en gran mayoría grupos OH.

2.10.3.2. *Mediante microscopia óptica*

A la muestra funcionalizada de nanocelulosa y óxido de grafeno reducido (NC y rGO)_f, se las observa en el microscopio óptico con el fin de observar su morfología. Se usó el microscopio del laboratorio de óptica en la facultad de ciencias de la ESPOCH, el microscopio en cuestión es de marca (OLUMPUS CX31).

2.10.3.3. *Mediante microscopia electrónica de barrido SEM*

En este tipo de microscopia el equipo posee un cañón de electrones ubicados en una columna que opera al vacío, aquí se ocasionan un haz de electrones que inciden sobre la superficie de la muestra a la cual se está analizando, esto van a generar señales, las cuales van a ser reflejadas en la computadora (Taha et al. 2021, p. 991)(Ipohorski & Bozzano 2013, p. 46).

Características del microscopio electrónico de barrido:

- Marca JEOL SEM JSM-IT 100
- Voltaje 15.0 kV

El cual se encuentra en la facultad de mecánica de la ESPOCH. Para analizar el diámetro de las partículas se lo manda a un procesamiento de imágenes ImageJ, el cual se encuentra para el uso y dominio público.

2.10.4. Solución madre de Arsénico

Para realizar la solución madre de arsénico, se usó arsénico estándar con una concentración 1000 ppm.

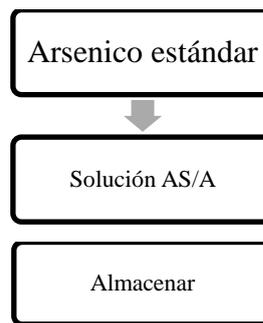


Gráfico 5-2. Preparación de solución madre de Arsénico.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Tomar una alícuota de 10 ml de arsénico estándar la cual será de 10 ppm, realizar una solución de arsénico estándar/agua en relación 1:100, almacenar herméticamente y guardar en un lugar que no llegue la luz del sol para evitar evaporación.

2.10.5. Tiempo al contacto

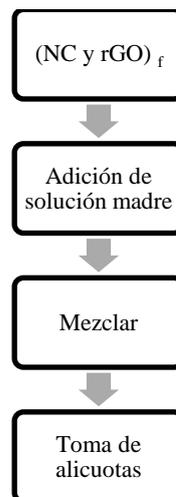


Gráfico 6-2. Proceso de tiempo al contacto

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Tomar 20 mg de Nanocelulosa y oxido de grafeno reducido (NC y rGO) _f, a esto adicionarle 200 ml de la solución madre, llevar la solución a mezclar, a una temperatura ambiente y durante 30 minutos, para realizar el proceso de mezcla se usa el shaker la cual es una máquina de laboratorio químico que nos va a ayudar a que la muestra con el paso del tiempo y la velocidad en rpm se vuelva homogénea, toma de alícuotas.

Las mismas cantidades y el mismo procedimiento se usaron para realizar los diferentes experimentos, variando parámetros como pH, temperatura e intercalando tiempos. La velocidad usada en el shaker en todos los experimentos va a ser de 250 rpm. La alícuota tomada por cada muestra de cada experimento será de 5 ml, el cual se almacena herméticamente en frascos de vidrio y conservados a temperatura ambiente.

Tabla 4-2. Experimento realizado en pruebas piloto

Muestras	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	pH
M1	15	Ambiente	2
M2	30		
M3	60		

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Tabla 5-2. Experimentos desarrollados

EXPERIMENTO 1		
pH 5		
Muestra	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
M1	1	25, 40 y 60°C c/u
M2	5	
M3	10	
M4	15	
M5	30	
EXPERIMENTO 2		
pH 7		
Muestra	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
M1	1	25,40 y 60°C c/u
M2	5	
M3	10	
M4	15	
M5	30	
EXPERIMENTO 3		
pH9		
Muestra	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
M1	1	25,40 y 60°C c/u
M2	5	
M3	10	
M4	15	
M5	30	

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Una vez realizadas y obtenidas todas las muestras se procede a realizar los siguientes pasos, con

el fin de obtener una mejor muestra limpia.

- Centrifugación de muestras
 - Colocar las alícuotas de cada muestra en tubos de ensayos, etiquetarlos correctamente y cerrarlos herméticamente.
 - Llevar a centrifugación, 250 rpm durante 5 minutos.
 - Separar y colocar el sobrenadante en cada frasco respectivo de la muestra, el precipitado se lo conserva en el tubo de ensayo.

- Secado y pesado del precipitado
 - Llevar a la estufa a 50°C cada muestra en su respectivo tubo.
 - Dejarla en secado durante 24 h.
 - Pesar.

El mismo proceso se realiza para las muestras de cada replica.

2.10.6. Espectroscopia por adsorción atómica

El proceso de espectroscopia de adsorción atómica, se trabaja mediante isotermas es decir con llama, siendo este el método más empleado e ideal para la determinación de metales pesados, ya que este proceso trabaja con una técnica específica y sensible, tomando en cuenta que las líneas de adsorción atómica son considerablemente estrechas y las energías de transición electrónicas son únicas para cada elemento (Gallegos, Vega y Noriega 2012, p. 19) el método de adsorción funciona o lee las muestras al tener la solución muestra la cual va a ser aspirada directamente a una llama de flujo laminar y está en el orden de los ppb (Gallegos, Vega y Noriega 2012, p. 19, 20).

2.10.6.1. Preparación de soluciones estándares y soluciones para preparación de muestras

Para poder realizar las lecturas de arsénico es necesario tener diferentes soluciones estándares a diferentes concentraciones y volúmenes. Para preparar las soluciones estándares, se parte desde el arsénico estándar de 1000 ug/L.

Tabla 6-2. Soluciones iniciales para preparar muestras estándares

C1	V1	C2	V2
1000	0.1	2	50
2	0.2	0.008	50
2	0.4	0.016	50
2	0.8	0.032	50
2	1	0.04	50

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Una vez obtenidas estas soluciones, se realiza una segunda solución la cual va a ser a la solución estándar de cada concentración, los pasos a seguir son los siguientes:

- Se toma 5 ml de cada solución preparada
- Se adiciona 1 ml de ácido ascórbico y yoduro de potasio
- Se añade 5 ml de ácido clorhídrico concentrado
- Se deja reposar una hora
- Aforar a 25 ml

Tabla 7-2. Soluciones estándares

C	V(ml)
8	25
16	25
32	25
40	25

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Se preparan soluciones que son necesarias para preparar la muestra y para el espectrómetro de adsorción atómica, los siguientes pesos se los uso para la lectura de las 3 primeras muestras en las pruebas piloto así mismo para los experimentos siguientes y de esta manera comprobar si adsorbía arsénico, al igual que los pasos expuestos a continuación:

Tabla 8-2. Soluciones para muestras y espectrómetro de adsorción atómica

Reactivo	Cantidad	Volumen (ml)
Borohidruro de sodio	2. 5g	500
Hidróxido de sodio	2.5g	
Ácido ascórbico	5 g	100
Yoduro de potasio	5 g	

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Se prepara una solución de borohidruro de sodio más hidróxido de sodio en un volumen de 500 ml de agua destilada, esta solución se la coloca una manguera pequeña directamente a la máquina, este reactivo actúa como reductor para las muestras. Se realiza una solución de 5g de ácido

ascórbico y 5g de yoduro de potasio en 100ml, se la usa para la preparación de la muestra, actúa como pre reductor en la muestra directa.

- Pasos para la preparación de la muestra
 - Tomar la muestra ya previamente preparada y colocar en un balón de aforo de 25 ml.
 - Adicionar 1 ml de la solución de ácido ascórbico más yoduro de potasio al 5%.
 - Adicionar 5 ml de ácido clorhídrico concentrado.
 - Reposar durante 1 h.
 - Adicionar 14 ml de agua destilada.

Realizar estos pasos en todas las muestras, en el caso de ser necesario se realizarán las diluciones necesarias y esta la muestra apta para realizar su lectura. En este caso se realizaron 2 diluciones más, las cuales fueron las siguientes:

- Primera dilución a partir de las soluciones muestra
 - Tomar 1 ml de la muestra solución realizada anteriormente.
 - Aforar con 25 ml de agua destilada.

- Segunda dilución a partir de la primera dilución
 - Tomar 15 ml de la primera dilución
 - Aforar a 50 ml de agua destilada.

Estos pasos se los repite en cada muestra piloto, estas muestras serán en 3 tiempos diferentes, 15, 30 y 60 minutos a temperatura ambiente y pH 2. Una vez realizado todos estos pasos, proceder a realizar las lecturas, con la última dilución realizada, para obtener los resultados adecuados.

Una vez realizados y con los resultados obtenidos de cada muestra piloto, se procede a realizar las correspondientes soluciones para la preparación de la muestra de los experimentos y replicas necesarias, de igual forma las lecturas con sus respectivas soluciones, cabe recalcar que las soluciones de arsénico preparadas anteriormente se encontrarían en las mismas concentraciones y volúmenes ya que estas son soluciones estándares para la lectura de este metal.

Una vez realizadas y obtenidas las muestras de los experimentos necesarios, se procede a realizar las preparaciones de las muestras y las diluciones necesarias para que el espectrómetro pueda leer, para esto se siguen los mismos pasos anteriores, hasta la primera dilución.

- Segunda dilución a partir de la primera dilución. Experimento 1 pH 5
 - A temperatura de 25°C, se toma 2 ml de la primera dilución y se afora a 10 ml de agua destilada.
 - A temperatura de 40°C, se toma 1 ml de la primera dilución y se afora a 10 ml de agua destilada.
 - A temperatura de 60°C, se toma 1 ml de la primera dilución y se afora a 10 ml de agua destilada.

- Segunda dilución a partir de la primera dilución. Experimento 2 pH7
 - A temperatura de 25°C, se toma 1 ml de la primera dilución y se afora a 10 ml de agua destilada.
 - A temperatura de 40°C, se toma 1 ml de la primera dilución y se afora a 10 ml de agua destilada.
 - A temperatura de 60°C, se toma 1 ml de la primera dilución y se afora a 10 ml de agua destilada.

- Segunda dilución a partir de la primera dilución. Experimento 3 pH9
 - A temperatura de 25°C, se toma 1 ml de la primera dilución y se afora a 10 ml de agua destilada.
 - A temperatura de 40°C, se toma 1 ml de la primera dilución y se afora a 10 ml de agua destilada.
 - A temperatura de 60°C, se toma 1 ml de la primera dilución y se afora a 10 ml de agua destilada.

Una vez realizado esto se procede a realizar las lecturas en el espectrómetro de adsorción atómica, y obtener resultados.

2.11. Materiales

Tabla 9-2. Materiales y equipos para la funcionalización de NC y rGO.

Nanomaterial	Materiales	Equipos	Reactivos
(NC y rGO) _f	Vaso de precipitación 100ml	Balanza	Agua destilada
	Espátula	Ultrasónico	
	Vidrio reloj	Agitador magnético	
	Termómetro		

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Tabla 10-2. Equipos y reactivos para la caracterización del material.

Equipos	Reactivos
Espectrofotómetro UV visible	Agua destilada
Celda de cuarzo de 1 cm	Alcohol antiséptico
Microscopio óptico	
Porta y cubre objeto	
Espectrofotómetro FTIR	
Pipeta pasteur	
Toalla absorbente	
Algodón	

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Tabla 11-2. Materiales, equipos y reactivos para; muestra madre, tiempo al contacto, centrifugación y secado de muestras.

Materiales	Equipos	Reactivos
Balón de aforo 1000ml	Balanza	Arsénico estándar
Pipeta 10ml	pH metro	(NC y rGO) _f
Pera de succión	Shaker	Agua destilada
Vaso de precipitación 250ml	Centrifugador	
Pipeta 5ml	Estufa	
Frascos de vidrio con tapa		
Tubos de ensayo con tapa 10ml		

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Tabla 12-2. Materiales, equipos y reactivos para el proceso de adsorción

Materiales	Equipos	Reactivos
Balón de aforo 25ml	Balanza	Borohidruro de sodio
Balón de aforo 250ml	Espectrómetro de adsorción atómica	Hidróxido de sodio
Balón de aforo 50ml		Yoduro de potasio
Pipeta volumétrica 5ml		Ácido ascórbico
Pipeta volumétrica 1 ml		Ácido clorhídrico concentrado
Vaso de precipitación 100ml		Agua destilada
Varilla de agitación		
Espátula		
Piceta		

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de la materia prima

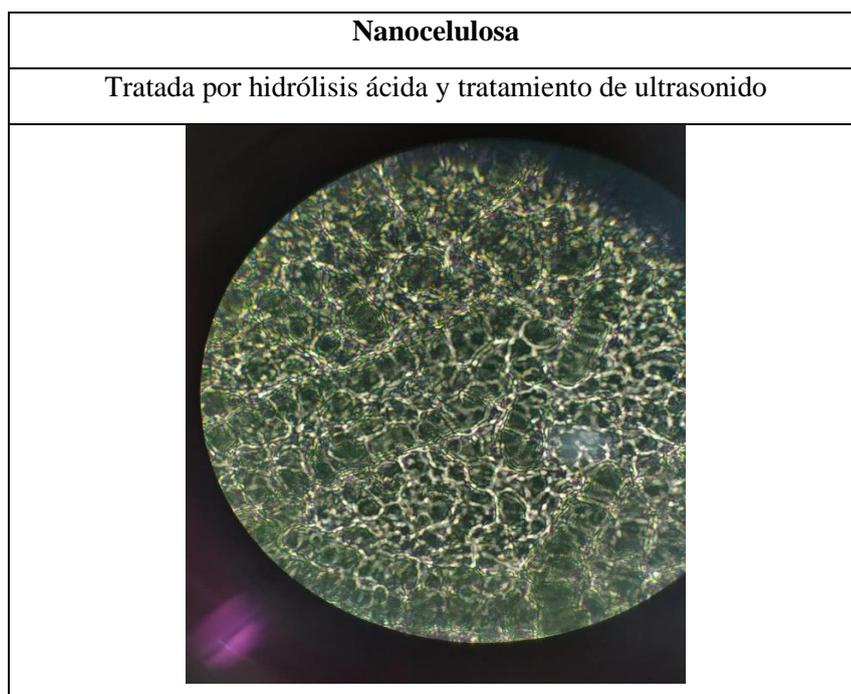
3.1.1. Nanocelulosa, NC

Para el análisis de resultados que presenta la nanocelulosa, se procedió a realizar pruebas en microscopía que se encuentre disponible, en este caso se pudo observar mediante microscopio óptico y de barrido, además de esto también se sometió a pruebas de FTIR con el fin de analizar que grupos funcionales están actuando en la nanocelulosa realizada.

3.1.1.1. Caracterización morfológica

Para analizar la estructura morfológica de la nanocelulosa se usó un microscopio óptico (OLYMPUS CX31), y se adquirió una imagen en la cual podemos observar las características de la misma.

Tabla 1-3. Imagen de nanocelulosa obtenida mediante hidrólisis acida y tratamiento de ultrasonido.



Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

La muestra observada de nanocelulosa fue realizada con un lente objetivo de 100X, en el cual se puede distinguir unos filamentos bastante unidos entre si y de tamaño muy reducido, tienen mayor uniformidad, la razón por la que se encuentran de esta manera se debe a que al ser tratado por hidrólisis ácida y tratamiento de ultrasonido, siendo utilizando el H_2SO_4 para este tratamiento hace que las regiones que se encuentran amorfas de la celulosa se hidrolicen por otro lado el tratamiento de ultrasonido hace que los filamentos se hagan más pequeños, ya que al someter la muestra al ultrasonificador llega a romper los enlaces hidrogeno (H) existentes convirtiéndolos así en nanofibras. (Druzian 2015, p. 125)(Pires et al. 2013, p. 483, 482)

Según (Druzian 2015, p. 125, 126) nos demuestra que la estructura morfológica de la nanocelulosa en sus partículas tienden a incorporarse y con esto se confirma que el aspecto de longitud/diámetro se debe a que tienen unas altas conexiones entre estos dos factores.

3.1.1.2. Análisis por espectroscopia infrarroja FTIR

La caracterización de la nanocelulosa por medio de espectroscopia de infrarrojo FTIR, muestra grupos funcionales que se encuentran dentro de esta y así mismo cual grupo funcional sobresale de acuerdo a los picos expresados en el siguiente espectro.

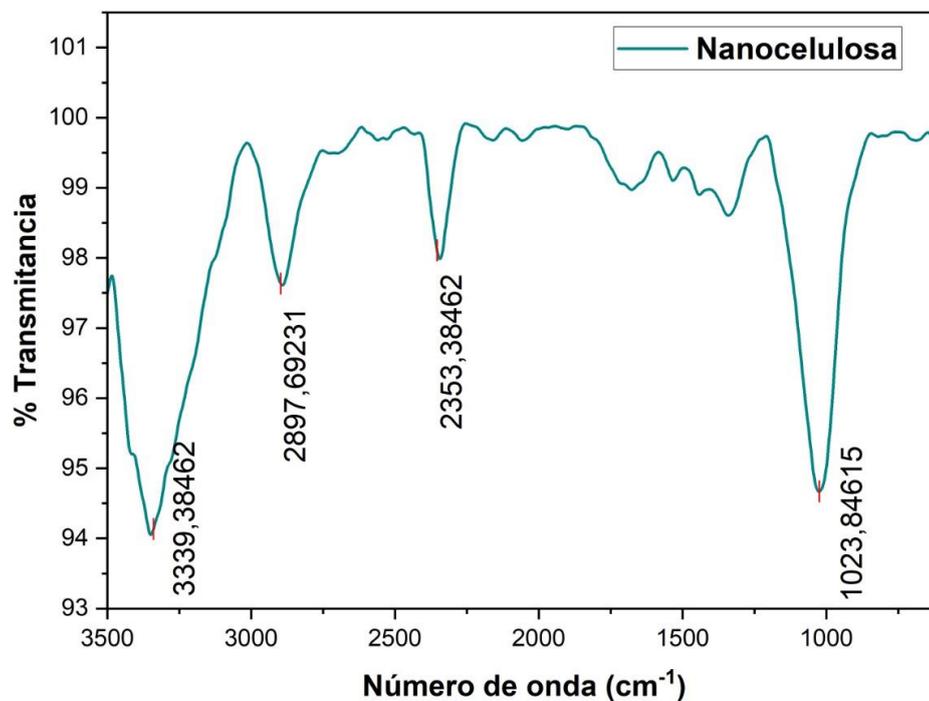


Gráfico 1-3. Espectro de infrarrojo de la nanocelulosa.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Los picos que se encuentran dentro del rango de 3700-3100 cm^{-1} corresponden a las vibraciones del enlace $-\text{OH}$ de los grupos hidroxilo existentes en la macromolécula (Sanaguano 2021, p. 55)(Pires et al. 2013, p. 484) Como se puede distinguir tiene un pico que sobresale que es de 3336.2 cm^{-1} el cual pertenece a este rango y se encuentra dentro de una longitud de onda de 3445 cm^{-1} .

Entre el rango de 3000-2800 cm^{-1} se encuentran los compuestos que contienen CH_2 Y CH_3 , dicho de otro modo al estiramiento de los enlaces carbono-hidrogeno (C-H) de los compuestos alifáticos (Sanaguano 2021, p. 55)(Pires et al. 2013, p. 484) Dentro de la longitud de onda de entre 3000-2000 cm^{-1} con valores más exactos de 3845 cm^{-1} se encuentra un pico que sobresale siendo de 2900.41 cm^{-1} y en la longitud de onda de 2445 cm^{-1} encontramos un pico sobresaliente de 2356.59 cm^{-1} , perteneciendo estos dos al grupo funcional mencionado anteriormente.

Dentro del rango de 1300-1000 cm^{-1} se encuentran los grupos funcionales que en su estructura tiene C-O-C del anillo de la piranosa, llamado también éter glucosídico. (Sanaguano 2021, p. 55)(Pires et al. 2013, p. 485) Entre la longitud de onda de exactamente 1000 cm^{-1} , se encuentra un pico que predomina siendo de 1022.09 cm^{-1} , el cual pertenece al grupo funcional del éter glucosídico. Un detalle llamativo en este pico es que tiene una menor fuerza y esto se debe a que los enlaces de este grupo funcional se pierde poco a poco por los tratamientos a los que se le sometió a la nanocelulosa en su obtención (Pires et al. 2013, p. 485).

Los grupos funcionales que se encuentran entre 1650-1550 cm^{-1} pertenecen al agua absorbida que tiene la nanocelulosa. (Sanaguano 2021, p. 55).

Como se puede observar picos entre este rango se encuentran varios principalmente entre la longitud de onda de 600-1500.

Basado en los resultados del estudio de investigación previo de (Sanaguano 2021) de acuerdo al experimento 5, obtuvimos unos resultados similares ya que las caracterizaciones tanto ópticas como de espectros de infrarrojo nos demuestran que existe una gran similitud con los grupos funcionales existentes en la NC, en cuanto a la caracterización de microscopia podemos decir que en esta investigación se puede observar de una manera mucho más clara ya que se usó otro lente objetivo, sin embargo las nanopartículas no están lejos de la NC del trabajo en el cual está basado, cabe recalcar que en los picos varia o se podría expresar como un margen de diferencia de entre $\pm 10 \text{ cm}^{-1}$, lo cual no hace diferencia ya que aún se mantienen dentro de los rangos permitidos y siguen perteneciendo a los grupos funcionales que componen la nanocelulosa.

Con los resultados obtenidos y observados en la investigación de “*Extraction and*

characterization of cellulose nanocrystals from agro-industrial residue – Soy hulls”, de (Pires et al. 2013, p. 485), en esta investigación se encuentran resultados de picos similares con respecto a los picos obtenidos por el espectro de la Imagen 3.1.1.1.2, encontrando los resultados con gran similitud a las dos investigaciones del autor (Sanaguano 2021) y de (Pires et al. 2013), podemos decir que los resultados de la nanocelulosa en el espectro FTIR son fiables para la continuidad de la investigación.

3.1.1.3. Caracterización SEM

Con esta microscopía podemos observar una imagen más clara la cual refleja características superficiales de la nanocelulosa, como son la estructura morfológica, el tamaño de partícula. El microscopio de barrido funciona utilizando electrones en vez de luz, el cual va a generar una imagen (Ipohorski y Bozzano 2013, p. 46, 47).

IMAGEN TAMAÑO DE PARTÍCULA

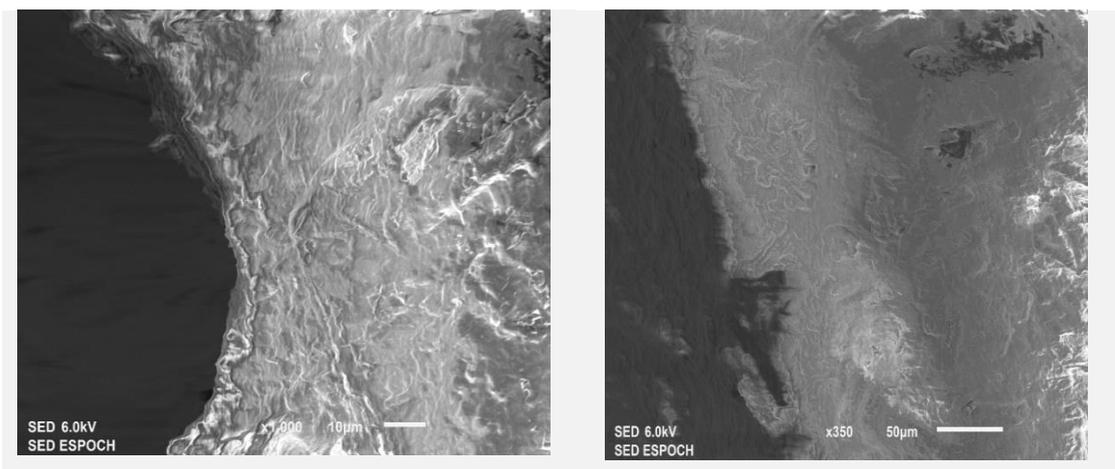


Figura 1-2. Imágenes SEM de nanocelulosa **Fuente:** Salazar, E.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Se pueden observar en las imágenes que tienen filamentos largos e inalienables, las cuales se formaron de esa manera ya que la nanocelulosa fue tratada mediante hidrólisis ácida y sometida a un tratamiento de ultrasonido, este hace que las nanopartículas se rompan y se homogeneicen, así como también las partículas de la nanocelulosa que se encuentran como papel se desintegran, eso es lo que se logra observar y distinguir como los filamentos largos. El tamaño de partícula al tener varias fibras cada una posee diferente tamaño llegando a ser la más grande de 50µm y la más pequeña de 10 µm.

De acuerdo a resultados de caracterización basados en teoría estas imágenes se encuentran dentro de lo correcto, tal y como lo expresa en el trabajo de investigación, (Sanaguano 2021, p. 57).

3.1.1.4. Óxido de grafeno reducido, rGO

Con la finalidad de analizar el tamaño de partícula y su estructura morfológica, se procedió a realizar una microscopía de barrido la cual fue realizada en el SEM de la ESPOCH.

3.1.1.5. Análisis de espectro infrarrojo FTIR

Con un espectro de infrarrojo, podemos deducir que grupos funcionales están actuando dentro de la muestra caracterizada, nos podemos dar cuenta de cada grupo por medio de sus picos.

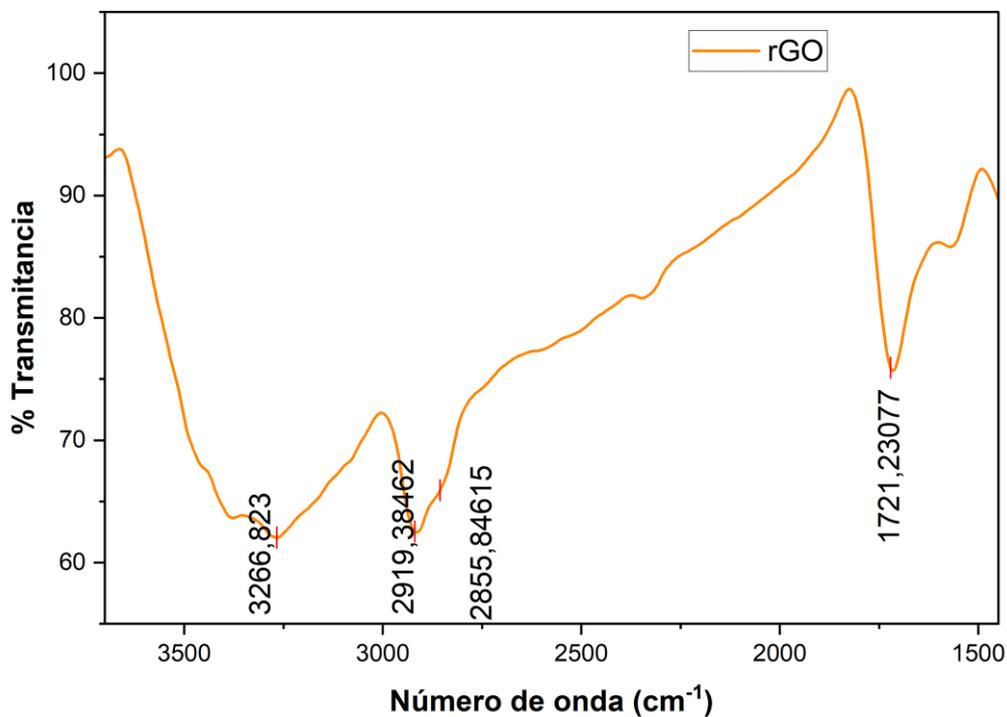


Gráfico 2-3. Espectro FTIR de óxido de grafeno reducido

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Según el análisis de la imagen 3-2, correspondiente al espectro infrarrojo de óxido de grafeno reducido, podemos observar un pico característico de la banda de adsorción de este nanomaterial que corresponde a la vibración de estiramiento del enlace O-H, es decir, a los grupos hidroxilos, siendo el rango de 3266.82 cm^{-1} (Yuanzhang 2015, p. 2,3,4).

Los picos de 2919.7 cm^{-1} y 2854.13 cm^{-1} , pertenecen a las vibraciones de estiramiento simétrico y antisimétrico de los grupos carbonilos CH. Los picos de 1720.19 y 1569.77 cm^{-1} corresponden a las bandas de adsorción de los grupos hidroxilos y carbonilos C=O, respectivamente.

Al tener la intensidad de los picos aminorándose, podemos decir que confirmamos que los grupos funcionales del oxígeno para conformar rGO se están reduciendo. Las bandas de adsorción del rGO estudiado en esta investigación tienen una correlación con los picos característicos apreciados en la publicación de “*análisis estructural de óxido de grafeno (go) y óxidos de grafeno reducidos (rGO)*” (Colom et al. 2020, p. 168).

Según la investigación “*Study of Reduced Graphene Oxide Preparation by Hummers Method and Related Characterization*”, de (Yuanzhang 2015, p. 2,3,4), expone resultados en el pico de 3464 cm^{-1} es característico para los grupos funcionales de O-H, mientras que para el grupo de carbonilos, el pico característico a esta investigación corresponde a 1639 cm^{-1} , también se apreció picos de 1288 cm^{-1} y 1003 cm^{-1} que pertenecen a los grupos de C-OH y C-O, respectivamente. (Yuanzhang 2015, p. 2,3,4).

Finalmente se pudo deducir que tienen picos semejantes cada espectro tanto de la investigación usada como referencia, así como también la investigación presente, diciendo así que estos muestran resultados fiables para proceder con la misma.

3.1.1.6. Caracterización SEM

Mediante la caracterización SEM podemos analizar la estructura morfológica del rGO, a través de un microscopio de barrido, el cual es el más ideal para observar nanopartículas.



Figura 2-2. Imagen SEM rGO

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

En las imágenes observadas del rGO, podemos deducir que su estructura morfológica se presenta como laminar, consistente y parejo. Se puede observar que en el tamaño de partícula de $5\mu\text{m}$, la estructura morfológica se presenta en forma de montículos. La estructura morfológica de $50\mu\text{m}$

se puede apreciar de mejor manera su forma laminar y se alcanzan a distinguir filamentos pequeños encima de cada lamina de rGO. La particular estructura que presenta el óxido de grafeno reducido se debe a la interrupción de las láminas de carbono hibridado sp^2 , esto justo se debe a la interacción, con el carbono hibridado sp^3 (Colom et al. 2020, p. 173).

3.1.1.7. Microscopia EDS, rGO

Al realizar EDS podemos autenticar los picos de los elementos que se encuentran en la muestra expuesta de la imagen A, de igual manera observamos con más claridad su morfología en láminas con apariencia de escamas.

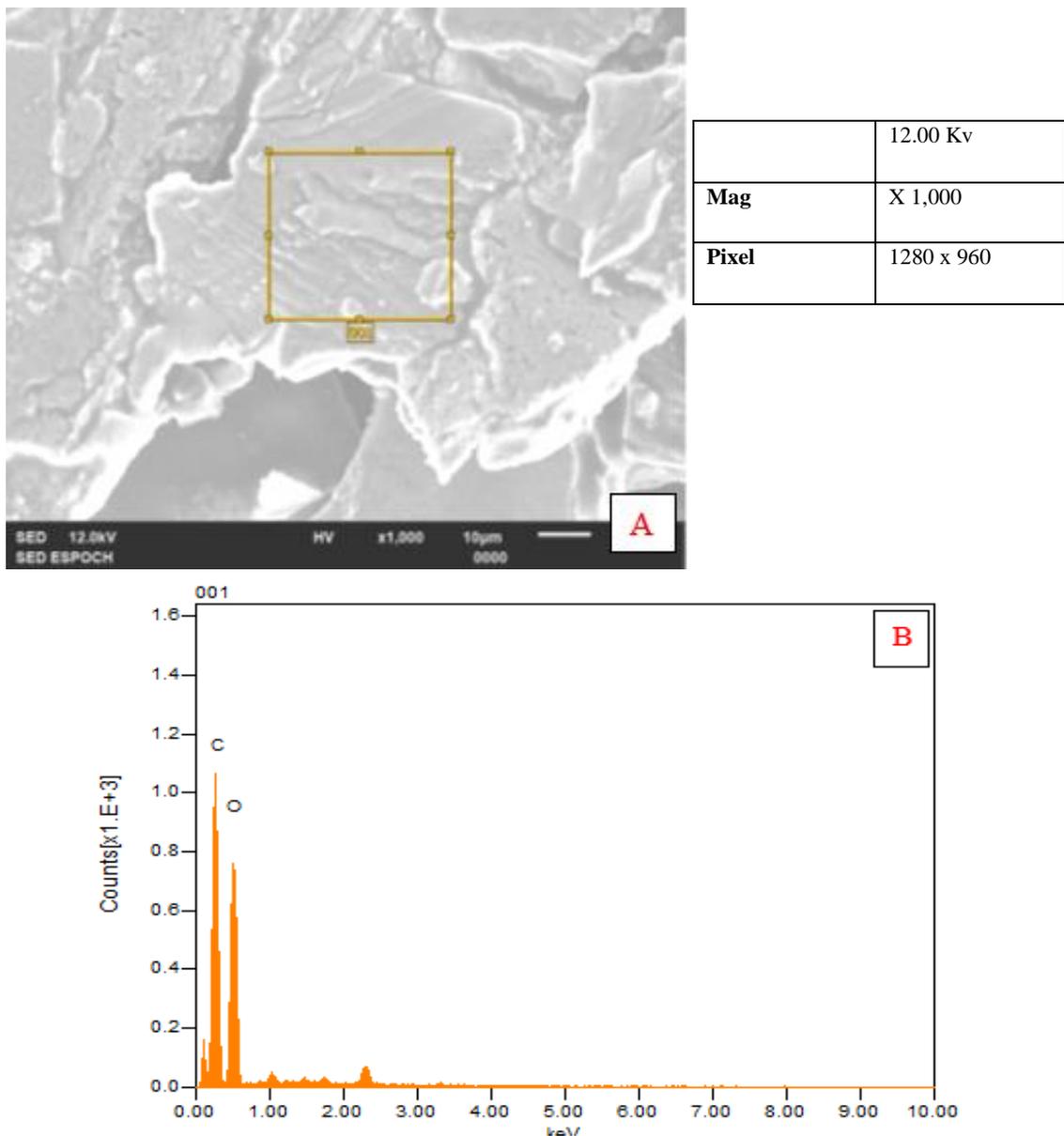


Gráfico 3-3. Microscopia EDS, rGO

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Se dice que cuando el rGO está realizado de una manera correcta, el pico del carbono sobresale del oxígeno, como podemos observar en la gráfica expuesta de la imagen B, los datos observados en la tabla 3.1.1.2.3-1 son los elementos químicos que se encuentran en la muestra en análisis, así como su masa átomos y demás características.

Tabla 2-3. Fórmula rGO

Formula	Mass %	Atom %	Sigma	Net	K ratio	Line
C	3.62	54.92	0.03	5133	0.0235385	K
O	3.96	45.08	0.04	4090	0.0199085	K
Total	7.58	100.00				

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

3.1.1.8. Nanocelulosa y oxido de grafeno reducido (NC y rGO)_f

Las pruebas de caracterización que se les sometió a la muestra funcionalizada (NC y rGO), se realizó con microscopia óptica y de barrido en el SEM, misma que se encuentra en la ESPOCH, y adicional se le realizó un análisis de espectro de infrarrojo FTIR.

3.1.1.9. Caracterización morfológica

En esta prueba de caracterización se usó un microscopio óptico (OLYMPUS CX31), con el fin de observar y analizar su estructura morfológica.

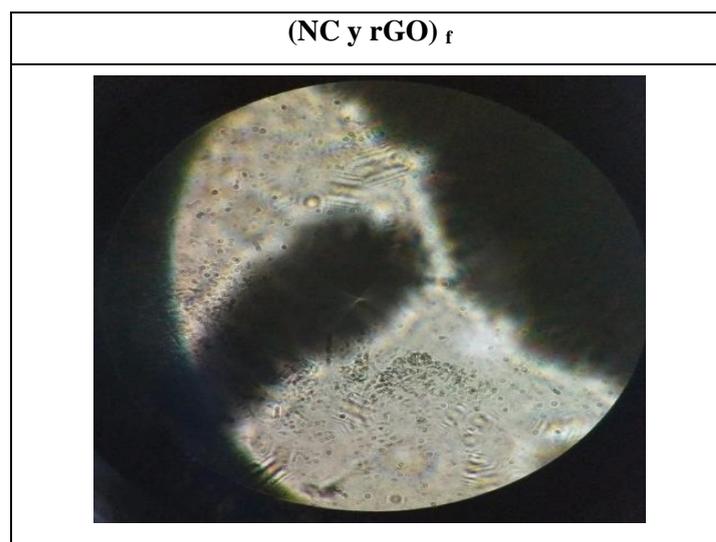


Figura 3-2. Imagen óptica de (NC y rGO)_f. **fuentes:** Salazar, E.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

En la imagen (a) observada en el lente objetivo de 100X se pueden observar dos manchas negras amorfas, y con una separación entre ellas muy corta, sin embargo, las partículas no se pueden

distinguir ya que al tener la presencia del grafeno hace que esta sea casi imposible de visualizar, ya que son nanopartículas las cuales no son aptas para observar bajo microscopía óptica, en este podemos observar fácilmente micropartículas. Al tener este caso es necesario observar bajo microscopía de barrido en el SEM el cual es apto para analizar imágenes de nanopartículas.

3.1.1.10. Análisis de espectro infrarrojo FTIR

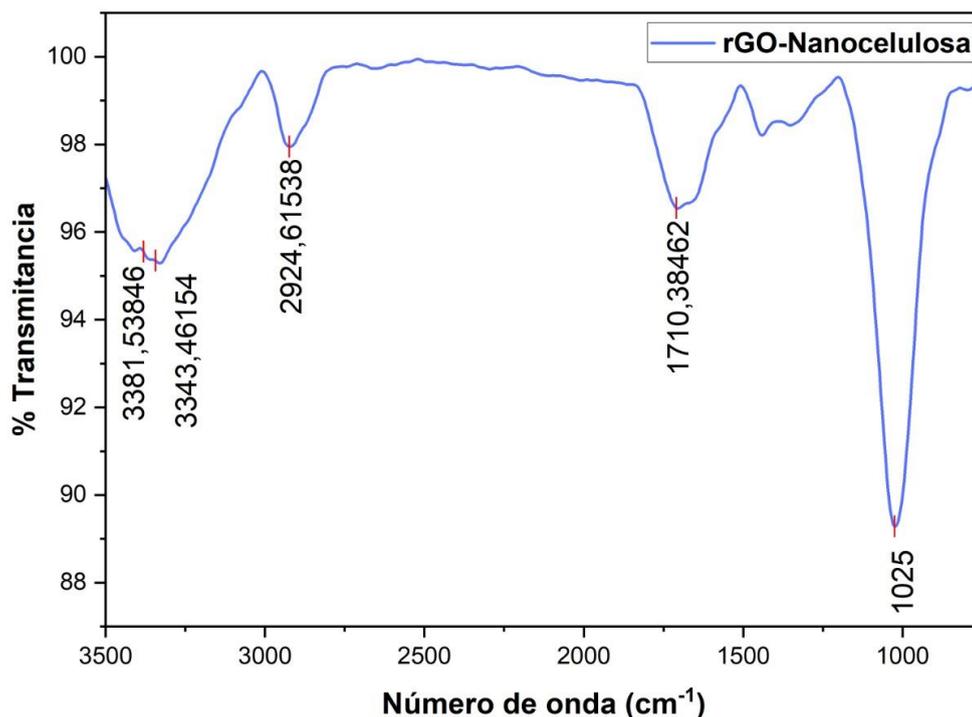


Gráfico 4-3. Espectro infrarrojo de (NC y rGO) f.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Se pueden observar dos picos que crece de 3386.39 cm^{-1} a 3347.82 cm^{-1} dentro de una longitud de onda de $3000\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ aproximadamente cerca de 3440 cm^{-1} . Estos picos se encuentran dentro del rango de $3700\text{-}3100\text{ cm}^{-1}$, los cuales indican que existe la disminución de la hidrofiliadad general, y tiene un menor contenido de OH/H₂O. Indicando que existe aún enlaces C-OH pero en una menor proporción (Colom et al. 2020, p. 168).

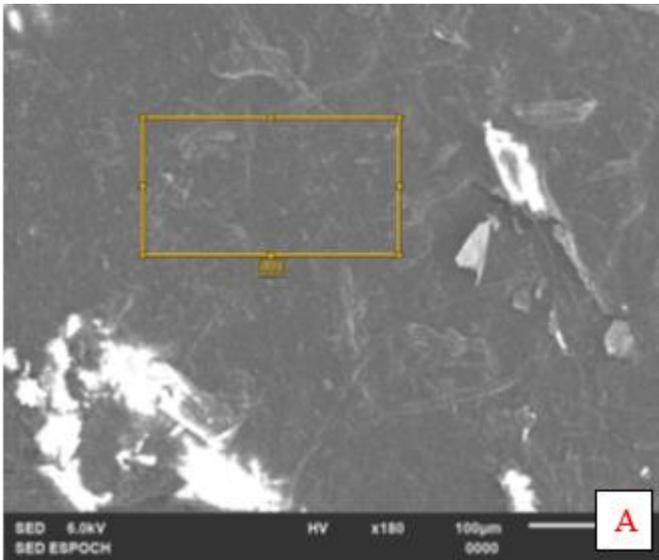
Siguiente a esto se puede analizar dos picos los cuales decrecen de 2923.56 cm^{-1} a 2861.84 cm^{-1} dentro de una longitud de onda de $2500\text{ a }3000\text{ cm}^{-1}$. Los grupos funcionales a los cuales pertenecen estos picos son de los compuestos alifáticos C-H, es decir CH₂ y CH₃ (Colom et al. 2020, p. 168).

Dentro del rango de 1800-700 cm^{-1} se encuentran los grupos carbonilo del ácido carboxílico C=O, el cual se encuentra localizado en las placas del óxido de grafeno al reducirse. En este rango se encuentra un pico inicial de 1712.48 cm^{-1} y va decreciendo relativamente hasta 713.533 cm^{-1} , la razón por la que va decreciendo es ya que los enlaces carboxílicos se encuentran en reducción teniendo la presencia aquí de la estructura de óxido de grafeno reducido (Colom et al. 2020, p. 169). El pico de 655.679 cm^{-1} que se encuentra dentro de la longitud de onda de 600 cm^{-1} se relacionan con los grupos funcionales C-H de los anillos aromáticos (Colom et al. 2020, p. 169). Entre todos los picos que se encuentran 600 a 2000 cm^{-1} más exactamente en 1000 cm^{-1} existe un pico que sobresale siendo de 1025.94 cm^{-1} . El detalle en este pico es que también sobresale en la nanocelulosa con un valor de 1022.09 cm^{-1} , exactamente en la misma longitud de onda. Cabe recalcar que los picos no tienen tanta diferencia entre sí, para ser precisos hay una diferencia de 3.85 cm^{-1} teniendo para este valor el mismo de grupo funcional. En el valor indicado, el grupo funcional perteneciente a este es el éter glucosídico, atribuyendo en este la presencia de la NC, sin embargo para el rGO según (Colom et al. 2020) en el rango de 1616-914 cm^{-1} , pertenece a estructuras aromáticas C=C las cuales son pertenecientes a la estructura del grafeno, llegando a deducir que este tiene más presencia de la estructura del óxido de grafeno reducido (Colom et al. 2020, p. 168, 169).

3.1.2. Caracterización SEM

3.1.2.1. Microscopia EDS, (rGO y NC) _f

Mediante la microscopia EDS de la muestra funcionalizada podemos observar en la imagen A, su estructura morfológica más cerca, se puede apreciar a partes de filamentos alargados y partículas más grandes con apariencia de láminas diminutas.



Volt	6.00 kV
Mag.	X 180
Pixel	640 x 480

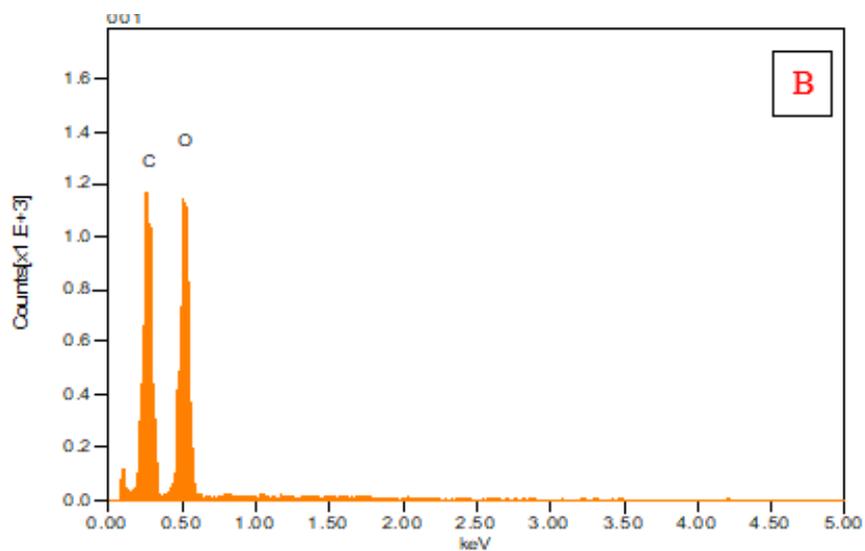


Gráfico 5-3. Microscopia EDS, (rGO y NC)

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

En la imagen B se muestran los elementos químicos que en este están presentes, en este caso observamos que el oxígeno sobrepasa con un mínimo al carbono, la tabla 3.1.1.3.3-1 muestra las cantidades de masa y átomos que se encuentran en la muestra analizada, así como también otras características.

Tabla 3-3. Fórmula (rGO y NC) _f

Formula	Mass %	Atom %	Sigma	Net	K ratio	Line
C	8.70	54.14	0.07	5756	0.0426820	K
O	9.82	45.86	0.08	6193	0.0437480	K
Total	18.52	100.00				

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

3.1.3. Adsorción

Para esta prueba la hemos realizado en el espectrómetro de adsorción atómica, con el fin de analizar si adsorbe o no adsorbe arsénico, para esto primero se realizó unas pruebas piloto en diferentes tiempos, y de acuerdo a estos resultados se realizaron pruebas con diferentes parámetros como: temperatura, tiempo y pH, y así hacer un análisis general y demostrar en cuál de todos realiza una mejor adsorción de arsénico.

Los reportes que se obtienen para analizar de las lecturas de la AAS, son la concentración final corregida, de acuerdo a esto y a cálculos siguientes podremos estudiar si existe o no adsorción de arsénico presente en el agua.

Para realizar la experimentación, se realiza una solución de 250 ml de solución madre de arsénico y 20 mg de (rGO y NC) _f, y con esta solución se procede a hacer todas las pruebas con cada experimento.

3.1.4. Tiempo al contacto

Para realizar el tiempo al contacto fue usado el equipo de laboratorio de investigación, el proceso fue realizado en el SHAKER, el cual fue realizado a una velocidad de agitación de 250 rpm, y a ciertos tiempos especificados que son de 1, 5, 10,15 y 30 minutos se tomó una alícuota de 5 ml. Posteriormente esta alícuota se la llevo a centrifugación durante 10 minutos a 250 rpm, esto se realizó con el fin de separar el sobrenadante del precipitado, el cual de esto el sobrenadante se lo utilizara para el espectrómetro de adsorción atómica.

3.1.4.1. Peso en equilibrio de (NC y rGO) _f, en tiempo al contacto

Para obtener los pesos en equilibrio de todas las muestras tanto como piloto y las muestras de los experimentos se usó la siguiente fórmula:

$$q_e = \frac{(C_o - C_f)V}{W}$$

Donde q_e es el peso en equilibrio que se desea obtener, C_i es la concentración inicial de la muestra con la que se va a trabajar, C_f corresponde a la concentración en equilibrio de la muestra, V es el volumen de la alícuota tomada, W corresponde al peso de la muestra del nanomaterial que se usó para la solución.

Con los resultados de los pesos en equilibrio, podemos analizar y estudiar la cinetica de adsorción existente en cada experimento.

3.1.4.2. *Cantidades de arsénico adsorbidas*

- **Análisis en muestras piloto**

Pruebas de adsorción y análisis de los mismos, las cuales se encuentran como concentración inicial de 10 ppm, y para poder realizar las lecturas es necesario realizar disoluciones en las cuales el espectrómetro de adsorción atómica pueda leer, esta va a variar la concentración de acuerdo a la muestra y su factor de tiempo. Estas pruebas piloto tienen un pH inicial de 1.28 que es el pH que tiene la solución madre de arsénico.

Para poder deducir o concluir que adsorbió arsénico en un tiempo, temperatura y pH específico, se debe realizar un cálculo que evidencie esto, usando la siguiente fórmula:

$$qt = \frac{(C_o - C_t)V}{W}$$

Donde q_t corresponde al equilibrio de concentraciones, C_o es la concentración inicial de la solución madre más (rGO y NC) $_f$, C_t es la concentración en equilibrio de la solución madre de Arsénico, V es el volumen de la alícuota a la cual se le va a realizar la lectura y W es el peso de adsorbente, es decir el peso de (rGO y NC) $_f$ usado para realizar la muestra de la cual se obtuvo la alícuota.

Tabla 4-3. Concentraciones finales de las muestras piloto.

#muestra (As)	Conc, Corregida final (AAS) (ppb)	Concentración calculada final (ppm)	Concentración madre As (ppb)	Concentración madre As (ppm)
1-15 minutos	1696,107	1,696107	10000	10
2-30 minutos	1841,014	1.841.014		
3-60 minutos	1960,909	1.960.909		

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

- **Análisis en muestras de experimentos.**

Como se realizó en las pruebas piloto utilizamos una solución de concentración inicial de 10 ppm, con sus respectivas disoluciones, los siguientes experimentos nos basamos de acuerdo a pH diferentes, E1 pH5, E2 pH7, E3 pH9, variando factores de tiempo y temperatura, como pudimos obtener en las muestras piloto con un pH2 en el menor tiempo se tuvo una menos concentración, entonces en los experimentos se realizaron las pruebas en los tiempos de 1, 5, 10, 15 y 30 minutos en temperaturas de 25, 40 y 60°C.

En la tabla 5-3, se realizan los cálculos para la concentración calculada final (ppm) y el peso en equilibrio (mg/g), para cada uno de los experimentos realizados y de esta manera poder concluir si existió adsorción de arsénico o en caso de no haber existido la adsorción del metal, realizar un experimento que justifique este hecho.

Tabla 5-3. Concentraciones finales y pesos en equilibrios de experimentos y replicas

Experimento 1 pH5							Replica 1	
Factores							Factor	
Adsorbato	Adsorbente (rGO+NC) f g	Concentración madre As (ppm)	Temperatura °C	Tiempo de contacto min	Concentración calculada final (ppm)	Peso en equilibrio mg/g	Concentración calculada final (ppm)	Peso en equilibrio mg/g
Solución madre de Arsénico	0,02	10	25	1	2,451014	1,8872465	2,451002	1,8872495
				5	3,071571	1,73210725	3,07156	1,73211
				10	2,875422	1,7811445	2,875411	1,78114725
				15	3,172858	1,7067855	3,172847	1,70678825
				30	4,407485	1,39812875	4,407474	1,3981315
			40	1	4,828097	1,29297575	4,828086	1,2929785
				5	5,407999	1,14800025	5,407988	1,148003
				10	5,711817	1,07204575	5,711806	1,0720485
				15	3,530439	1,61739025	3,530428	1,617393
			60	30	3,849442	1,5376395	3,849421	1,53764475
				1	4,100961	1,47475975	4,10095	1,4747625
				5	2,238532	1,940367	2,238521	1,94036975
				10	3,294784	1,676304	3,294773	1,67630675
				15	4,026409	1,49339775	4,026406	1,4933985
				30	8,816792	0,295802	8,816781	0,29580475
Experimento 2 pH7							Replica 1	
Factores							Factor	
Adsorbato	Adsorbente (rGO+NC) f g	Concentración madre As (ppm)	Temperatura °C	Tiempo de contacto min	Concentración calculada final (ppm)	Peso en equilibrio mg/g	Concentración calculada final (ppm)	Peso en equilibrio mg/g
Solución madre de Arsénico	0,02	10	25	1	3,711187	1,57220325	3,711176	1,572206
				5	2,709595	1,82260125	2,709584	1,822604
				10	2,922171	1,76945725	2,92216	1,76946
				15	2,919713	1,77007175	2,9197	1,770075
				30	3,734446	1,5663885	3,734434	1,5663915
			40	1	3,566747	1,60831325	3,566736	1,608316
				5	4,506965	1,37325875	4,506952	1,373262
				10	2,55347	1,8616325	2,553467	1,86163325
				15	2,431891	1,89202725	2,43188	1,89203
			60	30	3,952158	1,5119605	3,952146	1,5119635
				1	4,570281	1,35742975	4,57027	1,3574325
				5	2,610391	1,84740225	2,61038	1,847405
				10	2,629344	1,842664	2,629323	1,84266925
				15	3,285423	1,67864425	3,285411	1,67864725
				30	3,015079	1,74623025	3,015069	1,74623275
Experimento 3 pH9							Replica 1	
Factores							Factor	
Adsorbato	Adsorbente (rGO+NC) f g	Concentración madre As (ppm)	Temperatura °C	Tiempo de contacto min	Concentración calculada final (ppm)	Peso en equilibrio mg/g	Concentración calculada final (ppm)	Peso en equilibrio mg/g

Solución madre de Arsénico	0,02	10	25	1	3,229689	1,69257775	3,229678	1,6925805
				5	3,243263	1,68918425	3,243251	1,68918725
				10	2,95365	1,7615875	2,953648	1,761588
				15	2,486143	1,87846425	2,486131	1,87846725
				30	3,240447	1,68988825	3,240436	1,689891
			40	1	3,829921	1,54251975	3,82991	1,5425225
				5	2,260551	1,93486225	2,260548	1,934863
				10	2,375287	1,90617825	2,375276	1,906181
				15	5,726829	1,06829275	5,726817	1,06829575
				30	6,962603	0,75934925	6,9626	0,75935
			60	1	3,239041	1,69023975	3,23902	1,690245
				5	5,716812	1,070797	5,716801	1,07079975
				10	7,129931	0,71751725	7,12992	0,71752
				15	7,701255	0,57468625	7,701231	0,57469225
				30	8,645574	0,3386065	8,645563	0,33860925

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Al realizar el análisis de resultados de cada uno de los experimentos, se puede mencionar que al tener las concentraciones finales de menor valor con respecto a la concentración inicial que fue de 10 ppm, y con sus pesos en equilibrio aumentando cuando existe adsorción, deducimos que tenemos adsorción progresiva de arsénico conforme el tiempo de contacto en minutos aumenta. Es decir, a menor concentración final y mayor peso en equilibrio, mejor capacidad adsorptiva va a existir.

Podemos observar el mismo comportamiento reductor en los pesos en equilibrio, los cuales nos indican y corroboran que existe actividad adsorptiva en el proceso de adsorción con (rGO y NC) _f como adsorbentes y solución madre de arsénico como adsorbato.

3.1.4.3. Promedio de concentraciones y pesos en equilibrio

En la realización de los cálculos de promedio de concentraciones y pesos equilibrio se realizaron con los resultados tanto del experimento, así como también de su respectiva replica. A continuación, se muestra los promedios de cada experimento.

Tabla 6-3. Promedio de concentraciones y pesos en equilibrio en cada experimento.

Factores		Experimento 1 pH5		Experimento 2 pH7		Experimento 3 Ph9	
Temperatura °C	Tiempo de contacto	Promedio de concentración en equilibrio (ppm)	Promedio de peso en equilibrio mg/g	Promedio de concentración en equilibrio (ppm)	Promedio de peso en equilibrio mg/g	Promedio de concentración en equilibrio (ppm)	Promedio de peso en equilibrio mg/g
25	1	2,451008	1,887248	3,7111815	1,57220463	3,2296835	1,69257913
	5	3,0715655	1,73210863	2,7095895	1,82260263	3,243257	1,68918575
	10	2,8754165	1,78114588	2,9221655	1,76945863	2,953649	1,76158775
	15	3,1728525	1,70678688	2,9197065	1,77007338	2,486137	1,87846575
	30	4,4074795	1,39813013	3,73444	1,56639	3,2404415	1,68988963
40	1	4,8280915	1,29297713	3,5667415	1,60831463	3,8299155	1,54252113
	5	5,4079935	1,14800163	4,5069585	1,37326038	2,2605495	1,93486263

	10	5,7118115	1,07204713	2,5534685	1,86163288	2,3752815	1,90617963
	15	3,5304335	1,61739163	2,4318855	1,89202863	5,726823	1,06829425
	30	3,8494315	1,53764213	3,952152	1,511962	6,9626015	0,75934963
60	1	4,1009555	1,47476113	4,5702755	1,35743113	3,2390305	1,69024238
	5	2,2385265	1,94036838	2,6103855	1,84740363	5,7168065	1,07079838
	10	3,2947785	1,67630538	2,6293335	1,84266663	7,1299255	0,71751863
	15	4,0264075	1,49339813	3,285417	1,67864575	7,701243	0,57468925
	30	8,8167865	0,29580338	3,015074	1,7462315	8,6455685	0,33860788

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Analizando estos resultados se tiene un promedio de cada parámetro; concentración en equilibrio (ppm) y peso en equilibrio mg/g, cada uno varía de acuerdo a su factor de temperatura y pH en cada experimento, el fin de obtener el promedio de cada una de estas es analizar la capacidad de adsorción en cada temperatura y pH, así se analizó la capacidad adsorptiva en cierto tiempo de contacto y de la misma manera cuando existe desorción.

3.2. Experimento 1 pH 5

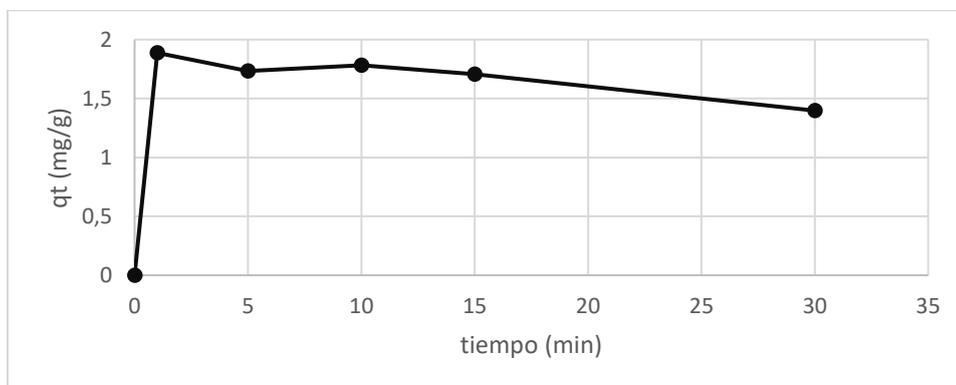
- 25°C

En la tabla se muestra el valor del aumento progresivo de adsorción de arsénico (qt) según avanza el tiempo de contacto, teniendo una capacidad de adsorción de 1,8872mg/g a 1 min.

Tabla 7-3. Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 1 pH5 y T25°C

Tiempo min	Concentración en t mg/L	qt mg/g	ln (qe-qt)	t/qt
1	2,451014	1,8872465	-0,57311335	0,52987249
5	3,071571	1,73210725	0,29226935	2,88665728
10	2,875422	1,7811445	0,09009433	5,61436762
15	3,172858	1,7067855	0,38258706	8,78845057
30	4,407485	1,39812875	1,10172619	21,4572513

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.



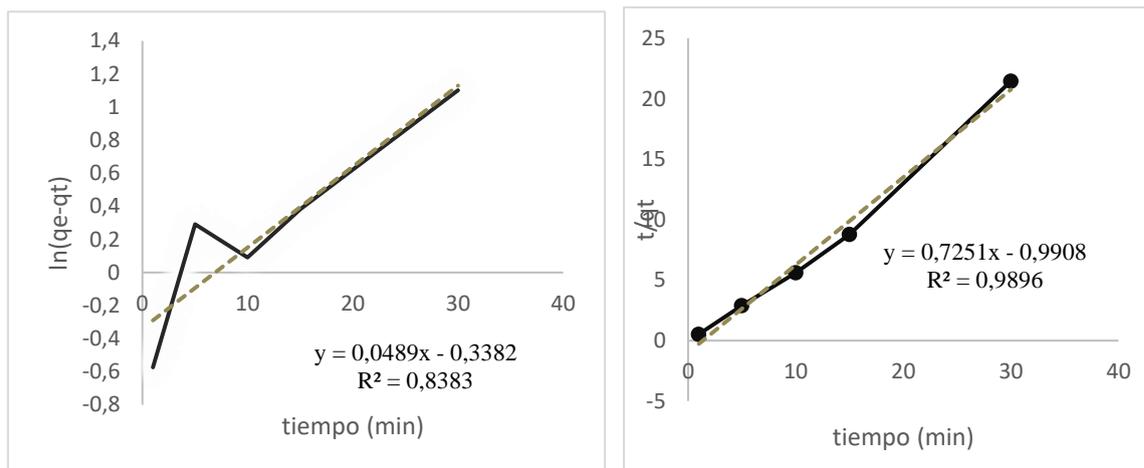


Gráfico 6-3. a) Cinética de adsorción de (rGO y NC) r; pH5 a 25°C. b) Modelo de pseudo primer orden. c) Modelo de pseudo segundo orden.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Para el modelo cinético de pseudo primer orden (figura a.) se encontró que, K_1 es igual a $0,0489 \text{ min}^{-1}$, q_e tiene un valor de $1,4002 \text{ mg/g}$, el cual aplaza en un alto grado el valor de q_t experimental de $1,8872 \text{ mg/g}$, y el coeficiente de determinación R^2 es $0,8383$, al ser este valor lejano a 1, nos indica que estos no tienen correlación y por ende la cinética de adsorción no se ajusta al modelo de pseudo primer orden.

Sin embargo, en la figura c. para analizar si corresponde a este modelo, tenemos que el valor de k_2 es de $0,5307 \text{ min}^{-1}$ y q_e $1,3791 \text{ mg/g}$, el cual es similar al valor que se obtuvo experimentalmente, el valor del coeficiente de determinación R^2 es de $0,9896$ al ser este valor próximo a uno nos indica que este modelo de cinética de adsorción corresponde a el modelo de pseudo segundo orden.

- **40°C**

Se observa el incremento progresivo de adsorción de arsénico (q_t) de acuerdo avanza el tiempo de contacto, teniendo una mayor capacidad de adsorción de $1,6173 \text{ mg/g}$ a los 15 minutos.

Tabla 8-3. Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 1 pH5 y T40°C

Tiempo min	Concentración en t mg/L	$q_t \text{ mg/g}$	$\ln(q_e - q_t)$	t/q_t
1	4,828097	1,29297575	1,2627476	0,77340971
5	5,407999	1,14800025	1,44926887	4,35539975
10	5,711817	1,07204575	1,53466507	9,32796012
15	3,530439	1,61739025	0,64869817	9,27419959
30	3,849442	1,5376395	0,83802752	19,5104249

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

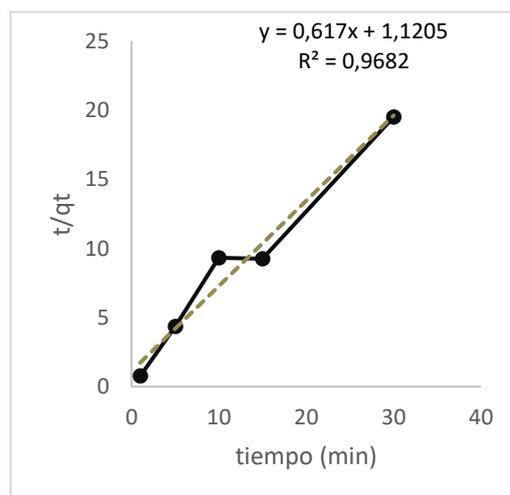
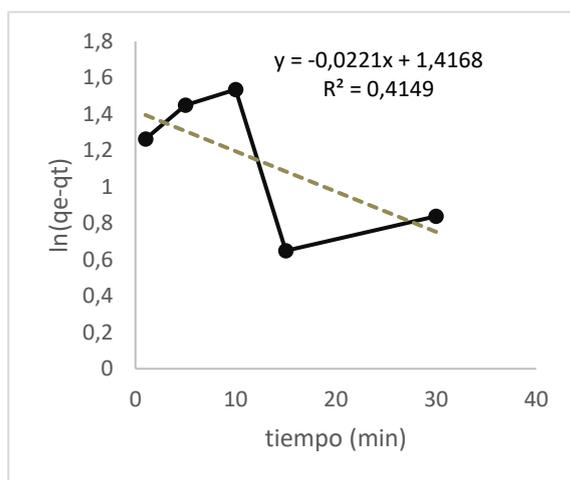
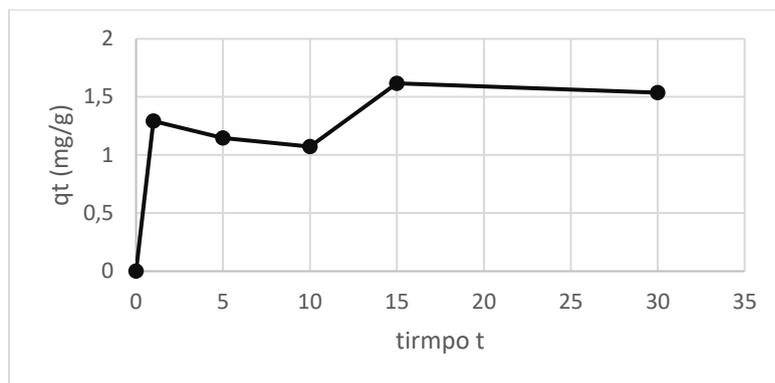


Gráfico 7-3. a) Cinética de adsorción de (rGO y NC) ϵ ; pH5 a 40°C. b) Modelo de pseudo primer orden. c) Modelo de pseudo segundo orden.

Realizado por: Salazar, Evelyn, 2022.

Para el estudio del modelo cinético de pseudo primer orden (figura a.) se encontró que, K_1 es igual a $0,0221 \text{ min}^{-1}$, q_e teórico tiene un valor de $4,1239 \text{ mg/g}$, el cual aplaza evidentemente en un alto grado el valor de q_t experimental de $1,6173 \text{ mg/g}$, y el coeficiente de determinación R^2 es $0,4149$, al ser este valor lejano a 1, nos indica que estos no tienen correlación y por ende la cinética de adsorción no se ajusta al modelo de pseudo primer orden.

Sin embargo, en la figura c. para analizar si corresponde a este modelo, tenemos que el valor de k_2 es de $0,3398 \text{ min}^{-1}$ y q_e teórico $1,6207 \text{ mg/g}$, el cual es similar al valor que se obtuvo experimentalmente, el valor del coeficiente de determinación R^2 es de $0,9682$ al ser este valor próximo a uno nos indica que este modelo de cinética de adsorción corresponde a el modelo de pseudo segundo orden.

- **60°C**

Podemos observar el incremento progresivo de adsorción de arsénico (q_t) de acuerdo avanza el tiempo de contacto, teniendo una mayor capacidad de adsorción de $1,9404 \text{ mg/g}$ a los 5 minutos.

Tabla 9-3. Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 1 pH5 y T60°C

Tiempo min	Concentración en t mg/L	qt mg/g	ln (qe-qt)	t/qt
1	4,100961	1,47475975	0,96553841	0,67807655
5	2,238532	1,940367	-1,21010825	2,57683211
10	3,294784	1,676304	0,48148744	5,96550506
15	4,026409	1,49339775	0,92940881	10,0442096
30	8,816792	0,295802	2,14253253	101,419193

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

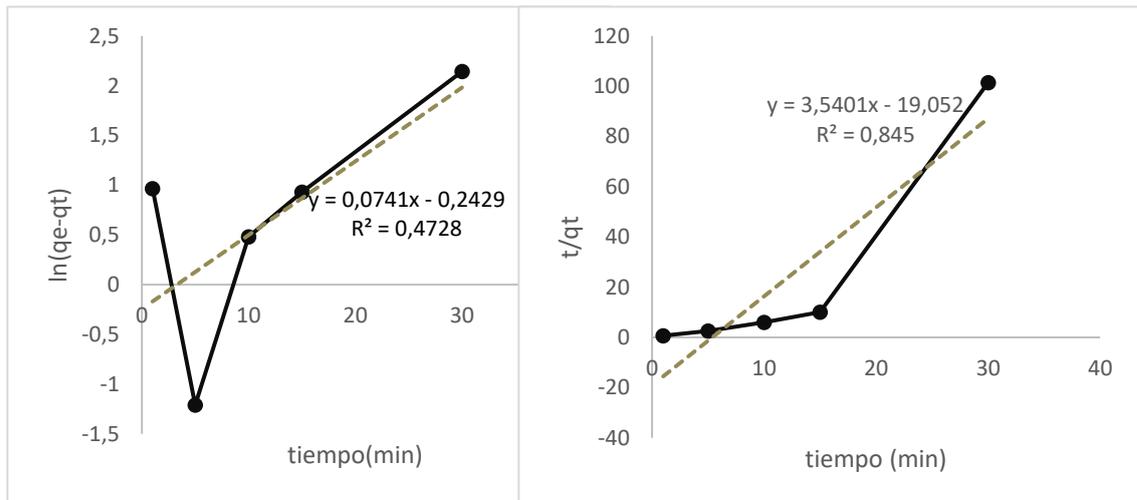
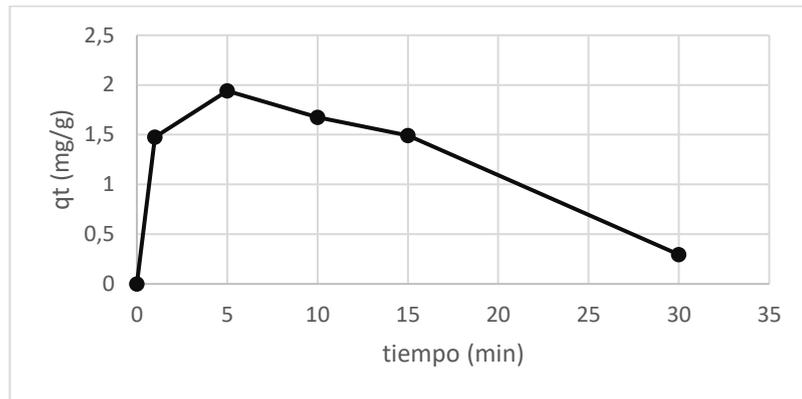


Gráfico 8-3. a) Cinética de adsorción de (rGO y NC)_f; pH5 a 60°C. b) Modelo de pseudo primer orden. c) Modelo de pseudo segundo orden.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

El modelo cinético de pseudo primer orden en la (figura a.) se encontró que, K_1 es igual a $0,0741 \text{ min}^{-1}$, q_e teórico tiene un valor de $1,2749 \text{ mg/g}$, el cual aplaza evidentemente en un alto grado el valor de q_t experimental de $1,9404 \text{ mg/g}$, y el coeficiente de determinación R^2 es $0,4728$, al ser este valor lejano a 1, nos indica que estos no tienen correlación y por ende la cinética de adsorción no se ajusta al modelo de pseudo primer orden.

En la figura c. para analizar si corresponde al modelo de pseudo segundo orden, tenemos que el valor de k_2 es de $0,6577 \text{ min}^{-1}$ y q_e teórico $0,2825 \text{ mg/g}$, el cual es similar al valor que se obtuvo

experimentalmente, el valor del coeficiente de determinación R^2 es de 0,845 al ser este valor próximo a uno nos indica que este modelo de cinética de adsorción corresponde a el modelo de pseudo segundo orden.

3.3. Experimento 2 pH7

- 25°C

El incremento progresivo de adsorción de arsénico (q_t) de acuerdo avanza el tiempo de contacto, teniendo una mayor capacidad de adsorción de 1,8226 mg/g a los 5 minutos.

Tabla 10-3. Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 2 pH7 y T25°C

Tiempo min	Concentración en t mg/L	q_t mg/g	$\ln(q_e - q_t)$	t/q_t
1	3,711187	1,57220325	0,76033083	0,63605008
5	2,709595	1,82260125	-0,11991734	2,74333182
10	2,922171	1,76945725	0,14211895	5,65145047
15	2,919713	1,77007175	0,13944994	8,47423275
30	3,734446	1,5663885	0,77383161	19,1523367

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

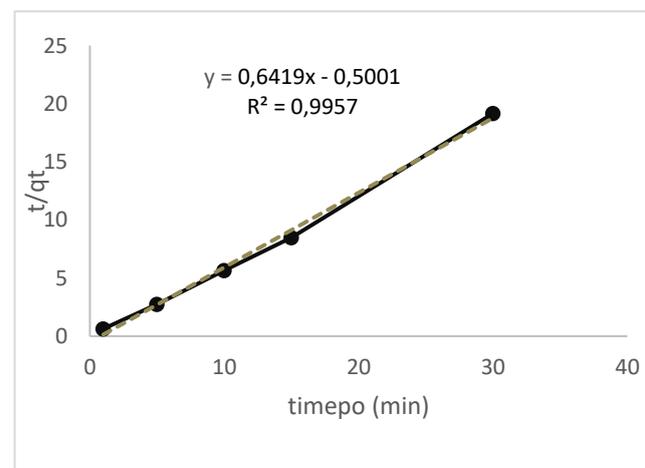
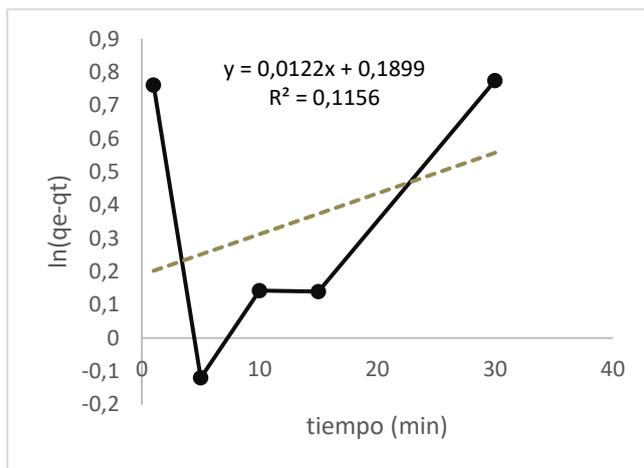
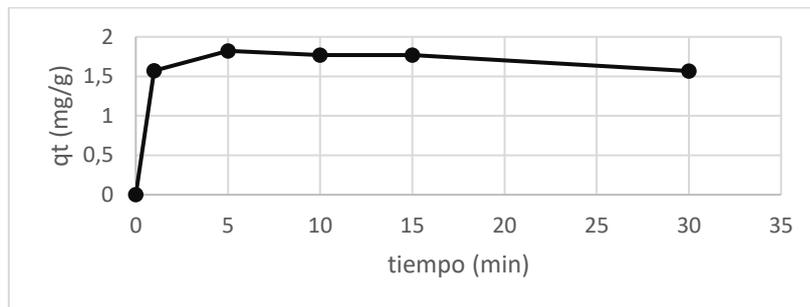


Gráfico 9-3. a) Cinética de adsorción de (rGO y NC) f; pH7 a 25°C. b) Modelo de pseudo primer orden. c) Modelo de pseudo segundo orden.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

En la (figura a.) para el modelo de pseudo primero orden, se encontró que, K_1 es igual a $0,0122 \text{ min}^{-1}$, q_e teórico tiene un valor de $1,2079 \text{ mg/g}$, el cual aplaza en un alto grado el valor de q_t experimental de $1,8226 \text{ mg/g}$, y el coeficiente de determinación R^2 es $0,1156$, al ser este valor lejano a 1, nos indica que estos no tienen correlación y por ende la cinética de adsorción no se ajusta al modelo de pseudo primer orden.

En la figura c. podemos observar y analizar si corresponde al modelo de pseudo segundo orden, tenemos que el valor de k_2 es de $0,8239 \text{ min}^{-1}$ y q_e teórico $1,5579 \text{ mg/g}$, el cual es similar al valor que se obtuvo experimentalmente, el valor del coeficiente de determinación R^2 es de $0,9957$ al ser este valor próximo a uno nos indica que este modelo de cinética de adsorción corresponde a el modelo de pseudo segundo orden.

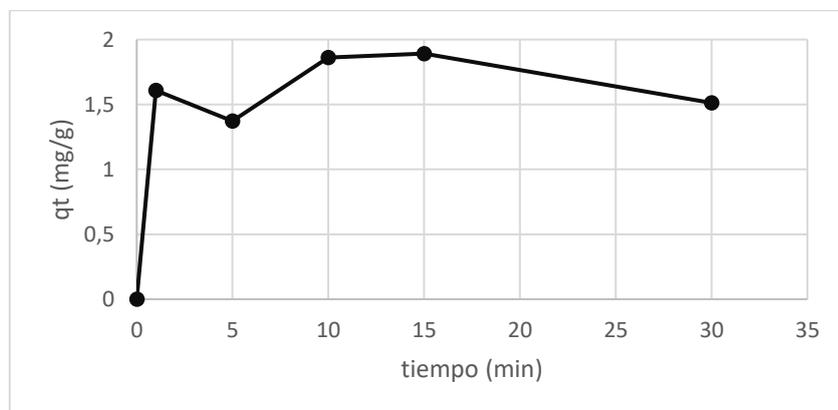
- **40°C**

El incremento progresivo de adsorción de arsénico (q_t) de acuerdo avanza el tiempo de contacto, teniendo una mayor capacidad de adsorción de $1,8920 \text{ mg/g}$ a los 15 minutos.

Tabla 11-3. Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 2 pH7 y T40°C

Tiempo min	Concentración en t mg/L	$q_t \text{ mg/g}$	$\ln (q_e - q_t)$	t/q_t
1	3,566747	1,60831325	0,67214505	0,62176942
5	4,506965	1,37325875	1,14221641	3,64097443
10	2,55347	1,8616325	-0,36840418	5,37162947
15	2,431891	1,89202725	-0,61643849	7,92800421
30	3,952158	1,5119605	0,89207898	19,8417882

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.



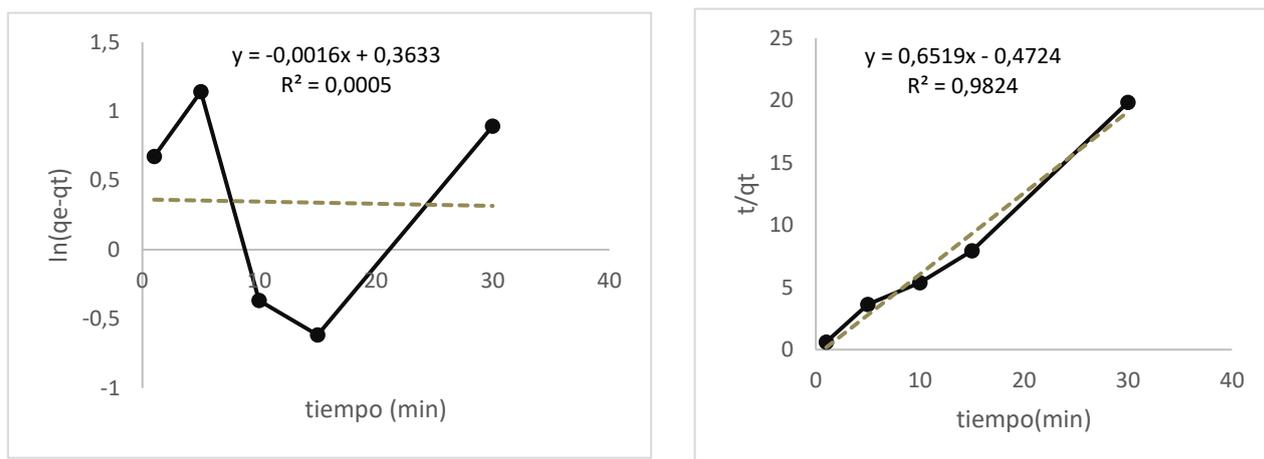


Gráfico 10-3. a) Cinética de adsorción de (rGO y NC) r, pH7 a 40°C. b) Modelo de pseudo primer orden. c) Modelo de pseudo segundo orden.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

En la (figura a.) para el modelo de pseudo primero orden, se encontró que, K_1 es igual a $0,0016 \text{ min}^{-1}$, q_e teórico tiene un valor de $1,4380 \text{ mg/g}$, el cual aplaza en un alto grado el valor de qt experimental de $1,8920 \text{ mg/g}$, y el coeficiente de determinación R^2 es $0,0005$, al ser este valor lejano a 1, nos indica que estos no tienen correlación y por ende la cinética de adsorción no se ajusta al modelo de pseudo primer orden.

En la figura c. podemos observar y analizar si corresponde al modelo de pseudo segundo orden, tenemos que el valor de k_2 que corresponde al valor de $0,8996 \text{ min}^{-1}$ y q_e teórico $1,5340 \text{ mg/g}$, el cual es similar al valor que se obtuvo experimentalmente, el valor del coeficiente de determinación R^2 es de $0,9824$ al ser este valor próximo a uno nos indica que este modelo de cinética de adsorción corresponde a el modelo de pseudo segundo orden.

- **60°C**

El incremento progresivo de adsorción de arsénico (qt) de acuerdo avanza el tiempo de contacto, teniendo una mayor capacidad de adsorción de $1,8474 \text{ mg/g}$ a los 5 minutos.

Tabla 12-3. Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 2 pH7 y T60°C

Tiempo min	Concentración en t mg/L	qt mg/g	ln (qe-qt)	t/qt
1	4,570281	1,35742975	1,16715878	0,73668637
5	2,610391	1,84740225	-0,27051199	2,70650315
10	2,629344	1,842664	-0,23993372	5,42692536
15	3,285423	1,67864425	0,4742314	8,93578255
30	3,015079	1,74623025	0,23810999	17,179865

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

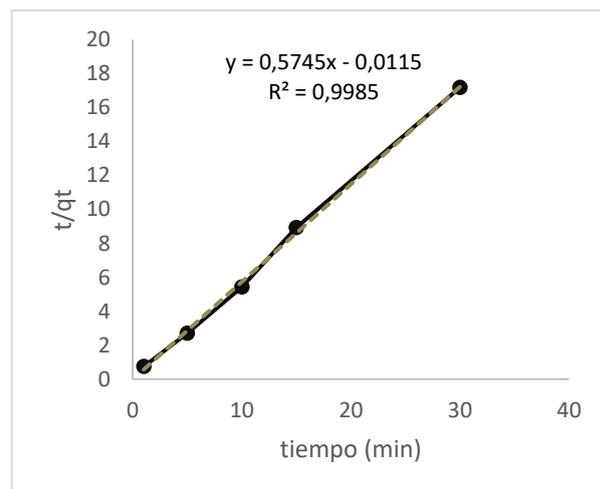
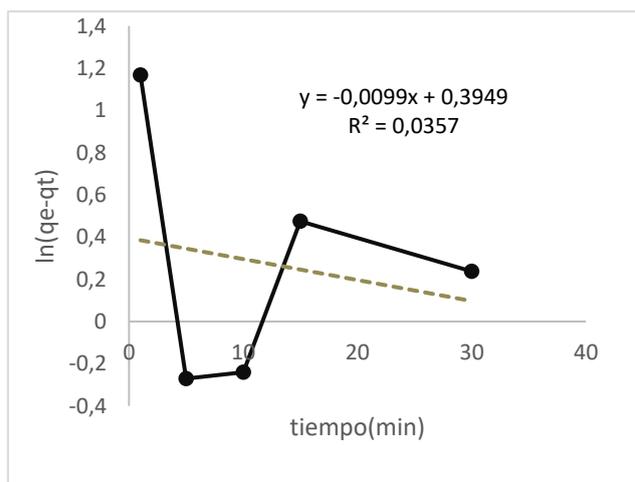
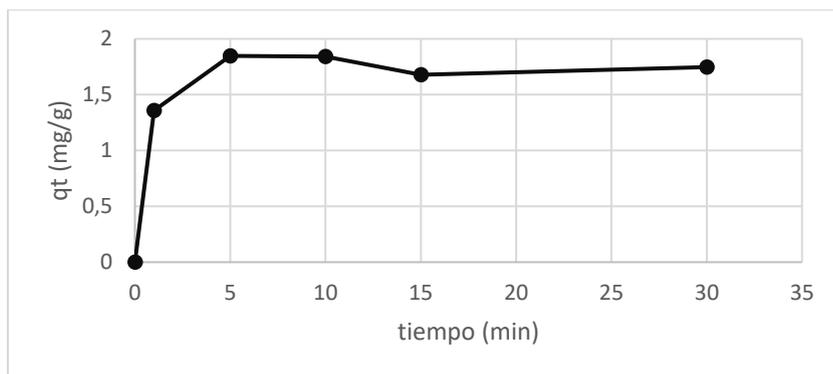


Gráfico 11-3. a) Cinética de adsorción de (rGO y NC)_r; pH7 a 60°C. b) Modelo de pseudo primer orden. c) Modelo de pseudo segundo orden.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Para el análisis del modelo de pseudo primer orden la (figura a.), tenemos que, K_1 es igual a $0,0099 \text{ min}^{-1}$, q_e teórico tiene un valor de $1,4842 \text{ mg/g}$, el cual aplaza en un alto grado el valor de q_t experimental de $1,8474 \text{ mg/g}$, y el coeficiente de determinación R^2 es $0,0357$, al ser este valor lejano a 1, nos indica que estos no tienen correlación y por ende la cinética de adsorción no se ajusta al modelo de pseudo primer orden.

En la figura c. podemos tener valores que corresponde al modelo de pseudo segundo orden, k_2 que corresponde al valor de $28,7015 \text{ min}^{-1}$ y q_e teórico $1,7406 \text{ mg/g}$, el cual es similar al valor que se obtuvo experimentalmente, el valor del coeficiente de determinación R^2 es de $0,9985$ al ser este valor próximo a uno nos indica que este modelo de cinética de adsorción corresponde a el modelo de pseudo segundo orden.

3.4. Experimento 3 pH9

- 25°C

Para el incremento progresivo de adsorción de arsénico (q_t) de acuerdo avanza el tiempo de contacto, teniendo una mayor capacidad de adsorción de 1,8785 mg/g a los 15 minutos

Tabla 13-3. Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 3 pH9 y T25°C

Tiempo min	Concentración en t mg/L	q_t mg/g	$\ln(q_e - q_t)$	t/q_t
1	3,829921	1,54251975	0,82741635	0,64828992
5	2,260551	1,93486225	-1,12181311	2,58416329
10	2,375287	1,90617825	-0,75692066	5,2460991
15	5,726829	1,06829275	1,53870129	14,041095
30	6,962603	0,75934925	1,82507395	39,5075125

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

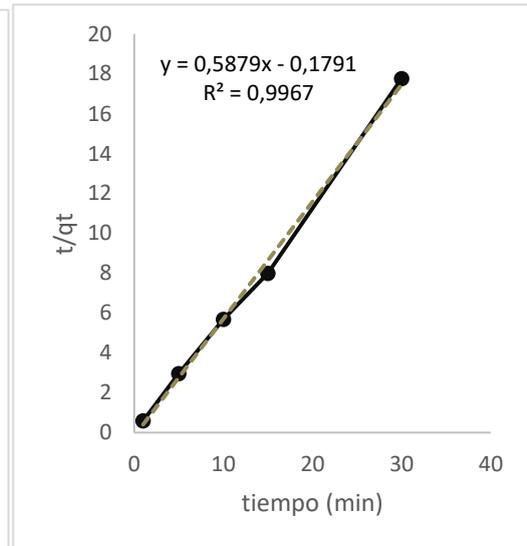
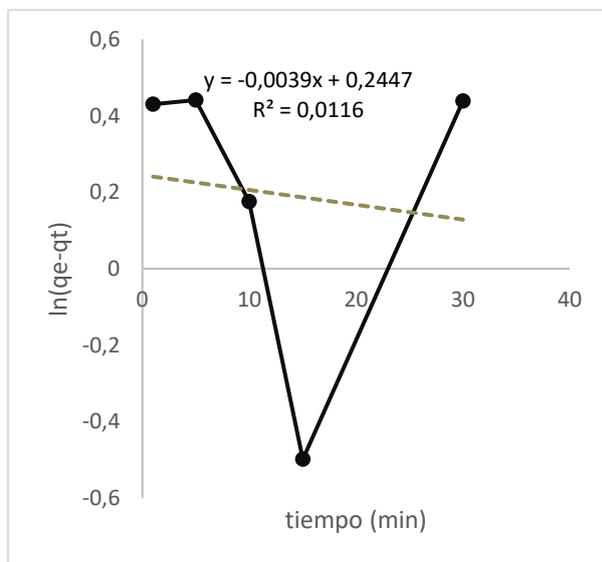
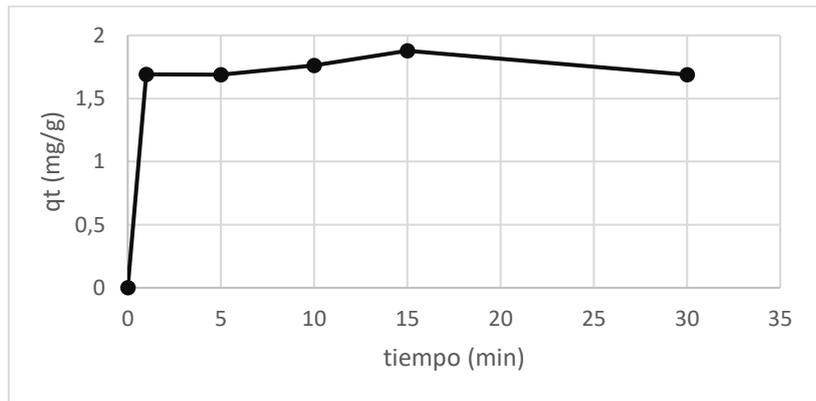


Gráfico 12-3. a) Cinética de adsorción de (rGO y NC) r ; pH9 a 25°C. b) Modelo de pseudo primer orden. C) Modelo de pseudo segundo orden.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Para analizar el modelo de pseudo primer orden la (figura a.), tenemos que, K_1 es igual a $0,0039 \text{ min}^{-1}$, q_e teórico tiene un valor de $1,2772 \text{ mg/g}$, el cual aplaza en un alto grado el valor de q_t experimental de $1,8785 \text{ mg/g}$, y el coeficiente de determinación R^2 es $0,0116$, al ser este valor lejano a 1, nos indica que estos no tienen correlación y por ende la cinética de adsorción no se ajusta al modelo de pseudo primer orden.

Por otro lado, en la figura c. podemos tener valores que corresponden al modelo de pseudo segundo orden, k_2 que corresponde al valor de $1,9297 \text{ min}^{-1}$ y q_e teórico $1,7010 \text{ mg/g}$, el cual es similar al valor que se obtuvo experimentalmente, el valor del coeficiente de determinación R^2 es de $0,9967$ al ser este valor próximo a uno nos indica que este modelo de cinética de adsorción corresponde a el modelo de pseudo segundo orden.

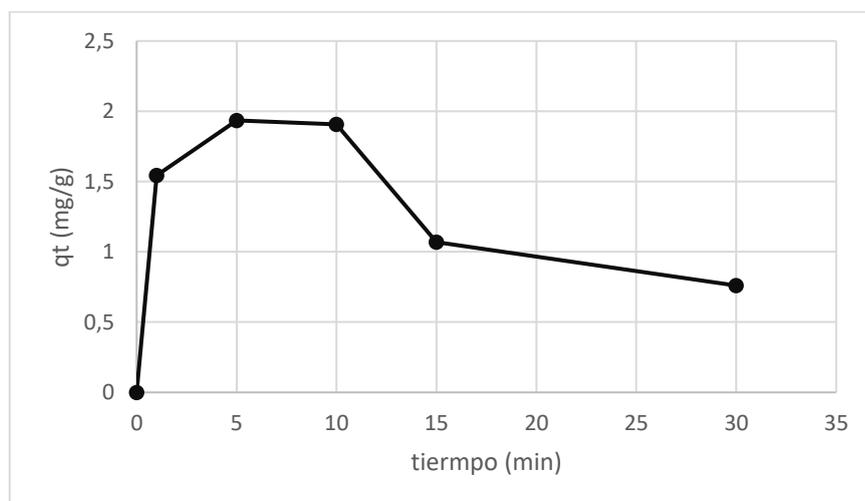
- **40°C**

Para el incremento progresivo de adsorción de arsénico (q_t) de acuerdo avanza el tiempo de contacto, teniendo una mayor capacidad de adsorción de $1,9349 \text{ mg/g}$ a los 5 minutos

Tabla 14-3. Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 3 pH9 y T40°C

Tiempo min	Concentración en t mg/L	$q_t \text{ mg/g}$	$\ln (q_e - q_t)$	t/q_t
1	3,829921	1,54251975	0,82741635	0,64828992
5	2,260551	1,93486225	-1,12181311	2,58416329
10	2,375287	1,90617825	-0,75692066	5,2460991
15	5,726829	1,06829275	1,53870129	14,041095
30	6,962603	0,75934925	1,82507395	39,5075125

Realizado por: Salazar, Evelyn, 2022.



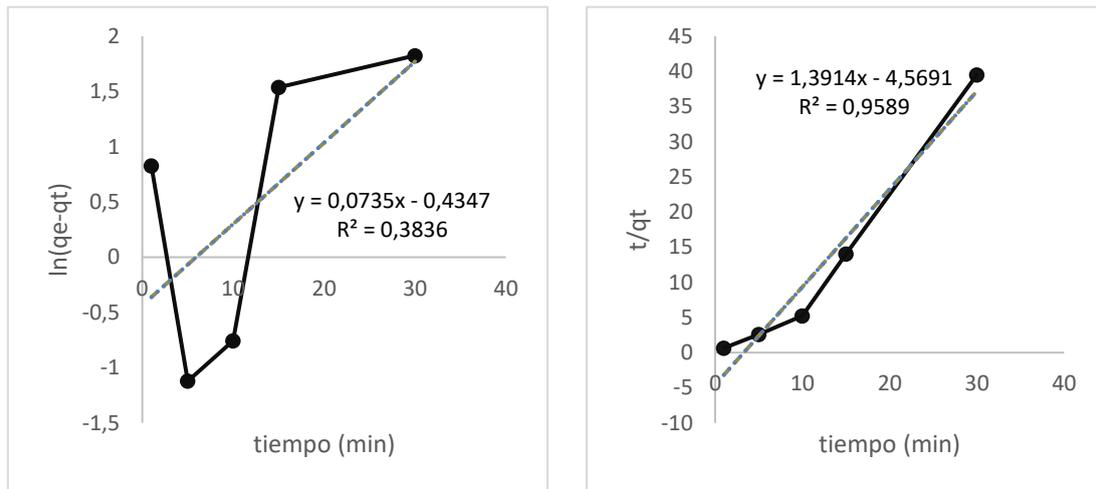


Gráfico 13-3. a) Cinética de adsorción de (rGO y NC)₃; pH9 a 40°C. b) Modelo de pseudo primer orden. c) Modelo de pseudo segundo orden.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Para analizar el modelo de pseudo primer orden la (figura a.), tenemos que, K_1 es igual a $0,0735 \text{ min}^{-1}$, q_e teórico tiene un valor de $1,5444 \text{ mg/g}$, el cual aplaza en un alto grado el valor de q_t experimental de $1,9349 \text{ mg/g}$, y el coeficiente de determinación R^2 es $0,3836$, al ser este valor lejano a 1, nos indica que estos no tienen correlación y por ende la cinética de adsorción no se ajusta al modelo de pseudo primer orden.

Por otro lado, en la figura c. podemos tener valores que corresponde al modelo de pseudo segundo orden, k_2 que corresponde al valor de $0,4237 \text{ min}^{-1}$ y q_e teórico $0,7187 \text{ mg/g}$, el cual es similar al valor que se obtuvo experimentalmente, el valor del coeficiente de determinación R^2 es de $0,9589$ al ser este valor próximo a uno nos indica que este modelo de cinética de adsorción corresponde a el modelo de pseudo segundo orden.

- **60°C**

Para el incremento progresivo de adsorción de arsénico (q_t) de acuerdo avanza el tiempo de contacto, teniendo una mayor capacidad de adsorción de $1,6902 \text{ mg/g}$ a los 1 minutos

Tabla 15-3. Resultado de tiempo en contacto usado en Experimento 3 pH9 y T60°C

Tiempo min	Concentración en t mg/L	$q_t \text{ mg/g}$	$\ln(q_e - q_t)$	t/q_t
1	3,239041	1,69023975	0,43748124	0,59163205
5	5,716812	1,070797	1,53600986	4,66941913
10	7,129931	0,71751725	1,85823576	13,9369472
15	7,701255	0,57468625	1,96382988	26,1011987
30	8,645574	0,3386065	2,11709462	88,5984173

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

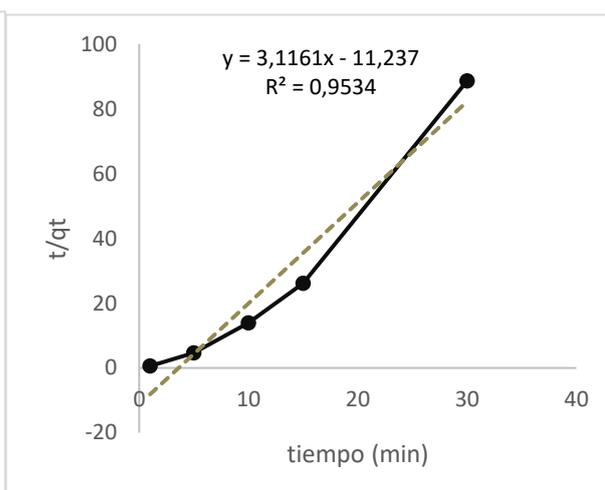
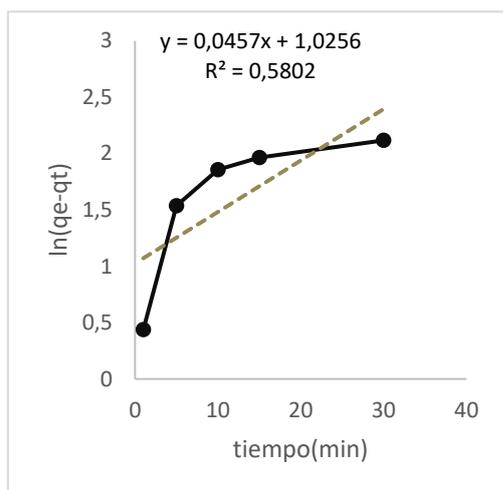
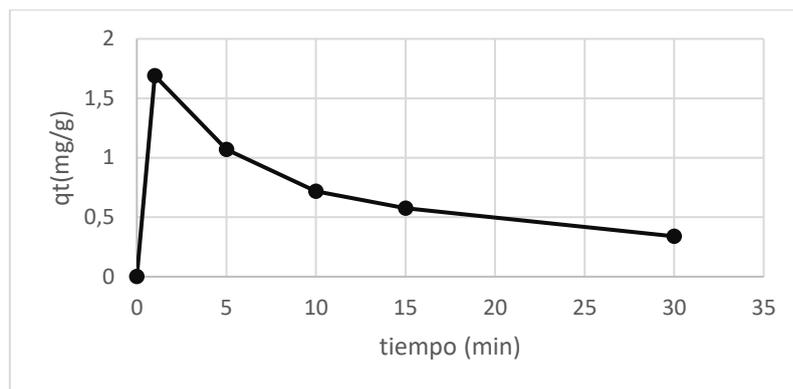


Gráfico 14-3. a) Cinética de adsorción de (rGO y NC) i ; pH9 a 60°C. b) Modelo de pseudo primer orden. c) Modelo de pseudo segundo orden.

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Para analizar el modelo de pseudo primer orden la (figura a.), tenemos que, K_1 es igual a 0,0457 min^{-1} , q_e teórico tiene un valor de 2,7887 mg/g, el cual aplaza en un alto grado el valor de q_t experimental de 1,6902 mg/g, y el coeficiente de determinación R^2 es 0,5802, al ser este valor lejano a 1, nos indica que estos no tienen correlación y por ende la cinética de adsorción no se ajusta al modelo de pseudo primer orden.

Por otro lado, en la figura c. podemos tener valores que corresponde al modelo de pseudo segundo orden, k_2 que corresponde al valor de 0,8642 min^{-1} y q_e teórico 0,3209 mg/g, el cual es similar al valor que se obtuvo experimentalmente, el valor del coeficiente de determinación R^2 es de 0,9534 al ser este valor próximo a uno nos indica que este modelo de cinética de adsorción corresponde a el modelo de pseudo segundo orden.

3.5. Validación de experimentos

Se realizó una validación de los experimentos realizados con el fin de corroborar los resultados obtenidos en los tres diferentes experimentos, esta validación se realizó con una relación 1:1 de

(rGO y NC) _f y solución madre de Arsénico, de igual manera se hizo una validación con rGO y NC, con una relación 1:1, de rGO y NC más solución madre de Arsénico, respectivamente.

Para la validación de (rGO y NC) _f, se usó 20 mg en 20 ml de solución madre de Arsénico y básicamente se usó la misma metodología aplicada en los experimentos para poder realizar las lecturas de adsorción, con el detalle que el volumen de la alícuota principal para la lectura fue de 3 ml. Cabe recalcar que la concentración de la solución madre de arsénico es de 10 ppm o 10000 ppb, se expresa en ppb ya que el espectrómetro de adsorción atómica arroja los valores con la unidad de ppb.

Tabla 16-3. Concentraciones finales. Experimento de validación.

Validación de experimentos pH 1,32			
#muestra	Conc, Corregida inicial (ppb)	Concentración calculada final (ppm)	Concentración madre As (ppm)
As 25°C-MM	5521,332	5,521332	10
As 25°C-5	4690,763	4,690763	
As 25°C-15	8066,913	8,066913	
As 25°C-30	5297,032	5,297032	
As 25°C-60	6712,442	6,712442	
As 25°C-80	8672,475	8,672475	
As 25°C-120	9661,819	9,661819	

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

De acuerdo a los resultados expresados en la tabla podemos analizar que el comportamiento adsorptivo es favorable en el tiempo de contacto de 15, 30 y 60 minutos y a partir de ese tiempo de contacto existe desorción del metal pesado.

La validación de rGO se realizó con una relación 1:1; 100ml de solución madre de Arsénico y 100mg de rGO, y se tomó de alícuota principal para cada lectura 5 ml y se procedió a realizar la misma metodología de diluciones, la concentración de la solución madre de arsénico es de 10 ppm o 1000 ppb.

Tabla 17-3. Concentraciones finales. Validación de rGO

Validación de experimentos pH 1,32			
#muestra	Conc, Corregida inicial (ppb)	Concentración calculada final (ppm)	Concentración madre As (ppm)
rGO 25°C-MM	8326,45	8,32645	10
rGO 25°C-5	1398,137	1,398137	
rGO 25°C-15	1287,657	1,287657	
rGO 25°C-30	1633,975	1,633975	
rGO 25°C-60	1566,789	1,566789	
rGO 25°C-80	2083,026	2,083026	
rGO 25°C-120	9264,787	9,264787	

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Se puede deducir que con el rGO existe actividad adsorptiva ya que partiendo de la primera concentración se vuelve constante hasta los 60 minutos, en adelante tiene una subida en la concentración y esta indica que existe desorción en estos tiempos de contacto que son de 80 y 120 minutos. Entonces se entiende que existe adsorción, en una solución de arsénico más rGO hasta el tiempo de 60 minutos. Cabe recalcar que la cantidad que adsorbe es muy mínima.

De la misma forma se realizó la validación de NC, La con una relación 1:1; 100ml de solución madre de Arsénico y 100mg de NC, y se tomó de alícuota principal para cada lectura 5 ml y se procedió a realizar la misma metodología de diluciones, la concentración de la solución madre de arsénico es de 10 ppm o 1000 ppb.

Tabla 18-3. Concentraciones finales. Validación de NC

Validación de experimentos pH 1,32			
#muestra	Conc, Corregida inicial (ppb)	Concentración calculada final (ppm)	Concentración madre As (ppm)
NC 25°C-MM	9878,979	9,878979	10
NC 25°C-5	1630,006	1,630006	
NC 25°C-15	14701,317	1,4701317	
NC 25°C-30	9985,563	9,985563	
NC 25°C-60	1085,995	1,085995	
NC 25°C-80	15603,227	1,5603227	
NC 25°C-120	1006,812	1,006812	

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

Para el caso de la validación de la NC, deducimos que existe adsorción en los tiempos de 5 a 15 minutos, se observa que a los 30 minutos tenemos una desorción de arsénico y vuelve a adsorber a partir de los 60 minutos de tiempo de contacto con el adsorbente.

3.6. Porcentaje adsorbido

Tabla 19-3. Porcentajes de arsénico adsorbidos

Experimento 1 pH5				
Factores				
Concentración madre As (ppm)	Temperatura °C	Tiempo de contacto min	Promedio concentración calculada final (ppm)	Porcentaje de As adsorbido %
10	25	1	2,451008	75,48992
		5	3,0715655	69,284345
		10	2,8754165	71,245835
		15	3,1728525	68,271475
		30	4,4074795	55,925205
	40	1	4,8280915	51,719085
		5	5,4079935	45,920065
		10	5,7118115	42,881885
		15	3,5304335	64,695665
		30	3,8494315	61,505685
	60	1	4,1009555	58,990445
		5	2,2385265	77,614735
		10	3,2947785	67,052215
		15	4,0264075	59,735925
		30	8,8167865	FALSO

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

En la tabla 19-3, se observa los porcentajes de arsénico adsorbidos a pH5, donde se puede deducir que los porcentajes más altos de adsorción son en la temperatura de 25°C a 1 minuto de tiempo de contacto con el adsorbente y a temperatura de 60°C a 5 minutos de tiempo de contacto con el adsorbente, siendo así los porcentajes de 75,48992% y 77,614735% respectivamente.

Tabla 20-3. Porcentajes de arsénico adsorbidos

Experimento 2 pH7				
Factores				
Concentración madre As (ppm)	Temperatura °C	Tiempo de contacto min	Promedio concentración calculada final (ppm)	Porcentaje de As adsorbido %
10	25	1	3,7111815	62,888185
		5	2,7095895	72,904105
		10	2,9221655	70,778345
		15	2,9197065	70,802935
		30	3,73444	62,6556
	40	1	3,5667415	64,332585
		5	4,5069585	54,930415
		10	2,5534685	74,465315

		15	2,4318855	75,681145
		30	3,952152	60,47848
	60	1	4,5702755	54,297245
		5	2,6103855	73,896145
		10	2,6293335	73,706665
		15	3,285417	67,14583
30	3,015074	69,84926		

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

En la tabla 20-3 , se observa los porcentajes de arsénico adsorbidos a pH 7, donde se puede deducir que los porcentajes más altos de adsorción son en la temperatura de 40°C a 15 minutos y 10 minutos de tiempo de contacto con el adsorbente, siendo así los porcentajes de 75,681145% y 74,465315% respectivamente.

Tabla 21-3. Porcentajes de arsénico adsorbidos

Experimento 3 pH9				
Factores				
Concentración madre As (ppm)	Temperatura °C	Tiempo de contacto min	Promedio concentración calculada final (ppm)	Porcentaje de As adsorbido %
10	25	1	3,2296835	67,703165
		5	3,243257	67,56743
		10	2,953649	70,46351
		15	2,486137	75,13863
		30	3,2404415	67,595585
	40	1	3,8299155	61,700845
		5	2,2605495	77,394505
		10	2,3752815	76,247185
		15	5,726823	42,73177
		30	6,9626015	30,373985
	60	1	3,2390305	67,609695
		5	5,7168065	42,831935
		10	7,1299255	28,700745
		15	7,701243	22,98757
		30	8,6455685	13,544315

Realizado por: Salazar. Evelyn, 2022.

En la tabla 21-3, se observa los porcentajes de arsénico adsorbidos a pH 9, donde se puede deducir que los porcentajes más altos de adsorción son en la temperatura de 40°C a 5 y 10 minutos de tiempo de contacto con el adsorbente, siendo así los porcentajes de 77,394505% y 76,247185% respectivamente.

Finalmente, se puede concluir que al funcionalizar (rGO y NC) _f se obtiene un aceptable porcentaje de adsorción cuando se estudia la cinética, teniendo como resultados óptimos para cada experimento los siguientes porcentajes: para el experimento 1 pH5 a la temperatura de 25°C tenemos que a 1 minuto de tiempo de contacto con el 75,48992% de arsénico adsorbido, y a la

temperatura de 60°C en un tiempo de contacto de 5 minutos con el 77,614735%; para el experimento 2 pH7 a la temperatura de 40°C tiene un porcentaje de arsénico adsorbido de 75,681145% en un tiempo de contacto de 15 minutos, y a los 10 minutos de tiempo de contacto con el adsorbente tiene un porcentaje de arsénico adsorbido de 74,465315% por último para el experimento 3 pH9 tiene resultados de porcentaje favorables bajo la temperatura de 40°C en dos tiempos de contacto diferentes de 5 y 10 minutos, siendo los porcentajes de 77,394505% y 76,247185%, respectivamente. Los porcentajes expuestos para cada experimento se acogen al modelo de cinética de adsorción de pseudo segundo orden.

CONCLUSIONES

Mediante este trabajo de investigación, se evaluó la actividad adsorptiva del rGO y la NC. Al usar 125 mg de óxido de grafeno reducido y 125 mg de nanocelulosa y llevarlas a un proceso de funcionalización, dando como resultado que estos nanomateriales funcionalizados son aptos como adsorbentes, sin embargo, el rGO presenta mejores propiedades adsorptivas de Arsénico en comparación con la Nanocelulosa que no cumple con buenas propiedades adsorptivas.

Se caracterizó el (NC y rGO) _f mediante pruebas de microscopia óptica y SEM, con el fin de analizar su estructura morfológica, en las cuales se llega a deducir que este nanomaterial al ser observado mediante un microscopio óptico con un lente objetivo de 100X, es muy difícil de observar de una manera detallada y simple ya que son nanopartículas, y el microscopio óptico observa micropartículas, sin embargo se realizó la prueba de caracterización óptica dando como resultado una pequeña mancha negra amorfa, al realizar una prueba de caracterización SEM, podemos observar su estructura morfológica adecuadamente ya que este tipo de microscopia es apta para nanopartículas, estas tienen una forma de láminas con unos filamentos notorios, el color negro es característico del óxido de grafeno reducido ya que es un derivado del grafeno y este a su vez del carbono. Se realizaron pruebas de caracterización en FTIR, teniendo 2 picos característicos que sobresalen los cuales son de 3347.82 cm⁻¹ perteneciendo este a grupos OH, el cual indica que el enlace C-OH aún está presente pero en una proporción baja, otro pico que sobresale es de 1025.94 cm⁻¹ este está directamente asociado con la nanocelulosa ya que esta también tiene un pico significativo que es de 1022.09 cm⁻¹ y pertenecen al grupo funcional del éter glucosídico, sin embargo se puede deducir que existe estructuras aromáticas C=C dentro de este rango, las cuales son pertenecientes al óxido de grafeno reducido.

Se evaluó la actividad adsorptiva mediante el espectrómetro de adsorción atómica, y para la modificación de parámetros de temperatura agitación y volumen, se realizó tiempo de contacto entre la muestra funcionalizada y una solución madre con una concentración de 10 ppm. Dando resultados positivos, ya que existe un comportamiento de actividad adsorptiva, a pesar de tener resultados irregulares, sin embargo, para realizar una validación de estos resultados se realizó 3 experimentos más con el detalle que fueron realizadas con (rGO y NC) _f, rGO y NC, respectivamente, evidenciando que cada material tiene capacidad adsorptiva en tiempos de contacto específicos.

Se estudió la cinética de adsorción, obteniendo valores teóricos (q_e), experimentales (q_t) y R² este valor acercándose a 1 deducimos que de esta manera son modelos de pseudo segundo orden. Para el estudio y análisis del porcentaje de adsorción de arsénico se realizó el cálculo correspondiente, por la razón que en esta investigación se obtuvo actividad adsorptiva por parte de los nanomateriales utilizados como adsorbentes.

RECOMENDACIONES

Para poder tener otro tipo de resultados, se puede realizar nuevas nanocelulosas pero realizadas con diferentes experimentos, ya que en esta investigación se trabajó a la nanocelulosa con el experimento 5, quedando por estudiar 4 experimentos más, tal como en bibliografía se expone, siempre teniendo controladas las temperaturas a las cuales se va a secar las muestras en cada paso del proceso, ya que la metodología trabaja con temperaturas exactas para cada experimento.

Utilizar diferentes pesos de cada nanomaterial para su funcionalización para posteriormente estudiar la actividad adsorptiva que así puedan

Se puede considerar a esta tesis como una tesis madre o inicial, con el fin de que a partir de esta, se puedan realizar diferentes experimentos con distintos pesos de muestra del nanomaterial funcionalizado para la muestra madre, así como también se vería necesario variar todos los parámetros como: temperatura, concentración, tiempo, volumen y si es el caso pH, para posteriormente funcionalizarlo, realizar todos los experimentos necesarios y corroborar si existe o no en estas actividad adsorptiva.

Una vez obtenidos los procesos de reacción y son de pseudo segundo orden, se recomienda ampliar la información mediante la elaboración del modelo de isothermas de adsorción de Langmuir y Freundlich, para analizar y estudiar a que modelo se ajusta la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

ALARCÓN, M., LEAL, L., MARTÍN, I., MIRANDA, S. & BENAVIDES, A., *Arsénico en Agua: presencia, cuantificación analítica y mitigación* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9786078272143. Disponible en: [https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1056/1/Libro2013-Arsenico en el Agua con ISBN.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1056/1/Libro2013-Arsenico%20en%20el%20Agua%20con%20ISBN.pdf).

ALEJANDRA, M. & ZALDUMBIDE, N., *Facultad de ciencias exactas y naturales escuela de ciencias biológicas* Nanocelulosa de tagua como agente para captación y recuperación de metales pesados y preciosos en cuerpos de agua Disertación previa a la obtención del título de Licenciada en Ciencia. ,

ARIAS, F.A., GUEVARA, M., TENE, T., et. al. The adsorption of methylene blue on eco-friendly reduced graphene oxide. *Nanomaterials*, vol. 10, no. 4, pp. 1-16. ISSN 20794991. DOI 10.3390/nano10040681.

COLOM, X., CAÑAVATE, J., LIS, M.J. & GIL, G.S.I., Análisis estructural de Óxidos de Grafeno (GO) y Óxidos de Grafeno reducidos (rGO). *Afinidad* [en línea], vol. 77, no. December, pp. 167-174. ISSN 2339-9686. Disponible en: <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/377162>.

DRUZIAN, J.I., *Extraction and characterization of cellulose.* Extraction and characterization of cellulose , vol. 49, no. 2, pp. 127-133.

ESPINOSA, E., Lignonanofibras de celulosa (LNFC) a partir de residuos agro-industriales no madereros . Obtención, caracterización y aplicaciones. , pp. 191.

FAUZIYAH, B., YUWONO, M. & ISNAENI, *Annals of the Romanian Society for Cell Biology* Bagasse Nanocellulose (Saccharum Officinarum L.): Process Optimization and Characterization. [en línea], vol. 25, no. 2, pp. 989-1001. Disponible en: <https://annalsofrscb.ro/index.php/journal/article/view/1049>.

FERNANDO, C., GUERRERO, C. & ARROYO, D., La nanocelulosa : propiedades y aplicaciones. , pp. 56-60.

GALLEGOS, W., VEGA, M. & NORIEGA, P., Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación. *La Granja*, vol. 15, no. 1, pp. 19. ISSN 1390-3799.

GONZÁLEZ PIMENTEL, J.L., *Revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide* El Fracking: ¿Energía o Salud? [en línea], vol. 15, pp. 63-65. Disponible en: https://www.upo.es/moleq1a/export/sites/moleq1a/documentos/Numero15/Numero_15_final.pdf.

GRAPHENANO, *El grafeno: Propiedades y aplicaciones. Nanotechnologies*, vol. 8, no. 38, pp. 6. ISSN 1949-2553 (Electronic).

HOKKANEN, S., BHATNAGAR, A. & SILLANPÄÄ, M., *Water Research*, A review on modification methods to cellulose-based adsorbents to improve adsorption capacity. vol. 91, pp. 156-173. ISSN 18792448. DOI 10.1016/j.watres.2016.01.008.

IPOHORSKI, M. & BOZZANO, P.B., Microscopía electrónica de barrido en la caracterización de materiales. *Ciencia e Investigación*, vol. 63, no. 3, pp. 43-53.

LI, W.G., GONG, X.J., WANG, K., ZHANG, X.R. & FAN, W.B., *Bioresource Technology*, Adsorption characteristics of arsenic from micro-polluted water by an innovative coal-based mesoporous activated carbon. vol. 165, no. C, pp. 166-173. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2014.02.069.

LIMA CARDONA, G., *Arsénico*. Arsénico. 1967. S.l.: s.n. 1967

MINISTERIO DE AMBIENTE, del ECUADOR., *Registro Oficial No. 387*, [Revisión y Actualización de la Norma de Calidad Ambiental y de Decarga de Efluentes: Recurso Agua. en línea], no. 97, pp. 1-40. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>.

NORDBERG, G., LANGARD, S., SUNDERMAN, F.W, et. al. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, Metales: propiedades químicas y toxicidad. pp. 1-76.

PACHECO PÁEZ, H.Y. & RINCÓN CASTRO, L.A., *Ingeniería Ambiental y Sanitaria* Uso del óxido de grafeno como adsorbente en la remoción de cromo en una matriz acuosa con características de agua residual producto de la actividad de curtido. [en línea], vol. 1, no. 1, pp. 1-46. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/>.

PHANTHONG, P., REUBROYCHAROEN, P., HAO, X. & XU, G., Nanocellulose : Extraction and application. *Carbon Resources Conversion* [en línea], vol. 1, no. 1, pp. 32-43. ISSN 2588-9133. DOI 10.1016/j.crcon.2018.05.004. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2018.05.004>.

PIRES, W., NETO, F., ALVES, H., OLIVEIRA, N. & PASQUINI, D., *Industrial Crops & Products* Extraction and characterization of cellulose nanocrystals from agro-industrial residue – Soy hulls. [en línea], vol. 42, pp. 480-488. ISSN 0926-6690. DOI 10.1016/j.indcrop.2012.06.041. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.041>.

PRADHAN, S.S., KONWAR, K., GHOSH, T.N., MONDAL, B., SARKAR, S.K. & DEB, P., *Colloids and Interface Science Communications*, Multifunctional Iron oxide embedded reduced graphene oxide as a versatile adsorbent candidate for effectual arsenic and dye removal. vol. 39, pp. 0-6. ISSN 22150382. DOI 10.1016/j.colcom.2020.100319.

SANAGUANO, S., *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo*. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, 2021.

SUMAN, KARDAM, A., GERA, M. & JAIN, V.K., *Environmental Technology (United Kingdom)*, A novel reusable nanocomposite for complete removal of dyes, heavy metals and microbial load from water based on nanocellulose and silver nano-embedded pebbles. vol. 36, no. 6, pp. 706-714. ISSN 1479487X. DOI 10.1080/09593330.2014.959066.

TAHA, M., HASSAN, M.L., DEWIDARE, M., KAMEL, M.A., ALI, W.Y. & DUFRESNE, A., *Egyptian Journal of Chemistry*, Evaluation of eco-friendly cellulose and lignocellulose nanofibers from rice straw using multiple quality index. vol. 64, no. 8, pp. 4707-4717. ISSN 23570245. DOI 10.21608/ejchem.2021.77618.3800.

TELLO MORENO L., “ El acceso al Agua Potable : un Derecho Humano ”. *Biblioteca Jurídica Virtual del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM* [en línea], pp. 101-123. Disponible en: <https://www.juridicas.unam.mx>.

TOVAR MARTÍNEZ, E., Síntesis y Caracterización de Óxido de Grafeno reducido y dopado con N mediante un Proceso Solvotérmico. ,

TSHIKOVHI, A., MISHRA, S.B. & MISHRA, A.K., *International Journal of Biological Macromolecules*, Nanocellulose-based composites for the removal of contaminants from wastewater. vol. 152, pp. 616-632. ISSN 18790003. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2020.02.221.

VARGAS ASTUDILLO, D.R., Síntesis de óxido de grafeno reducido y aminado químicamente y su influencia en las propiedades eléctricas y mecánicas de nanocompuestos a base de caucho natural. [en línea], pp. 72. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>.

VÁZQUEZ, T. & MONTOYA, H., *Conciencia Tecnológica*, Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. no. 25. ISSN 1405-5597.

ZENG, H., WANG, L., ZHANG, D., WANG, F., SHARMA, V.K. & WANG, C., *Journal of Colloid and Interface Science*, Amido-functionalized carboxymethyl chitosan/montmorillonite composite for highly efficient and cost-effective mercury removal from aqueous solution. vol. 554, pp. 479-487. ISSN 10957103. DOI 10.1016/j.jcis.2019.07.029.

ZHUANG, Y.T., JIANG, R., WU, D.F., YU, Y.L. & WANG, J.H. *Journal of Colloid and Interface Science*, Selenocarrageenan-inspired hybrid graphene hydrogel as recyclable adsorbent for efficient scavenging of dyes and Hg 2+ in water environment. vol. 540, pp. 572-578. ISSN 10957103. DOI 10.1016/j.jcis.2019.01.060.



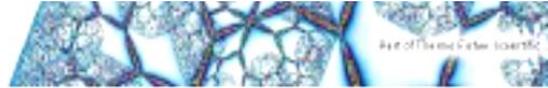
DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION



Ing. Jonathan Parreño Ugullas MBA
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

ANEXOS

ANEXO A: REPORTE DE ADSORCIÓN DE (rGO + NC)f (1)



Nombre Operador: Lab. Investigación
01:54:37

Fecha Informe: 16/2/2022

Fichero Result.: C:\SOLAARM\DATA\ARSENICO\EVELYN.SLR

Parámetros Generales

Método: MÉTODO ARSÉNICO

Operador: Lab. Investigación

Modo Instrum.: Vapor

Automuestr.: Ningun

Dilución: Ninguna

Usar SFI: No

Registro trazabilidad método

16/2/2022 01:07:07 Lab. Investigación: DESKTOP-055LSK6

Registro creado

Detalles de muestra modificados:

Secuencia tarea modificada

(Modo Instrum.: Llama) cambiado a (Vapor)

(Elemento:) cambiado a (As)

(Long. onda: 0.0) cambiado a (193.7)

(Rendija: 1.0mm) cambiado a (0.5mm)

(Corriente lámp.: 0) cambiado a (75)

(Tiempo Medida: 1.0) cambiado a (4.0)

(Corrección Fondo: Apagado) cambiado a (D2)

(Re-muestras: 3) cambiado a (1)

(Re-muestras: Estándar) cambiado a (Rápido)

(Medir Pico Desde: 0.00 1.00) cambiado a (0.00 4.00)

(Flujo Combust.: 1.0) cambiado a (0.9)

(T° Horno: 0) cambiado a (900)

(Kit Vapor: VP90) cambiado a (VP100)

(Velocidad bomba: 400) cambiado a (40)

(Tiempo Lavar: 1.0) cambiado a (4.0)

(Modo Calibrac.: Apagado) cambiado a (Normal)

(Ajuste Lineal: Curva Segmentada) cambiado a (Lineal)

Nombre Operador: Lab. Investigación
01:54:37

Fecha Informe: 16/2/2022

Fichero Result.: C:\SOLAARM\DATA\ARSENICO\EVELYN.SLR

Registro de trazabilidad Analisis

16/2/2022 01:07:07 Lab. Investigación: DESKTOP-055LSK6

Registro creado

16/2/2022 01:54:09 Lab. Investigación: DESKTOP-055LSK6

Error MD147 - Actividad abortada manualmente por el usuario.

Resumen Resultados Test OQ

Advertencia: Resultados OQ no disponibles.

Parámetros Espectróm. - As

Elemento: As	Medida: Absorbancia	Corriente lámp.: 75%
Long. onda: 193.7nm	Rendija: .5um	Optimizar Parámetros
Corrección Fondo: D2	Alta Resolución: Apagado	Espectróm.: No
Tipo Señal: Continuo	Re-muestras: Rápido	Nº de Re-muestras: 1
Tiempo Medida: 4.0sg	Modo Rechazo Datos: No	

Usar Test RSD: No

Parámetros Vapor - As

Modo Vapor: Calentamiento Líama Flujo Combustible Acetileno: 0.9L/min Kit Vapor: VP100

Compartimento Muestra: Mano izq

Velocidad Flujo Gas Soporte: 200mL/min Velocidad bomba: 40

Parámetros muestreo - As

Muestreo: Ninguna

Parámetros Calibrac. - As

Modo Calibrac.: Normal	Ajuste Lineal: Linear	Usar Calibr. Almacenada: No
Unidades Concentrac: µg/L	Unidades Escala: µg/L	Factor Escala: 1.0000
Ajuste Aceptable: 0.990	Re-escalar Limite: 10.0%	Acción Fallida : Señalizar y continuar

Estandar Maestro:

50.0000

Estandar1

8.0000

Estandar3

32.0000

Estandar2

16.0000

Estandar4

40.0000

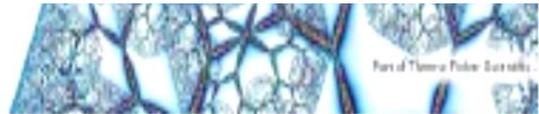
Registro de trazabilidad Elemento - As

No cambios registr. Para este elemento

Result. Disolucion - As

ID Muestra	Señal Abs	Rsd %	Conc. µg/L	Conc. Corregida µg/L
As Blanco	-0.000		0.0000	
As Estándar 1	0.082		8.0000	
As 15MINUTOS	0.231		33.9221 U	1696.107 U
As 30MINUTOS	0.249		36.8203 U	1841.014 U
As 60MINUTOS	0.264		39.2182 CU	1960.909 CU

ANEXO B: REPORTE DE ADSORCIÓN DE (rGO + NC)f (2)



Nombre Operador: Lab. Investigación
05:08:12

Fecha Informe: 08/3/2022

Fichero Result: C:\SOLAARM\DATA\ARSENICO\EVELYN.SLR

Parámetros Generales

Método: METODO ARSENICO

Operador: Lab. Investigación

Modo

Instrum.: Vapor

Dilución: Ninguna

Automuestr.: Ningun

Usar SFI: No

Registro trazabilidad metodo

24/8/2021 10:36:26 Lab. Investigación: DESKTOP-
0SSLSK6 Registro creado

10/11/2021 12:24:16 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6
(As Ajuste Lineal: Curva Segmentada) cambiado a

(Linear) 08/3/2022 03:37:26 Lab.

Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Secuencia tarea modificada

(As Flujo Combust.: 1.0) cambiado a

(0.8) (As Número de estándar: 5)

cambiado a (4) (As Estándar1 5.0000)

cambiado a (8.0000)

(As Estándar2 10.0000) cambiado a (16.0000)

(As Estándar3 20.0000) cambiado a

(32.0000) (As Ajuste Aceptable: 0.995)

cambiado a (0.990)

Detalles Análisis:

Nombre Análisis: Análisis 1 08/3/2022

Espectróm.: ICE 3000 AA05170304 v1.30

Nombre Operador: Lab. Investigación

Resultados Test OQ Actual: No disponible

Resultados Test PQ Actual: No disponible

Elemento(s)

As

Información lámp.

n° de Serie

n/a

mA Horas

n/a

Horas lámp. Deuterio:

125.42

Detalles Muestra

SOLAAR AA Report

Fecha Informe: 08/3/2022 05:08:12

Nombre Operador: Lab. Investigación

Fichero Result.: C:\SOLAAR\MIDATA\ARSENICO\NIVEL\YN.SLR

N°	ID Muestra	Masa	Relac. Dilucion
		Nominal: 1.0000 Masa Muestra	
1	PH5-25-1	1.0000	10.0000
2	PH5-25-5	1.0000	250.0000
3	PH5-25-1	1.0000	250.0000
4	PH5-25-10	1.0000	250.0000
5	PH5-25-15	1.0000	125.0000
6	PH5-25-30	1.0000	125.0000
7	PH5-40-1	1.0000	125.0000
8	PH5-40-5	1.0000	250.0000
9	PH5-40-10	1.0000	250.0000
10	PH-40-15	1.0000	250.0000
11	PH5-40-30	1.0000	250.0000
12	PH5-60-1	1.0000	250.0000
13	PH5-60-5	1.0000	250.0000
14	PH5-60-10	1.0000	250.0000
15	PH5-60-15	1.0000	250.0000
16	PH5-60-30	1.0000	250.0000
17	PH7-25-1	1.0000	250.0000
18	PH7-25-5	1.0000	250.0000
19	PH7-25-10	1.0000	250.0000
20	PH7-25-15	1.0000	250.0000
21	PH7-25-30	1.0000	250.0000
22	PH7-40-1	1.0000	250.0000
23	PH7-40-5	1.0000	250.0000

Detalles Muestra

N°	ID Muestra	Masa	Relac. Dilucion
		Nominal: 1.0000 Masa Muestra	
24	PH7-40-10	1.0000	250.0000
25	PH7-40-15	1.0000	250.0000
26	PH7-40-30	1.0000	250.0000
27	PH7-60-1	1.0000	250.0000
28	PH-7-60-5	1.0000	250.0000
29	PH7-60-10	1.0000	250.0000
30	PH7-60-15	1.0000	250.0000
31	PH7-60-30	1.0000	250.0000
32	PH9-25-1	1.0000	250.0000
33	PH9-25-5	1.0000	250.0000
34	PH9-25-10	1.0000	250.0000
35	PH9-25-15	1.0000	250.0000
36	PH9-25-30	1.0000	250.0000
37	PH9-40-1	1.0000	250.0000
38	PH9-40-5	1.0000	250.0000
39	PH9-40-10	1.0000	250.0000
40	PH9-T40-15	1.0000	250.0000
41	PH-9-40-30	1.0000	250.0000
42	PH9-60-1	1.0000	250.0000
43	PH9-60-5	1.0000	250.0000
44	PH9-60-10	1.0000	250.0000
45	PH9-60-15	1.0000	250.0000
46	PH9-60-30	1.0000	250.0000
47	PH9-60-30	1.0000	250.0000

SOLAAR AA Report

Fecha Informe:08/3/2022 05:08:12

Nombre Operador	Lab. Investigación		
PH9-60-30		1.0000	250.0000
PH9-60-30	ARM/DATA/ARSENICO/EVELYN.SLR	1.0000	250.0000
49	PH9-60-30	1.0000	1.0000
50	ESTANDAR	1.0000	1.0000
51	ID Muestra 51	1.0000	1.0000
52	ID Muestra 52	1.0000	1.0000
53	ID Muestra 53	1.0000	1.0000
54	ID Muestra 54	1.0000	1.0000
55	ID Muestra 55	1.0000	1.0000
56	ID Muestra 56	1.0000	1.0000
57	ID Muestra 57	1.0000	1.0000
58	ID Muestra 58	1.0000	1.0000
59	ID Muestra 59	1.0000	1.0000
60	ID Muestra 60	1.0000	1.0000

Registro de trazabilidad Analisis:

08/3/2022 03:37:26 Lab. Investigación:DESKTOP-05SLSK6Registro creado

08/3/2022 05:07:30 Lab. Investigación:DESKTOP-05SLSK6

Error MD147 - Actividad abortada manualmente por el usuario.

Resumen Resultados Test OQ

Advertencia: Resultados OQ no disponibles.

Parámetros Espectróm. - A:

Elemento: As

Modo

Long. onda: 193.7nm

Medida: Absorbancia

Corrección Fondo: D2

Redija: 0.5nm

Alta Resolución: Apagado

Corriente Lámp.: 75%

Optimizar Parámetros

Espectróm.: No

Tipo Señal: Continuo

Re-muestras: Rapido

Nº de Re-muestras: 1

Tiempo Medida: 4.0sg

Modo Rechazo Datos: No

Usar Test RSD: No

SOLAAR AA Report

Fecha Informe:06/3/2022 05:08:12

Nombre Operador:Lab. Investigaci3n

Parámetros Vapor - As

Archivo Result.: C:\SOLAAR\MIDATA\ARSINICO\ENV\EN_SLR

Modo Vapor: Calentamiento Líquido

Flujo Combustible Acetileno: 0.8L/min

Kit Vapor: VP100

Compartimento Muestra: Mano izquierda

Velocidad Flujo Gas Soporte: 200mL/min Velocidad bomba: 40

Parámetros muestreo - As

Muestras:Ninguna

Parámetros Calibrac. - As

Modo Calibrac.:Normal

Ajuste Línea:Lineal

Usar Calibr. Almacenada:No

Unidades Concentrac.:µg/L

Unidades Escala:µg/L

Factor Escala:1.0000

Ajuste Aceptable:0.990

Re-escalar Límite: 10.0%

Acción Fallida : Señalizar y continuar

Estándar Maestro: 50.0000

Estándar1

8.0000

Estándar3

32.0000

Estándar2

16.0000

Estándar4

40.0000

Registro de trazabilidad Elemento - As

No cambios registr. para este elemento

Result. Disolución - As

ID Muestra	Señal Abs	Rec %	Conc. µg/L	Conc. Corregida µg/L
As Blanco	0.001		0.0000	
As Estándar 1	0.027		8.0000	
As Estándar 2	0.049		16.0000	
As Estándar 3	0.102		32.0000	
As Estándar 4	0.120		40.0000	
As PHS-25-1	0.039		12.1796	121.7961
As PHS-25-5	0.039		12.2863	3071.571
As PHS-25-1	0.032		9.8041	2451.014
As PHS-25-10	0.037		11.5017	2875.422
As PHS-25-15	0.079		25.3829	3172.858
As PHS-25-30	0.108		35.2599	4407.485
As PHS-40-1	0.118		38.6248	4828.097
As PHS-40-5	0.067		21.6320	5407.999
As PHS-40-10	0.071		22.8473	5711.817
As PH-40-15	0.045		14.1218	3530.439
As PHS-40-30	0.048		15.3978	3840.442
As PHS-60-1	0.051		16.4038	4100.961
As PHS-60-5	0.029		8.9541	2238.532
As PHS-60-10	0.042		13.1791	3294.764
As PHS-60-15	0.051		16.1056	4026.409
As PHS-60-30	0.108		35.2672	8816.792
As PHT-25-1	0.047		14.8447	3711.187
As PHT-25-5	0.035		10.8384	2709.595
As PHT-25-10	0.037		11.6887	2922.171
As PHT-25-15	0.037		11.6789	2919.713
As PHT-25-30	0.047		14.9378	3734.446
As PHT-40-1	0.045		14.2670	3566.747
As PHT-40-5	0.056		18.0275	4506.865
As PHT-40-10	0.033		10.2139	2553.470
As PHT-40-15	0.031		9.7276	2431.891
As PHT-40-30	0.050		15.8086	3952.158
As PHT-60-1	0.057		18.2811	4570.281
As PH-7-60-5	0.034		10.4416	2610.391
As PHT-60-10	0.034		10.5174	2629.344
As PHT-60-15	0.042		13.1417	3285.423
As PHT-60-30	0.058		12.0603	3015.079

SOLAAR AA Report

Fecha Informe: 06/03/2022 05:08:12

Nombre Operador: Lab. Investigada

Fichero Result.: C:\SOLAAR\MIDATA\ARSENICO\NIVELYN.SLR

Result. Disolución - As

ID Muestra	Señal	Red	Conc.	Conc. Corregida
	Abn	%	µg/L	µg/L
As PED-25-1	0.041		12.9188	3229.689
As PED-25-5	0.041		12.9731	3243.263
As PED-25-10	0.038		11.8146	2953.650
As PED-25-15	0.032		9.9446	2486.143
As PED-25-30	0.041		12.9618	3240.447
As PED-40-1	0.048		15.3197	3829.921
As PED-40-5	0.029		9.0422	2260.551
As PED-40-10	0.031		9.5011	2375.287
As PED-T40-15	0.071		22.9073	5726.829
As PED-9-40-30	0.086		27.8204	6962.603
As PED-60-1	0.041		12.9562	3239.041
As PED-60-5	0.071		22.8672	5716.812
As PED-60-10	0.088		28.5197	7129.931
As PED-60-15	0.095		30.8050	7701.255
As PED-60-30	0.106		34.5823	8645.574
As ESTANDAR	0.086		27.9676	27.9676

FECHA DE
PRESENTACIÓN

17/06 /2021



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 28 / 10 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTORA (S)
Nombres – Apellidos: EVELYN ANDREA SALAZAR LOPEZ
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION



Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc

ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

1898-DBRA-UTP-2022