

**ANÁLISIS DE LA DIFUSIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE ELABORADO CON
HIDROXIAPATITA OBTENIDA DE PECES DE TILAPIA**

AUTORES:

**PAULA ANDREA LOZADA RODRIGUEZ
NATALIA VARGAS RAMOS**

**CORPORACION UNIVERSITARIA DEL HUILA – CORHUILA
FACULTAD DE INGENIERIA - AMBIENTAL
NEIVA – HUILA
2024**

**ANÁLISIS DE LA DIFUSIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE ELABORADO CON
HIDROXIAPATITA OBTENIDA DE PECES DE TILAPIA**

**AUTORES:
PAULA ANDREA LOZADA RODRIGUEZ
NATALIA VARGAS RAMOS**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERA AMBIENTAL**

**DIRECTOR DE TESIS
HANS THIELIN CASTRO SALAZAR
QUÍMICO, *Ph, D***

**CORPORACION UNIVERSITARIA DEL HUILA – CORHUILA
FACULTAD DE INGENIERIA - AMBIENTAL
NEIVA – HUILA
2024**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director de proyecto

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

A mi madre Martha Rodríguez y mi padre Ramiro Lozada, por su amor incondicional, dedicación y una de las cosas más importantes; todo el sacrificio en mi educación. Gracias a todo lo que han hecho, estoy culminando una etapa importante en mi vida que con toda la felicidad del mundo me complace decir que principalmente es dedicada a ustedes.

A mi hermana Laura Lozada, por su constante motivación y apoyo durante estos años. Su compañía y ejemplo me han enseñado que alcanzar los objetivos requiere esfuerzo y perseverancia.

A todos aquellos que hicieron posible la elaboración de este proyecto, su gestión y apoyo han sido fundamentales en cada paso de este camino.

- Paula Lozada.

A Dios, por darme la fuerza y sabiduría para salir adelante con mis propósitos y guiarme en cada paso del camino.

A mi madre, Amparo Ramos, por darme el regalo más importante: la vida, por ser mi mayor apoyo incondicional y por guiarme con su amor, sabiduría y perseverancia en cada paso de mi vida.

A mi hermano, Cristian Vargas, por ayudarme y apoyarme durante este largo camino.

A mi querido hermanito Geovanny Vargas, cuya presencia permanece en mi corazón y cuya luz me guía y me acompaña en cada paso de mi vida.

A todas las personas que han aportado experiencias importantes a mi vida.

- Natalia Vargas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos, en primer lugar, a Dios, quien con su infinita bondad y sabiduría nos ha permitido alcanzar nuestras metas, brindándonos fuerza, sabiduría y dirección en cada paso de nuestro camino.

A nuestros padres, quienes han sido nuestra mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional. Gracias por su amor, sacrificio, y por guiarnos siempre por el buen camino.

A nuestros hermanos, por su constante motivación durante estos años, quienes con sus consejos y apoyo nos guiaron durante esta trayectoria.

De igual manera, queremos expresar nuestra mayor gratitud al doctor Hans Castro, nuestro director de tesis, quien no solo compartió su vasto conocimiento, sino que también nos brindó su tiempo, paciencia y orientación a lo largo de todo el proceso. Su guía fue fundamental para lograr los resultados obtenidos en este proyecto, y siempre estaremos agradecidas por sus valiosas enseñanzas.

Agradecemos también a la Universidad Industrial de Santander – UIS, especialmente al doctor Carlos Ríos por el apoyo y brindarnos las herramientas necesarias para el avance de nuestra investigación.

A la Corporación Universitaria del Huila -CORHUILA y a nuestros maestros, quienes con paciencia y entrega compartieron sus valiosos conocimientos durante nuestros años de estudio.

Finalmente, a todos los que, de una u otra manera, contribuyeron a este logro importante para nuestras vidas.

- Los Autores.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	13
RESUMEN	15
ABSTRACT	17
1. INTRODUCCIÓN.....	19
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
3. JUSTIFICACIÓN.....	24
4. ESTADO DE ARTE.....	25
5. MARCO TEÓRICO	27
5.1. Aspectos generales de los fertilizantes y su problemática ambiental.	27
5.2. Nutrientes necesarios para las plantas.	29
5.3. Ion Amonio.	30
5.4. Fertilizantes de liberación controlada o lenta.	32
5.5. Matrices encapsulantes para la liberación lenta de fertilizantes.	34
5.6. Generalidades de las algas pardas y el alginato de sodio.....	35
5.7. Tilapia roja (<i>Oreochromis spp</i>) y sus escamas.....	37
5.8. Difusión de nutrientes.	40
6. MARCO AMBIENTAL.....	42
7. OBJETIVOS.....	45
7.1. Objetivo general.	45
7.2. Objetivos específicos.....	45
8. METODOLOGÍA.....	46
8.1. Tipo de estudio.	46
8.2. Área de estudio.....	46
8.3 Obtención de la Hidroxiapatita por el método térmico alcalino.	47
8.4 Obtención del alginato de sodio (AS).	48
8.5. Caracterización.....	49
8.5.1 Caracterización por SEM.....	50
8.5.2. Caracterización por FTIR.	50
8.6. Preparación de microcápsulas.	51
8.6.1. Preparación de las disoluciones de NH_4Cl	51

8.6.2. Preparación de las microcápsulas con diferentes valores de NH_4Cl .	52
8.6.3. Mediciones de conductividad de cada microcápsula en dos medios acuosos: ácido acético glacial y agua desionizada.	54
8.7. Análisis de la difusión de liberación del NH_4Cl de cada microcápsula.	56
9. RESULTADOS.	58
9.1. Extracción de la hidroxiapatita por el método térmico alcalino.	58
9.2 Obtención del alginato de sodio.	60
9.3 Caracterización por medio de SEM y FTIR.	62
9.4. Análisis de la difusión de las microcápsulas en dos medios: acuoso y ácido.	65
9.4.1 Análisis de difusión de NH_4Cl para MICRO-25 para diferentes cantidades de NH_4Cl .	67
9.4.2. Análisis de difusión de NH_4Cl para MICRO-25 para 100 mg de NH_4Cl en los dos medios.	68
9.4.3. Análisis de difusión de NH_4Cl para MICRO-20 para 100 mg de NH_4Cl en los dos medios.	70
9.4.4. Análisis de difusión de NH_4Cl para MICRO-15 para 100 mg de NH_4Cl en los dos medios.	72
9.5 Análisis de la velocidad de Fick para la difusión de NH_4Cl para MICRO-15, 20 y 25 en los dos medios: acuoso y ácido.	76
10. DISCUSIÓN.	79
11. CONCLUSIONES.	81
12. RECOMENDACIONES.	83
13. DIVULGACIÓN	84
14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
15. ANEXOS	102

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Interpretación de los valores del exponente cinético para la Ley de Potencia según el mecanismo de Transporte.	41
Tabla 2. Marco Ambiental que relaciona la normatividad que rige la protección del medio ambiente y promueve la agricultura ecológica.	42
Tabla 3. Microcápsulas preparadas con diferentes concentraciones de NH_4Cl con una relación de HA y AS 3:1.....	53
Tabla 4. Microcápsulas con diferentes proporciones de HA y AS y la misma cantidad de cloruro de amonio.....	54
Tabla 5. Prueba de difusión para cada uno de los tratamientos de 25%, 20% y 15% para los dos medios acuosos.	55
Tabla 6. Prueba de difusión para las microcápsulas de 25% con diferentes concentraciones de cloruro de amonio.	56
Tabla 7. Cantidades en mg de NH_4Cl para cada microcápsula preparada.	66
Tabla 8. Parámetros de relación de la difusión del NH_4Cl en el medio acuoso y ácido.	77

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Representación de los procesos de pérdida de los fertilizantes en el suelo.....	29
Figura 2. Macronutrientes. Rodríguez y Flórez (2004).	30
Figura 3. Microelementos. Rodríguez y Flórez (2004).	30
Figura 4. Ciclo del Nitrógeno. Castro, H. (2021). Tomado del libro Química Ambiental Básica.	31
Figura 5. En suelos de baja fertilidad, los fertilizantes aumentarán la profundidad a la cual las raíces crecen. IFA (2002).	32
Figura 6. Liberación de nutrientes con la tecnología de liberación controlada. Adaptado de (García, 2017).	34
Figura 7. Contaminación por Sargassum en las playas de San Andrés Islas.	36
Figura 8. Estructura química del alginato. Tomado de la tesis de Aguilar I. (2014).	37
Figura 9. Composición química de las escamas. Adaptado de: Castro H. et al. (2016).	39
Figura 10. Diseño metodológico para la obtención de la microcápsula a partir de los biomateriales.	46
Figura 11. Esquema de la extracción de la hidroxiapatita	48
Figura 12. Obtención del alginato de sodio a partir del método de Hernández Carmona et al (2012).	49
Figura 13. Equipo de Microscopia de Barrido Electrónico (SEM) de la UIS.	50
Figura 14. Espectrofotómetro De Infrarrojo Con Transformada De Fourier (FTIR) de la UIS. .	50
Figura 15. Esquema metodológico para la obtención de la microcápsula.	51
Figura 16. Procedimiento para la curva de calibración del cloruro de amonio. Fuente. software Chemix.	52
Figura 17. Proceso para la preparación de las microcápsulas con cloruro de amonio. Fuente: software Chemix.	53
Figura 18. Lavado y secado de escamas (A), Lavado con el ácido clorhídrico (B), Secado en la incubadora (C), Lavado con agua desionizada (D), Filtración de las escamas después del proceso de desproteinización. (E), obtención del polvo (HA), (F).	59
Figura 19. Tratamiento con formaldehído (A), Pre-extracción (B), Extracción alcalina (C), Filtración (D), Precipitación del alginato en etanol (E) y Alginato extraído del alga Sargassum spp.	61

Figura 20. Espectro de la hidroxiapatita (HA) obtenido del equipo FTIR del laboratorio de la Universidad Industrial de Santander UIS.	63
Figura 21. Espectro FTIR del biopolímero alginato de sodio (AS) obtenido del equipo FTIR del laboratorio de la Universidad Industrial de Santander UIS.	64
Figura 22. Microscopia electrónica de barrido de la hidroxiapatita obtenido del equipo del laboratorio de la Universidad Industrial de Santander UIS.	65
Figura 23. Variación de la difusión de NH_4Cl para diferentes valores iniciales de NH_4Cl a través del tiempo para MICRO-25.	67
Figura 24. Concentraciones de cloruro de amonio vs el tiempo en los dos medios empleados: Acuoso y ácido.....	69
Figura 25. A). Concentraciones de NH_4Cl vs pH y SD en agua desionizada B). Concentraciones de NH_4Cl vs pH y SD en CH_3COOH	70
Figura 26. Concentraciones de cloruro de amonio vs el tiempo en los dos medios empleados: Acuoso y ácido.....	71
Figura 27. A). Concentraciones de NH_4Cl vs pH y SD en agua desionizada B). Concentraciones de NH_4Cl vs pH y SD en CH_3COOH	72
Figura 28. Concentraciones de cloruro de amonio vs el tiempo en los dos medios empleados: Acuoso y ácido.....	73
Figura 29. A). Concentraciones de NH_4Cl vs pH y SD en agua desionizada B). Concentraciones de NH_4Cl vs pH y SD en CH_3COOH	74
Figura 30. Variación de M_t/M_∞ con $\ln t$ para diferentes porcentajes de HA/AS de (25-20 y 15%) en A) medio acuoso y B) medio ácido.....	77
Figura 31. Representación de los fenómenos de adsorción y absorción y el ideal de como lo absorbe la planta.	78
Figura 32. Participación como ponentes en el 1er congreso de Bioeconomía (A), Ponencia REDColsi 2023(B), Certificados de participación en la ponencia de REDColsi (C-D), Certificados de participación del 1er Congreso de Bioeconomía (E, F y G) y Certificado de participación en el V congreso de Electroquímica (G)	103
Figura 33. Ponencia en Universidad de Cartagena de Indias (A), Certificados de la ponencia del proyecto de investigación (A-C).....	104
Figura 34. Curva de calibración.....	105

Figura 35. Peso de HA y AS (A), Agitación de las mezclas de HA y AS con NH_4Cl (B), Microcápsula (C), Se llevó a la incubadora para el secado (D), Microcápsula final (E).....	106
Figura 36. Mediciones de las microcápsulas en los dos medios evaluados.....	107

ÍNDICE DE ANEXOS.

Anexo A. Participación en eventos.....	102
Anexo B. Curva de Calibración.....	105
Anexo C. Preparación de microcápsulas	105
Anexo D. Mediciones de conductividad de las microcápsulas.....	106
Anexo E. Tablas de las tres microcápsulas de 25%, 20% y 15%.....	108
Anexo F. Tablas de la Ley de Fick.....	120
Anexo G. Mediciones de conductividad de los blancos preparados	121

GLOSARIO

Biomaterial: son sustancias naturales o sintéticas que pueden ser empleadas por cierto tiempo en el organismo para tratar o reemplazar algún tejido, órgano o función del cuerpo humano (García, E., 2017, p.18).

Material Biodegradable: El material biodegradable se ha definido generalmente como un material que, con suficiente agua, oxígeno y nutrientes y temperatura adecuados, es capaz de descomponerse en dióxido de carbono y agua por acción de microbios (Wypych, J. 2017).

Absorción: Es un fenómeno físico o químico o un proceso en el que átomos, moléculas o iones entran en la fase líquida o sólida de un material. Este es un proceso diferente de la adsorción, ya que las moléculas que experimentan absorción son absorbidas por el volumen, no por la superficie (como en el caso de la adsorción) (García, *et al.* 2012).

Adsorción: fenómeno superficial que ocurre a nivel molecular, en el cual los átomos, iones o moléculas son atrapados en la superficie de una sustancia sólida (García, *et al.* 2012)

Ambiente: Es cualquier espacio de interacción y sus consecuencias, entre la Sociedad (elementos sociales y culturales) y la Naturaleza (elementos naturales), en un lugar y momento determinados.

Aprovechamiento de los residuos: Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía (Hernández, S. 2016).

Infiltración: La infiltración es el proceso mediante el cual el agua, ya sea de lluvia o de riego, penetra en el suelo a través de su superficie y se mueve hacia sus capas inferiores. Este fenómeno

es crucial para la recarga de acuíferos y para mantener la humedad del suelo, lo que a su vez es vital para el crecimiento de las plantas (Rivera, *et al.* 2018)

Lixiviados: Los líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos sólidos y que contienen sustancias en forma disuelta o en suspensión que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositen residuos sólidos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua (Hernández, S. 2016).

Biopolímeros: Son definidos como: “variedad de macromoléculas, producidas por sistemas biológicos, como animales, plantas o microorganismos”. Los biopolímeros pueden ser sintetizados químicamente, pero como requisito sus unidades poliméricas deben ser derivadas de sistemas biológicos, como: aminoácidos, azúcares, lípidos, entre otros (Vega, O. y Montaña, D., 2020)

Caracterización: La caracterización se refiere a la identificación de un material a partir del estudio de sus propiedades físicas, químicas, estructurales, etc. Existen para ello distintas técnicas de caracterización, de acuerdo con el interés que despierte dicho material. Una vez conocidas las características del material puede establecerse la naturaleza de este, así como sus posibles aplicaciones (Carrasquero, 2004).

Fertilizantes de liberación lenta (SRF): Los fertilizantes de liberación lenta proporcionan un suministro constante de nutrientes para las plantas durante un período de tiempo prolongado. Contienen nutrientes vegetales (principalmente nitrógeno) en una forma que retrasa su disponibilidad inicial (Kaur, *et al.* 2023).

RESUMEN

En la actualidad, la agricultura atraviesa una crisis a nivel mundial, acompañada del aumento de la producción de alimentos debido al constante crecimiento de la población. Colombia, es uno de los países latinoamericanos con mayor importación de fertilizantes químicos, los cuales provienen principalmente de Rusia, Estados Unidos y China. Estos productos son utilizados para mejorar el rendimiento de las plantas y estimular su crecimiento, incluso en condiciones desfavorables. Sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes genera graves consecuencias en el medio ambiente y en la salud del ser humano, debido a los efectos nocivos de estas sustancias y, además, la mayoría de estos productos no son absorbidos por las plantas y gran parte de ellos se pierden por lixiviación, infiltración y volatilización.

En la presente investigación se planteó desde el enfoque de la bioeconomía desarrollar microcápsulas a base de alginato de sodio e hidroxiapatita como materiales de recubrimiento destinados a la encapsulación de un fertilizante para la liberación controlada de este, con el fin de aportar alternativas que ayuden a reducir la contaminación generada por las malas prácticas agrícolas, el consumo de agua potable y los costos de las cosechas, así como aumentar los rendimientos de los cultivos y mejorar la salud de los seres vivos. Estos materiales representan una alternativa sostenible para la encapsulación de fertilizantes ya que son biomateriales no tóxicos, biodegradables y de bajo costo. El uso de estos elementos amigables con el medio ambiente es hoy en día una prioridad en distintos sectores productivos para contribuir a los diferentes problemas ambientales que se presentan en el planeta, como el cambio climático, el agotamiento de los recursos naturales y la necesidad de producir alimentos de manera eficiente y responsable.

Por otro lado, la caracterización de los biomateriales empleados se llevó a cabo mediante técnicas analíticas estándar. La investigación se dividió en cuatro etapas: (1) extracción de

biomateriales hidroxiapatita y alginato de sodio, (2) caracterización mediante análisis microscópico y espectroscópico, (3) preparación de microcápsulas con diferentes porcentajes, y (4) análisis de la difusión de NH_4Cl mediante mediciones de conductividad en dos medios: acuoso y ácido. Finalmente, los resultados obtenidos a partir de la caracterización permitieron identificar propiedades clave de los biomateriales, y el análisis de difusión de NH_4Cl en las microcápsulas dispersas en agua mostró constantes cinéticas iniciales para diferentes concentraciones.

Palabras clave: Hidroxiapatita, cloruro de amonio, alginato de sodio, bioeconomía, fertilizantes, liberación lenta.

ABSTRACT

Agriculture is currently facing a global crisis, compounded by the increasing demand for food production due to the constant growth of the population. Colombia is one of the Latin American countries with the highest importation of chemical fertilizers, mainly from Russia, the United States, and China. These products are used to improve plant yields and stimulate growth, even under unfavorable conditions. However, the excessive use of fertilizers generates severe consequences for the environment and human health due to the harmful effects of these substances. Additionally, most of these products are not absorbed by plants; a significant portion is lost through leaching, infiltration, and volatilization.

This research, from a bioeconomy perspective, aimed to develop microcapsules based on sodium alginate and hydroxyapatite as coating materials for the encapsulation of a fertilizer to achieve its controlled release. The goal is to provide alternatives that help reduce pollution caused by poor agricultural practices, potable water consumption, and crop costs, while increasing crop yields and improving the health of living organisms. These materials represent a sustainable alternative for fertilizer encapsulation as they are non-toxic, biodegradable, and low-cost biomaterials. The use of such environmentally friendly elements has become a priority in various productive sectors to address the environmental issues facing the planet, such as climate change, the depletion of natural resources, and the need to produce food efficiently and responsibly.

Additionally, the characterization of the biomaterials used was carried out through standard analytical techniques. The research was divided into four stages: (1) extraction of hydroxyapatite and sodium alginate biomaterials, (2) characterization through microscopic and spectroscopic analysis, (3) preparation of microcapsules with varying percentages, and (4) analysis of NH_4Cl diffusion by measuring conductivity in two media: aqueous and acidic. Finally, the results obtained

from the characterization allowed for the identification of key properties of the biomaterials. The analysis of NH_4Cl diffusion in the microcapsules dispersed in water revealed initial kinetic constants for different concentrations.

Keywords: *Hydroxyapatite, ammonium chloride, sodium alginate, bioeconomy, fertilizers, slow release.*

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el rendimiento de los cultivos ha aumentado de manera constante y la seguridad alimentaria ha mejorado debido al aumento de los insumos de fertilizantes químicos y la adopción de nuevas tecnologías (Barón *et al*, 2018). Sin embargo, el aumento de los fertilizantes químicos no solo contribuye a la seguridad alimentaria, sino que también provoca una serie de problemas ambientales como la eutrofización de cuerpos de agua, donde los fertilizantes ricos en nitrógeno y fósforo son transportados por las aguas lluvias a los ríos, lagos y lagunas, generando así, efectos negativos en las fuentes hídricas como la proliferación de algas, las cuales impiden el acceso de luz solar e intercambio de oxígeno con la atmosfera, y, en consecuencia, disminuyen el oxígeno disuelto en el agua, afectando otras formas de vida en estos ecosistemas (Michelle, T. 2017).

Por otra parte, investigaciones han demostrado que los cultivos pueden absorber solo entre el 30% y el 50% de los fertilizantes químicos, por lo que una gran parte de los componentes aplicados se pierden en el suelo (Yan Wang, *et al*. 2018), generando contaminación de aguas subterráneas, problemas en la salud humana, deterioro del suelo, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad (González, 2019). Además de envenenar al medio ambiente, los animales y los seres humanos, el uso desmedido de fertilizantes nitrogenados acelera el cambio climático a través de la eventual emisión de óxido nitroso, un potente gas que participa en el efecto invernadero (González, A. y Camacho, M. 2017).

De acuerdo con los datos de comercio exterior DANE-DIAN (2022), en Colombia se importan más de 2 millones de toneladas de fertilizantes en promedio por año, de los cuales los principales productos importados son la Urea, el DAP y KLC. Colombia como importador

está sujeto al vaivén de los precios internacionales y, en los últimos años se ha observado que el costo de los fertilizantes ha ido aumentando, afectando directamente a los agricultores y la canasta familiar.

A raíz de toda esta problemática que ha ocasionado el uso de fertilizantes químicos, Colombia ha buscado alternativas sostenibles para la producción agrícola nacional, una de ellas son los biofertilizantes, los cuales son preparaciones que contienen células vivas provenientes de cepas eficientes de microorganismos que aceleran los procesos microbianos del suelo mejorando la asimilación de los nutrientes en las plantas (Afanador, 2017). También se han formulado coadyuvantes que ralentizan la difusión del nutriente hacia la raíz de la planta. Sin embargo, estos coadyuvantes son principalmente fabricados a partir de derivados del petróleo y no resultan en una solución definitiva para este problema ya que, la aplicación de estos agentes sigue siendo un desafío debido a las amplias variaciones en las condiciones ambientales.

Por lo tanto, con el fin de aportar alternativas para dar soluciones al problema, en este proyecto se emplearon biomateriales como el alginato de sodio y la hidroxiapatita, los cuales son obtenidos a partir del aprovechamiento de subproductos generados por las agroindustrias y que generan un problema ambiental. La hidroxiapatita se obtiene a partir de las escamas de peces de Tilapia roja en el departamento del Huila, ya que estas no son aprovechadas y, además, se le da una inadecuada disposición a este tipo de residuos, lo cual genera problemas ambientales como eutrofización por su alto contenido de carga orgánica que tiene las escamas, proliferación de roedores, mosquitos, entre otros (Castro, H. *et al.* 2016). Por otro lado, el alginato de sodio se extrae de las algas pardas conocidas como *Sargassum spp*, estas también generan graves problemas socioeconómicos y ambientales que van desde la reducción

del turismo e inversiones hasta la disminución de la biodiversidad, la mortalidad de los organismos marinos y la degradación de los ecosistemas asociados (López, et al. 2023).

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, esta investigación busca aprovechar estos residuos que actualmente representan un problema ambiental, transformándolos en una alternativa que busca contribuir a mejorar la aplicación de fertilizantes en la agricultura teniendo como objetivo mejorar la seguridad alimentaria y una mejor nutrición mediante el fomento de prácticas agrícolas sostenibles. Es por eso, que a partir de la hidroxiapatita y el alginato de sodio se propone desarrollar microcápsulas para encapsular un nutriente, en este caso el cloruro de amonio, de tal forma que estas microcápsulas permitan liberar el nutriente paulatinamente y así evitar que el fertilizante se pierda por diferentes factores como la infiltración y escorrentía y no sea absorbido por las plantas. De igual manera, es importante resaltar, que los materiales empleados son amigables con el medio ambiente y son biodegradables, no tóxicos, de fácil uso y de bajo costo (Lawrencia *et al*, 2021).

Finalmente, cabe resaltar que este proyecto de investigación se ha presentado en varios eventos, en los cuales ha sobresalido por sus aportes en la bioeconomía y en la búsqueda de alternativas para una agricultura sostenible. En los eventos que se ha participado se encuentra el “V Congreso colombiano de Electroquímica” realizado en la ciudad de Florencia-Caquetá; el “XIX Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación”, llevado a cabo en la ciudad de Neiva, en el “1er Congreso Internacional de Bioeconomía”, en la ciudad de Ibagué y en el “XXVI Encuentro Nacional y XX Encuentro Internacional de Semilleros de Investigación ENISI 2023” en la ciudad de Cartagena de Indias, Bolívar (Ver **Anexo A**).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los subproductos de las agroindustrias como lo es las escamas de Tilapia roja (*Oreochromis spp*) están generando contaminantes por vertimientos de aguas superficiales, directamente a suelos, así mismo, contrarrestando los nutrientes de la tierra para la productividad, generando desertificación, malos olores, elevación de la carga orgánica, contaminación a la atmósfera con gases de dióxido de carbono, alterando algunos parámetros del, agua, suelo y aire. Esta problemática no sólo repercute en los ecosistemas, sino que debido a sus olores tan constantes e irritables ocasiona daños graves a la salud humana; como estrés, mal humor, dolor de cabeza, entre otros. Según Pérez, *et al.* (2017), en la agricultura se utilizan fertilizantes con graves daños al medio ambiente, tratando de aportar a los cultivos en el crecimiento y desarrollo, contrarrestando las plagas de la planta, pero de manera inapropiada, por este motivo lo que se quiere lograr es el aprovechamiento de recursos que aporten significativamente a una agricultura sostenible, implementando subproductos como la escamas de Tilapia y así transformarlos a un mineral conformado por fosfato de calcio, el cual ayuda a mejorar la calidad del suelo.

La demanda de toneladas de comida desde el sector agrícola en la actualidad se ha vuelto una actividad de explotación extensiva e intensiva, incrementando la degradación del suelo, afectando a la recuperación de recursos renovables que no son restaurados de la misma presteza que son explotados, por ello la productividad de los suelos se está reduciendo velozmente.

El suelo se compone de características importantes como los nutrientes, capacidad de absorber y retener el agua, regulación del clima, favoreciendo a la producción alimentaria en el crecimiento sostenible y saludable. Para ser sostenible, la agricultura debe satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras, y al mismo tiempo garantizar la rentabilidad, la salud ambiental, y la equidad social y económica (FAO, 2023).

Las prácticas agrícolas no sostenibles o insostenibles, la inadecuada dosificación y el excesivo uso de los agroquímicos están generando efectos como la reducción de la biodiversidad, aumento negativo de la contaminación a los acuíferos, contaminación al aire, degradación del suelo, algunos fertilizantes que contienen amoníaco contribuyendo a las lluvias ácidas y a las aguas subterráneas, eutrofización y desequilibrio biológicos.

Según Gonzáles, P. (2019), El nitrógeno es uno de los nutrientes primarios, siendo la principal limitante para la productividad agrícola, ya que el N es un constituyente de enzimas, proteínas, ADN y clorofila. Los principales impactos de la aplicación excesiva del nitrógeno son la eutrofización, acidificación y toxicidad. Los contaminantes que genera el uso incontrolado de los fertilizantes hacia la productividad agrícola no sólo perjudica en el medio ambiente, también a los seres vivos que estamos expuestos a cualquier enfermedad por la exposición de las sustancias químicas o en forma de alimento, unas de estas enfermedades es la Metahemoglobinemia, siendo hereditaria, según Raúl Martínez (2018), especialista en medio ambiente y salud, considera como un trastorno sanguíneo por el cual se produce una cantidad anormal de metahemoglobina, una forma de hemoglobina que tiene una enorme afinidad por el oxígeno y que no lo cede en los tejidos. De acuerdo con lo descrito anteriormente, surge la siguiente pregunta ¿De qué manera pueden los subproductos de la industria piscícola, al ser utilizados como un biofertilizante que incorpora cloruro de amonio encapsulado, contribuir a la sostenibilidad agrícola cuando se evalúan mediante el método de difusión lenta en una mezcla de alginato de sodio e hidroxiapatita?

3. JUSTIFICACIÓN

En Colombia, los fertilizantes desempeñan un papel fundamental en el crecimiento y la producción de cultivos en el sector agrícola. Si no se utilizan fertilizantes, el rendimiento de los cultivos disminuirían gradualmente debido a la falta y empobrecimiento progresivo de los nutrientes esenciales que requieren todas las plantas para poder desarrollarse.

Según *Kunak* (2024), el uso excesivo de fertilizantes químicos ha demostrado tener efectos negativos tanto en el medio ambiente como en la salud humana, por lo tanto, existe una creciente necesidad de encontrar alternativas más sostenibles para el uso de agroquímicos que puedan mejorar el rendimiento de los cultivos sin causar impactos negativos. En la actualidad, se han analizado diferentes métodos y estrategias que buscan cambiar las actividades agrícolas con el fin de encontrar mejores alternativas que ayuden a la producción de los cultivos y mejoran su calidad.

Es de gran importancia aprovechar los residuos, como las escamas de Tilapia roja y algas pardas, para la creación de fertilizantes encapsulados con liberación lenta y controlada. Esta práctica brinda un nuevo propósito a los subproductos que de otro modo se descartarían, evitando así problemas ambientales. Los sistemas de liberación lenta y controlada de fertilizantes desempeñan un papel fundamental en la mitigación de la escasez de fuentes minerales de fertilizantes y en la garantía de la seguridad alimentaria a nivel nacional. Esta tecnología permite que los nutrientes se liberen gradualmente, en sintonía con las necesidades nutricionales de las plantas, a lo largo de un período de tiempo prolongado (García, 2017).

4. ESTADO DE ARTE.

En este proyecto se abarcaron diferentes temas relacionados con métodos de elaboración de biofertilizantes con diferentes procedimientos y materiales. A través de un análisis exhaustivo de la literatura existente, se identificaron las principales tendencias, aportaciones y, especialmente, las lagunas en la investigación actual. Por esta razón, este estado del arte no solo proporciona un marco teórico sólido, sino que también justifica la necesidad de explorar áreas poco desarrolladas, estableciendo así la relevancia y el propósito de la investigación que se propone.

Según Barón *et al.* (2018), se diseñó un hidrogel como medio de encapsulamiento para fertilizantes, con el objetivo de aportar la cantidad adecuada sin sobrecargar el suelo. Para ello, se utilizaron polímeros y polisacáridos insolubles en agua que recubrieron los gránulos de fertilizante, lo que permitió reducir su tasa de liberación y prolongar su vida útil.

Se llevaron a cabo pruebas para evaluar la morfología y la presencia de las capas, así como análisis de termogravimetría, concentración del fertilizante e hinchamiento del hidrogel. Los resultados mostraron que el recubrimiento era efectivo para retardar la liberación del fertilizante y ofrecer protección. Sin embargo, cada tipo de hidrogel presentó ventajas específicas en distintas condiciones ambientales.

Paredes (2014), señala que los fertilizantes inorgánicos convencionales se caracterizan por una alta solubilidad, lo que beneficia a las plantas, pero también los hace susceptibles a la lixiviación, principalmente del nitrógeno, reduciendo la eficiencia del suelo hasta un 70%. Por lo tanto, si los resultados no son los esperados, se suele cambiar el fertilizante por otros, sin importar el potencial impacto contaminante en las aguas subterráneas.

De igual manera, Briceño (2021), en su la investigación sobre Liberación sostenida de agroquímicos a partir de matrices biopoliméricas busca reducir la contaminación en la agricultura utilizando y desarrollando un hidrogel a base de alginato de sodio y alginato de sodio/quitosano que controle la liberación de estos fertilizantes que se apropian de cultivos, también se idea acrecentar los rendimientos y mejorar la salud en los seres vivos.

Ballester *et al.* (s.f.), investigaron sobre fertilizantes de acción lenta encapsulados para su uso en invernaderos y campos abiertos, utilizando métodos de horticultura ornamental y comestible. El estudio se enfocó en mejorar la liberación lenta de los fertilizantes para que las plantas puedan absorberlos a su propio ritmo. Por otra parte, la metodología abordó la solubilidad y la capa delgada de estos fertilizantes encapsulados, evaluando diversos métodos de encapsulación como cálcico, polímeros y compuestos poliméricos. Estos encapsulantes deben ser solubles y presentar una buena efectividad a bajas concentraciones. Un factor que afecta la liberación de nutrientes es la composición química del gránulo recubierto, ya que las sales y el nitrato de amonio absorben el vapor de agua rápidamente, lo que perjudica la tasa de liberación de los elementos en el suelo.

Esta tesis se enfocó en el desarrollo de sistemas de liberación lenta de fertilizantes utilizando ceras de polímeros naturales y surfactantes derivados de sacáridos. Se evaluaron diferentes métodos de encapsulamiento, siendo los más importantes el método de emulsión-evaporación y la agitación mecánica de alta velocidad. Los análisis mostraron que se puede modificar la cristalinidad de la matriz encapsulante y ajustar los patrones de liberación de los fertilizantes. Este estudio sienta las bases para el desarrollo de nuevos sistemas biomiméticos para aplicaciones agrícolas (García, 2017).

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Aspectos generales de los fertilizantes y su problemática ambiental.

Un fertilizante es un compuesto químico, natural o sintético, utilizado para enriquecer el suelo con nutrientes esenciales que favorecen el crecimiento vegetal. Los fertilizantes son suministrados en forma directa o indirecta, incorporándose al suelo o aplicado a los vegetales, para que puedan ser asimilados, ayudando a estimular el crecimiento y desarrollo vegetal, aumentando la productividad de los cultivos o mejorando la calidad de la producción. Al proporcionar los nutrientes necesarios en las cantidades adecuadas, los fertilizantes contribuyen al desarrollo saludable de las plantas y al incremento de la productividad agrícola (Arévalo, G., Castellano, M. 2009). La característica más importante que debe tener un fertilizante es su solubilidad en agua, la cual es esencial porque al entrar en contacto con el agua de riego, el fertilizante se disuelve y los nutrientes quedan disponibles para ser absorbidos por la planta (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2013).

La agricultura moderna se ha beneficiado enormemente del uso de los fertilizantes químicos para incrementar su producción y poder abastecer la alta demanda alimenticia que exige la población (Barón *et al*, 2018). Además, en los últimos años la aplicación de estos químicos en la agricultura ha sido una técnica que ha generado ganancias económicas y satisfactorias, pero que a su vez han ocasionado efectos negativos en el medio ambiente y en la salud de los seres humanos, ya que en la búsqueda de “frutos perfectos”, el hombre demanda frutos que tengan calidad en términos de frescura y apariencia, pero que dichos frutos traen inmersos los químicos, por lo que estamos perjudicando nuestra salud al consumir alimentos contaminados (Huerta, A., Jarquín, R., 2017, pp. 32-33).

Por otro lado, el exceso de nutrientes en el suelo, producido por la aplicación de los fertilizantes en los sistemas agrícolas puede tener dos destinos, ya sea por medio de lixiviación o volatilización, los cuales ocasionan problemas de contaminación (**Ver Figura 1**). En el primero, los nutrientes escapan hacia los cuerpos de agua subterráneas por infiltración o por escorrentía, desencadenando una serie de problemas ambientales, como la eutrofización que se produce en masas de agua como ríos, lagos o embalses que terminan en la proliferación de algas, que impiden el acceso de luz solar e intercambio de oxígeno con la atmósfera, y, en consecuencia, disminuyen el oxígeno disuelto en agua, afectando otras formas de vida en estos ecosistemas (Michelle, T. 2017). En el segundo, los fertilizantes nitrogenados como la urea se escapan a la atmósfera por medio de la volatilización del amoníaco (N-NH_3) afectando así la eficiencia de uso del nitrógeno (Barbieri *et al.* 2018).

Además de lo anterior, el uso desmedido de fertilizantes nitrogenados acelera el cambio climático a través de la eventual emisión de óxido nitroso, un potente gas que participa en el efecto invernadero (González, A. y Camacho, M. 2017).

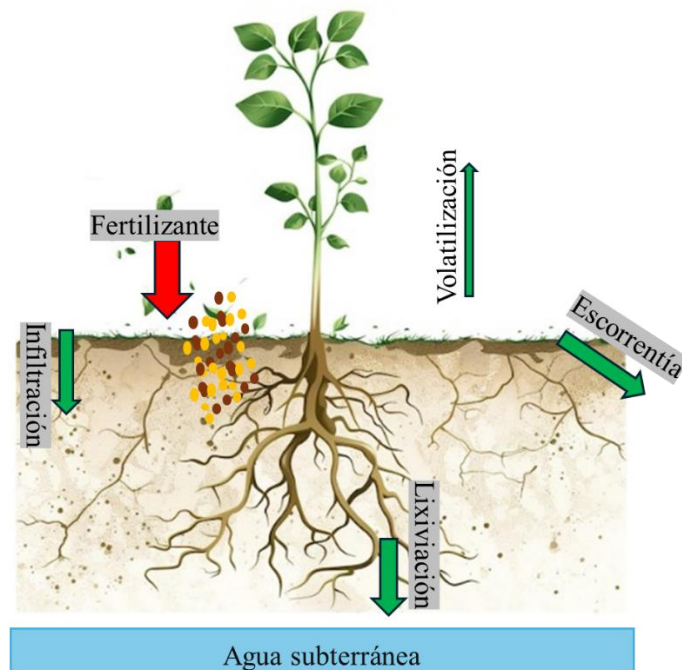


Figura 1. Representación de los procesos de pérdida de los fertilizantes en el suelo.

5.2. Nutrientes necesarios para las plantas.

Las plantas necesitan de aproximadamente 16 elementos que son esenciales para su desarrollo incluyendo el carbono (C), el hidrógeno (H) y Oxígeno (O). El C, H y O, son elementos que se obtienen del aire a través de la fotosíntesis. Los demás elementos se obtienen del suelo y según la cantidad absorbida por las plantas se clasifican en macronutrientes y micronutrientes (Castro, 2021)

Macronutrientes: estos son importantes porque se requieren en grandes cantidades y debe ser aplicadas al suelo en gran cantidad si el suelo carece de alguno de ellos (Castro, 2021). Se dividen en macronutrientes primarios y secundarios como se muestra en la **Figura 2**.

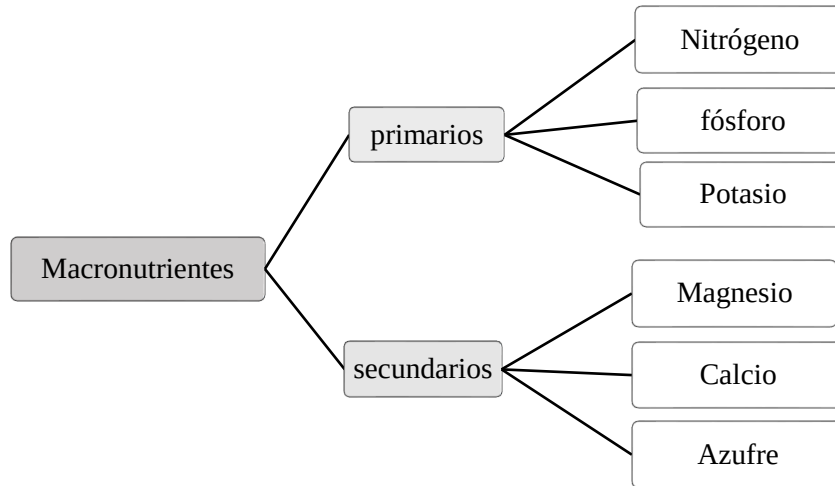


Figura 2. Macronutrientes. Rodríguez y Flórez (2004).

Micronutrientes: Son absorbidos por las plantas en pequeñas cantidades ya que en exceso pueden limitar su crecimiento en el suelo y se le conocen como elementos menores (**Figura 3**); al igual que los macronutrientes, estos también son importantes para la nutrición de las plantas, ya que si no son suministrados puede afectar el crecimiento y su desarrollo (Castro, 2021).

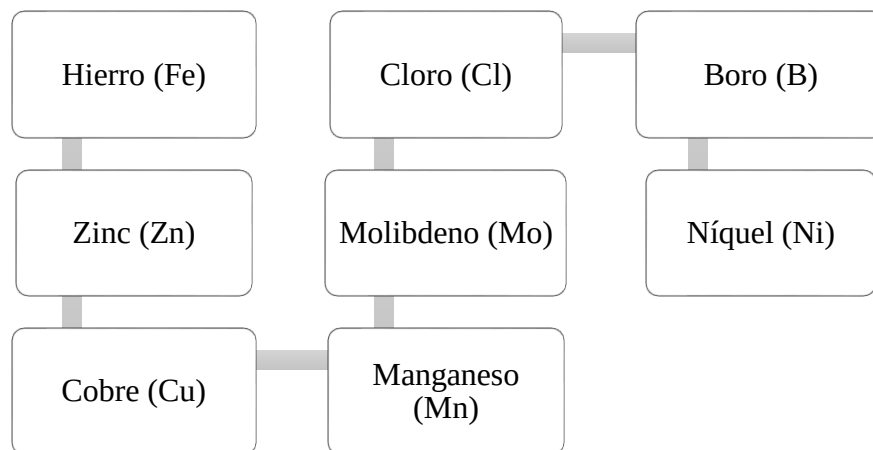


Figura 3. Microelementos. Rodríguez y Flórez (2004).

5.3. Ion Amonio.

El amonio es un compuesto inorgánico que se encuentra constituido principalmente por nitrógeno e hidrogeno, cuya formula química es NH_4^+ . Este compuesto es un derivado muy

importante del nitrógeno, que se emplea como fertilizante nitrogenado, los cuales son aplicados al suelo como abono y a través de este se obtiene otro componente del ciclo como el amoníaco (Guillén, 2009, pp. 11-12). Los iones amonio pueden ser aportados en el medio por el cloruro de amonio, el nitrato de amonio, el fosfato y el sulfato amónico. (Liboa, *et al*, s.f.). A continuación, se muestra la importancia del ciclo del N en la **Figura 4**.

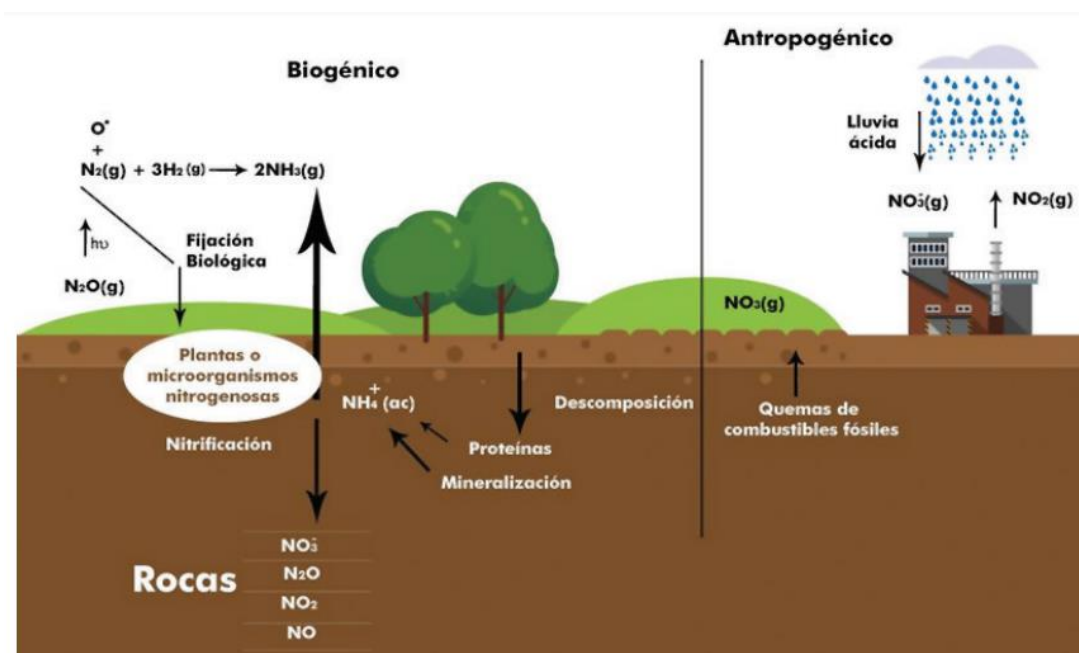


Figura 4. Ciclo del Nitrógeno. Castro, H. (2021). Tomado del libro *Química Ambiental Básica*.

Para las plantas el nitrógeno es uno de los macronutrientes esenciales en la productividad de los cultivos, la fertilidad de los suelos y el crecimiento vegetal. El suelo dispone naturalmente de él en forma orgánica y mineral, pero esto no es suficiente para suplir las necesidades de las plantas, por lo cual se debe suministrar fertilizantes que aporten nitrógeno. Las plantas asimilan el N por medio de las raíces en forma de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) como se puede contemplar en la **Figura 5**, donde nos muestra el efecto que tiene la fertilización en el crecimiento de las raíces (Bloom, A. 2015).

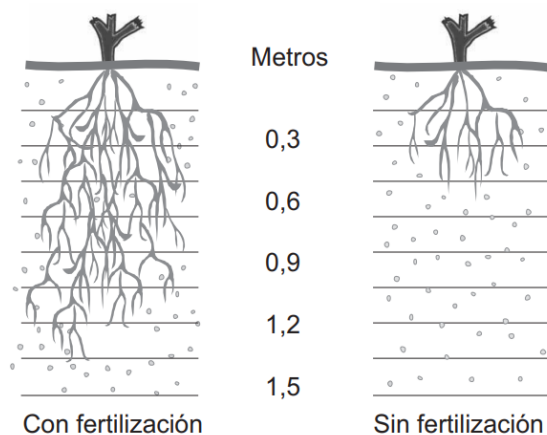


Figura 5. En suelos de baja fertilidad, los fertilizantes aumentarán la profundidad a la cual las raíces crecen. IFA (2002).

5.4. Fertilizantes de liberación controlada o lenta.

Como respuesta a la baja eficiencia del uso de los nutrientes contenido en los fertilizantes por parte de las plantas, se han desarrollado fertilizantes de liberación controlada que se caracterizan porque los nutrientes se liberan de una forma apropiada y gradual para satisfacer la demanda precisa que requieren las plantas para su crecimiento. Esta tecnología ha surgido como una técnica potencial para la agricultura sostenible ya que evita pérdidas de nutrientes, reduce el impacto ambiental y garantiza una fuente continua de estos elementos nutritivos para las plantas (Kaur, *et al.* 2023). La liberación de los nutrientes de este tipo de fertilizantes depende de la humedad del suelo, de la actividad microbiológica y de la temperatura (Ávila, 2017).

Existen principalmente tres enfoques que se han reportado para la liberación controlada de fertilizantes, que incluyen el recubrimiento de fertilizantes con un material hidrofóbico que actúa como una pared de difusión o una barrera que ralentiza la liberación, la carga de los fertilizantes en estructuras porosas y estratificadas para aumentar la tortuosidad del camino de liberación y la encapsulación en una red polimérica tridimensional, es decir, hidrogeles. El primero es el enfoque

más común y reciente, en el cual el fertilizante está recubierto con un material inorgánico u orgánico (Kaur, *et al.* 2023).

Por otro lado, los fertilizantes de liberación lenta presentan las siguientes ventajas (García, 2017):

- a) Reducen la toxicidad (particularmente de las semillas) que es causada por las altas concentraciones de nutrientes.
- b) Debido a la reducción de la toxicidad y al contenido de sales de los sustratos, permiten la aplicación de fertilizante en mayor cantidad en una sola aplicación, reduciendo la frecuencia de aplicación y disminuyendo las horas de trabajo
- c) Reducen la posible pérdida de nutrientes, lo que disminuye sustancialmente el riesgo de contaminación ambiental.
- d) Contribuyen a la reducción de la emisión de gases a la atmósfera (particularmente N_2O).
- e) Aumentan la eficiencia en el uso de fertilizantes.

De acuerdo con Trenkel (1997), citado por García (2017), mencionan que un fertilizante puede ser descrito como de liberación lenta si el nutriente o los nutrientes satisfacen bajo condiciones definidas (incluyendo una temperatura de 25°C), cualquiera de los siguientes criterios:

- No más del 15% de liberación de nutrientes en 24 horas.
- No más del 75% de liberación de nutrientes en 28 días.
- Por lo menos cerca del 75% de liberación de nutrientes en el tiempo de liberación indicado.

Los fertilizantes de liberación lenta están diseñados de tal manera que el nutriente contenido en ellos tarda considerablemente más tiempo en estar disponible para la absorción de la planta después de la aplicación, en comparación con un fertilizante convencional (García, 2017).

En la **Figura 6**, se puede observar el proceso de liberación de un fertilizante, empleando el agua como medio de transporte para que los nutrientes sean tomados por la planta.

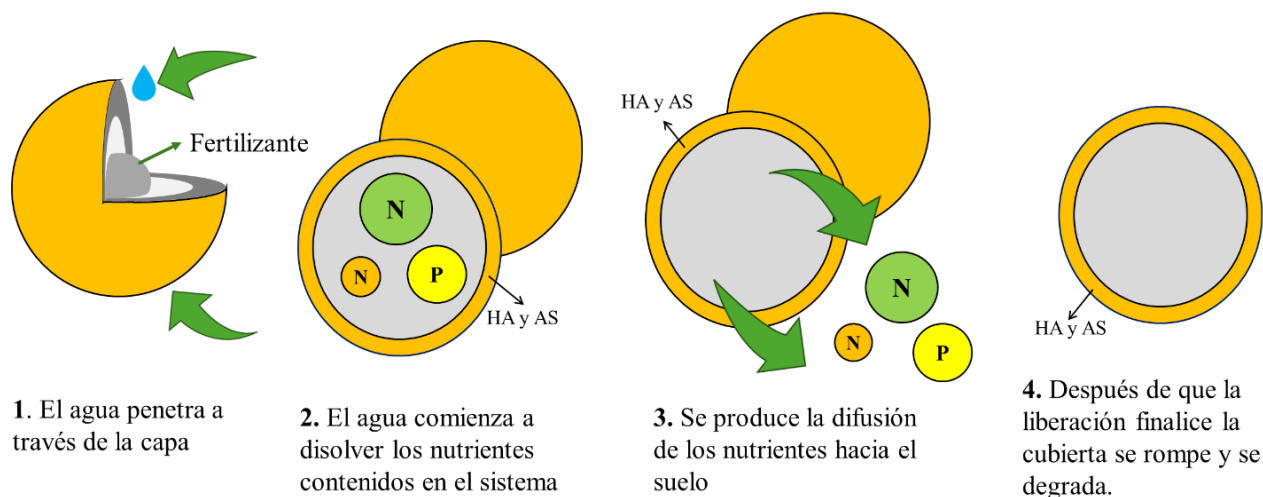


Figura 6. Liberación de nutrientes con la tecnología de liberación controlada. Adaptado de (García, 2017).

5.5. Matrices encapsulantes para la liberación lenta de fertilizantes.

Los fertilizantes encapsulados son una forma innovadora de suministrar nutrientes a los cultivos de manera más eficiente y controlada. Estos fertilizantes están diseñados con capas protectoras que envuelven los gránulos de nutrientes, lo que les otorga diversas ventajas como la reducción por pérdidas de nutrientes por lavado, favorecen la eficiencia en la asimilación de nutrientes por parte de las plantas y disminuye la acumulación de sales en los suelos. Estos beneficios se obtienen a partir del uso del recubrimiento ya que este disminuye la velocidad a la cual los nutrientes migran hacia el suelo a comparación con los fertilizantes convencionales que no tienen recubrimientos (Ávila, 2017). Los materiales que se pueden emplear para el encapsulamiento se clasifican en tres categorías: grasas, proteínas y polímeros (Hernández, *et al.* 2016).

De acuerdo con García E. (2017), los materiales usados para el encapsulamiento de agentes deben ser de grado alimenticio, biodegradables y capaces de formar una barrera entre la fase interna y los alrededores. Teniendo en cuenta lo dicho por García E. los materiales más destacados son los polímeros naturales (alginato, quitosana, goma arábica), los cuales no son tóxicos y además son biodegradables con el medio ambiente (Hernández, *et al.* 2016).

5.6. Generalidades de las algas pardas y el alginato de sodio.

Las algas pardas conocidas como *Sargassum spp.* desempeña funciones vitales en los ecosistemas marinos, brinda protección y hábitat a otras especies y ayuda a mantener condiciones específicas del agua como la temperatura, pH, contenido de oxígeno disuelto, iluminación descendente y flujo de agua. En las últimas décadas, estas han proliferado muy rápidamente y millones de toneladas de sargazo se han acumulado en las costas del Caribe y África Occidental, aumentando exponencialmente año tras año y provocando graves problemas socioeconómicos y ambientales que van desde la reducción del turismo e inversiones hasta la disminución de la biodiversidad, la mortalidad de los organismos marinos y la degradación de los ecosistemas asociados (López, *et al.* 2023). En la **Figura 7**, se observa como las algas pardas contaminan las playas de la costa Caribe colombiana y muchas veces lo que hacen los habitantes de esta región es enterrarlas para que no se genere contaminación visual y los turistas puedan disfrutar del lugar.



Figura 7. Contaminación por *Sargassum* en las playas de San Andrés Islas.

Las algas pardas *Sargassum spp.* son un recurso valioso y se procesan para obtener compuestos químicos, que, a su vez, se emplean en diversos tipos de industrias. Uno de los principales materiales que se extraen de estas algas son los alginatos, los cuales son un grupo de polisacáridos que cuenta con una importancia especial para diferentes industrias como la farmacéutica, alimentaria, cosmética, entre otras; atribuida a su capacidad de formar geles fuertes en presencia de cationes de calcio (Ca^{+2}). El alginato es un biopolímero no tóxico, biodegradable, biocompatible, soluble en agua y renovable (Hurtado, *et al.* 2020). Está compuesto principalmente por los ácidos β -D-manurónico (M) y α -L-gulurónico (G) (Ver **Figura 8**), los cuales se encuentran distribuidos de manera aleatoria en la estructura de la cadena polimérica (Ore, *et al.* 2020).

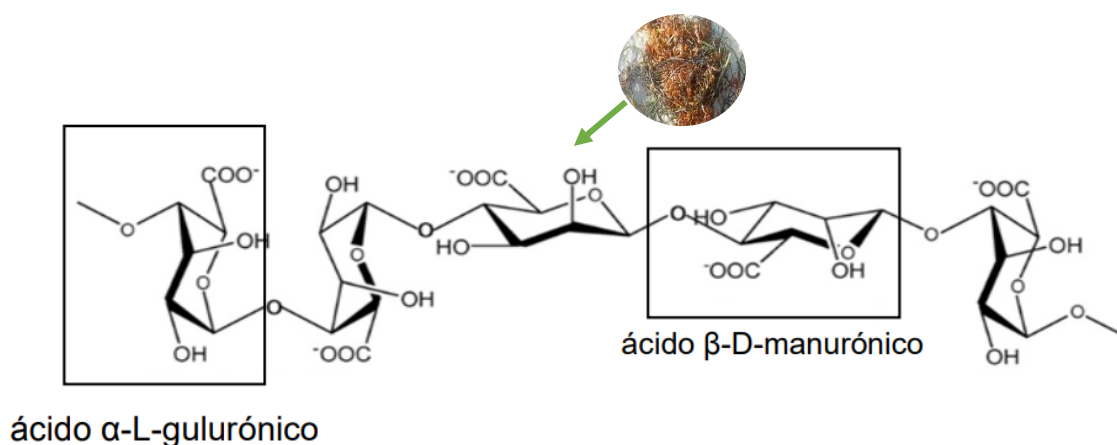


Figura 8. Estructura química del alginato. Tomado de la tesis de Aguilar I. (2014).

El alginato de sodio es la forma más comercializada del alginato y en la actualidad ha experimentado un avance exitoso gracias a sus propiedades gelificantes, espesantes, estabilizantes, así como de retener la humedad, ser de bajo costo y actuar como agente encapsulante (Oswaldo, C. 2020). En la agricultura se ha empleado el alginato como matriz para sistemas de liberación controlada y como encapsulantes de ingredientes químicos y biológicos tales como los fertilizantes nitrogenados y microorganismos (Gómez, *et al.* 2023).

5.7. Tilapia roja (*Oreochromis spp*) y sus escamas.

La tilapia roja es un híbrido resultante del cruce de varias especies del género *Oreochromis* originarias de África e Israel, con características especiales que lo ponen en ventaja frente a otras especies como su rápida reproducción, crecimiento y su adaptabilidad a los cambios ambientales (Méndez, *et al.* 2018). En Colombia esta especie es una de las más cultivadas comercialmente y es muy apreciada tanto en el mercado nacional como internacional. En la industria piscícola colombiana, la tilapia tiene una participación del 58% de la producción nacional y el departamento del Huila es el principal productor y exportador de esta especie, aportando al país el 39% de la producción, con una participación de aproximadamente de 73.048 toneladas de tilapia para el año 2021 (Del Huila, 2022).

En este sentido, la mayoría de la producción de tilapia en Colombia se comercializa en forma de filete sin espinas, escamas ni vísceras. Los residuos que incluyen vísceras, espinas y piel, son transformados en subproductos de alto valor, como harinas de pescado o ensilajes, que son empleados como ingredientes en la alimentación animal. No obstante, a las escamas no se les ha dado un mayor aprovechamiento (Suárez. J. 2023).

De acuerdo con lo reportado en la literatura, se estima que los residuos generados en el procesamiento del pez pueden llegar a ser superiores al 50% del peso total del individuo. De este valor, alrededor del 30% lo constituyen la piel, vísceras y espinas, mientras que alrededor del 5% de estos desperdicios corresponden a las escamas, las cuales presentan un alto contenido de proteínas como colágeno tipo I y apatita (Fosfato de calcio, carbonato de magnesio y carbonato de calcio) que pueden ser aprovechados (Castro, H. *et al.* 2016).

Las escamas de peces están constituidas máxime por una parte orgánica, principalmente colágeno y una parte inorgánica rica en fosfato de calcio (**Figura 9**). El colágeno es una de las proteínas más abundantes en huesos, cartílagos, tendones, piel y ligamentos en nuestro cuerpo, aportándoles cohesión, resistencia y flexibilidad. El colágeno es extraído de diferentes fuentes de origen animal para ser utilizado como complemento alimenticio y en la industria cosmetológica. En particular, el colágeno derivado de escamas de pescado podría utilizarse para curar heridas producidas por quemaduras (Montes, P. *et al.* 2019).

Por otra parte, el fosfato de calcio presente en las escamas de pescado puede ser utilizado para la formación de hidroxiapatita (HA). La HA es un compuesto constituido por fosfato de calcio, cuya fórmula química es $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Ésta es principalmente utilizada como biomaterial en la restauración del tejido óseo: huesos y dientes. Sin embargo, la HA tiene más aplicaciones como

absorbente para la purificación de proteínas, para atrapar iones pesados, en la agricultura como fertilizantes por su alto contenido de fósforo y calcio, mejora la calidad del suelo y como material vehículo para la liberación de fármacos (Montes, P. *et al.* 2019).



Figura 9. Composición química de las escamas. Adaptado de: Castro H. *et al.* (2016).

Finalmente, es fundamental destacar que la piscicultura, al igual que otras actividades industriales, genera diversos tipos de contaminación a lo largo de su cadena productiva, desde la etapa de producción hasta el procesamiento del pez. En la fase de producción, se pueden generar impactos ambientales por la carga orgánica, los nutrientes, los medicamentos y los pesticidas aplicados. En cuanto a las actividades de procesamiento pueden ocasionarse impactos en el agua procedentes de peces muertos, residuos de pescado como cabezas, esqueletos, aletas, escamas, restos de piensos, efluentes, envases y embalajes (Castro, H. *et al.* 2016). Debido a estos impactos, es importante desarrollar una industria acuícola huilense ambientalmente sostenible, de tal forma que se aproveche los subproductos que se generan en la industria piscícola.

5.8. Difusión de nutrientes.

La cinética de liberación hace referencia al estudio de la velocidad y el mecanismo mediante el cual un compuesto se libera de una matriz (como cápsulas, materiales de empaque o un polímero) hacia un medio externo para su simulación (alimento, agua o suelo). Este proceso se ha ido utilizando en las aplicaciones de liberación controlada, en donde el objetivo es administrar el compuesto de forma gradual y específica con el fin de optimizar su eficacia y reducir efectos secundarios o contaminantes. Para modelar la cinética de liberación existen diversos modelos matemáticos que describen el proceso de liberación, entre los más empleados se encuentra el modelo de orden cero, el de primer orden, el de Higuchi, el de Korsmeyer – Peppas, entre otros (Aguilar, I. 2014).

Para la investigación se empleó el modelo de la Ley de Potencia de Korsmeyer – Peppas, basado en la Ley de Fick, el cual describe la difusión como el mecanismo predominante en la liberación de sustancias. Este modelo permite analizar la cinética de liberación controlada de los nutrientes encapsulados, proporcionando información sobre los mecanismos de transporte involucrados ya sea difusión, erosión del recubrimiento, o una combinación de ambos (Cui Yingjun *et al.* 2023). Para encontrar la naturaleza de la difusión de las microcápsulas se empleó la siguiente ecuación:

$$F = \frac{M_t}{M_{\infty}} = kt^n \quad \text{Ec. 1}$$

Donde **F**, es el factor de sorción, **M_t / M_∞** corresponde al principio activo liberado a un tiempo, **k t** es una constante de velocidad de liberación característica del sistema polímero – principio activo y **n** es el exponente de difusión, el cual está relacionado con la forma geométrica

de la formulación e indica el mecanismo de transporte el cual se explica en la **Tabla 1** (Cui Yingjun *et al.* 2023).

Tabla 1.

Interpretación de los valores del exponente cinético para la Ley de Potencia según el mecanismo de Transporte.

Exponente de Difusión (n)	Mecanismo de Transporte
$0 < n < 0.5$	Difusión de Fick
0.5	Difusión Fick determinada por el tiempo
$0.5 < n \leq 1.0$	No Fickiano
$n > 1$	Ley super Fick

Fuente. Adaptado de la investigación de Cui Yingjun *et al.* (2023).

6. MARCO AMBIENTAL.

El marco normativo colombiano, encabezado por la **Constitución Política de 1991**, establece un compromiso claro con la protección ambiental. Artículos como el **79**, que garantiza el derecho a un ambiente sano, y la **Ley 1776 de 2016**, que promueve la agricultura ecológica, ofrecen un contexto legal que respalda este proyecto. Adherirse a estas normativas es esencial para asegurar la sostenibilidad de los recursos naturales y de cuidar y proteger el medio ambiente. Es por ello, que este proyecto busca promover un equilibrio entre el desarrollo económico, social y ambiental, ofreciendo una alternativa al uso de los fertilizantes mediante el aprovechamiento de subproductos para la encapsulación de un fertilizante y que este se libere paulatinamente al momento de ser aplicado. A continuación, en la **Tabla 2**, se contempla el marco ambiental de la investigación.

Tabla 2.

Marco Ambiental que relaciona la normatividad que rige la protección del medio ambiente y promueve la agricultura ecológica.

NORMA.	DESCRIPCIÓN.
	Título 1. De los principios fundamentales.
	Artículo 8: que se refiere a la obligación de proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación.
	Título II. Capítulo 2. De los derechos sociales, económicos y culturales.
	Artículo 49: Derecho a la salud y saneamiento ambiental.
	Artículo 58: Función ecológica de la propiedad.
	Artículo 65: Relativo a créditos agropecuarios por calamidad ambiental.
	Artículo 67: Educación para proteger el medio ambiente.

Constitución Política de 1991	Título II. Capítulo 3. De los derechos colectivos y del ambiente. Artículo 79: Derecho al ambiente sano y deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente y de conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para lograr estos fines. Artículo 80: Planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas. Título II. Capítulo 4. De la protección y aplicación de los derechos. Artículo 88: La ley regulará las acciones populares para la protección de los derechos e intereses colectivos, relacionados con el patrimonio, el espacio, la seguridad y la salubridad públicas, la moral administrativa, el ambiente, la libre competencia económica y otros de similar naturaleza que se definen en ella. Título II. Capítulo 5. De los deberes y obligaciones. Artículo 95: La calidad de colombiano enaltece a todos los miembros de la comunidad nacional. Todos están en el deber de engrandecerla y dignificarla. El ejercicio de los derechos y libertades reconocidos en esta Constitución implica responsabilidades.
Código de los recursos naturales renovables y proyección al medio ambiente – Decreto Ley 2811/1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Decreto 1076 de 2015	por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ley 1776 de 2016	Artículo 5: Promoción de la agricultura Ecológica, junto a acciones que se deben implementar para fomentar la agricultura ecológica, destacando la importancia de los fertilizantes orgánicos. Artículo 8: Su objetivo es promover la investigación en prácticas y tecnologías innovadoras que optimicen la producción ecológica y el uso de insumos orgánicos, contribuyendo así a una agricultura más sostenible y eficiente.
Decreto 179 de 2018	Artículo 6: Este artículo aborda la economía circular en Colombia, resaltando la relevancia de los biofertilizantes. Al promover el uso de residuos como recursos se avanza hacia una agricultura más sostenible y responsable.
Decreto 204 de 2018	Artículo 4: Este decreto es un componente clave en la estrategia de desarrollo agrícola sostenible en Colombia. Alienta a los agricultores a adoptar tecnologías y prácticas que favorezcan la sostenibilidad, resaltando el uso de fertilizantes orgánicos como una solución eficaz para lograr estos objetivos.
Ley 99 de 1993	Esta ley establece el marco para la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles.
Fuente: Elaboración propia con base en las Normatividad Legal Vigente en Colombia.	

7. OBJETIVOS

7.1. Objetivo general.

- Analizar la velocidad de difusión del ion amonio usando microcápsulas de alginato de sodio e hidroxiapatita.

7.2. Objetivos específicos.

- Caracterizar la hidroxiapatita y el alginato de sodio obtenidas de las escamas de Tilapia roja (*Oreochromis spp*) y las algas *Sargassum spp*, respectivamente.
- Determinar las propiedades físicas de las microcápsulas de cloruro de amonio cubiertas con mezclas de alginato de sodio e hidroxiapatita.
- Comparar el tiempo de difusión del cloruro de amonio en medios acuoso y ácido.

8. METODOLOGÍA

8.1. Tipo de estudio.

Para este tipo de investigación se realizó un estudio descriptivo y experimental con un enfoque cuantitativo, donde se empleó el cloruro de amonio (NH_4Cl) para analizar la velocidad de difusión, utilizando dos materiales de recubrimiento amigables con el medio ambiente para la elaboración de las microcápsulas: alginato de sodio e hidroxiapatita.

8.2. Área de estudio.

El estudio se realizó en el Laboratorio de Química de la Corporación Universitaria del Huila, - CORHUILA, sede Prado Alto. Para la elaboración de este proyecto se desarrolló un diseño metodológico que consiste en la preparación de microcápsulas con biomateriales de recubrimiento de AS e HA como se muestra en la **Figura 10**.

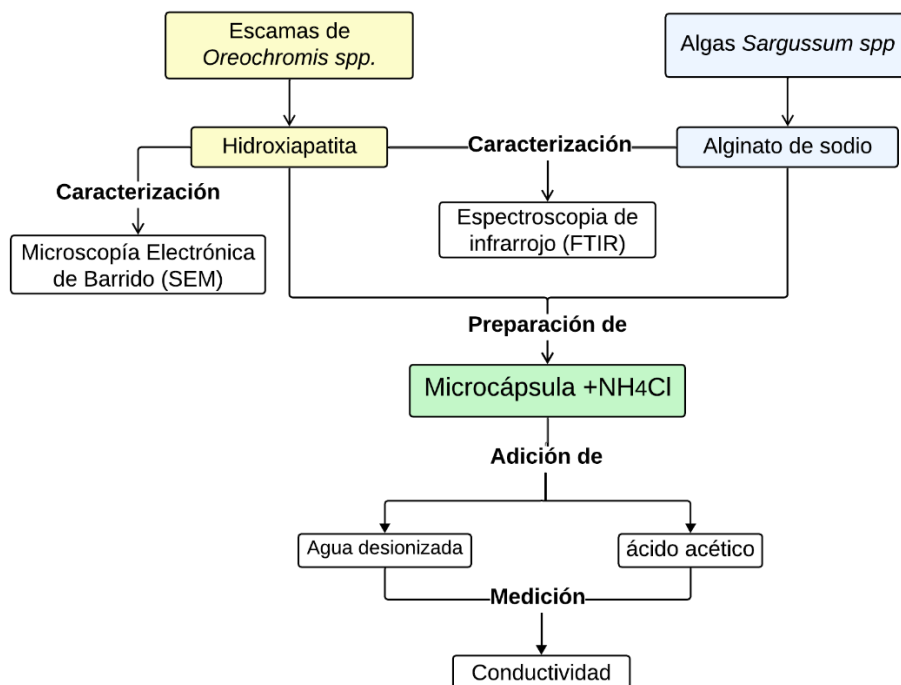


Figura 10. Diseño metodológico para la obtención de la microcápsula a partir de los biomateriales.

8.3 Obtención de la Hidroxiapatita por el método térmico alcalino.

El siguiente procedimiento es una adaptación del reportado por Garcia *et al.* 2016 y Zainol *et al.* (2019), donde se realizaron los siguientes procesos para la obtención de la HA. Para obtener el biomaterial se empleó 3 fases: 1) recolección de la hidroxiapatita, 2) lavado y secado, 3) desproteinización y extracción.

Para la primera etapa se utilizó las escamas de Tilapia roja obtenida de la empresa Acuicola Méndez S.A.S, localizada en el municipio de Palermo-Huila, estas se lavaron para remover las impurezas y se secaron a temperatura ambiente. En la segunda fase, se desarrolló la desproteinización mediante el lavado externo utilizando 0,1 M de ácido clorhídrico (HCl) manteniendo una temperatura por debajo de 20° C. Luego se lavó las escamas con agua desionizada y se separó los sólidos-líquidos, después se llevaron a la incubadora a una temperatura de 60°C durante 24 horas, todo esto también con el fin de saber el peso. A las escamas que se les realizó la desproteinización con el HCl, se trató luego con Hidróxido de sodio (NaOH) 5 M y luego se subió la temperatura hasta 100° C agitándose durante 1 hora. En la etapa de extracción, las escamas tratadas con NaOH se filtraron y se lavaron varias veces con agua desionizada hasta obtener un pH neutro, donde posteriormente fueron llevadas a la incubadora por un tiempo de 24 horas a 30° C y por último se obtuvo la hidroxiapatita en forma de polvo fino.

El desarrollo metodológico de la extracción de la HA que se llevó a cabo en este proyecto se resume en la **Figura 11**.

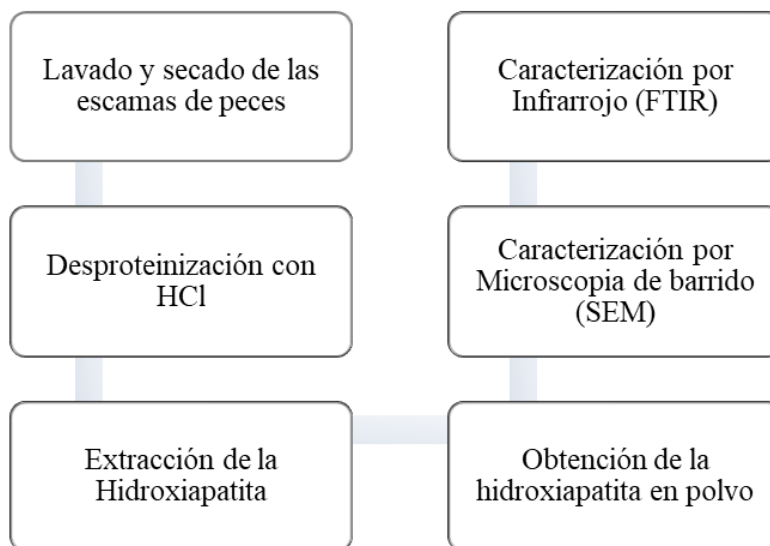


Figura 11. Esquema de la extracción de la hidroxiapatita.

8.4 Obtención del alginato de sodio (AS).

Para obtener el alginato de sodio se empleó el método de extracción de alginato de Hernández Carmona *et al.* (2012). Este método consistió en reducir el tamaño de la materia prima; donde se lavaron y se secaron las algas a temperatura ambiente obtenidas de la Costa Caribe conocidas como *Sargassum sp* para luego ser pesadas y trituradas. Después se trataron con una solución de formaldehído de 10% y al terminar esta fase se pasó al proceso de pre-extracción, donde se lavaron las algas con agua destilada y ácido clorhídrico (HCl) 0,1 N para poder llevar la solución a un pH de 4. Luego, en la extracción alcalina, el ácido algínico se convirtió a su forma soluble de alginato de sodio y para esto se adicionó a la muestra una solución de carbonato de sodio al 10% (Na_2CO_3) hasta llegar a un pH de 10, manteniéndose en agitación y baño maría. En la fase de filtración, la muestra tratada con carbonato de sodio se filtró con el fin de separar los residuos sólidos de los insolubles para luego seguir con la fase de precipitación del alginato con etanol de 96%, donde se precipitó el alginato de sodio, realizándose en frío. Por último, se maceró el alginato y se dejó secar a temperatura ambiente.

A continuación, se muestra en la **Figura 12** el proceso que se llevó a cabo para la obtención del alginato de sodio.

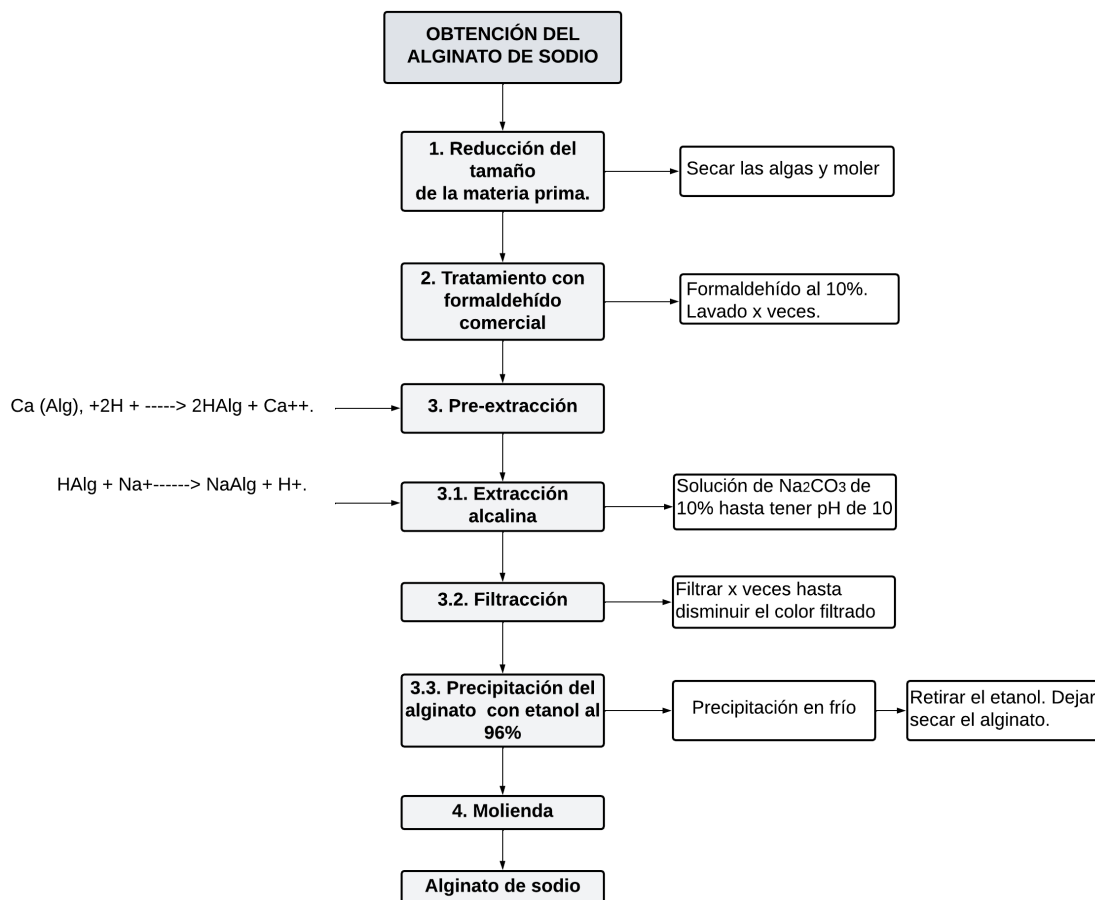


Figura 12. Obtención del alginato de sodio a partir del método de Hernández Carmona et al (2012).

8.5. Caracterización.

Se realizó la caracterización de los dos biomateriales empleados en el estudio por medio de dos métodos con el propósito de conocer las características de estos materiales y compararlos con los reportados en la literatura. Esta caracterización se hizo con apoyo del Laboratorio de Microscopia de Barrido Electrónico de la Universidad Industrial de Santander-UIS, especialmente por el Doctor Carlos Ríos, quien se encargó de analizar las respectivas muestras.

8.5.1 Caracterización por SEM.

Se realizó la caracterización de la hidroxiapatita por medio de Microscopia electrónica de barrido (SEM) con el fin de observar la morfología. El equipo empleado para el análisis se observa en la **Figura 13**.



Figura 13. *Equipo de Microscopia de Barrido Electrónico (SEM) de la UIS.*

8.5.2. Caracterización por FTIR.

La caracterización por Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), permitió analizar los componentes que conforman la hidroxiapatita y el alginato de sodio, como sus grupos funcionales, enlaces, entre otros. El equipo empleado se observa en la **Figura 14**.



Figura 14. *Espectrofotómetro De Infrarrojo Con Transformada De Fourier (FTIR) de la UIS.*

8.6. Preparación de microcápsulas.

El siguiente procedimiento es una adaptación del trabajo reportado por Barón, M y Peña, P. (2018) y Lawrence, D. *et al.* (2021). Para la preparación de las microcápsulas con los biomateriales obtenidos de las escamas de peces de tilapia roja y de las algas pardas, se llevó a cabo en tres fases como se muestra en la siguiente **Figura 15**.

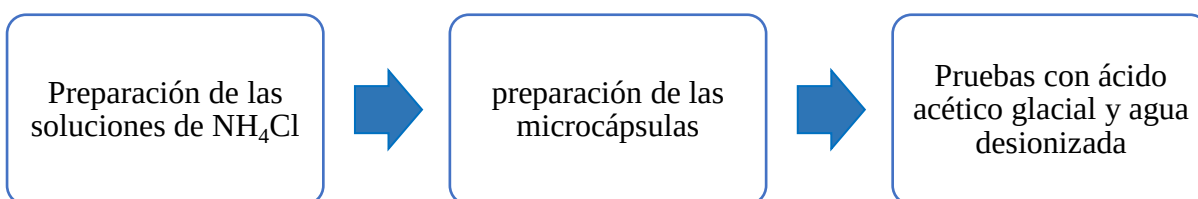


Figura 15. Esquema metodológico para la obtención de la microcápsula.

8.6.1. Preparación de las disoluciones de NH_4Cl .

Para este proceso se empleó el cloruro de amonio de la empresa RLA Chemicals, el cual tiene una pureza de 99.8%. Se prepararon 5 disoluciones de este reactivo con diferentes concentraciones entre 400 a 2000 ppm y se determinó la conductividad eléctrica (ver **Figura 16**). Esto con el fin de elaborar una curva de calibración que permite encontrar la concentración asociada a la medición de conductividad (ver **Anexo B**). Los valores de concentración de cloruro de amonio se tomaron de acuerdo con la precisión del conductímetro Hanna Instruments (Modelo HI9814), el cual tiene un rango de medición de 0.00 a 6.00 mS/cm y una precisión de 0,01 mS/cm.

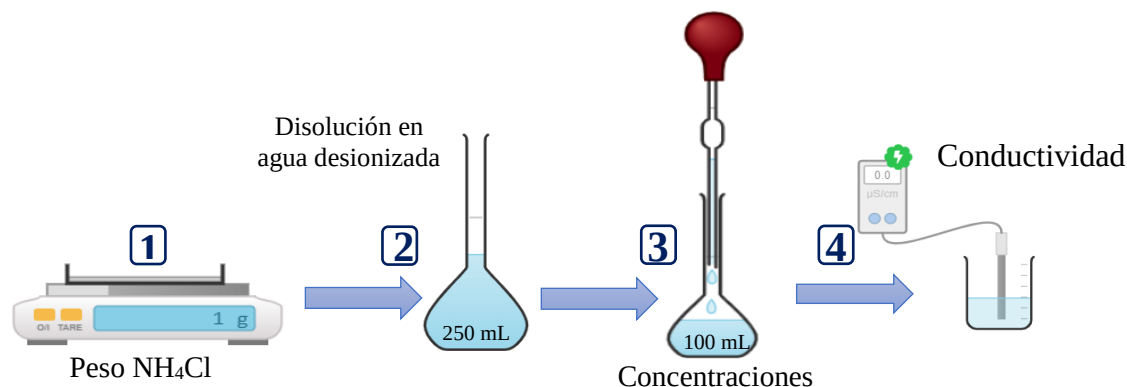


Figura 16. Procedimiento para la curva de calibración del cloruro de amonio. Fuente. software Chemix.

8.6.2. Preparación de las microcápsulas con diferentes valores de NH_4Cl .

Para la elaboración de las microcápsulas se emplearon los biomateriales, alginato de sodio e hidroxiapatita donde se utilizaron 1,125 gramos de HA y 0,375 gramos de AS para cada microcápsula con diferentes cantidades de NH_4Cl como se observa en la **Tabla 3**. Luego, se adicionó a la mezcla de HA, AS y NH_4Cl agua desionizada hasta cubrirla, después se agitó por un tiempo de 20 minutos y se llevó a la incubadora a una temperatura de 40°C durante un día (**Figura 17**). Posteriormente se realizaron las mediciones de conductividad para las microcápsulas de 25%, (**Anexo C**).

Tabla 3

Microcápsulas preparadas con diferentes concentraciones de NH_4Cl con una relación de HA y AS 3:1.

MICROCÁPSULAS	HA (g)	AS (g)	NH_4Cl (mg)	% de microcápsulas
1	1,125	0,375	300	25%
2	1,125	0,375	500	
3	1,125	0,375	700	
4	1,125	0,375	900	
5	1,125	0,375	1100	

Fuente: Propia

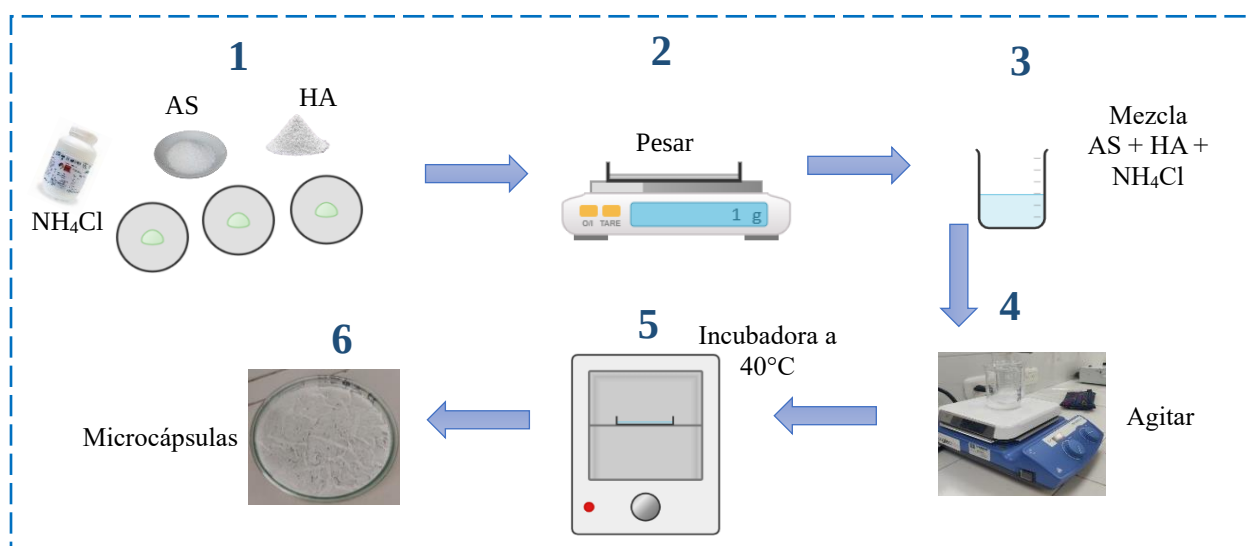


Figura 17. Proceso para la preparación de las microcápsulas con cloruro de amonio. Fuente: software Chemix.

8.6.2.1. Preparación de microcápsulas con porcentajes de 25%, 20% y 15%.

Teniendo en cuenta el resultado de las mediciones de conductividad de las microcápsulas con diferentes valores de NH_4Cl y la relación 3:1 de HA y AS, se realizó la preparación de las microcápsulas de 25%, 20% y 15% con una cantidad de 300 mg de NH_4Cl para cada una de estas para mayor precisión, ya que el conductímetro empleado en el estudio tiene un rango de medición de 0.00 a 6.00 mS/cm y la concentración de las otras microcápsulas tienen una concentración muy

alta (**Anexo C**). Las proporciones de las cantidades de alginato de sodio con hidroxiapatita fueron ajustadas para cada microcápsula de 25%, 20% y 15% p/p, tal como lo presenta la **Tabla 4**.

Tabla 4.

Microcápsulas con diferentes proporciones de HA y AS y la misma cantidad de cloruro de amonio.

MICROCÁPSULAS %	HA (g)	AS (g)	NH ₄ Cl (mg)
25%	1,125	0,375	300
20%	1,2	0,3	300
15%	1,275	0,225	300

Fuente. Propia

8.6.3. Mediciones de conductividad de cada microcápsula en dos medios: ácido acético glacial y agua desionizada.

La prueba de difusión en agua desionizada se realizó por triplicado para los diferentes tratamientos de 25%, 20% y 15% a una misma concentración de cloruro de amonio la cual es de 300 mg. Cada microcápsula tiene un peso de aproximadamente 1,5 g de la cual se partió en tres partes iguales y se extrajo 0,4 gramos para las respectivas replicas (3 réplicas por microcápsula) con el fin de obtener suficientes datos para realizar las gráficas pertinentes de conductividad vs tiempo y, así mismo, poder analizar la difusión del NH₄Cl. Estas pruebas se realizaron durante un (1) día y cada 30 minutos se registraban los valores obtenidos de las mediciones de conductividad (Ver **Anexo D**).

Por otra parte, para la prueba con ácido, se preparó una disolución a partir del ácido acético glacial al 100%, se tomó 0,6 ml del CH₃COOH y se adicionó a un balón aforado con agua desionizada, de allí se tomaron 0,2 ml de la solución para adicionarla a cada tratamiento y medir la conductividad (**Tabla 5**). Las concentraciones del ion amonio fueron determinadas usando una

curva de calibración, dónde se midió la conductividad a patrones de NH_4Cl preparados con concentraciones conocidas. Finalmente, se realizó el mismo procedimiento para las microcápsulas de diferentes concentraciones de NH_4Cl con una proporción de HA y AS de 3:1, en la **Tabla 6** se puede contemplar detalladamente la prueba de medición.

Tabla 5.

Prueba de difusión para cada uno de los tratamientos de 25%, 20% y 15% para los dos medios acuosos.

Microcápsulas	Concentración NH_4Cl (mg) en la microcápsula	Replicas	Concentración NH_4Cl (mg)	Prueba en agua desionizada	Prueba en CH_3COOH
25%	300	1.1	100	80 ml	0,2 ml
		1.2	100	80 ml	0,2 ml
		1.3	100	80 ml	0,2 ml
20%	300	1.1	100	80 ml	0,2 ml
		1.2	100	80 ml	0,2 ml
		1.3	100	80 ml	0,2 ml
15%	300	1.1	100	80 ml	0,2 ml
		1.2	100	80 ml	0,2 ml
		1.3	100	80 ml	0,2 ml

Nota. Las microcápsulas de 25%, 20% y 15% contienen 300 mg de NH_4Cl . Al partir una microcápsula en tres partes iguales cambia la concentración y cada replica queda con una concentración de 100 mg de NH_4Cl .

Tabla 6.

Prueba de difusión para las microcápsulas de 25% con diferentes concentraciones de cloruro de amonio.

Microcápsulas 25% a concentraciones de NH₄Cl diferentes			
Concentración De NH₄Cl (mg) en la microcápsula	Réplicas	Concentración NH₄Cl (mg)	Prueba en agua desionizada
300 se explica en la Tabla 4			
500	1.1	166,67	80 ml
	1.2	166,67	80 ml
	1.3	166,67	80 ml
700	1.1	233,33	80 ml
	1.2	233,33	
	1.3	233,33	
900	1.1	300	80 ml
	1.2	300	80 ml
	1.3	300	80 ml
1100	1.1	366,6	120 ml
	1.2	366,6	120 ml
	1.3	366,6	120 ml

Nota. Las microcápsulas de 25% se prepararon con una concentración de NH₄Cl de (300-500-700-900-1100) ppm. Al partir las microcápsulas en tres partes iguales esta concentración cambia.

8.7. Análisis de la difusión de liberación del NH₄Cl de cada microcápsula.

Después de realizar las mediciones de conductividad de cada microcápsula, se tabularon los datos en Excel y se empleó la curva de calibración para pasar las concentraciones de mS/cm a ppm y poderlas graficar para su respectivo análisis. El análisis de difusión se hizo teniendo en cuenta el modelo de la Ley de Potencia Korsmeyer – Peppas. Para este modelo, se reconocen dos modos de difusión: difusión a corto plazo y difusión a largo plazo (Cui Yingjun *et al.*, 2023), en este caso, para la investigación se empleó el modelo de difusión a corto plazo.

Cuando M_t/M_∞ es $< 0,6$ pertenece a la difusión a corto plazo y la curva de difusión se puede ajustar y juzgar mediante la ecuación de ley de potencia como se detalla a continuación:

$$F = \frac{M_t}{M_\infty} = kt^n \quad \text{Ec. 1}$$

Cuando **k** es una constante y **n** es el índice de difusión. Las ecuaciones lineales de $\ln(M_t/M_\infty)$ se obtienen aplicando el logaritmo natural a ambos lados de la Ecuación 1 (**Ec. 1**), lo que permite determinar el valor de **n** de la siguiente manera (Cui Yingjun *et al.*, 2023):

$$\ln \frac{M_t}{M_\infty} = \ln k + n * \ln t \quad \text{Ec. 2}$$

Para determinar el mecanismo de transporte de la microcápsula se tiene en cuenta la **Tabla 1** en donde se describe los diferentes mecanismos dependiendo del exponente cinético “n” y de acuerdo con la difusión del exponente **n** se determina si el estudio realizado pertenece a la difusión fickiana o no fickiana.

9. RESULTADOS.

9.1. Extracción de la hidroxiapatita por el método térmico alcalino.

La extracción de la Hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), es un proceso altamente valorado debido a su pureza y características únicas. Este material tiene diversas aplicaciones en el campo biomédico, destacando su uso en recubrimiento dental, esmaltes dentales artificiales, implantes ortopédicos, y otros usos en productos cosméticos, además, el método térmico alcalino ha sido una técnica utilizada por García *et al.* 2016 y Zainol *et al.* (2019), para obtener la HA de diferentes fuentes. Para la obtención del biomaterial se llevaron a cabo tres fases (Ver **Figura 18**).

- **Lavado y secado de escamas:** Una vez recolectadas las escamas se lavaron con agua de grifo, para eliminar las sales e impurezas, posteriormente se dejaron secar a temperatura ambiente.
- **Desproteínización:** Se realizó una desproteínización de las escamas mediante un lavado externo utilizando una solución de ácido clorhídrico 0,1 M a una temperatura inferior a 20°C. Posteriormente, se lavaron las escamas con agua desionizada y se separan los sólidos y líquidos. Se secó en incubadora a 60°C durante 24 horas. Las escamas se secaron para determinar la diferencia de peso, donde el inicial fue de 116 g y el final de 102.5 g, después de este proceso se molieron para obtener un polvo que se utilizará en la siguiente fase.
- **Extracción de la HA:** Una vez obtenido el polvo del proceso anterior, se lavó minuciosamente con agua desionizada hasta que la solución de lavado o el pH se volvió neutro. Finalmente se llevó a incubadora donde se secó a 30 °C por 24 horas, y se obtuvo un polvo fino que fue la HA.

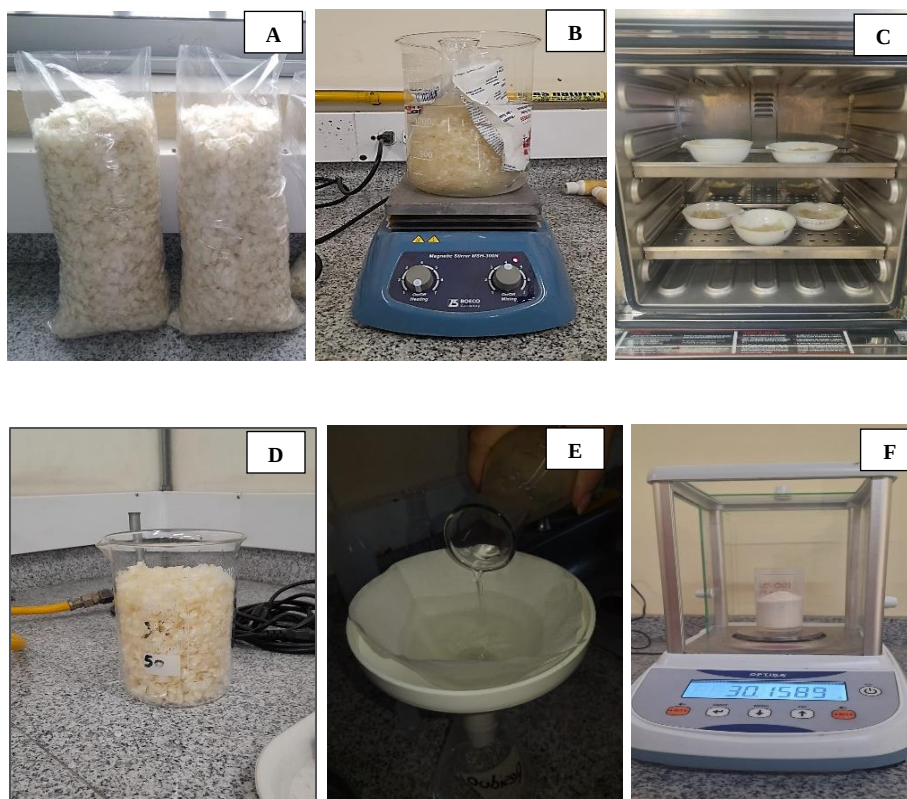


Figura 18. Lavado y secado de escamas (A), Lavado con el ácido clorhídrico (B), Secado en la incubadora desionizada (C), Tratadas con NaOH (D), Filtración de las escamas después del proceso de desproteínización. (E), obtención del polvo (HA), (F).

Para obtener el rendimiento de las escamas de Tilapia Roja (*Oreochromis spp*), se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de rendimiento (\%)} = \left(\frac{\text{Peso final de Hidroxiapatita}}{\text{Peso inicial de escamas}} \right) \times 100 \quad \text{Ec. 3}$$

$$\% \text{ de rendimiento} = \left(\frac{30,16g}{258,4g} \right) \times 100$$

$$\% \text{ de rendimiento} = 11,67\%$$

La extracción de hidroxiapatita se ha llevado a cabo mediante diversos métodos. En este proyecto, se optó por el método térmico alcalino, que resultó en un rendimiento de HA del 11,67%. Sin embargo, otros estudios han demostrado que diferentes enfoques pueden ser eficientes y ofrecer resultados significativos. Por ejemplo, Muhammad *et al.* (2016) utilizaron un tratamiento con el líquido iónico 1-butyl-3-methylimidazolium acetate. En su procedimiento, las escamas de pescado se disolvieron en este líquido, lo que facilitó la separación del colágeno, mientras que la HA permaneció insoluble. Posteriormente, ajustaron el pH a 9 utilizando una solución de NaOH, lo que favoreció la precipitación de la HA, que se recuperó mediante centrifugación. Inicialmente, el rendimiento de HA fue de aproximadamente $20 \pm 2\%$, pero tras el ajuste del pH, el rendimiento final se incrementó a un $32 \pm 2\%$.

9.2 Obtención del alginato de sodio.

Para la extracción del alginato de sodio se emplearon los trabajos de Nallamuthu, T. (2014) y Hernández Carmona *et al.* (2012), el cual consistió en realizar diferentes etapas para la obtención del AS. Para extraer el alginato se tomaron 86,2 g del alga *Sargassum spp.* y se sometieron a un lavado con una solución de formaldehído comercial al 10% durante 12 horas, considerando una parte del alga por nueve de solución de formaldehído, esto con el fin de incrementar los porcentajes de rendimiento, viscosidad y llevar a cabo la decoloración para obtener un producto de mejor calidad.

Al terminar la fase anterior, se realizó la pre-extracción lavando las muestras tratadas con agua destilada durante 15 minutos por 3 veces, cada una adicionando HCl 0,1 N hasta llevar la solución a un pH de 4. A partir de la muestra obtenida, se procedió a llevar a cabo la extracción en medio alcalino (carbonato de sodio al 10%), el cual permitió extraer los polisacáridos presentes en la pared celular del alga, manteniendo una temperatura de 90° C durante 2 horas, obteniéndose así

un extracto impuro que luego se filtró para separar los residuos sólidos insolubles. Posteriormente a la solución filtrada se adicionó etanol al 96% y se dejó en la nevera durante 1 día con el propósito de que este se precipite y poder sacar el alginato de sodio para luego secarlo a temperatura ambiente.

El alginato de sodio que se obtuvo fue uno de color blanco (alginato puro) y otro de color beis (alginato crudo), el primero estuvo con un peso de 5,04 g y el segundo con 15,8 g para un total de 20,8 g de alginato. En la **Figura 19** se observa las diferentes etapas.

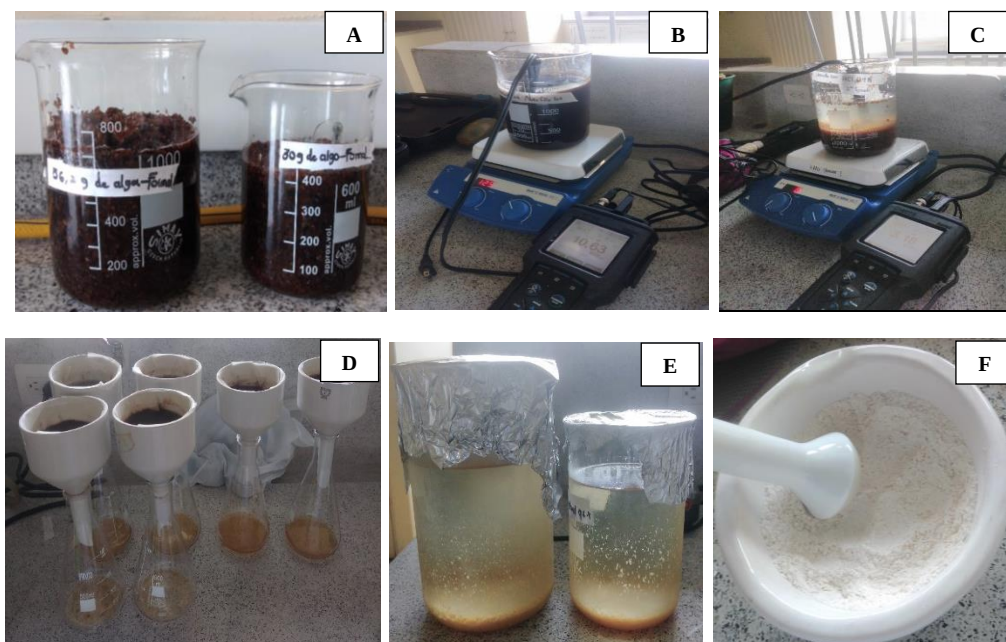


Figura 19. Tratamiento con formaldehído (A), Pre-extracción (B), Extracción alcalina (C), Filtración (D), Precipitación del alginato en etanol (E) y Alginato extraído del alga *Sargassum* spp.

En cuanto al rendimiento del alginato de sodio se calculó mediante la siguiente formula:

$$\text{Porcentaje de alginato de sodio (\%)} = \left(\frac{\text{Peso del alginato}}{\text{Peso de la muestra}} \right) \times 100 \quad \text{Ec. 4}$$

$$\% \text{ de alginato de sodio} = \left(\frac{20,8 \text{ g}}{86,2 \text{ g}} \right) \times 100$$

$$\% \text{ de alginato de sodio} = 24,13 \%$$

Al comparar el rendimiento obtenido en este estudio con los valores reportados en la literatura, se evidencia que el rendimiento del alginato es positivo. Diversos investigadores han evaluado el rendimiento del alginato por diferentes métodos y han reportado distintos porcentajes que están entre el 5% (Ayarza, J., 2015), el 12% (Yeral O. *et al.*, 2020) y hasta un 24,4% (Carmona, H. *et al.*, 1991). Estas variaciones pueden atribuirse a diferentes factores como la calidad del alginato, el método empleado, estado del alga, entre otros.

9.3 Caracterización por medio de SEM y FTIR.

La caracterización de los biomateriales usados se hizo con Microscopía de Barrido Electrónico (SEM) y Espectroscopia de infrarrojo (FTIR). El análisis de infrarrojo muestras los picos característicos de los enlaces de HA y alginato de sodio como se observa en las **Figuras 20** y **21**.

En el espectro de la hidroxiapatita, las bandas originadas por las vibraciones de estiramiento de los grupos PO_4^{3-} se encuentran en los números de onda de 1040 cm^{-1} a 950 cm^{-1} . Los grupos PO_4^{3-} también muestran bandas de absorción intensas entre 650 cm^{-1} a 700 cm^{-1} . Generalmente, las bandas que están ubicadas en la región 1200 cm^{-1} a 1150 cm^{-1} se asignan a los

grupos HPO_4^{2-} , pero se superponen con los grupos PO_4^{3-} . En cuanto al espectro del biopolímero empleado en el estudio (AS), se analizó que el alginato de sodio está constituido por un grupo de enlace O-H entre los números de ondas de 3550 cm^{-1} , para el enlace C-H se analiza un estiramiento a 3150 cm^{-1} . El grupo funcional C-O se presenta a los 1050 cm^{-1} . Teniendo en cuenta los datos identificados anteriormente se comparó dicha información con la reportada en la literatura y se evidenció que los grupos encontrados en el análisis del FTIR son consistentes a estos dos biomateriales según las investigaciones de Gieroba, B., *et al.* (2021) y Ayarza, J. (2015).

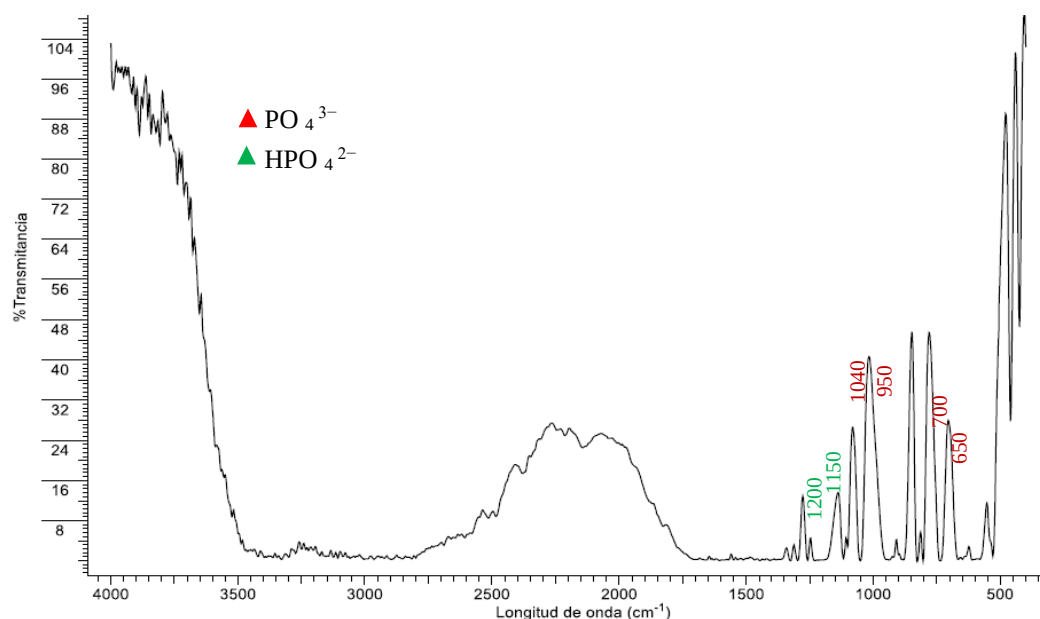


Figura 20. Espectro de la hidroxiapatita (HA) obtenido del equipo FTIR del laboratorio de la Universidad Industrial de Santander UIS.

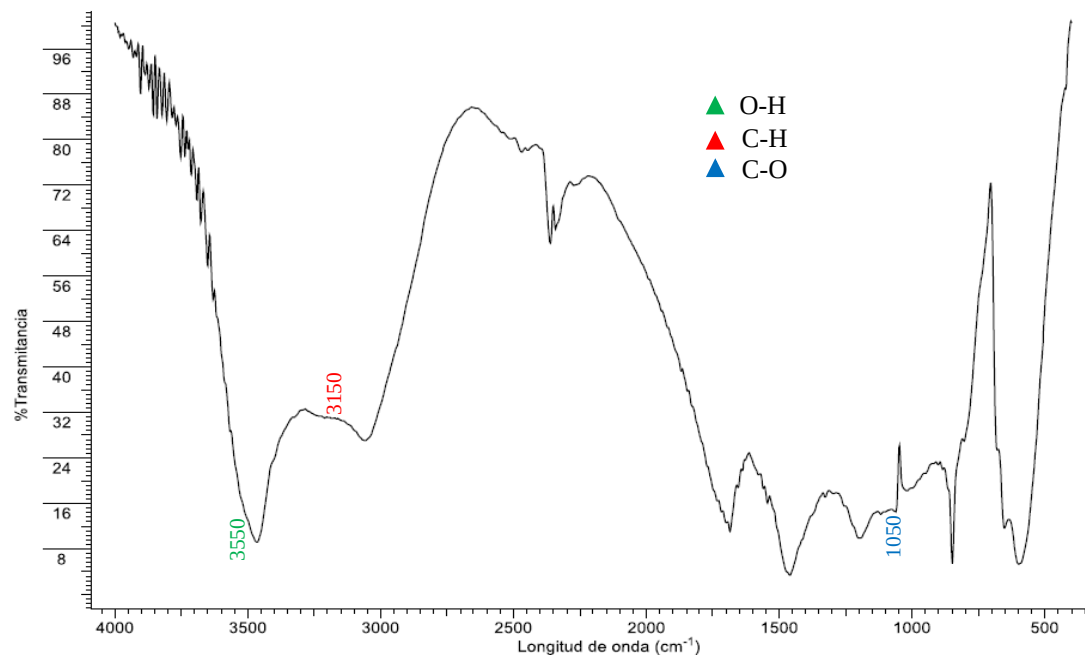


Figura 21. Espectro FTIR del biopolímero alginato de sodio (AS) obtenido del equipo FTIR del laboratorio de la Universidad Industrial de Santander UIS.

Por otra parte, en la **Figura 22**, se muestran los resultados obtenidos por microscopia electrónica de barrido (SEM) para la muestra del mineral hidroxiapatita. En la Figura se observa que la morfología del material es irregular, presentando una apariencia como cristales con formas alargadas y variadas, además, se puede contemplar que estos granos (100 μm -200 μm) forman aglomerados lo cual es típico de la hidroxiapatita y su estructura es consistente con la reportada por la literatura.

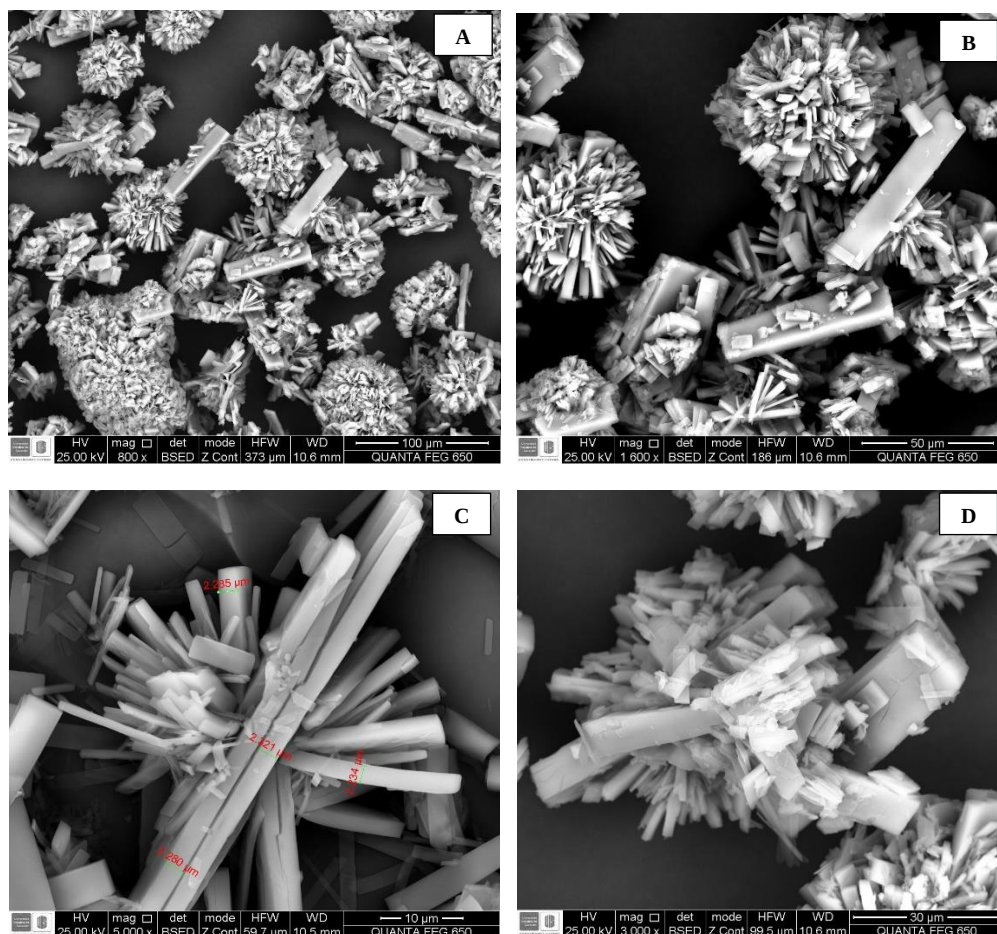


Figura 22. Microscopia electrónica de barrido de la hidroxiapatita obtenido del equipo del laboratorio de la Universidad Industrial de Santander UIS.

9.4. Análisis de la difusión de las microcápsulas en dos medios: acuoso y ácido.

Después de preparar con éxitos las microcápsulas, estas se agregaron a dos medios (tres réplicas por cada microcápsula de 25%, 20% y 15%) con el fin de medir su conductividad tanto para el medio con agua desionizada (con 80 ml) como para el medio con ácido acético glacial (80 ml de agua desionizada + 0,2 ml de CH_3COOH). Las mediciones de conductividad se realizaron cada 30 minutos hasta obtener un número suficiente de puntos de datos. Estos datos se registraron en Excel, y se calcularon los promedios de cada tratamiento, junto con sus desviaciones estándar, en función de las tres réplicas. Los datos de conductividad se convirtieron en concentraciones

utilizando una curva de calibración. De esta manera, se graficaron las concentraciones de NH_4Cl en función del tiempo de difusión.

Cada microcápsula preparada se trató con diferentes valores de alginato de sodio e hidroxiapatita y con una misma cantidad de NH_4Cl a excepción de la microcápsula de 25% que se preparó con diferentes concentraciones de NH_4Cl tal como se presenta en la **Tabla 7** y cada tratamiento obtuvo una denominación que será usada de aquí en adelante.

Tabla 7.

Cantidades en mg de NH_4Cl para cada microcápsula preparada.

Denominación	Relación de HA-Alginato de sodio	NH_4Cl (mg)	Medio
MICRO-25	25%	100 -366	Acuoso
		100	ácido
MICRO-20	20 %	100	Acuoso
		100	Ácido
MICRO-15	15 %	100	Acuoso
		100	Ácido

Debido al rango de medición del conductímetro (hasta 6.00 mS/cm) se debía establecer cuáles eran las concentraciones de NH_4Cl adecuadas para cada microcápsula para que sus mediciones de conductividad estuvieran dentro de la precisión del conductímetro. De esta manera, en la **Tabla 7** se observa que se escogió el valor de 300 mg como referencia de comparación para el análisis de difusión en las tres microcápsulas. Las tablas de conductividad de las tres microcápsulas se presentan en el **Anexo E**. A continuación, se presentan algunos de los resultados más relevantes de este trabajo.

9.4.1 Análisis de difusión de NH_4Cl para MICRO-25 para diferentes cantidades de NH_4Cl .

En la **Figura 23** se presenta las variaciones de las concentraciones de NH_4Cl a través del tiempo para MICRO-25 con diferentes concentraciones de NH_4Cl . Las concentraciones fueron ajustadas con base en la ecuación obtenida de la curva de calibración reportada en el **Anexo B**.

$$\text{Conductividad (mS/cm)} = 0,0024 (\text{Concentraciones } \text{NH}_4\text{Cl}) + 0,242 \quad \text{Ec. 2}$$

En la Figura se observa la difusión de las microcápsulas para diferentes cantidades de NH_4Cl a través del tiempo. A pesar de que las curvas no se pudieron determinar porque los valores de concentración de NH_4Cl difundidos superaron la precisión del conductímetro, sí se pudo hacer un análisis con base en lo encontrado. De tal manera, se observó que en todas las curvas siempre hubo difusión de NH_4Cl , lo que indica que la difusión de NH_4Cl fue independiente del valor inicial tomado (100 mg –366 mg). Además, se observa en la Figura que en dos casos (233 y 300 mg) la pendiente fue mayor que los otros eventos; aunque no de manera significativa.

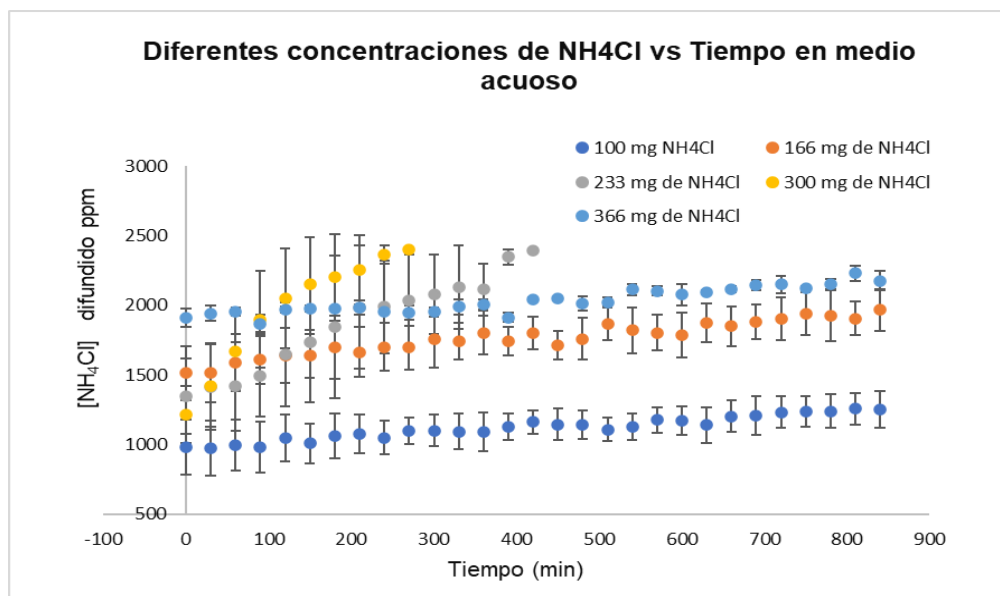


Figura 23. Variación de la difusión de NH_4Cl para diferentes valores iniciales de NH_4Cl a través del tiempo para MICRO-25.

A raíz de este resultado, se seleccionó la microcápsula de mejor difusión teniendo en cuenta también el rango de medición del conductímetro. En este caso se seleccionó la microcápsula de 100 mg y a partir de esta se prepararon las microcápsulas de 20% y 15% para ser medidas en los dos medios.

9.4.2. Análisis de difusión de NH_4Cl para MICRO-25 para 100 mg de NH_4Cl en los dos medios.

En la **Figura 24** se observa la difusión de la MICRO-25 en el medio acuoso y ácido. Para la primera se contempla el aumento de la concentración de NH_4Cl para el tiempo estudiado hasta una concentración de equilibrio ($1229,6 \text{ ppm} \pm 113,1$), lo que representa un fenómeno de difusión de 98,37% (teniendo en cuenta la concentración inicial de NH_4Cl de 1250 ppm), indicando que el cloruro de amonio ha llegado a un punto donde la concentración de la microcápsula y la concentración del medio exterior se encuentran en las mismas condiciones, por lo tanto, teniendo en cuenta la ley de Fick, el NH_4Cl se difunde más lentamente a través del tiempo. Adicionalmente, se observó en estas condiciones de trabajo que el pH estuvo entre los intervalos de 7.12 – 7.41 y los sólidos disueltos entre 1290 – 1620 ppm, observándose un incremento del material suspendido debido a los componentes de la microcápsula (Ver **Figura 25**).

En cuanto al medio ácido (CH_3COOH), se observó que la concentración de equilibrio para la MICRO-25 fue de ($1404,7 \text{ ppm} \pm 58,4$). Teniendo en cuenta que la concentración inicial es de 1250 ppm, se atribuye que el equilibrio estuvo por encima debido a otros iones que pudieron interactuar como los que se presentan en la hidroxapatita o quizás a la precisión de la medición en el estudio. Por otro lado, el pH se mantuvo en un rango de 5.99 a 8.32, y los sólidos disueltos entre un intervalo de 11030 a 1820 observándose un incremento del material suspendido debido a los componentes que presenta la microcápsula (**Figura 25**)

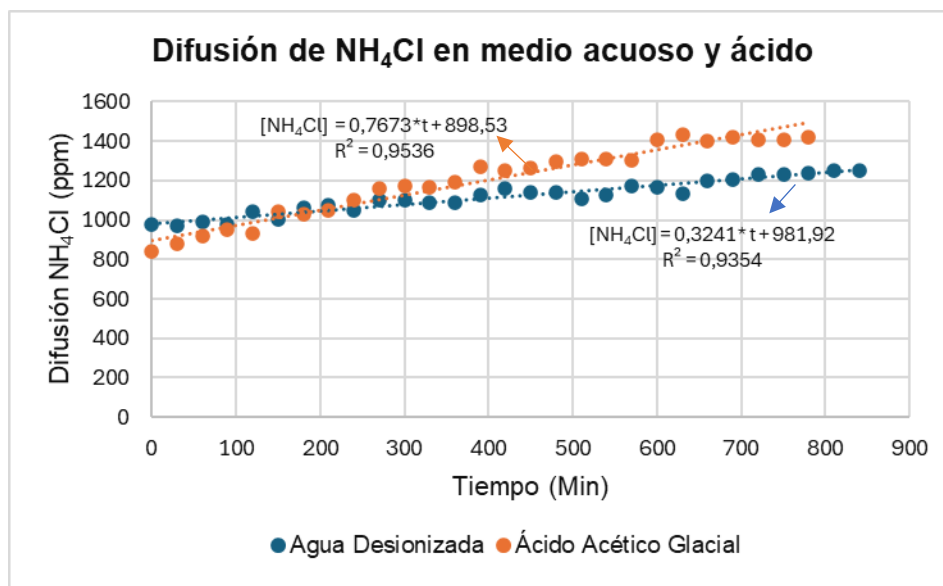
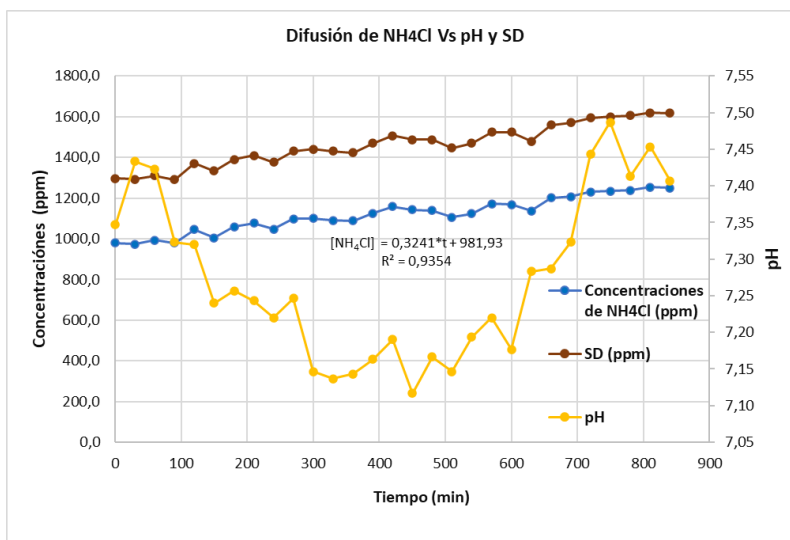


Figura 24. Concentraciones de cloruro de amonio vs el tiempo en los dos medios empleados: Acuoso y ácido.

Al analizar la gráfica de difusión de los dos medios evaluados, se observa claramente que la liberación de cloruro de amonio fue más rápida en el medio ácido (CH_3COOH) con respecto al medio acuoso, lo cual indica que el pH del medio incide en la difusión del fertilizante.

A).



B).

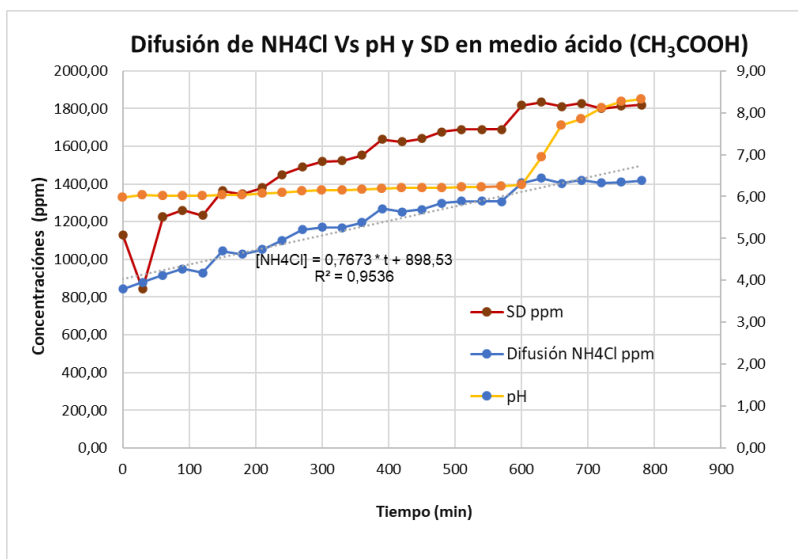


Figura 25. A). Concentraciones de NH₄Cl vs pH y SD en agua desionizada B). Concentraciones de NH₄Cl vs pH y SD en CH₃COOH.

9.4.3. Análisis de difusión de NH₄Cl para MICRO-20 para 100 mg de NH₄Cl en los dos medios.

De igual manera al ítem anterior, se obtuvieron los datos necesarios para graficar las variaciones de las concentraciones de NH₄Cl a través del tiempo para MICRO-20 con 100 mg de NH₄Cl en agua desionizada (ver **Figura 26**). En esta Figura se observa el aumento de la concentración de NH₄Cl durante el tiempo estudiado, alcanzando un valor máximo de equilibrio (1370 ppm ± 48,1). Este valor supera la concentración inicial de NH₄Cl de 1250 ppm, lo que representa un fenómeno de difusión completo. El incremento de la concentración por encima del valor inicial se puede atribuir a la posible interacción con los iones liberados por la hidroxiapatita, que podrían haber contribuido a este comportamiento atípico en la difusión. Además de lo anterior, se observó en estas condiciones de trabajo que el pH estuvo entre 6.1 – 6.5; la temperatura entre un intervalo de 26.2°C – 27.5°C y los sólidos disueltos entre 1140 ppm – 1756,7 ppm observándose un incremento del material suspendido debido a los componentes de la microcápsula (Ver **Figura 27**).

Por otro lado, para el medio ácido se observó que la liberación de NH_4Cl para MICRO-20 presentó una concentración de equilibrio de $(1338,1 \text{ ppm} \pm 21.1)$ durante el tiempo de estudio, lo que indica que el NH_4Cl se encuentra a iguales condiciones tanto en el medio interior (microcápsula) como en el medio exterior (medio evaluado). En cuanto al pH de la solución se tuvo un rango de 5.89 a 8.15, lo cual se atribuye a las interacciones con el medio ambiente como la temperatura. Para los sólidos disueltos (SD) el intervalo fue de 1053,33 a 1746,67 como se observa en la **Figura 27**.

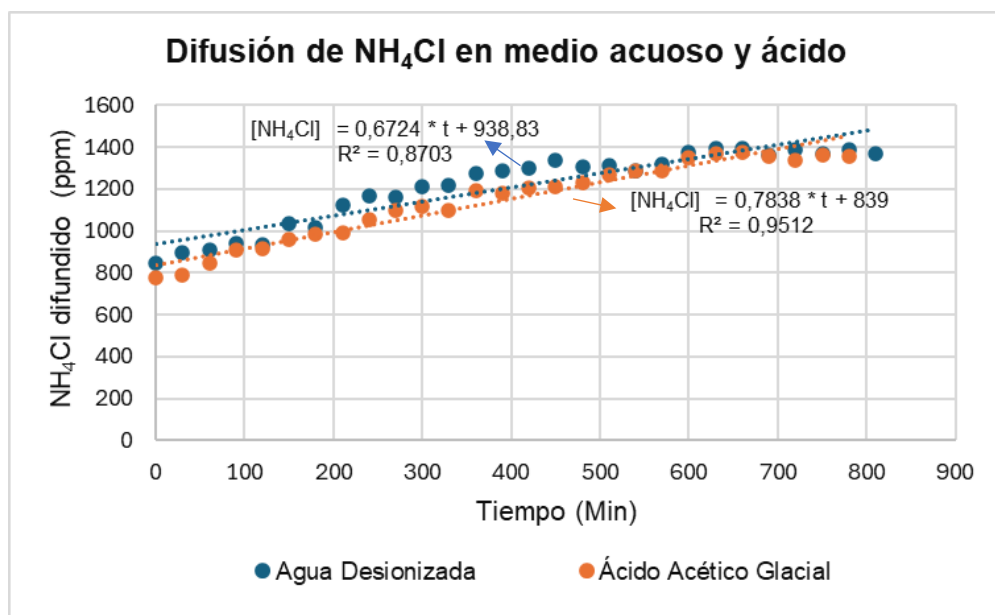
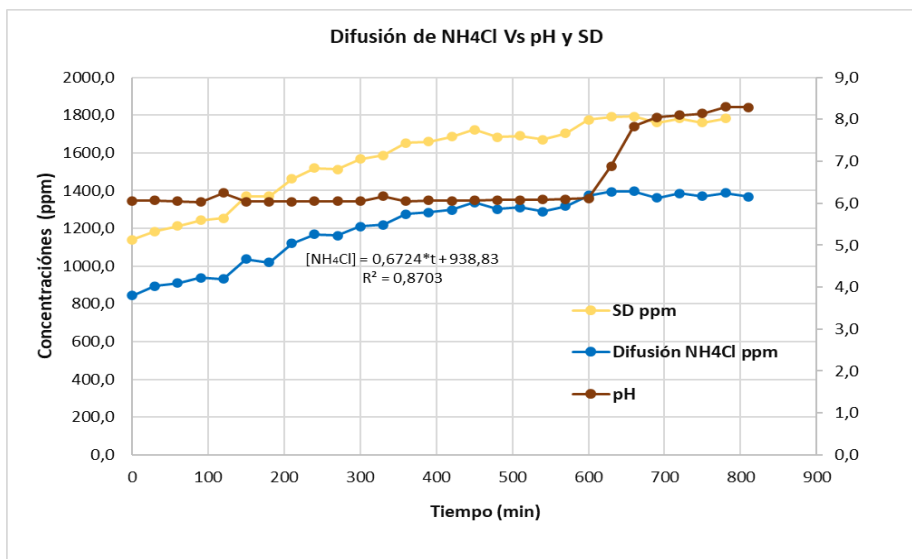


Figura 26. Concentraciones de cloruro de amonio vs el tiempo en los dos medios empleados: Acuoso y ácido.

Para la MICRO-20, al analizar la difusión se obtuvo nuevamente que la liberación del cloruro de amonio fue mayor en el medio ácido y se tiene una correlación (R^2) de 0.9512, indicando un excelente ajuste del modelo y la consistencia de los resultados, sin embargo, el pH del medio incide que se libere más rápido el NH_4Cl . De igual forma, se concluye que las condiciones del medio acuoso fueron favorables para la liberación del nutriente.

A).



B).

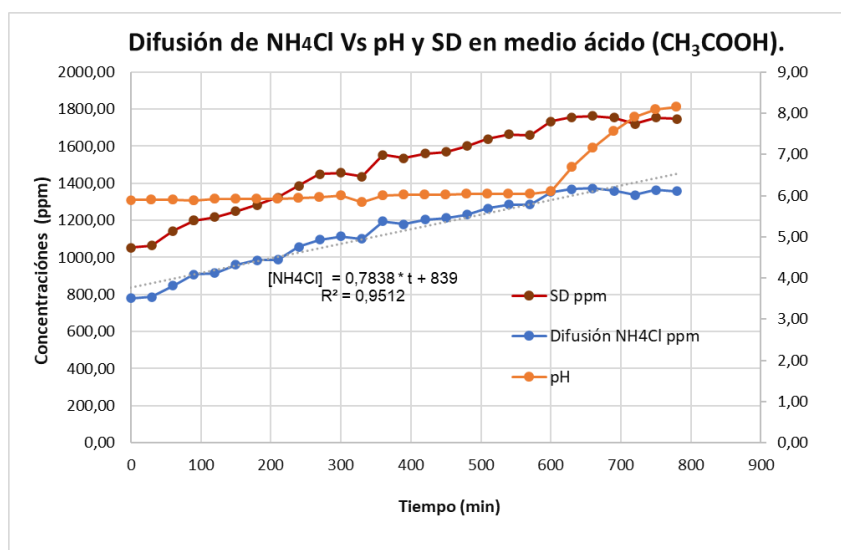


Figura 27. A). Concentraciones de NH_4Cl vs pH y SD en agua desionizada B). Concentraciones de NH_4Cl vs pH y SD en CH_3COOH .

9.4.4. Análisis de difusión de NH_4Cl para MICRO-15 para 100 mg de NH_4Cl en los dos medios.

Para la difusión de la MICRO-15 con 100 mg de NH_4Cl (**Figura 28**), se observó el aumento de la concentración del cloruro de amonio a lo largo del estudio, en el cual se contempló que a medida que pasaba el tiempo se difundía paulatinamente el NH_4Cl , alcanzando una concentración de equilibrio de $1253,3 \text{ ppm} \pm 21,7$ (teniendo en cuenta que la concentración inicial del NH_4Cl es

de 1250 ppm). Lo anterior, indica que se logró la difusión del NH_4Cl y el valor que se encuentra por encima de la concentración inicial puede ser generado por los iones liberado de la hidroxiapatita, lo cual posiblemente podría haber incidido en la concentración del cloruro de amonio. Por otra parte, también se observó durante el estudio que el pH estuvo en un rango de 5,5 -7,5 y los sólidos disueltos entre un intervalo de 1160 -1646,7 ppm, observándose un incremento del material suspendido debido a los componentes de la microcápsula (**Figura 29**).

En cuanto al medio ácido (CH_3COOH), se observa en la Figura la difusión de la MICRO-15 a lo largo del estudio. La concentración a medida que pasaba el tiempo iba aumentando paulatinamente llegando a un punto de equilibrio de $1292,2 \text{ ppm} \pm 27,7$. Al llegar a este punto se puede concluir que la microcápsula se difundió lentamente en el medio. Por otra parte, se tuvo en cuenta que el pH del medio ácido puede influir en la solubilidad y la ionización del NH_4Cl , en este caso su pH estuvo dentro de un rango de 5,65 – 7,90 y sus sólidos disueltos 1073,3 – 1636,6 ppm (**Figura 29**).

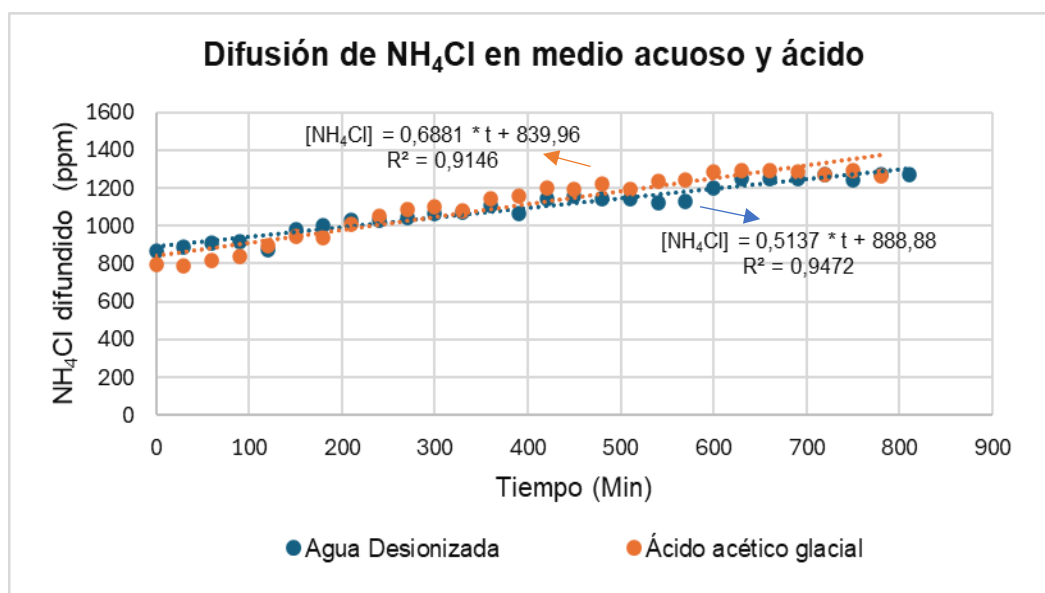


Figura 28. Concentraciones de cloruro de amonio vs el tiempo en los dos medios empleados: Acuoso y ácido.

En la gráfica se puede contemplar la difusión de los dos medios empleados, para este caso la MICRO-15 tuvo mayor liberación en el medio acuoso, presentando un mejor ajuste de los datos experimentales.

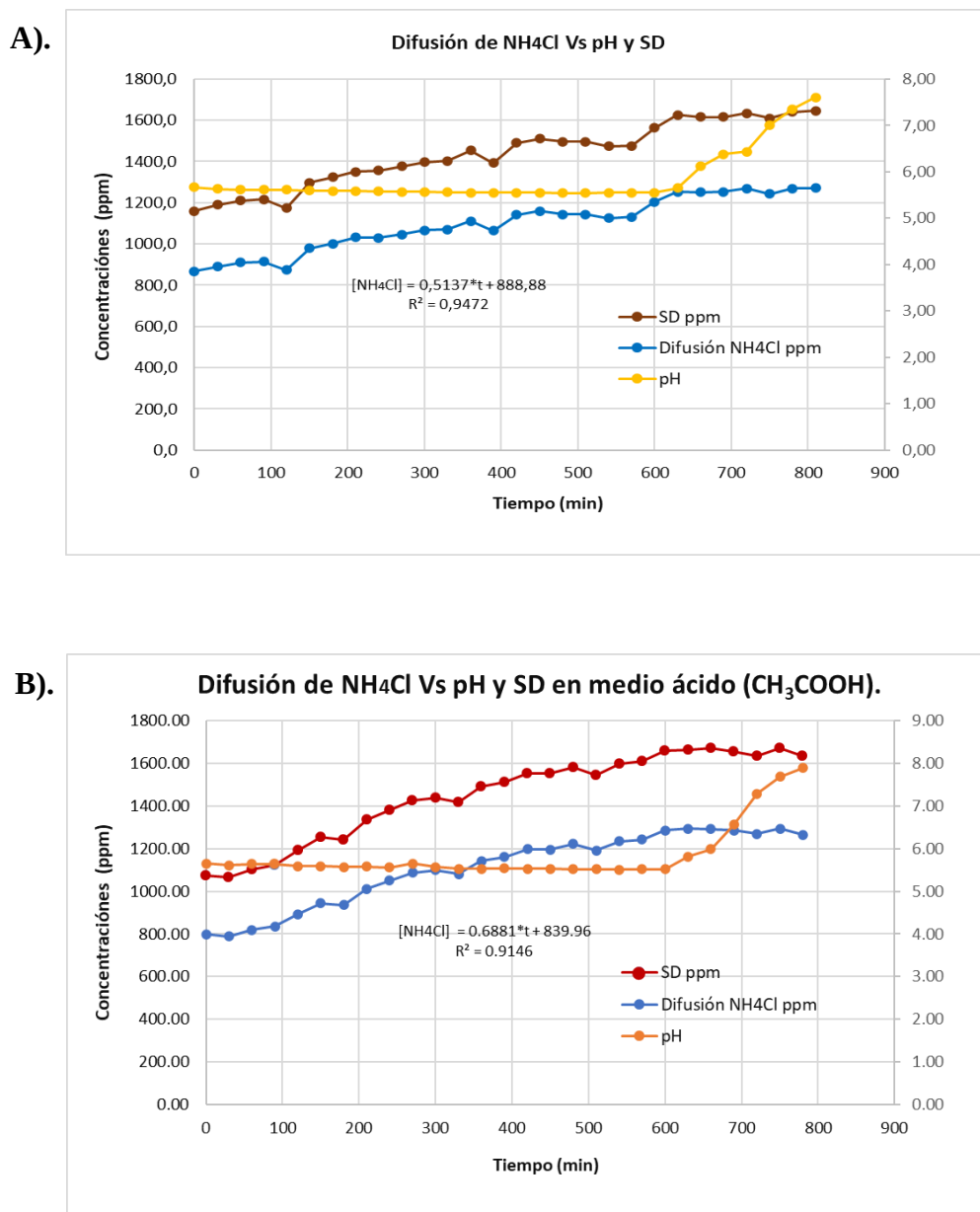


Figura 29. A). Concentraciones de NH₄Cl vs pH y SD en agua desionizada B). Concentraciones de NH₄Cl vs pH y SD en CH₃COOH.

Teniendo en cuenta la difusión de las MICRO - 25 – 20 y 15 tanto en el medio acuoso como en el medio ácido se observó que todas las curvas de correlación presentaron un coeficiente de determinación alto ($R^2 > 0.8$), indicando una fuerte relación en la recolección de datos durante el estudio, lo que demuestra la fiabilidad y consistencia de los métodos empleados. Además, se constató que las microcápsulas tardaron alrededor de un día en llegar a la concentración de equilibrio en los dos medios, lo que evidencia que los materiales de recubrimiento utilizados son efectivos para encapsular un fertilizante. Por otra parte, a partir de los análisis de difusión se observó que la liberación en el medio acuoso fue más lenta en relación con el medio ácido simulado, lo cual indica que el pH influye directamente en la liberación del nutriente.

El ácido acético glacial se empleó en este estudio con el propósito de simular las condiciones de acidez del suelo y así poder evaluar su impacto en la liberación del nutriente. Al someter las microcápsulas a este medio, se observó que la liberación del fertilizante fue más rápida, indicando una interacción directa entre el pH del medio y la estructura del recubrimiento. Además, el CH_3OOCH al interactuar con la microcápsula hace que el recubrimiento de alginato de sodio e hidroxiapatita se vaya degradando paulatinamente, permitiendo que el cloruro de amonio se disocie en iones de NH_4^+ y estos se vayan liberando gradualmente en el medio.

Por otra parte, la difusión del cloruro de amonio en el medio acuoso fue más lenta ya que solo se realizó la prueba en agua desionizada y la interacción se daba entre la microcápsula y el medio. El transporte iónico del NH_4^+ fue influenciado por interacciones con el agua y el gradiente de concentración.

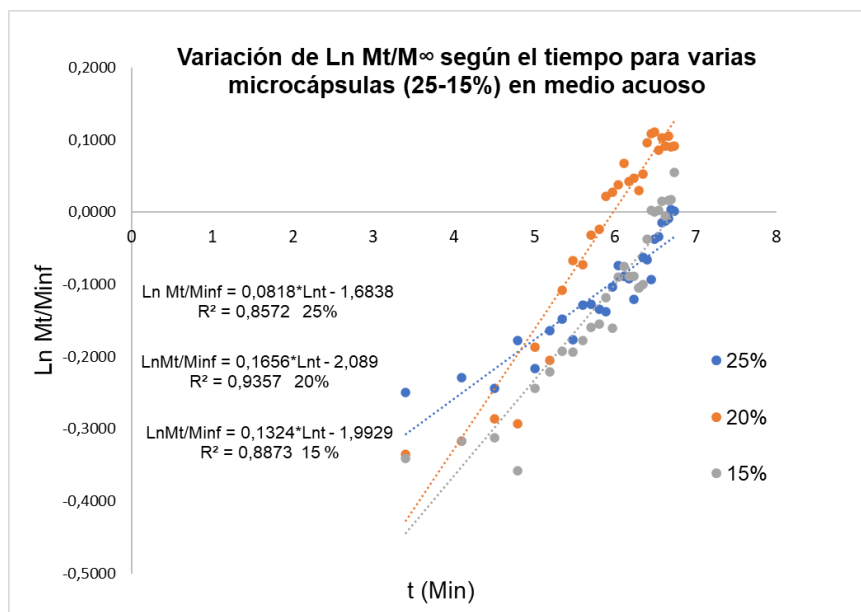
9.5 Análisis de la velocidad de Fick para la difusión de NH₄Cl para MICRO-15, 20 y 25 en los dos medios: acuoso y ácido.

Después de tener las gráficas de las concentraciones de NH₄Cl en función del tiempo para cada microcápsula, se analizó la difusión de estas empleando la Ley de Potencia de Korsmeyer – Peppas, basada en la Ley de Fick, donde se empleó la **Ec 2** como se detalla a continuación.

$$\ln \frac{M_t}{M_\infty} = \ln k + n * \ln t$$

Bajo esta condición, las gráficas de difusión se ajustaron y se evaluaron utilizando la ecuación mencionada anteriormente. En la **Figura 30** se presenta la relación entre M_t y M_∞ con respecto al tiempo para cada microcápsula y para cada medio preparado (**Anexo F**). El ajuste a la ecuación lineal con su respectiva correlación (R^2) y los valores del índice de difusión (n) se muestran en la **Tabla 8**.

A).



B).

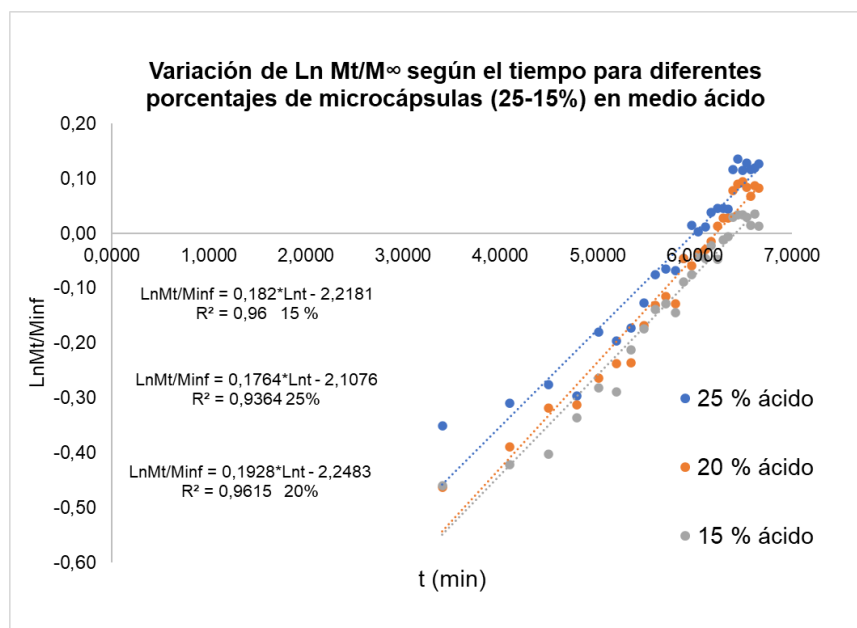


Figura 30. Variación de M_t/M_∞ con $\text{Ln } t$ para diferentes porcentajes de HA/AS de (25-20 y 15%) en A) medio acuoso y B) medio ácido.

Tabla 8.

Parámetros de relación de la difusión del NH_4Cl en el medio acuoso y ácido.

HA/AS	MEDIO ACUOSO			MEDIO ÁCIDO		
	Ecuación	R^2	n	Ecuación	R^2	n
15%	$\text{Ln } M_t/M_\infty = 0,1324 \cdot \text{Ln } t - 1,9929$	0,8873	0,1324	$\text{Ln } M_t/M_\infty = 0,182 \cdot \text{Ln } t - 2,2181$	0,9600	0,182
20%	$\text{Ln } M_t/M_\infty = 0,1656 \cdot \text{Ln } t - 2,089$	0,9357	0,1656	$\text{Ln } M_t/M_\infty = 0,1928 \cdot \text{Ln } t - 2,2483$	0,9615	0,1928
25%	$\text{Ln } M_t/M_\infty = 0,0818 \cdot \text{Ln } t - 1,6838$	0,8572	0,0818	$\text{Ln } M_t/M_\infty = 0,1764 \cdot \text{Ln } t - 2,1076$	0,9364	0,1764

Fuente. Propia.

Con base en los datos obtenidos, mediante el modelo de Korsmeyer – Peppas, el índice de difusión (n) varió entre 0,0818 y 0,1656 en el medio acuoso y entre 0,1764 y 0,1928 en el medio ácido, indicando que los valores obtenidos de n se encuentran dentro del rango $0 < n < 0,5$, lo que sugiere que el mecanismo de liberación del NH_4Cl se rige por el mecanismo de transporte Fickiano tal como se detalla en la **Tabla 1**. Al ser difusión Fickiana, esto nos indica que la liberación del

NH_4Cl ocurre principalmente mediante fenómenos de absorción y adsorción en la matriz de recubrimiento, así como por su interacción con el medio externo. A continuación, se representa en la **Figura 31** el modelo de liberación y lo que se esperaría al ser aplicado en las plantas.

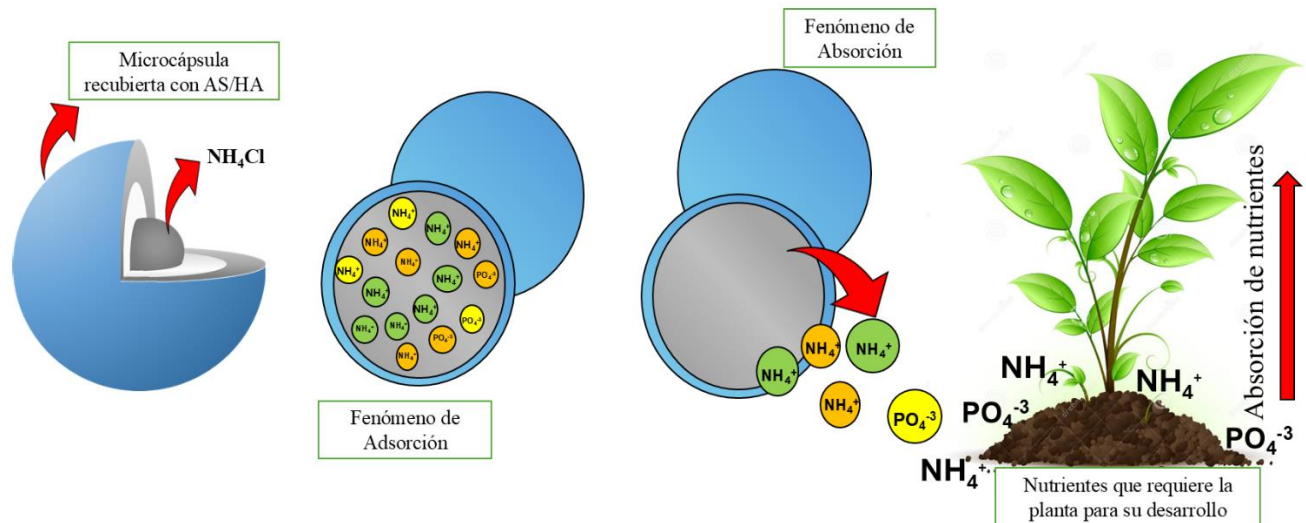


Figura 31. Representación de los fenómenos de adsorción y absorción y el ideal de como lo absorbe la planta.

10. DISCUSIÓN.

La extracción de la hidroxiapatita (11,67%) a partir de las escamas de peces de tilapia se convierte en una oportunidad prometedora para su uso como fertilizante de difusión lenta, ofreciendo alternativas sostenibles para la agricultura, tal como se ha reportado en otros trabajos donde han utilizado materiales similares, como la urea (Chen *et al.* 2021) y el nitrato de amonio (Zhang *et al.* 2023) para la liberación controlada de nutrientes. La hidroxiapatita con su capacidad para liberar nutrientes de forma gradual no solo mejora la eficiencia en el suministro de los nutrientes, sino que también ayuda al desarrollo de las plantas gracias a su contenido de fósforo (De la Vega, *et al.* 2020). Por otro lado, el aprovechamiento del alginato de sodio (24,13%), extraído de algas pardas, es una estrategia sostenible con el medio ambiente debido a su origen natural, biodegradabilidad y bajo impacto ambiental. Este biopolímero ofrece una alternativa ideal para la encapsulación de fertilizantes gracias a sus propiedades gelificantes, asegurando una liberación lenta y prolongada de nutrientes, lo que podría optimizar su disponibilidad en los cultivos.

Por otra parte, las microcápsulas preparadas permitieron mostrar en este estudio que un aumento en la proporción de alginato de sodio contribuyó a un leve incremento en la difusión del cloruro de amonio tanto en agua como en medio ácido. Este comportamiento puede explicarse por medio del modelo de Korsmeyer – Peppas basado en la Ley de Fick, donde se estableció que el flujo de difusión es proporcional al gradiente de concentración y al coeficiente de difusión, e inversamente proporcional al espesor de la barrera, coincidiendo con lo encontrado en los resultados obtenidos, con valores de $0 < n < 0.5$, lo cual respalda la influencia del espesor y las propiedades del material encapsulante sobre la liberación lenta del fertilizante. Adicionalmente, a pesar de que la liberación se plantea lenta en ambos medios, los resultados sugieren que el medio

ácido influye levemente sobre la difusión del cloruro. Si comparamos esto con lo reportado por Nardi *et al* (2018) en la aplicación de fertilizantes de liberación lenta controlada (SCRF, *Slow Controlled Release Fertilizer* por su sigla en inglés), se observa que el fertilizante preparado en este estudio podría tener un buen futuro en aplicaciones en suelos ya que la liberación se vería aumentada con el riego constante del cultivo. Por otro lado, la liberación del fósforo también se pudo presentar al tener en cuenta que la hidroxiapatita, al contener este elemento en su composición, lo puede liberar también lentamente. De hecho, si observamos la curva de sólidos disueltos se podría hacer una correlación con estos datos, tal como se plantea en (Zhu *et al*, 2009) que indica que la disolución de PO_4^{-3} aumenta con el incremento de la acidez del medio. Finalmente, con base en los resultados se esperaría que este material preparado sea prometedor para fines ambientales dentro de la agricultura sostenible y la bioeconomía.

11. CONCLUSIONES.

- Los resultados obtenidos mediante los métodos de caracterización, como SEM y FTIR, en comparación con los datos reportados en la literatura, confirmaron que las propiedades de los materiales utilizados para la encapsulación correspondían a la hidroxiapatita y al alginato de sodio, evidenciando que ambos biomateriales fueron correctamente sintetizados y caracterizados para posteriormente ser empleados en el desarrollo de las microcápsulas.
- La extracción de hidroxiapatita de escamas de tilapia demuestra un rendimiento del 11,67%, lo que la posiciona como una opción viable para el encapsulamiento de nutrientes para su liberación lenta.
- La extracción del alginato de sodio a partir de las algas pardas presentó un rendimiento del 24,13%, lo que representa una excelente alternativa para su uso como material de recubrimiento, además, de que es un biopolímero amigable con el medio ambiente gracias a que es biodegradable, de bajo costo y no tóxico.
- Las microcápsulas se prepararon exitosamente utilizando diferentes porcentajes de hidroxiapatita (HA) y alginato de sodio (AS) al 25%, 20% y 15%, logrando materiales adecuados para su posterior análisis en los dos medios evaluados.
- El alginato de sodio afecta positivamente la difusión de cloruro de amonio, evidenciando un aumento leve en su liberación en agua y medio ácido. Esto concuerda con la ley de Fick, donde se establece que la difusión es proporcional al gradiente de concentración y al coeficiente de difusión, lo que se refleja en las microcápsulas preparadas en este estudio.
- Los resultados obtenidos de la liberación del cloruro de amonio en los dos medios evaluados fueron significativos, ya que confirmaron que el proceso de liberación sigue un

mecanismo de difusión fickiana. Además, se determinó que en la liberación del nutriente solo incide los fenómenos de adsorción y absorción.

- Las microcápsulas elaboradas a partir de los dos materiales constituyen una alternativa prometedora para abordar los problemas ambientales asociados con el uso de fertilizantes químicos, ofreciendo una opción más sostenible para la agricultura.
- La presente investigación, es un proyecto novedoso que propone alternativas sostenibles para la agricultura, aprovechando subproductos generados por las agroindustrias, los cuales actualmente representan un problema ambiental debido a su contaminación. Además, el proyecto tiene un enfoque en bioeconomía y se encuentra alineado con las políticas y objetivos del gobierno nacional, promoviendo alternativas que favorecen la sostenibilidad y la reducción de impactos ambientales en la agricultura.

12. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda probar con diferentes porcentajes de alginato de sodio e hidroxiapatita para seguir evaluando su capacidad de liberación.
- También se recomienda realizar ensayos adicionales en los que se apliquen los resultados obtenidos en esta investigación, evaluando la liberación de nutrientes en plantas bajo condiciones del suelo.
- Se sugiere la diversificación de materia prima, así mismo, extender los estudios a otras especies de peces para evaluar el potencial de sus subproductos en la elaboración de microcápsulas. Esto podría abrir nuevas oportunidades y alternativas sostenibles.

13. DIVULGACIÓN

EVENTOS CIENTÍFICOS

V CONGRESO COLOMBIANO DE ELECTROQUÍMICA – V CCEQ, VIII SEMINARIO INTERNACIONAL DE QUÍMICA APLICADA – VIII SEQUIAMAZ.

FECHA DE INICIO: 03 DE OCTUBRE DE 2022

FECHA FINALIZACIÓN: 07 DE OCTUBRE DE 2022

DIRECTOR: HANS THIELIN CASTRO SALAZAR, QUÍMICO, *PH. D*

XIX ENCUENTRO DEPARTAMENTAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN - REDCOLSI - NODO HUILA

FECHA DE INICIO: 24 DE MAYO DE 2023

FECHA FINALIZACIÓN: 26 DE MAYO DE 2023

DIRECTOR: HANS THIELIN CASTRO SALAZAR, QUÍMICO, *PH. D*

1ER. CONGRESO INTERNACIONAL EN BIOECONOMIA – IBAGUE

FECHA DE INICIO: 17 DE AGOSTO DE 2023

FECHA FINALIZACIÓN: 18 DE AGOSTO DE 2023

DIRECTOR: HANS THIELIN CASTRO SALAZAR, QUÍMICO, *PH. D*

XXVI ENCUENTRO NACIONAL Y XX ENCUENTRO INTERNACIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN REDCOLSI -ENISI 2023 – CARTAGENA DE INDIAS.

FECHA DE INICIO: 11 DE OCTUBRE DE 2023

FECHA FINALIZACIÓN: 14 DE OCTUBRE DE 2023

DIRECTOR: HANS THIELIN CASTRO SALAZAR, QUÍMICO, *PH. D*

A continuación, se adjunta el artículo borrador que se obtuvo como resultado del proyecto de investigación.

Preparation and characterization of hydroxyapatite/sodium alginate-based composite scaffolds for Slow-Release Fertilizers of ammonium chloride

Natalia Vargas-Ramos^a, Paula Andrea Losada-Rodríguez^a, Carlos Alberto Ríos-Reyes^b, José Antonio Henao-Martínez^c, Hans Thielin Castro-Salazar^{d*}

^aPrograma de Ingeniería Ambiental, Corporación Universitaria del Huila-CORHUILA, Colombia

^bLaboratorio de Microscopia electrónica de barrido, Universidad Industrial de Santander, Colombia

^cLaboratorio de Difracción de Rayos X, Universidad Industrial de Santander,

^dCorporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA, Colombia

* Autor de correspondencia: htcastro@agrosavia.co

Resumen

Con el crecimiento de la población mundial y la creciente demanda de la producción de alimentos, los fertilizantes desempeñan un papel crucial en el aumento del rendimiento de los cultivos y la producción agrícola. Sin embargo, la eficiencia de absorción de nutrientes por parte de los cultivos es limitada, lo que resulta en pérdidas significativas por lixiviación, infiltración y volatilización, generando problemas ambientales. En este contexto, esta investigación se enfoca en la bioeconomía para aprovechar subproductos generados por la agroindustria, que actualmente representan un desafío ambiental no abordado. Se prepararon biocápsulas utilizando mezclas de hidroxiapatita, obtenida de las escamas de Tilapia roja (*Oreochromis spp.*), y alginato de sodio, extraído de las algas pardas (*Sargassum spp.*), con el objetivo de estudiar la difusión del NH_4Cl en presencia de agua desionizada y ácido acético glacial. La caracterización de los materiales y sus mezclas se llevó a cabo mediante técnicas analíticas estándar. La investigación se dividió en tres etapas: (1) extracción de biomateriales hidroxiapatita y alginato de sodio, (2) caracterización mediante análisis microscópico y espectroscópico, y (3) análisis de la difusión de NH_4Cl mediante mediciones de conductividad en dos medios: acuoso y ácido. Los resultados obtenidos a partir de la caracterización permitieron identificar propiedades clave de los biomateriales, y el análisis de difusión de NH_4Cl en las biocápsulas dispersas en agua mostró constantes cinéticas iniciales para diferentes concentraciones.

Palabras Claves: Hydroxyapatite; alginate of sodium; ammonium chloride; bioeconomy, fertilizers.

Abstract

With the global population on the rise and increasing demands for food production, fertilizers play a pivotal role in enhancing crop yields and agricultural output. However, the limited nutrient absorption efficiency of crops often leads to significant losses through leaching, infiltration, and volatilization, causing environmental challenges. In this context, our research focuses on leveraging bioeconomics to repurpose byproducts generated by agro-industries, currently posing unaddressed environmental issues. composite scaffolds were prepared using a blend of

hydroxyapatite sourced from the scales of red Tilapia (*Oreochromis spp.*) and sodium alginate extracted from brown algae (*Sargassum spp.*). The objective was to study NH_4Cl diffusion in the presence of deionized water and glacial acetic acid. Material and mixture characterization employed standard analytical techniques. The research comprised three stages: (1) extraction of hydroxyapatite and sodium alginate biomaterials, (2) characterization through microscopic and spectroscopic analysis, and (3) NH_4Cl diffusion analysis via conductivity measurements in aqueous and acidic media. The obtained results from material characterization identified key properties of the biomaterials, and the NH_4Cl diffusion analysis in the dispersed biocapsules revealed initial kinetic constants for various concentrations.

Keywords: hydroxyapatite; sodium alginate; Slow Release Fertilizer, bioeconomy.

1. Introduction

Fertilizers play a very important role in maintaining the high production of crops in the world. According to the FAO (2022), 318 million tons of fertilizers were produced in the world. Of this amount, 190 million tons were nitrogenous fertilizers, 64 million tons were phosphate fertilizers, and 64 million tons were potash fertilizers. However, large quantities of these fertilizers are lost when they are applied to crops because any nutrients not immediately taken up by plants can run off (Sharma et al., 2019), causing soil acidification, leaching into water bodies (Zhao et al., 2022) and promoting eutrophication (Huang et al., 2017; Acuña-Alonso et al., 2020), volatilization, photolysis, or surface overflow due to rain or irrigation (Kaur et al., 2023). This reduces the efficiency of the applied fertilizer and increases crop production costs (Aryal et al., 2021). Moreover, the loss of applied nutrients into the environment results in the emission of nitrous oxide (N_2O) from agricultural production, which is a major source of anthropogenic greenhouse gas emissions (Aryal et al., 2021). In addition, conventional fertilizer application techniques—such as broadcasting, placement, foliar application, fertigation, and band placement—are not very efficient. Understanding farmer behavior regarding the use of inorganic and organic fertilizers is crucial, as improving nitrogen (N) fertilizer use efficiency can substantially reduce agriculture's carbon footprint, *i.e.* ammonium chloride may result in lower emissions of nitrous oxide (N_2O) than urea (Aryal et al., 2021). In this way, developing methods to increase the solubility of mineral fertilizers could enhance agricultural production (Scienna et al., 2019). Enhancing the solubility of a material can be achieved by increasing its surface area, making the use of nanoparticles particularly relevant in this context. Additionally, employing suitable biodegradable storage systems for nanoparticles could address this issue while also controlling their solubility (Scienna et al., 2019). The emergence of slow- and controlled-release fertilizers (SCRF) provides a new option for more efficient crop fertilization. These fertilizers release nutrients gradually and appropriately to meet the precise nutrient demands of plant growth, making them a promising technology for sustainable agriculture (Kaur et al., 2023). Slow-release fertilizers are coated with a layer of hydrophobic material on the surface of traditional fertilizer particles to slow down the rate at which nutrients are released into the soil. These coating materials are primarily petrochemical, such as polyethylene and polypropylene (Li et al., 2022). In terms of environmental protection, chemical synthetic slow-release fertilizers show significant

quickly. Others N fertilizers such as ammonium sulfate, ammonium phosphate or ammonium chloride present more effort for its ionic formation (Chai et al, 2017). This makes it insufficient for meeting the nutritional needs of crops with short growth cycles. Additionally, long-term use of coated controlled-release fertilizers may lead to an accumulation of residual coating materials in the soil, which is a concern for scientists (Li et al., 2022). In addition, another types of release fertilizer are prepared from biopolymer composites or mixture of various materials that encapsulate the nutrient of interest. Among these natural resources used to synthesize encapsulated fertilizers are nanocellulose fibers (Kaur et al., 2023), inorganic clay minerals (Dong et al., 2023), starch (Zafar et al., 2021), chitosan (Cyriac et al., 2023, Saberi et al., 2023) and alginate (Huang et al 2023). These materials are of great interest to scientists due to their biodegradability, renewability, and environmental friendliness. One of these minerals of great interest due to its mechanical properties, abundance, and easy extraction from natural sources is hydroxyapatite (HA) (Minin et al, 2023), with the chemical formula $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. It is rich in calcium and phosphorus (Sciema et al., 2019) and can be found in bones, teeth (Shylaja et al., 2022; Peng et al., 2024), and fish scales (Eswaran et al., 2021). HA is used in biomedical applications (Firdaus et al., 2022), including scaffolds for drug delivery (Abdian et al., 2023), immobilization matrices for the development of electrochemical biosensors (Wahyuni et al., 2022), and as a biofertilizer in agriculture (Bighman et al., 2020). Some authors assert that HA nanoparticles with a diameter of 15–30 nm in fertilizers promote seed germination and growth in crops such as chickpeas (*Cicer arietinum*) (Bala et al., 2014), beans (Shylaja et al., 2022), white willow (*Salix alba*) (Santás-Miguel et al., 2023), and lettuce (Cruz-Hernández et al., 2023). The fundamental benefits of employing HA nanoparticles over other nanomaterials include their intrinsic biocompatibility, stability, bioactivity, and biodegradability, as well as their role as a principal component in composites. However, one challenge with HA is its weak toughness and tensile strength. To address this, various reinforcing materials have been incorporated with HA to create high-performance composite materials (Wahyuni et al., 2022). The dissolution rate of HA is strongly pH - dependent. However, within aquifer porewaters, the solution is often close to equilibrium with respect to HA, causing the dissolution rate to depend more on the PO_4^{3-} concentration. Within the measured ranges of pH and PO_4^{3-} concentrations, the dissolution rate varies between $10^{-12.25}$ and $10^{-9.15} \text{ mol kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$, contributing phosphorus (P) to the catchment headwaters (Bighman et al., 2020). On the other hand, sodium alginate (SA) is a polysaccharide composed mainly of β -D-mannuronate (M-blocks) and α -L-guluronate (G-blocks) linked by 1→4 bonds. The distribution and ratio of each monomer in the alginate polymer chains can vary greatly depending on the extraction source of the alginate (Costa et al., 2024). This glycosidic polymer is found in various seaweeds (Zhu et al., 2023) or bacteria (Straatmann and Borchard, 2002) and is widely used in food as an emulsifier or additive (Wang et al., 2023) because it can form gels with strong physical crosslinking bonds in the presence of divalent cations, such as calcium ions.

The first focus of this work is the synthesis and characterization of HA/SA-based composite scaffolds for the controlled slow release of ammonium chloride by encapsulation method with renewable sources such as fish scales and seaweeds. Additionally, a diffusion analysis of the release of ammonium chloride from the prepared composite scaffolds was conducted using a conductivity method in two types of media: aqueous and acidic

Colombia produces tons of fish scales that aren't approval for industry. 3172428891-john freddy

2. Experimental section

2.1. Materials

Deben especificarse las marcas de los reactivos utilizados. The following materials were used in this study: The HA was obtained from scales of fish of *Oreochromis sp.*; Sodium hydroxide (NaOH), ACS reagent, >97.0 %, pellets, was purchased from Sigma-Aldrich; Hydrochloric acid, 0.1M, Chem-Lab, was purchased from Fisher Scientific. NH_4Cl was purchased from Fisher Scientific. The solvents (deionized water and glacial acetic acid) used in this experiment, especificar que solventes se usaron, are all pure analytical grade.

2.2 Isolation of alginate of sodium from seaweeds and hydroxyapatite from fish scales

The SA was extracted from brown seaweeds (*Sargassum sp.*) according to Anjana and Arunkumar [2024]. Brown seaweeds were collected from the Atlantic Coast of Colombia and transported to the laboratory for treatment. The seaweeds were ground and sieved until reaching a particle size of 0.84 mm. Forty grams of sieved algae were washed with tap water, treated with formaldehyde (200 mL, 10% w/w) for 12 hours, and then filtered. Algae were washed with 200 mL of distilled water, and a solution of HCl (0.1 moles L^{-1}) was added until the filtered water reached a pH of 4. Afterward, the algae were mixed with 200 mL of distilled water and placed in a beaker with an aqueous solution of Na_2CO_3 (10% w/w) until the solution reached a pH of 10. The resultant solution was stirred in a water bath for 2 hours. The diluted SA was vacuum-filtered, and the residue was washed until the filtrate turned white. Finally, the SA was precipitated in ethanol (96% w/w), filtered, and weighed while dry. The extraction yield of SA from algae was of 47 % w/w.

The *Oreochromis sp.* fish scales were collected from Mendez Aquaculture of Palermo, Colombia. The collected fish scales were cleaned with tap water several times to remove residual organic matter, dried in an oven (Mettler) for 3 hours at 40 °C, and then kept at ambient temperature for further analysis. An aqueous solution of HCl (1000 mL, 0.1 moles L^{-1}) was prepared and applied to eliminate proteins from the fish scales while stirring at room temperature for 3 hours. Subsequently, a NaOH solution (500 mL, 5 % w/v) was introduced to the fish scales and heated for 7 hours at 70 °C with continuous stirring at 500 rpm to ensure the removal of residual proteins. Pale white HA precipitates were successfully obtained after 7 hours. The obtained HA precipitates underwent multiple washes with deionized water until the conductivity of the washed water approached zero. The resulting sample was then placed in an oven overnight at 70 °C. The yield achieved was 25 % w/w (Eswaran et al., 2021).

2.3. Preparation of HA/SA-based composite scaffolds

Insertar aqui una figura que ilustre el proceso experimental. Incluir el polisacárido con la hidroxiapatita.

Weights of HA and SA were taken using an analytical balance with one precision of ± 0.001 to prepare HA/SA-based composite scaffolds with different quantities of SA (15, 20 and 25 % w/w). An aqueous solution of NH_4Cl ($1350 \mu\text{g mL}^{-1}$, deionized water) is aggregated to each mixture and obtained aqueous suspensions were constantly stirred at 30°C for 30 min. Subsequently, the resulting mixture was transferred to a Petri dish to carried out to an oven at 50°C for one day until complete dryness was achieved. The procedure was repeated for quintuplicated to the mixture of HA/AS (25 % w/w) using different quantities of NH_4Cl .

2.4. Characterization of HA/SA-based composite scaffolds

A fraction of the samples was pulverized for determining the mineralogical composition by X-ray powder diffraction (XRPD) using a BRUKER D8 ADVANCE diffractometer operating in Da Vinci geometry and equipped with an X-ray tube (Cu-K α 1 radiation: $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$, 40 kV and 30 mA), a 1-dimensional LynxEye detector (with aperture angle of 2.93°), a divergent slit of 0.6 mm, two soller axials (primary and secondary) of 2.5° and a nickel filter. The XRPD pattern of garnet was recorded by X-ray diffraction Data collection was carried out in the 2θ range of $3\text{--}70^\circ$, with a step size of 0.01526° (2θ) and counting time of 1 s/step. Phase identification was performed using the crystallographic database Powder Diffraction File (PDF-2) from the International Centre for Diffraction Data (ICDD) and the Crystallographica Search-Match program. Backscatter electron (BSE) imaging and EDS analysis of the fossil wood were carried out using a FEI QUANTA FEG 650 environmental scanning electron microscope (ESEM), under the following analytical conditions: magnification = 100-20000x, WD = 9.0-11.0 mm, HV = 20 kV, signal = BSE in Z CONT mode, detector = BSED, EDS Detector EDAX APOLO X with resolution of 126.1 eV (in. Mn K α). The spectra and concentrations obtained were analyzed using QUANT-EXPRESS software and the method of Fundamental Parameters. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy was conducted in one (1) gypsum-bearing vein. The analysis was performed using a Thermo Scientific Nicolet™ iS™50 instrument in the spectral range of $400\text{--}4000 \text{ cm}^{-1}$ at a resolution of 4 cm^{-1} . The analysis of ion diffusion through the prepared biocapsules (15, 20, and 25% w/w) was conducted using a digital conductometer from Hanna Instruments.

2.5. Analysis of the conductivity of encapsulated NH_4Cl in aqueous and acid medium

80 mL of deionized water was carefully added to each prepared HA/SA-based composite scaffolds (25%) with different quantities of NH_4Cl . Conductivity measurements of dissolved NH_4Cl in water were taken by conductimetry (*Hanna Instruments*, $\pm 0.01 \text{ mS/cm}$) for approximately five hours. The procedure was repeated to HA/SA-based composite scaffolds (15 and 20 % w/w) using the quantity lowest of NH_4Cl ($1250 \mu\text{g mL}^{-1}$) to evaluate the incidence of AS in the diffusion of NH_4Cl . All experiments were realized by triplicated and data were recorded in spreadsheet. Calibration curves of conductivity to NH_4Cl with different concentrations and blank curves were prepared. The conductivity obtained from the blank curves was used as the baseline for the analysis of the diffusion of NH_4Cl to avoid interferences of ions phosphates in the measurement. Finally, the procedure was repeated using aqueous acetic acid ($0.1 \mu\text{g mL}^{-1}$) to evaluate the effect of acidity on the diffusion of NH_4Cl .

2.5.1 Analysis of Fick diffusion of encapsulated NH_4Cl in aqueous and acid medium

In agricultural applications of Slow-Release Fertilizers (SRF), two diffusion modes are recognized: short-term diffusion and long-term diffusion (Duan *et al*, 2023). In this study, short-term diffusion was modeled, considering the relationship between the concentration of NH_4Cl migration into water at time t ($M_{F,t}$, $\mu\text{g mL}^{-1}$) and the concentration at migration equilibrium ($M_{F,\infty}$, $\mu\text{g mL}^{-1}$). The criterion for short-term diffusion was defined as $M_{F,t}/M_{F,\infty} < 0.6$ (Cui *et al*, 2023). Under this condition, the release curve can be fitted and evaluated using the power-law equation (Eq. 1), as detailed below:

$$\frac{M_{F,t}}{M_{F,\infty}} = K_1 * t^n \quad \text{Eq. 1}$$

Where K_1 is a constant and n is the diffusion index. The linear equations of $\ln(M_{F,t}/M_{F,\infty})$ and $\ln t$ are obtained by applying the natural logarithm to both sides of Equation 2, allowing for the determination of n as follows:

$$\ln \frac{M_{F,t}}{M_{F,\infty}} = \ln K_1 + n * \ln t \quad \text{Eq. 2}$$

The value of n depends on the linear adjustment representing the diffusion of NH_4Cl in HA/SA-based composite scaffolds with a concentration gradient, as shown in Table 2. The interpretation of n is as follows: when $0 < n < 0.5$, the diffusion follows Fick's law; when $n = 0.5$, the diffusion rate is time-dependent; when $0.5 < n < 1.0$, the diffusion deviates from Fick's law, representing non-Fickian diffusion; when $n = 1.0$, the diffusion rate is directly proportional to time; and when $n > 1.0$, the diffusion corresponds to the super-Fickian regime (Duan *et al.*, 2023).

Table 2. Values of “ n ” to Fick’s Law.

n	Rule
$0 < n < 0.5$	Fick Diffusion
0.5	Diffusion Fick is determined by time
$0.5 < n \leq 1.0$	Non-Fick Diffusion
$n > 1$	Super Fick Law

3. Results

3.1. Fourier transform infrared spectroscopy

The FTIR spectroscopy study (Fig. 10) serves as a powerful tool for the comprehensive identification of components within the biomaterial under examination, specifically focusing on HA and SA. Within the spectrum of HA, the distinctive bands originating from the stretching vibrations of the PO_4^{3-} groups are discernible in the wavenumber range of 1050 cm^{-1} to 950 cm^{-1} . Notably, this group exhibits robust absorption bands spanning from 850 cm^{-1} to 750 cm^{-1} . Additionally, attention is drawn to bands situated between 1200 cm^{-1} and 1150 cm^{-1} , which are typically associated with the HPO_4^{2-} groups, providing a more nuanced understanding of the HA composition. Turning to the analysis of SA, a detailed examination reveals that this biopolymer

stretching vibrations related to the aliphatic C-H group are observed at 3150 cm^{-1} , the C-O stretching vibration of uronic acid residues presents itself distinctly at 1050 cm^{-1} and vibrations correspondent to mannuronic acid residues are in 884, 880 and 820 cm^{-1} . This comprehensive analysis using FTIR spectroscopy not only identifies specific chemical groups but also offers insights into the molecular structure and composition of HA and SA, enhancing our understanding of these biomaterials.

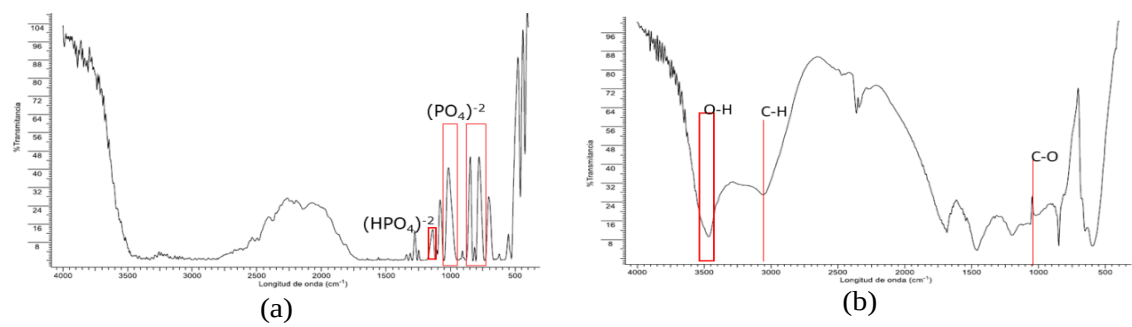


Fig. x. FT-IR spectra of (a) HA and (b) SA.

3.2. Scanning electron microscopy

SEM images (Fig. 11) illustrates...xxx

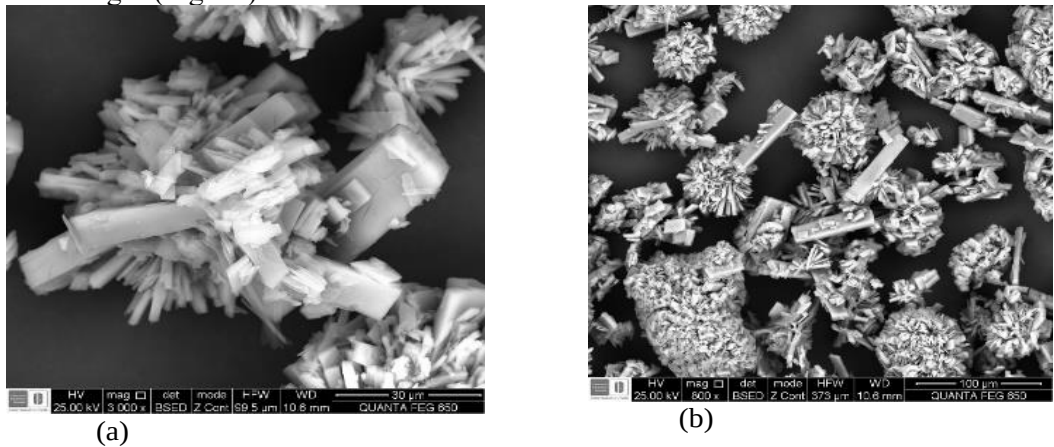


Fig. x. SEM images of the HA: (a) 30 μm . (b) 100 μm .

3.3. X-ray diffraction

XXXX

imAGE

Fig. x. X-Ray Images of a) HA b) HA/AS (25%, 20%, 15%)

3.4. Release Study of NH_4Cl using different SRF

The results of the variation of concentration of NH_4Cl to SFR 25 used in this study are presented in Figure x. In this Figure, is shown that the concentration of NH_4Cl increase with time.

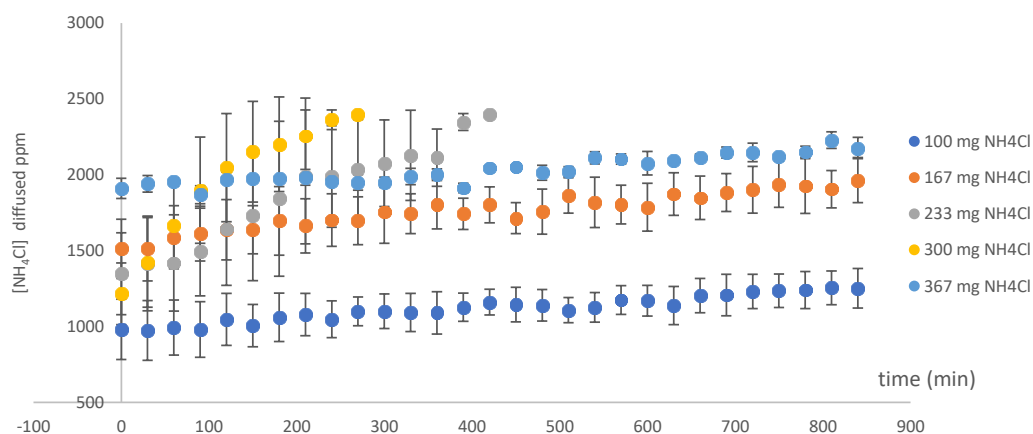


Fig. x. HA/SA-based composite scaffolds (25%) with varying concentrations of NH_4Cl in aqueous medium.

Fig. x. Diffusion of NH_4Cl to HA/AS 25% in two media to the same initial concentration of NH_4Cl (100 mg).

a) Aqueous medium	b) Acid medium
-------------------	----------------

Fig xx. Influence of proportion of AS (15, 20 and 25%) in the diffusion of NH_4Cl (100mg) in a) aqueous and b) acid medium.

3.5 Analysis of the diffusion of Fick

In the figure below is presented the relationship between $M_{F,t}$ and $M_{F,\infty}$ with respect to time to each scaffold HA/AS and to each prepared media. The adjustment to linear equation with its respective correlation (R^2) and values of n are presented in **Table 3**.

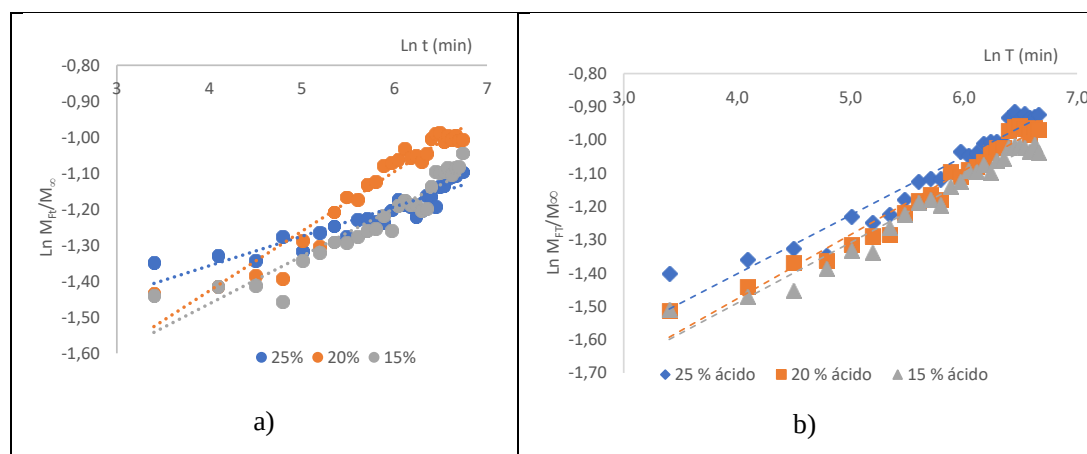


Fig. XX. Variation of $\text{Ln } M_{F,t}/M_{F,\infty}$ with $\text{Ln } t$ for different percentages of HA/SA-based composite scaffolds (25-15%) in an a) aqueous medium b) acidic medium.

Table 3. Release parameters of SRF of NH_4Cl in water and acetic acid.

HA/AS	Aqueous medium			Acid medium		
	Equation	R^2	n	Equation	R^2	n
15%	$\text{Ln } M_{F,t}/M_{F,\infty} = 0,1324 \cdot \text{Ln } t - 1,9929$	0,8873	0,1324	$\text{Ln } M_{F,t}/M_{F,\infty} = 0,182 \cdot \text{Ln } t - 2,2181$	0,9600	0,182
20%	$\text{Ln } M_{F,t}/M_{F,\infty} = 0,1656 \cdot \text{Ln } t - 2,089$	0,9357	0,1656	$\text{Ln } M_{F,t}/M_{F,\infty} = 0,1928 \cdot \text{Ln } t - 2,2483$	0,9615	0,1928
25%	$\text{Ln } M_{F,t}/M_{F,\infty} = 0,0818 \cdot \text{Ln } t - 1,6838$	0,8572	0,0818	$\text{Ln } M_{F,t}/M_{F,\infty} = 0,1764 \cdot \text{Ln } t - 2,1076$	0,9364	0,1764

4. Discussion

Yields of extraction of HA from fish scales and AS from seaweed were xx and xx, respectively, in accordance with the other jobs about this [xxxxx].

Scaffolds

Characterization

Difussion of Nh_4Cl

Analysis of Fick

5. Conclusions

6. Acknowledgements

Authors give thanks to Mendez fishing industry to support this project with fish scales.

7. References

- Abdian, N. A., Etminanfar, M., Reza, S.O., Hamishehkar, H., Khalil-Allafi, J. 2023. Preparation and characterization of chitosan/hydroxyapatite scaffolds containing mesoporous SiO₂-HA for drug delivery applications, *Materials Chemistry and Physics*, 301: 127672.
- Acuña-Alonso, C., Álvarez, X., Lorenzo, O., Cancela, A., Valero, E., Ángel Sánchez, A. 2020. Assessment of water quality in eutrophized water bodies through the application of indexes and toxicity, *Science of The Total Environment*, Volume 728, 2020, 138775.
- Anjana, K., Arunkumar, K. 2024. Brown algae biomass for fucoxanthin, fucoidan and alginate; update review on structure, biosynthesis, biological activities and extraction valorisation, *International Journal of Biological Macromolecules*: 135632.
- Aryal, J.P., Saptoka, T.B., Krupnik, T.J., Rahut, D.B., Jat, M. L., Stirling, C.M. 2021. Factores affecting farmers' use of organic and inorganic fertilizers in South Asia, *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 51480-51496.
- Bala, N., Dey, A., Das, S., Basu, R., Nandy, P. 2014. Effect of hydroxyapatite nanorod on chickpea (*Cicer arietinum*) plant growth and its possible use as nano-fertilizer, *Iranian Journal of Plant Physiology*, 4(3): 1061 – 1069.
- Bingham, S.T., Buss, H.L., Mouchos, E.M., Johnes, P.J., Goody, D.C., John P. Bagnall, J.P. 2020. Rates of hydroxyapatite formation and dissolution in a sandstone aquifer: Implications for understanding dynamic phosphate behaviour within an agricultural catchment, *Applied Geochemistry*, 115: 104534.
- Cruz-Hernández, M., Velázquez-Herrera, F.D., Fetter, G. 2023. Synthetic hydroxyapatites as high-performance fertilizers for lettuce plant growth, *Rhizosphere*, 26: 100718.
- Cui, Y., Zhang, R., Wang, L., Cheng, M., Guo, Y., Wang, X. 2023. Quantitative study on release kinetics of thymol in food packaging films, *Journal of Food Engineering*, 340: 111307.
- Cyriac, J., Thomas, B., Sreejit, C.M., Yuvaraj, M., Joseph, S. 2023. Chitosan zinc nanocomposite: A promising slow releasing zinc nano fertilizer, *Materials Today: Proceedings*.
- Da Costa, R., Ghobril, Perrin, P., Sanson, N. 2024. Adsorption of sodium alginate on calcium carbonate microparticles: Effect of molar mass and composition, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 682: 132782.
- Dong, Z., Qu, N., Jiang, Q., Han, Z., Sun, L., Zhang, T., Liang, D., Shi, Y., Cheng, Z. 2023. Preparation and properties of multifunctional eco-friendly slow-release urea fertilizer encapsulated by diatomite filter aid waste-based superabsorbent, *Progress in Organic Coatings*, 183: 107747.
- Duan, Q., Jiang, S., Chen, F., Li, Z., Ma, L., Song, Y., Yu, X., Chen, Y., Liu, H., Yu, L. 2023. Fabrication, evaluation methodologies and models of slow-release fertilizers: A review, *Industrial Crops and Products*, 192: 116075.

Eswaran, M., Swamiappan, S., Chokkiah, B. 2021. Ragupathy Dhanusuraman, S. Bharathkumar, Vinoth Kumar Ponnusamy, A green and economical approach to derive nanostructured hydroxyapatite from Garra mullia fish scale waste for biocompatible energy storage applications, *Materials Letters*, 302: 130341.

FAO (2022). Production and consumption of fertilizers. Rome. Disponible in <https://www.fao.org/3/ca6746en/CA6746EN.pdf>

Firdaus, M. S., Abdullah, H. Z., Izwana, M., Abdul, M. A. 2022. Extraction of natural hydroxyapatite for biomedical applications—A review, *Heliyon*, 8(8): e10356.

Giroto, A., Guimarães, G., Foschini, M., Ribeiro, C. Role of Slow-Release Nanocomposite Fertilizers on Nitrogen and Phosphate Availability in Soil. *Sci Rep* 7, 46032 (2017). <https://doi.org/10.1038/srep46032>

Huang, J., Chen, L., Huang, M., Liu, M. 2023. Urea intercalated halloysite/sodium alginate composite hydrogels for slow-release fertilizers, *Applied Clay Science*, 242: 107041.

Huang, J., Xu, C.C., Ridoutt, B. G., Wang, X.C., Ren, P.A. 2017. Nitrogen and phosphorus losses and eutrophication potential associated with fertilizer application to cropland in China, *Journal of Cleaner Production*, 159: 171-179.

Kaur, J., Sharma, K., Kaushik, A. 2023. Waste hemp-stalk derived nutrient encapsulated aerogels for slow release of fertilizers: A step towards sustainable agriculture, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(3): 109582.

Li, J., Liu, Y., Liu, J., Cui, X., Hou, T., Cheng, D. 2022. A novel synthetic slow release fertilizer with low energy production for efficient nutrient management, *Science of The Total Environment*, 831: 154844.

Peng, H.R., Zhao, Q., Xiao, T., Yu, J., Yu, Z.M., Jiang, Z.M., Yan, T.T. 2024. Preparation and properties of magnesium/strontium modified hydroxyapatite whisker bone tissue engineering scaffold, *Materials Letters*, 135922.

Saberi Riseh, R., Gholizadeh Vazvani, M., Kennedy, J.F. 2023. The application of chitosan as a carrier for fertilizer: A review, *International Journal of Biological Macromolecules*, 252: 126483.

Santás-Miguel, V., Arias-Estévez, M., Rodríguez-Seijo, A., Arenas-Lago, D. 2023. Use of metal nanoparticles in agriculture. A review on the effects on plant germination, *Environmental Pollution*, 334: 122222.

Sciena, C.R., dos Santos, M.F., Moreira, F.K.V., Sena, A.R., Marconcini, J.M., Correa, D.S., Paris, E. Starch: Pectin Acidic Sachets Development for Hydroxyapatite Nanoparticles Storage to Improve Phosphorus Release. *J Polym Environ* 27, 794–802 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01391-5>

Sharma, P., Rohilla, D., Chaudhary, S., Kumar, R., Singh, A.N. 2019. Nanosorbent of hydroxyapatite for atrazine: A new approach for combating agricultural runoffs, *Science of The Total Environment*, 653: 264-273.

Shylaja, S., Prashanthi, Y., Rao, T.N. 2022. Synthesis and evaluating the effects of nano hydroxyapatite on germination, growth and yield of cluster beans, *Materials Today: Proceedings*, 64(1): 917-921.

Wu, Q., Wang, Y.H., Ding, Y.F., Tao, W.K., Gao, S., Li, Q.X., Li, W.W., Liu, Z.H., Li, G.H. 2021. Effects of different types of slow- and controlled-release fertilizers on rice yield, *Journal of Integrative Agriculture*, 20(6): 1503-1514.

Zafar, N., Khan, M.B., Sher, F., Khalid, U., Jahan, Z., Shah, G.A., Zia. M. 2021. Starch and polyvinyl alcohol encapsulated biodegradable nanocomposites for environment friendly slow release of urea fertilizer, *Chemical Engineering Journal Advances*, 7: 100123.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afanador, L. (2017). Biofertilizantes: conceptos, beneficios y su aplicación en Colombia. *Revista Ingeciencia*, 2(1), 65-76.
- Aguilar, I. (2014). Preparación y evaluación en suelo de fertilizantes de liberación contralada (NPK) cubiertas con polímeros biodegradables. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/72774/1197557.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arévalo, G., Castellano, M. (2009). *Manual de Fertilizantes y Enmiendas*. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_6_Manual_Fertilizantes_y_Enmiendas..pdf
- Ávila, J. (2017). DISEÑO DE UN HIDROGEL DE CARRAGENINA OPTIMIZADO PARA EL RECUBRIMIENTO DE FERTILIZANTES NPK. Trabajo de Grado [Tesis]. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/2396/Documento%20Tesis.pdf?sequence=4>
- Ayarza, J. (2015). Extracción y caracterización de alginato de sodio procedente del alga parda *Macrocystis* sp. [Tesis de bachiller PUCP]. Pontifica Universidad Católica Del Perú.
- Ballester-Olmos y Anguís, J. (s.f.). Fertilizantes de acción lenta encapsulados. Hojas divulgadoras, 24. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1995_11.pdf
- Barbieri, P., Echeverría, H. y Saíenz H. (2018). Pérdidas por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno en maíz en función de la fuente, dosis y momento de aplicación. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 117 (1): 111-116.
- Barón, E., Catalina, P y Peña, M. (2018). DISEÑO DE UN HIDROGEL PARA EL ENCAPSULAMIENTO DE UN AGROQUÍMICO. [Trabajo de grado-Pregrado. Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional Séneca. <http://hdl.handle.net/1992/38975>
- Bloom, A. (2015). The increasing importance of distinguishing among plant nitrogen sources. *Current Opinion in Plant Biology*, 25:10–16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2015.03.002>
- Briceño, G. (2021). Liberación sostenida de agroquímicos a partir de matrices biopoliméricas. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería; Argentina. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/502/GBrice%c3%b1o-TFG-IM-2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Carmona *et al*, (1991). PROCESO MEJORADO PARA LA OBTENCIÓN DE ALGINATO DE SODIO A PARTIR DEL ALGA *Macrocystis pyrifer*. Inv. Mar. CICIMAR. 6 No. 2. <https://www.bashanfoundation.org/contributions/Hernandez-G/gustavomejorado.pdf>
- Carrasquero, F. L. (2004). Fundamentos de polimeros. Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes.
- Castro, H. (2021). Libro Química Ambiental Básica.
- Castro, H., García, A. y Romero, R. (2016). Aprovechamiento de las escamas de la industria acuícola en el departamento del Huila, Colombia. Producción + Limpia 11, (2): 102-110.
- Chen, Y., Li, W. y Zhang, S. (2021). A multifunctional eco-friendly fertilizer used keratin-based superabsorbent as coatings for slow-release urea and remediation of contaminated soil. *Progress in Organic Coatings*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106158>
- Equipo de marketing y comunicación, (Marzo, 2024), Contaminación de la industria de fertilizantes y su impacto en la calidad del aire. Kunak sensing Anywhere. <https://kunakair.com/es/contaminacion-de-la-industria-de-fertilizantes-y-su-impacto-en-la-calidad-del-aire/>
- FAO y la Agenda de Desarrollo sostenible. (2015). *Post-2015 y los objetivos de desarrollo sostenible*. www.fao.org/fileadmin/user_upload/post-2015/14_themes_Issue_Papers/SP/14_themes_december_2014/12_agricultura_es-1.pdf
- García *et al*, (2020). SÍNTESIS Y EFECTO DE NANOPARTÍCULAS DE HIDROXIAPATITA EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE FRIJOL. *Agrociencia*. 54. 1009-1029. DOI:[10.47163/agrociencia.v54i8.2299](https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i8.2299)
- Garcia, E., (2017). Ceras de polímeros naturales-surfactantes derivados de sacáridos: matrices encapsulantes biomiméticas para la liberación lenta de fertilizantes. [Trabajo de grado-Maestría. Conacyt]. Repositorio CIQA. <http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/431>
- García-Rojas, N., Villanueva-Díaz, P., Campos-Medina, E., & Velázquez-Rodríguez, A. (2012). Análisis de la adsorción como método de pulimento en el tratamiento de aguas residuales. Quivera. *Revista de Estudios Territoriales*, 14(1), 109-129.
- Gobernación del Huila. (2022). El Huila exportó más de US\$60 millones en tilapia durante 2021. Gobernación del Huila. <https://www.huila.gov.co/publicaciones/11879/el-huila-exporto-mas-de-us60-millones-en-tilapia-durante-2021/>
- Gómez, M., Martínez, D. y Coll, Y. (2023). Alginato y sus oligosacáridos a partir de algas pardas de arribazón: preparación y bioactividad agrícola. Una revisión. *Revista Cubana de Química*, 35 (1): 46-67. <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v35n1/2224-5421-ind-35-01-46.pdf>

- González, A. y Camacho, M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero de la fertilización nitrogenada en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (8), 1733-1745. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n8/2007-0934-remexca-8-08-1733-en.pdf>
- González, P. (2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes*. Biblioteca del congreso Nacional de Chile/BCN. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
- Guillen, E. (2009). Este compuesto es un derivado muy importante del nitrógeno, que se emplea como fertilizante nitrogenado, los cuales son aplicados al suelo como abono y a través de este se obtiene otro componente del ciclo como el amoníaco. Universidad de los Andes. bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/pregrado/tde_arquivos/30/TDE-2011-01-23T23:37:38Z-1331/Publico/guillaneliana.pdf
- Harris, D. C., Navarro, V. B., & Murcia, Á. B. (2003). *Análisis químico cuantitativo*. Reverté.
- Hernández, S. (2016). *Plan De Aprovechamiento De Residuos Reciclables En La Zona Urbana Del Municipio De Tarazá (Antioquia)*. [Tesis]. Corporación Universitaria Minuto De Dios.
- Hernández-Carmona, G., Rodríguez-Montesinos, Y., Arvizu-Higuera, D., Reyes-Tisnado, R., Murillo-Álvarez, J., & Muñoz-Ochoa, M. (2012). Avances tecnológicos en la producción de alginatos en México. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, XIII (2), 155-168. <https://www.redalyc.org/pdf/404/40423274003.pdf>
- Hernández-Torres, C. D. J., Ilina, A., Ventura-Sobrevilla, J. M., Belmares-Cerda, R. E., Contreras-Esquivel, J. C., Michelena Álvarez, G., & Martínez- Hernández, J. L. (2016). La microencapsulación de bioactivos para su aplicación en la industria. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(1), 12-19. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223148420003.pdf>
- Huerta, A., Jarquín, R. (2017). *Agricultura sostenible como base para los agronegocios*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. www.somas.org.mx/wp-content/uploads/2019/01/LIBRO-DIGITAL-DE-AGRICULTURA-SOSTENIBLE-2017-1.pdf
- Hurtado, A., Selgas, R. y Serrano, A. (2020). El alginato y sus inmensas aplicaciones industriales. *Nereis Interdisciplinary Ibero-American Journal of Methods Modelling and Simulation* 12(12):137-149. [10.46583/nereis_2020.12.573](https://doi.org/10.46583/nereis_2020.12.573)
- Kaur, J. Sharma, K. y Kaushik, A. (2023). Waste hemp-stalk derived nutrient encapsulated aerogels for slow release of fertilizers: A step towards sustainable agricultura. *Revista Environmental Chemical Engineering* 11.

- Lawrencia, D., Wong, S.K., Sern, D. Y., Hing, B., Kheng, J., Rungsardthong, U., Soottitantawat, A., Han, L., Ying, S., Controlled Release Fertilizers: A Review on Coating Materials and Mechanism of Release, *Plants*, 2021, 10: 238.
- Liboa, M., Guerín, M., & Pegoraro, L. (s.f.). *Influencia de la fuente de nitrógeno en el medio de cultivo, en el crecimiento de rhodotorula sp. de origen lácteo*. Universidad Tecnológica Nacional. www.edutecne.utn.edu.ar/cytal_frm/CyTAL_2012/TF/TF021.pdf
- López, I., Lucho, C. y López, P. (2023). La invasión de sargazo: de un problema ambiental a un área de oportunidad. *Revista Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, 10 (10): 18-26. [10.29057/aactm.v10i10.11236](https://doi.org/10.29057/aactm.v10i10.11236)
- Martínez, I., Mendoza, V., Valdés, S., Cota, J., Castro, S., (2019). Extracción de hidroxiapatita y colágeno de la especie *Oreochromis niloticus* para fines biomédicos e industriales. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Martínez, R. (2009). Sistema de producción agrícola sostenible. *Revista Tecnología en Marcha*, 22(2),23-39. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/114
- Méndez-Martínez, Y., Pérez-Tamames, Y., Torres-Navarrete, Y., & Reyes-Pérez, J. J. (2018). Estado Del Arte Del Cultivo De Tilapia Roja En La Mayor De Las Antillas. *Biotecnia*, 20(2), 15-24. <https://www.redalyc.org/pdf/6729/672971086002.pdf>
- Michelle, T. (2017). Análisis comparativo de índices de eutrofización en lagunas costeras del estado de Sonora, México. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Tesis de posgrado. https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/503/1/ruiz_t.pdf
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2022). Boletín de precios de insumos agropecuarios. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Boletines/BOLET%C3%8DN%20DE%20PRECIOS%20DE%20INSUMOS%20AGROPECUARIOS%20No.%204%20de%202022.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2013). EL MANEJO DEL SUELO EN LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS CON BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS. Paraguay. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8d73b16d-e97f-4a91-8deb-65f0558a8e6b/content>
- Montes, P., Gutiérrez, C., González, P., García, F., Villa, G. y Mendoza, D. (2019). Las escamas de pescado como materia prima para el desarrollo de sensores de radiación. *Publicación Semestral Padi* 7, (2):104-108.
- Muhammad, N., Gao, Y., Iqbal, F., Ahmad, P., Ge, R., Nishan, U., Rahim, A., Gonfa, G., & Ullah, Z. (2016). Extraction of biocompatible hydroxyapatite from fish scales using novel approach of ionic

liquid pretreatment. *Separation and Purification Technology*, 161, 129–135.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.01.047>

Nardi, P., Neri, U. Di Matteo, G., Trinchera, A., Nápoles, R., Farina, R., Subbarao, G. y Benedetti, A. (2018). Nitrogen Release from Slow-Release Fertilizers in Soils with Different Microbial Activities. *Pedosphere*, 28(2): 332-340. DOI:[10.1016/S1002-0160\(17\)60429-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60429-6)

Ore, Y., Renzo, E. y Valderrama, A. (2020). EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ALGINATO DE SODIO DE LA MACROALGA *Macrocystis pyrifera*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86 (3):276-287. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i3.300>

Oswaldo, C. (2020). Obtención de un Polímero Biodegradable a partir del Alginato de Calcio Extraído de la Biomasa del Alga Parda (*Sargassum Ecuadorianum*). [Trabajo de Grado]. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18680/1/UPS-CT008736.pdf>

Paco, G. (2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes*. Biblioteca del congreso Nacional de Chile/BCN. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf

Paredes, D. I. (2014). *Fertilizantes de liberación controlada: una alternativa en cultivos de ciclo corto*. [Tesis de posgrado, Universidad Central Del Ecuador] Repositorio Digital dspace. Obtenido de: www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2866.

Perez Fajardo, E. J., Arboleda Zapata, Y. A., y Hurtado Nery, V. L. (2017). Uso de escamas y huesos de cachama blanca (*Piaractus brachipomus*) y tilapia (*Oreochromis spp*) como correctivo del suelo. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 8(2), 2-19. <https://doi.org/10.22579/22484817.699>

Rivera, J., Delgado, Y. Zaldívar, J. (2018). The infiltration of water into the soils and artificial components and organic matter that are used in them for agricultura. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4 (7):889-894.

Suárez Martínez, J. (2023). *Aprovechamiento de residuos de piscifactoría para la producción de alimento en la industria avícola en la cooperativa Multiactiva la fortuna del municipio de Mutatá*. Universidad de Antioquia, Urabá. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/33477/1/SuarezJeferson_2023_ResiduosProduccionAvicola.pdf

Vega, O. y Montaña, D. (2020). Biopolímeros, definiciones, caracterización y aplicaciones. *Revista Aportes en Investigación para la Ingeniería*.

Wypych, J. (2017). *Manual de Plastificantes*. Tercera edición.

Yan Wang, Yuchun Zhu, Shuoxin Zhang y Yongqiang Wang. (2018). What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers? *Journal of Cleaner Production*, 199: 882-890. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.222>

Zainol, I., Adenan, N., Rahim, N. & Aiza, C. (2019). Extraction of natural hydroxyapatite from tilapia fish scales using alkaline treatment. *Revista Proceedings*, 16 (4). [10.1016/j.matpr.2019.06.072](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.072)

Zhang H., Xing, L. Liang, H. Zhi, S. Ding, W., Jian, Z. Yang, C. (2023). Preparation and characterization of biochar-based slow-release nitrogen fertilizer and its effect on maize growth. *Industrial Crops and Products*, 203(16). DOI:[10.1016/j.indcrop.2023.117227](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117227)

Zhu Y., Xuehong, Z., Chen, Y. Xie, Q., Lan, J., Qian M. y He, N. (2009). A comparative study on the dissolution and solubility of hydroxylapatite and fluorapatite at 25°C and 45°C. *Chemical Geology*, 268: 1–2, 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2009.07.014>

15. ANEXOS

Anexo A. Participación en eventos.

El proyecto se ha presentado en diferentes eventos, donde hemos obtenido un aprendizaje recíproco tanto de nosotras como estudiantes de investigación como de los espectadores. También se han tomado en cuenta las sugerencias y críticas constructivas por parte de los jurados evaluadores, con el fin de mejorar.

El primer evento en el que se presentó nuestro proyecto de investigación fue en el V congreso Colombiano de Electroquímica en Florencia, luego en el XIX Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación REDColsi Nodo Huila. En este evento, participaron estudiantes como ponentes y profesionales de diferentes áreas como evaluadores. Otro evento en el que pudimos participar y conocer una variedad de proyectos enfocados en la bioeconomía fue el 1er Congreso Internacional en Bioeconomía, que se llevó a cabo en la Universidad de Ibagué, donde el enfoque principal fue el aprovechamiento de diversos materiales no utilizados que tienen un valor agregado. (Figura 32).





Figura 32. Participación como ponentes en el 1er congreso de Bioeconomía (A), Ponencia REDColsi 2023(B), Certificados de participación en la ponencia de REDColsi (C-D), Certificados de participación del 1er Congreso de Bioeconomía (E, F y G) y Certificado de participación en el V congreso de Electroquímica (G)

Otro de los eventos que participamos como ponentes fue en XXVI Encuentro Nacional y XX Encuentro Internacional de Semilleros De Investigación RedCOLSI ENESI 2023 en la universidad de Cartagena de Indias, este evento busca crear espacios participativos que faciliten el encuentro entre estudiantes, docentes e investigadores, fomentando la colaboración y retroalimentación por áreas temáticas. Además, se promueve la creación y fortalecimiento de redes académicas y científicas a nivel nacional e internacional, donde propone ofrecer una valoración formativa a los ponentes mediante evaluadores especializados, con el fin de generar aprendizajes significativos a partir de la retroalimentación sobre sus experiencias en investigación. (Figura 33).



Figura 33. Ponencia en Universidad de Cartagena de Indias (A), Certificados de la ponencia del proyecto de investigación (A-C).

Anexo B. Curva de Calibración.

En la **Figura 34** se refleja la curva de calibración con base en las concentraciones de NH_4Cl (ppm) vs conductividad (mS/cm) de cada medición. Esta curva permite convertir las mediciones de conductividad a concentraciones.

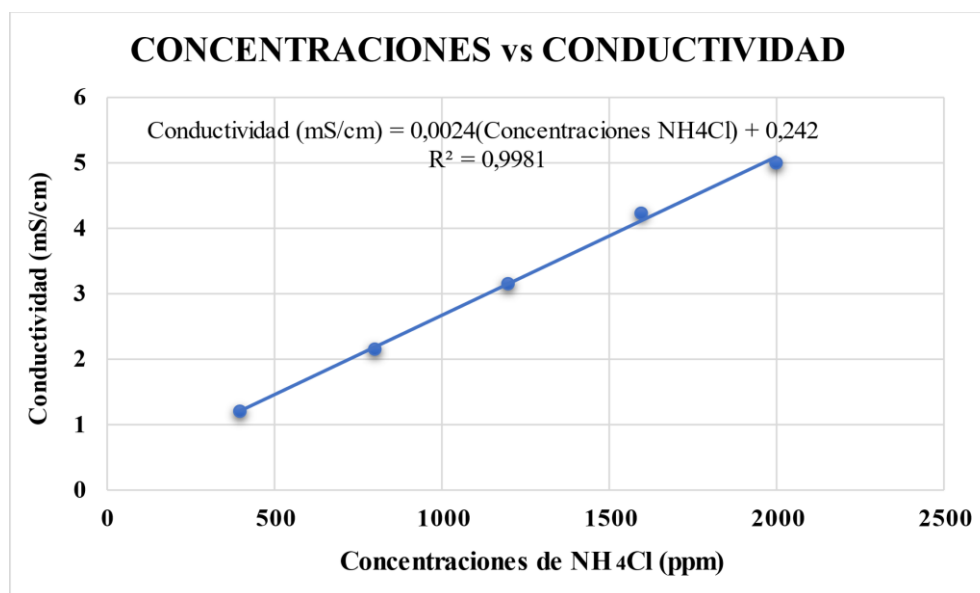


Figura 34. Curva de calibración.

Anexo C. Preparación de microcápsulas

La preparación de las microcápsulas se llevó a cabo en el laboratorio durante 5 días, ya que para la medición de cada una de ellas era en un tiempo establecido. Como se mencionó anteriormente, se realizaron diversas pruebas, incluyendo en agua y ácido, utilizando concentraciones del 15%, 20% y 25%, con cada una de estas se realizó junto con sus respectivas pruebas en blanco. Se midieron diferentes parámetros, tales como pH, conductividad, SD, tiempo y ppm. (**Figura 35**).

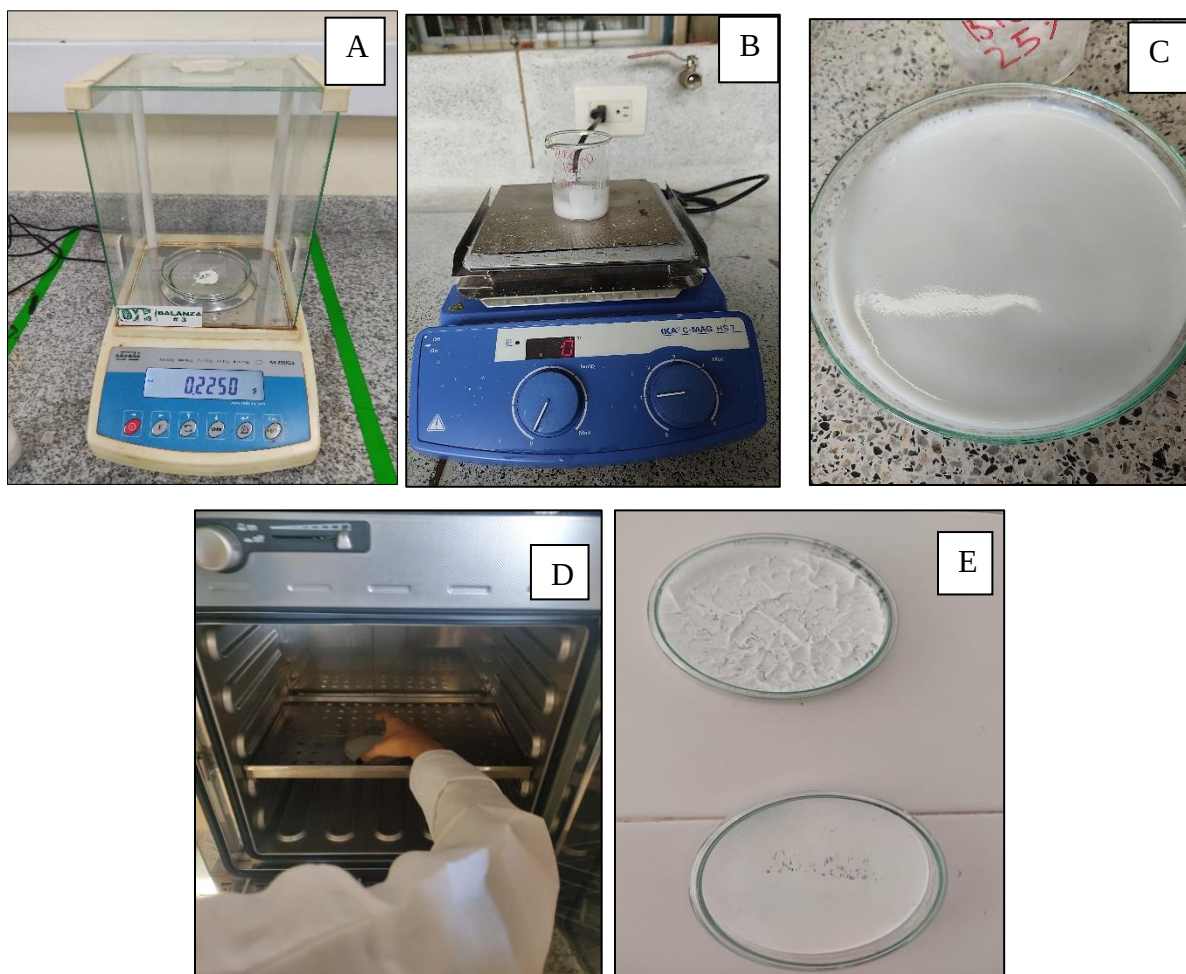


Figura 35. *Peso de HA y AS (A), Agitación de las mezclas de HA y AS con NH_4Cl (B), Microcápsula (C), Se llevó a la incubadora para el secado (D), Microcápsula final (E).*

Anexo D. Mediciones de conductividad de las microcápsulas

Se realizaron las mediciones para cada microcápsula preparada en los dos medios: acuoso y ácido. Cada microcápsula se triplicó para tener suficientes datos del estudio. A continuación, en la **Figura 36** se presentan fotos de las mediciones.

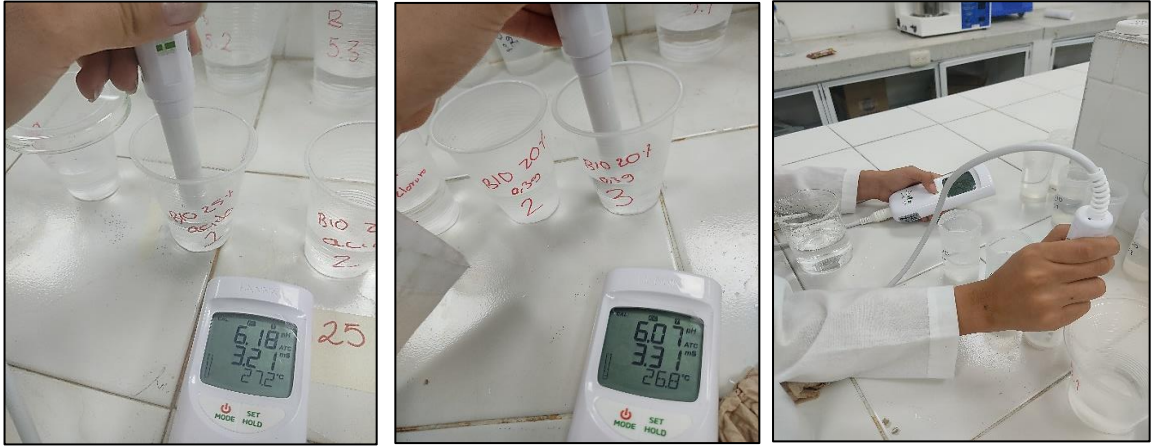


Figura 36. Mediciones de las microcápsulas en los dos medios evaluados.

Anexo E. Tablas de las tres microcápsulas de 25%, 20% y 15%.

Réplicas de la microcápsula de 25% en agua.

TRATAMIENTO 1.1							
RELACIÓN 3:1 + 100mg NH ₄ Cl							
Fecha	Minutos	Tiempo (h)	Conductividad	[] ppm	Temperatura (T°C)	pH	SD
7/06/2023	0	8:10	2,62	990,8	26,4	7,38	1310
	30	8:40	2,64	999,2	25,5	7,4	1320
	60	9:10	2,65	1003,3	25,1	7,43	1320
	90	9:40	2,48	932,5	25,1	7,23	1230
	120	10:10	2,74	1040,8	25,8	7,33	1360
	150	10:40	2,51	945,0	26,2	7,16	1260
	180	11:10	2,72	1032,5	26,3	7,25	1360
	210	11:40	2,77	1053,3	26,3	7,29	1380
	240	12:10	2,63	995,0	26,4	7,23	1310
	270	12:40	2,83	1078,3	26,5	7,32	1390
	300	13:10	2,74	1040,8	26,5	7,16	1370
	330	13:40	2,59	978,3	26,4	7,18	1290
	360	14:10	2,59	978,3	26,7	7,12	1290
	390	14:40	2,78	1057,5	26,7	7,18	1380
	420	15:10	2,92	1115,8	27	7,28	1450
	450	15:40	2,76	1049,2	26,7	7,13	1370
	480	16:10	2,76	1049,2	27	7,23	1380
	510	16:40	2,77	1053,3	27,2	7,19	1380
	540	17:10	2,77	1053,3	27	7,27	1380
	570	17:40	2,90	1107,5	26,7	7,28	1450
8/06/2023	600	7:40	2,92	1115,8	27,8	7,23	1460
9/06/2023	630	7:40	2,83	1078,3	26,8	7,31	1410
10/06/2023	660	8:50	2,93	1120,0	26,2	7,23	1460
11/06/2023	690	9:00	2,86	1090,8	28,1	7,32	1430
12/06/2023	720	9:50	3,03	1161,7	27,8	7,47	1510
13/06/2023	750	9:50	3,03	1161,7	27,1	7,48	1510
14/06/2023	780		3,00	1149,2	27,8	7,45	1500
15/06/2023	810	9:30	3,08	1182,5	26,4	7,42	1540
16/06/2023	840	8:40	3,01	1153,33	27,3	7,46	1500

TRATAMIENTO 1.2.							
RELACIÓN 3:1 + 100mg NH ₄ Cl							
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad	[] ppm	Temperatura (T°C)	pH	SD	
7/06/2023	8:10	3,06	1174,2	26,5	7,45	1530	
	8:40	3,02	1157,5	25,7	7,48	1520	
	9:10	3,05	1170,0	25,2	7,42	1520	
	9:40	3,08	1182,5	25,5	7,39	1540	
	10:10	3,17	1220,0	25,8	7,33	1580	
	10:40	3,04	1165,8	26,1	7,27	1520	
	11:10	3,20	1232,5	26,3	7,26	1590	
	11:40	3,19	1228,3	26,4	7,24	1590	
	12:10	3,09	1186,7	26,4	7,25	1550	
	12:40	3,13	1203,3	26,3	7,24	1560	
	13:10	3,20	1232,5	26,1	7,17	1600	
	13:40	3,19	1228,3	26,5	7,16	1600	
	14:10	3,23	1245,0	26,6	7,21	1610	
	14:40	3,20	1232,5	26,7	7,20	1600	
	15:10	3,26	1257,5	26,7	7,2	1620	
	15:40	3,29	1270,0	26,8	7,15	1640	
	16:10	3,25	1253,3	26,8	7,17	1620	
	16:40	3,13	1203,3	26,9	7,17	1560	
	17:10	3,21	1236,7	26,9	7,21	1610	
	17:40	3,32	1282,5	26,5	7,23	1640	
8/06/2023	7:40	3,33	1286,7	27,8	7,21	1660	
9/06/2023	7:40	3,32	1282,5	26,6	7,31	1650	
10/06/2023	8:50	3,44	1332,5	26,2	7,36	1710	
11/06/2023	9:00	3,50	1357,5	28,1	7,36	1750	
12/06/2023	9:50	3,51	1361,7	27,8	7,53	1750	
13/06/2023	9:50	3,51	1361,7	27,4	7,55	1750	
14/06/2023		3,55	1378,3	27,8	7,44	1770	
15/06/2023	9:30	3,56	1382,5	26,3	7,5	1770	
16/06/2023	8:40	3,60	1399,2	27,2	7,42	1790	

TRATAMIENTO 1.3.						
RELACIÓN 3:1 + 100mg NH ₄ Cl						
cha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (T°C)	pH	SD (ppm)
7/06/2023	8:10	2,11	778,3	26,4	7,21	1050
	8:40	2,08	765,8	25,7	7,42	1040
	9:10	2,18	807,5	25,2	7,42	1090
	9:40	2,22	824,2	25,6	7,35	1100
	10:10	2,35	878,3	25,8	7,30	1170
	10:40	2,42	907,5	26,2	7,29	1220
	11:10	2,44	915,8	26,3	7,26	1220
	11:40	2,53	953,3	26,3	7,2	1260
	12:10	2,55	961,7	26,4	7,18	1270
	12:40	2,68	1015,8	26,3	7,18	1340
	13:10	2,71	1028,3	26,6	7,11	1350
	13:40	2,81	1070,0	26,6	7,07	1400
	14:10	2,75	1045,0	26,7	7,1	1370
	14:40	2,86	1090,8	26,8	7,11	1430
	15:10	2,90	1107,5	26,8	7,09	1450
	15:40	2,91	1111,7	26,9	7,07	1450
	16:10	2,92	1115,8	26,8	7,1	1460
	16:40	2,80	1065,8	27	7,08	1400
	17:10	2,85	1086,7	26,8	7,1	1420
	17:40	2,96	1132,5	26,5	7,15	1480
8/06/2023	7:40	2,90	1107,5	27,6	7,09	1450
9/06/2023	7:40	2,77	1053,3	26,5	7,23	1380
0/06/2023	8:50	3,02	1157,5	26,6	7,27	1510
1/06/2023	9:00	3,06	1174,2	28,1	7,29	1530
2/06/2023	9:50	3,05	1170,0	27,8	7,33	1520
3/06/2023		3,08	1182,5	27,4	7,43	1540
4/06/2023		3,10	1190,8	27,7	7,35	1550
5/06/2023		3,12	1199,2	26,2	7,44	1550
6/06/2013	8:40	3,13	1203,3	27,3	7,34	1560

MICROCÁPSULA 25%		
Tiempo (min)	Promedio [] ppm	Desviación estandar
0	981,1	198,1
30	974,2	197,0
60	993,6	181,4
90	979,7	183,8
120	1046,4	170,9
150	1006,1	139,6
180	1060,3	160,2
210	1078,3	139,2
240	1047,8	121,4
270	1099,2	95,5
300	1100,6	114,4
330	1092,2	126,5
360	1089,4	138,8
390	1126,9	92,9
420	1160,3	84,3
450	1143,6	113,8
480	1139,4	104,1
510	1107,5	83,2
540	1125,6	97,7
570	1174,2	94,6
600	1170,0	101,1
630	1138,1	125,7
660	1203,3	113,4
690	1207,5	136,4
720	1231,1	113,1
750	1235,3	110,0
780	1239,4	122,1
810	1254,7	111,0
840	1251,9	129,9

Réplicas de la microcápsula de 20% en agua.

BIOCAPSULA 20% 1.						
100 mg NH ₄ Cl						
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
8/06/2023	9:35	2,33	870,0	27,3	6,06	1190
	10:05	2,43	911,7	26,2	6,08	1210
	10:35	2,44	915,8	26,2	6,04	1220
	11:05	2,66	1007,5	26,4	6,04	1320
	11:35	2,56	965,8	26,7	6,64	1280
	12:05	2,75	1045,0	26,5	6,03	1370
	12:35	2,69	1020,0	26,9	6,03	1350
	13:05	3,07	1178,3	27,1	6,03	1520
	13:35	3,20	1232,5	27	6,04	1580
	14:05	3,04	1165,8	26,7	6,04	1520
	14:35	3,20	1232,5	27,1	6,04	1580
	15:05	3,07	1178,3	26,8	6,4	1540
	15:35	3,46	1340,8	27,2	6,04	1730
	16:05	3,35	1295,0	26,8	6,06	1670
	16:35	3,44	1332,5	26,5	6,05	1750
	17:05	3,53	1370,0	26,5	6,07	1760
	17:35	3,44	1332,5	26,4	6,07	1720
	18:05	3,45	1336,7	26,6	6,07	1720
	18:35	3,45	1336,7	26,7	6,07	1730
	19:05	3,40	1315,8	26,4	6,1	1700
9/06/2023	7:55	3,67	1428,3	25,9	6,12	1840
10/06/2023	9:00	3,64	1415,8	26,2	6,87	1820
11/06/2023		3,71	1445,0	28,2	7,74	1850
12/06/2023	10:00	3,55	1378,3	27,5	8,13	1770
13/06/2023	9:55	3,67	1428,3	27	8,08	1830
14/06/2023		3,66	1424,2	27,4	8,14	1820
15/06/2023	9:40	3,68	1432,5	26,4	8,28	1840
16/06/2023	9:55	3,58	1390,8	27,4	8,28	1780

BIOCAPSULA 20% 2.						
100 mg NH ₄ Cl						
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
8/06/2023	9:35	2,38	890,8	27,4	6,03	1180
	10:05	2,52	949,2	26,1	6,06	1240
	10:35	2,50	940,8	26,2	6,05	1250
	11:05	2,42	907,5	26,3	6,00	1210
	11:35	2,54	957,5	26,3	6,04	1290
	12:05	2,75	1045,0	26,5	6,03	1390
	12:35	2,72	1032,5	26,5	6,03	1390
	13:05	2,86	1090,8	26,7	6,03	1430
	13:35	3,01	1153,3	26,6	6,05	1510
	14:05	3,03	1161,7	26,5	6,05	1510
	14:35	3,12	1199,2	26,9	6,05	1560
	15:05	3,19	1228,3	26,8	6,04	1600
	15:35	3,19	1228,3	27	6,05	1600
	16:05	3,32	1282,5	26,8	6,07	1660
	16:35	3,30	1274,2	26,5	6,05	1650
	17:05	3,43	1328,3	26,3	6,07	1710
	17:35	3,37	1303,3	26,3	6,08	1680
	18:05	3,28	1265,8	26,6	6,08	1640
	18:35	3,29	1270,0	26,5	6,10	1650
	19:05	3,45	1336,7	26,4	6,10	1730
9/06/2023	7:55	3,43	1328,3	25,9	6,12	1720
10/06/2023	9:00	3,53	1370,0	26,5	7,04	1760
11/06/2023		3,49	1353,3	28,1	7,97	1740
12/06/2023	10:00	3,52	1365,8	27,6	8	1760
13/06/2023	9:55	3,50	1357,5	26,9	8,11	1750
14/06/2023		3,49	1353,3	27,5	8,19	1740
15/06/2023	9:40	3,50	1357,5	26,3	8,29	1740
16/06/2023	9:55	3,50	1357,5	27,3	8,29	1750

BIOCAPSULA 20% 3.						
100 mg NH ₄ Cl						
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
8/06/2023	9:35	2,10	774,2	27,4	6,09	1050
	10:05	2,21	820,0	26,1	6,07	1100
	10:35	2,34	874,2	26,1	6,06	1170
	11:05	2,41	903,3	26,2	6,05	1200
	11:35	2,34	874,2	26,3	6,05	1190
	12:05	2,69	1020,0	26,5	6,05	1350
	12:35	2,65	1003,3	26,4	6,05	1370
	13:05	2,87	1095,0	26,6	6,05	1440
	13:35	2,93	1120,0	26,5	6,06	1470
	14:05	3,02	1157,5	26,6	6,06	1510
	14:35	3,12	1199,2	26,8	6,06	1560
	15:05	3,25	1253,3	26,8	6,05	1620
	15:35	3,27	1261,7	26,9	6,06	1630
	16:05	3,31	1278,3	26,8	6,07	1650
	16:35	3,33	1286,7	26,6	6,07	1660
	17:05	3,39	1311,7	26,4	6,07	1700
	17:35	3,30	1274,2	26,4	6,08	1650
	18:05	3,43	1328,3	26,6	6,07	1710
	18:35	3,26	1257,5	26,5	6,09	1630
	19:05	3,36	1299,2	26,3	6,09	1680
1/06/2023	7:55	3,53	1370,0	25,7	6,1	1770
1/06/2023	9:00	3,59	1395,0	26,4	6,76	1790
1/06/2023		3,58	1390,8	28,3	7,79	1790
1/06/2023	10:00	3,46	1340,8	27,7	8,02	1750
1/06/2023	9:55	3,53	1370,0	26,8	8,12	1770
1/06/2023		3,44	1332,5	27,4	8,1	1720
1/06/2023	9:40	3,54	1374,2	26,2	8,31	1770
1/06/2023	9:55	3,5	1357,5	27,3	8,29	1740

TRATAMIENTO (20%)		
Tiempo (min)	Promedio [] ppm	Desviación estandar
0	845,0	62,2
30	893,6	66,4
60	910,3	33,7
90	939,4	59,0
120	932,5	50,7
150	1036,7	14,4
180	1018,6	14,6
210	1121,4	49,4
240	1168,6	57,8
270	1161,7	4,2
300	1210,3	19,2
330	1220,0	38,2
360	1276,9	57,8
390	1285,3	8,7
420	1297,8	30,7
450	1336,7	30,0
480	1303,3	29,2
510	1310,3	38,7
540	1288,1	42,6
570	1317,2	18,8
600	1375,6	50,2
630	1393,6	22,9
660	1396,4	46,1
690	1361,7	19,1
720	1385,3	37,8
750	1370,0	48,1
780	1388,1	39,4
810	1368,6	19,2

Réplicas de la microcápsula de 15% en agua.

BIOCAPSULA 15% 1.						
100 mg NH ₄ Cl						
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
8/06/2023	9:40	2,37	886,7	27,3	5,66	1180
	10:10	2,41	903,3	26,6	5,62	1210
	10:40	2,47	928,3	26,6	5,61	1230
	11:10	2,48	932,5	26,7	5,62	1240
	11:40	2,43	911,7	26,8	5,6	1210
	12:10	2,61	986,7	27	5,59	1310
	12:40	2,69	1020,0	26,9	5,58	1340
	13:10	2,78	1057,5	27,1	5,58	1380
	13:40	2,85	1086,7	27,2	5,56	1420
	14:10	2,89	1103,3	27,4	5,56	1440
	14:40	2,87	1095,0	27,3	5,56	1430
	15:10	2,96	1132,5	27,5	5,54	1480
	15:40	3,01	1153,3	27,3	5,54	1500
	16:10	2,89	1103,3	27,5	5,55	1440
	16:40	3,05	1170,0	27	5,54	1520
	17:10	3,09	1186,7	26,7	5,54	1540
	17:40	3,01	1153,3	27	5,53	1510
	18:10	3,06	1174,2	27,2	5,53	1530
	18:40	2,97	1136,7	26,9	5,55	1490
	19:10	2,94	1124,2	26,7	5,54	1470
9/06/2023	7:55	3,23	1245,0	25,8	5,55	1610
10/06/2023	9:00	3,20	1232,5	26,8	5,82	1590
11/06/2023		3,25	1253,3	28,1	6,1	1620
12/06/2023	10:05	3,28	1265,8	27,6	6,06	1630
13/06/2023	9:55	3,33	1286,7	27,1	6,05	1650
14/06/2023		3,16	1215,8	27,2	6,81	1570
15/06/2023		3,33	1286,7	26,2	7,13	1660
16/06/2023	9:00	3,34	1290,8	27,4	7,45	1670

BIOCAPSULA 15% 2.						
100 mg NH ₄ Cl						
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
8/06/2023	9:40	2,34	874,2	27,7	5,67	1170
	10:10	2,43	911,7	26,7	5,63	1220
	10:40	2,42	907,5	26,6	5,62	1210
	11:10	2,50	940,8	26,7	5,61	1250
	11:40	2,28	849,2	26,8	5,61	1150
	12:10	2,67	1011,7	27,2	5,59	1330
	12:40	2,68	1015,8	27	5,59	1340
	13:10	2,73	1036,7	27,2	5,58	1360
	13:40	2,69	1020,0	27,2	5,58	1350
	14:10	2,75	1045,0	27,4	5,57	1380
	14:40	2,82	1074,2	27,5	5,57	1410
	15:10	2,80	1065,8	27,5	5,56	1400
	15:40	2,90	1107,5	27,4	5,55	1450
	16:10	2,79	1061,7	27,4	5,55	1390
	16:40	3,0	1149,2	27	5,55	1500
	17:10	3,04	1165,8	26,8	5,55	1520
	17:40	3,05	1170,0	26,9	5,54	1530
	18:10	3,03	1161,7	27,2	5,54	1520
	18:40	2,99	1145,0	26,8	5,54	1490
	19:10	3,01	1153,3	26,7	5,54	1500
9/06/2023	7:55	3,14	1207,5	25,9	5,55	1570
10/06/2023	9:00	3,30	1274,2	27	5,61	1660
11/06/2023		3,27	1261,7	28	6,27	1630
12/06/2023	10:05	3,28	1265,8	27,5	6,71	1630
13/06/2023	9:55	3,31	1278,3	26,8	6,88	1650
14/06/2023		3,30	1274,2	27,4	7,42	1650
15/06/2023	9:45	3,33	1286,7	26,2	7,68	1660
16-jun		3,3	1274,2	27,3	7,82	1650

BIOCAPSULA 15% 3.						
100 mg NH ₄ Cl						
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
8/06/2023	9:40	2,26	840,8	27,8	5,67	1130
	10:10	2,29	853,3	26,7	5,64	1140
	10:40	2,39	895,0	26,5	5,62	1190
	11:10	2,33	870,0	26,7	5,62	1160
	11:40	2,31	861,7	26,9	5,62	1160
	12:10	2,50	940,8	27,3	5,60	1250
	12:40	2,57	970,0	27,1	5,60	1290
	13:10	2,64	999,2	27,3	5,59	1310
	13:40	2,60	982,5	27,3	5,59	1300
	14:10	2,62	990,8	27,5	5,58	1310
	14:40	2,71	1028,3	27,5	5,58	1350
	15:10	2,67	1011,7	27,5	5,57	1330
	15:40	2,81	1070,0	27,4	5,56	1410
	16:10	2,71	1028,3	27,6	5,56	1350
	16:40	2,90	1107,5	27	5,56	1450
	17:10	2,94	1124,2	26,8	5,55	1470
	17:40	2,90	1107,5	27	5,55	1450
	18:10	2,87	1095,0	21,1	5,55	1440
	18:40	2,87	1095,0	27	5,56	1440
	19:10	2,92	1115,8	26,8	5,56	1460
06/2023	7:55	3,02	1157,5	25,9	5,56	1510
/06/2023	9:00	3,25	1253,3	26,9	5,53	1630
/06/2023		3,21	1236,7	28,2	5,99	1600
/06/2023	10:05	3,19	1228,3	27,6	6,38	1590
/06/2023	10:00	3,22	1240,8	26,9	6,38	1600
/06/2023		3,22	1240,8	27,3	6,8	1610
/06/2023	9:45	3,21	1236,7	26	7,26	1600
16/06/2023	9:00	3,24	1249,2	27,3	7,54	1620

TRATAMIENTO (15%)		
Tiempo (min)	Promedio [] ppm	Desviación estandar
0	867,2	23,7
30	889,4	31,5
60	910,3	16,8
90	914,4	38,7
120	874,2	33,1
150	979,7	35,9
180	1001,9	27,7
210	1031,1	29,6
240	1029,7	52,8
270	1046,4	56,3
300	1065,8	34,1
330	1070,0	60,5
360	1110,3	41,7
390	1064,4	37,6
420	1142,2	31,8
450	1158,9	31,8
480	1143,6	32,4
510	1143,6	42,6
540	1125,6	26,8
570	1131,1	19,7
600	1203,3	43,9
630	1253,3	20,8
660	1250,6	12,7
690	1253,3	21,7
720	1268,6	24,4
750	1243,6	29,3
780	1270,0	28,9
810	1271,4	21,0

Réplicas de la microcápsula de 25% en ácido.

BIOCAPSULA 25% CON ACIDO 1.						
100 mg NH ₄ Cl						
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
9/06/2023	9:00	2,27	845,0	27,2	5,95	1130
	9:30	2,46	924,2	26,4	6	1230
	10:00	2,40	899,2	26,5	6	1210
	10:30	2,57	970,0	26,8	6,01	1280
	11:00	2,47	928,3	26,7	6,02	1230
	11:30	2,85	1086,7	27,1	6,04	1390
	12:00	2,63	995,0	27,3	6,02	1310
	12:30	2,88	1099,2	27,5	6,05	1440
	13:00	2,96	1132,5	27,7	6,07	1490
	13:30	3,04	1165,8	27,5	6,11	1530
	14:00	3,05	1170,0	27,3	6,14	1520
	14:30	3,10	1190,8	27,5	6,15	1550
	15:00	3,21	1236,7	27,2	6,18	1600
	15:30	3,57	1386,7	27,1	6,18	1770
	16:00	3,36	1299,2	27,2	6,19	1680
	16:30	3,40	1315,8	27,1	6,22	1710
	17:00	3,47	1345,0	27,2	6,2	1730
	17:30	3,38	1307,5	27,3	6,23	1690
	18:00	3,53	1370,0	27,2	6,24	1770
	18:30	3,46	1340,8	27	6,24	1730
10/06/2023	9:00	3,75	1461,7	26,4	6,30	1880
11/06/2023	9:40	3,77	1470,0	28,3	6,91	1880
12/06/2023	10:05	3,74	1457,5	27,5	7,88	1870
13/06/2023	10:00	3,80	1482,5	26,8	7,82	1890
14/06/2023		3,70	1440,8	27,3	8,16	1840
15/06/2023	9:45	3,73	1453,3	26,1	8,3	1870
16/06/2023	9:05	3,75	1461,7	27,3	8,33	1870

BIOCAPSULA 25% CON ACIDO 2.						
100 mg NH ₄ Cl						
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
9/06/2023	9:00	2,27	845,0	27,3	6,01	1140
	9:30	2,37	886,7	27,4	6,02	1190
	10:00	2,50	940,8	26,3	6,03	1250
	10:30	2,59	978,3	26,6	6,03	1300
	11:00	2,53	953,3	26,5	6,02	1260
	11:30	2,78	1057,5	26,8	6,04	1390
	12:00	2,79	1061,7	27,3	6,06	1390
	12:30	2,77	1053,3	27,2	6,08	1380
	13:00	2,88	1099,2	27,5	6,1	1450
	13:30	3,05	1170,0	27,3	6,12	1520
	14:00	3,07	1178,3	27,06	6,16	1530
	14:30	3,08	1182,5	27,4	6,16	1540
	15:00	3,18	1224,2	27,2	6,17	1590
	15:30	3,13	1203,3	27	6,18	1570
	16:00	3,22	1240,8	27,1	6,2	1610
	16:30	3,17	1220,0	27	6,21	1580
	17:00	3,28	1265,8	27,2	6,22	1640
	17:30	3,42	1324,2	27,4	6,22	1710
	18:00	3,31	1278,3	27,1	6,23	1650
	18:30	3,37	1303,3	27,1	6,23	1690
10/06/2023	9:00	3,62	1407,5	26,7	6,28	1810
11/06/2023		3,65	1420,0	28,3	7,2	1820
12/06/2023	10:05	3,58	1390,8	27,5	7,79	1780
13/06/2023	10:00	3,61	1403,3	26,5	7,95	1810
14/06/2023		3,59	1395,0	27,3	8,11	1790
15/06/2023	9:45	3,64	1415,8	26,2	8,26	1820
16/06/2023	9:05	3,65	1420,0	27,4	8,3	1820

BIOCAPSULA 25% CON ACIDO 3.						
100 mg NH ₄ Cl						
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
9/06/2023	9:00	2,26	840,8	27,3	6,01	1120
	9:30	2,23	828,3	26,4	6,07	110
	10:00	2,43	911,7	26,4	6,04	1210
	10:30	2,40	899,2	26,6	6,03	1200
	11:00	2,42	907,5	26,5	6,03	1210
	11:30	2,62	990,8	26,8	6,04	1310
	12:00	2,70	1024,2	27,3	6,06	1340
	12:30	2,65	1003,3	27,1	6,09	1320
	13:00	2,81	1070,0	27,3	6,11	1410
	13:30	2,98	1140,8	27,3	6,17	1420
	14:00	3,04	1165,8	27,3	6,16	1510
	14:30	2,96	1132,5	27,5	6,17	1480
	15:00	2,94	1124,2	27,2	6,18	1470
	15:30	3,16	1215,8	27	6,21	1570
	16:00	3,17	1220,0	27,2	6,21	1580
	16:30	3,26	1257,5	27,1	6,22	1630
	17:00	3,33	1286,7	27,2	6,23	1660
	17:30	3,35	1295,0	27,4	6,22	1670
	18:00	3,31	1278,3	27,1	6,23	1650
	18:30	3,30	1274,2	27,2	6,24	1650
10/06/2023	9:00	3,47	1345,0	26,7	6,27	1760
11/06/2023		3,61	1403,3	28,3	6,72	1800
12/06/2023	10:05	3,51	1361,7	27,5	7,43	1780
13/06/2023	10:05	3,55	1378,3	26,5	7,81	1780
14/06/2023		3,55	1378,3	27,4	8,09	1770
15/06/2023	9:45	3,5	1357,5	26,4	8,25	1750
16/06/2023	9:05	3,54	1374,2	27,3	8,32	1770

TRATAMIENTO CON ÁCIDO (25%)		
Tiempo (min)	Promedio [] ppm	Desviación estandar
0	843,6	2,4
30	879,7	48,3
60	917,2	21,4
90	949,2	43,5
120	929,7	22,9
150	1045,0	49,1
180	1026,9	33,4
210	1051,9	47,9
240	1100,6	31,3
270	1158,9	15,8
300	1171,4	6,4
330	1168,6	31,5
360	1195,0	61,7
390	1268,6	102,4
420	1253,3	41,0
450	1264,4	48,3
480	1299,2	41,0
510	1308,9	14,6
540	1308,9	52,9
570	1306,1	33,4
600	1404,7	58,4
630	1431,1	34,7
660	1403,3	49,1
690	1421,4	54,4
720	1404,7	32,4
750	1408,9	48,3
780	1418,6	43,8

Réplicas de la microcápsula de 20% en ácido.

BIOCAPSULA 20% CON ACIDO 1.						
100 mg NH ₄ Cl						
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
9/06/2023	9:05	2,30	857,5	27,3	5,96	1150
	9:35	2,30	857,5	26,4	5,96	1150
	10:05	2,43	911,7	26,4	5,96	1240
	10:35	2,62	990,8	26,5	5,90	1260
	11:05	2,55	961,7	26,5	5,96	1270
	11:35	2,62	990,8	26,8	5,97	1310
	12:05	2,65	1003,3	27,4	5,95	1320
	12:35	2,68	1015,8	27,1	5,96	1390
	13:05	2,72	1032,5	27,2	5,97	1360
	13:35	2,87	1095,0	27,2	5,98	1470
	14:05	2,86	1090,8	27,4	6,0	1430
	14:35	2,85	1086,7	27,4	6,0	1420
	15:05	3,08	1182,5	27,1	6,0	1540
	15:35	3,08	1182,5	26,8	6,01	1540
	16:05	3,03	1161,7	27	6,02	1510
	16:35	3,04	1165,8	26,9	6,03	1510
	17:05	3,15	1211,7	27	6,04	1580
	17:35	3,31	1278,3	27,4	6,04	1660
	18:05	3,34	1290,8	27,3	6,04	1670
	18:35	3,27	1261,7	27,2	6,05	1630
10/06/2023	9:05	3,51	1361,7	26,6	6,09	1740
11/06/2023		3,47	1345,0	28,4	6,65	1730
12/06/2023	10:05	3,54	1374,2	27,6	6,91	1760
13/06/2023	10:05	3,50	1357,5	26,5	7,54	1750
14/06/2023		3,46	1340,8	27,3	7,96	1730
15/06/2023	9:50	3,49	1353,3	26,3	8,11	1740
16/06/2023	9:10	3,51	1361,7	27,3	8,17	1750

BIOCAPSULA 20% CON ACIDO 2.						
100 mg NH ₄ Cl						
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
9/06/2023	9:05	2,06	757,5	27,3	5,92	1030
	9:35	2,08	765,8	26,5	5,92	1040
	10:05	2,33	870,0	26,2	5,93	1160
	10:35	2,40	899,2	26,4	5,92	1200
	11:05	2,42	907,5	26,5	5,93	1210
	11:35	2,59	978,3	26,7	5,94	1230
	12:05	2,56	965,8	27,3	5,94	1280
	12:35	2,66	1007,5	27,2	5,95	1330
	13:05	2,87	1095,0	27,1	5,96	1430
	13:35	2,95	1128,3	27,2	6	1480
	14:05	3,05	1170,0	27,3	6	1520
	14:35	2,89	1103,3	27,4	6,01	1440
	15:05	3,14	1207,5	27,1	6,01	1570
	15:35	3,09	1186,7	27	6,02	1550
	16:05	3,21	1236,7	27,1	6,03	1600
	16:35	3,17	1220,0	27	6,03	1580
	17:05	3,26	1257,5	27,1	6,05	1630
	17:35	3,36	1299,2	27,4	6,05	1680
	18:05	3,32	1282,5	27,2	6,05	1660
	18:35	3,38	1307,5	27	6,06	1690
10/06/2023	9:05	3,50	1357,5	26,9	6,10	1740
11/06/2023		3,55	1378,3	28,3	6,69	1770
12/06/2023	10:05	3,50	1357,5	27,6	7,48	1750
13/06/2023	10:05	3,50	1357,5	26,5	7,58	1750
14/06/2023		3,50	1357,5	27,5	7,88	1740
15/06/2023	9:50	3,51	1361,7	26,3	8,09	1750
16/06/2023	9:10	3,5	1357,5	27,3	8,15	1750

BIOCAPSULA 20% CON ACIDO 3.						
100 mg NH ₄ Cl						
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
9/06/2023	9:05	1,98	724,2	27,3	5,79	980
	9:35	2,01	736,7	26,4	5,79	1000
	10:05	2,06	757,5	26,4	5,82	1030
	10:35	2,25	836,7	26,5	5,82	1130
	11:05	2,34	874,2	26,4	5,85	1170
	11:35	2,43	911,7	26,8	5,86	1210
	12:05	2,61	986,7	27,2	5,87	1250
	12:35	2,50	940,8	27,1	5,88	1250
	13:05	2,74	1040,8	27,2	5,89	1370
	13:35	2,80	1065,8	27,3	5,93	1400
	14:05	2,84	1082,5	27,2	5,98	1420
	14:35	2,90	1107,5	27,3	5,51	1450
	15:05	3,11	1195,0	27,1	6,0	1550
	15:35	3,04	1165,8	26,9	6,01	1520
	16:05	3,15	1211,7	27,1	6,01	1570
	16:35	3,25	1253,3	26,9	6,02	1620
	17:05	3,18	1224,2	27,1	6,03	1590
	17:35	3,17	1220,0	27,6	6,02	1580
	18:05	3,32	1282,5	27,3	6,03	1660
	18:35	3,33	1286,7	27	6,04	1660
/06/2023	9:05	3,45	1336,7	26,8	6,10	1720
/06/2023		3,56	1382,5	28,2	6,76	1770
/06/2023	10:05	3,58	1390,8	27,7	7,09	1780
/06/2023	10:05	3,51	1361,7	26,5	7,58	1760
/06/2023		3,40	1315,8	27,2	7,91	1690
/06/2023	9:50	3,55	1378,3	26,1	8,09	1770
/06/2023	9:10	3,49	1353,3	27,3	8,14	1740

TRATAMIENTO CON ÁCIDO (20%)		
Tiempo (min)	Promedio [] ppm	Desviación estandar
0	779,7	69,4
30	786,7	63,1
60	846,4	79,7
90	908,9	77,5
120	914,4	44,2
150	960,3	42,6
180	985,3	18,8
210	988,1	41,1
240	1056,1	33,9
270	1096,4	31,3
300	1114,4	48,3
330	1099,2	11,0
360	1195,0	12,5
390	1178,3	11,0
420	1203,3	38,2
450	1213,1	44,2
480	1231,1	23,7
510	1265,8	41,0
540	1285,3	4,8
570	1285,3	22,9
600	1351,9	13,4
630	1368,6	20,6
660	1374,2	16,7
690	1358,9	2,4
720	1338,1	21,0
750	1364,4	12,7
780	1357,5	4,2

Réplicas de la microcápsula de 15% en ácido.

BIOCAPSULA 15% CON ACIDO 1.						
100 mg NH ₄ Cl						
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
9/06/2023	9:10	1,95	711,7	27,2	5,59	970
	9:40	1,95	711,7	26,4	5,59	970
	10:10	2,03	745,0	26,3	5,59	1010
	10:40	2,21	820,0	26,5	5,58	1100
	11:10	2,29	853,3	26,6	5,56	1150
	11:40	2,40	899,2	26,8	5,56	1200
	12:10	2,41	903,3	27,3	5,54	1200
	12:40	2,57	970,0	27,1	5,56	1290
	13:10	2,73	1036,7	27,2	5,53	1360
	13:40	2,84	1082,5	27,3	5,83	1420
	14:10	2,90	1107,5	27,3	5,52	1450
	14:40	2,80	1065,8	27,2	5,51	1400
	15:10	2,98	1140,8	27,2	5,51	1490
	15:40	3,07	1178,3	27,1	5,52	1540
	16:10	3,13	1203,3	27	5,52	1560
	16:40	3,13	1203,3	26,9	5,52	1560
	17:10	3,15	1211,7	27,1	5,51	1550
	17:40	3,18	1224,2	27,4	5,50	1590
	18:10	3,34	1290,8	27,3	5,50	1660
	18:40	3,23	1245,0	27	5,51	1610
10/06/2023	9:10	3,37	1303,3	27,1	5,51	1680
11/06/2023	10:00	3,38	1307,5	28,4	5,76	1680
12/06/2023	10:10	3,40	1315,8	27,7	5,89	1700
13/06/2023	10:10	3,39	1311,7	26,6	6,54	1690
14/06/2023		3,4	1315,8	27,5	7,22	1690
15/06/2023	9:50	3,39	1311,7	26,3	7,62	1690
16/06/2023	9:15	3,31	1278,3	27,3	7,85	1650

BIOCAPSULA 15% CON ACIDO 2.						
100 mg NH ₄ Cl						
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
9/06/2023	9:10	2,18	807,5	27,1	5,67	1080
	9:40	2,13	786,7	26,5	5,56	1070
	10:10	2,23	828,3	26,5	5,65	1120
	10:40	2,20	815,8	26,4	5,64	1100
	11:10	2,37	886,7	26,5	5,59	1180
	11:40	2,52	949,2	26,7	5,59	1260
	12:10	2,49	936,7	27,1	5,57	1240
	12:40	2,68	1015,8	27	5,57	1340
	13:10	2,72	1032,5	27	5,57	1360
	13:40	2,93	1120,0	27,2	5,55	1470
	14:10	3,05	1170,0	27,3	5,53	1520
	14:40	3,01	1153,3	27,2	5,53	1500
	15:10	3,15	1211,7	27,2	5,53	1580
	15:40	3,06	1174,2	26,9	5,53	1530
	16:10	3,21	1236,7	27	5,53	1600
	16:40	3,20	1232,5	27,1	5,53	1600
	17:10	3,30	1274,2	27,2	5,51	1650
	17:40	3,05	1170,0	27,3	5,51	1520
	18:10	3,19	1228,3	27,2	5,51	1590
	18:40	3,32	1282,5	26,9	5,51	1660
10/06/2023	9:10	3,38	1307,5	27,1	5,51	1680
11/06/2023		3,40	1315,8	28,3	5,78	1690
12/06/2023	10:10	3,36	1299,2	27,6	5,45	1680
13/06/2023	10:10	3,38	1307,5	26,6	6,57	1680
14/06/2023		3,19	1228,3	27,4	7,32	1590
15/06/2023	9:50	3,38	1307,5	26,3	7,70	1680
16/06/2023	9:15	3,31	1278,3	27,3	7,9	1650

BIOCAPSULA 15% CON ACIDO 3.						
100 mg NH ₄ Cl						
Fecha	Tiempo (h)	Conductividad (mS/cm)	[] ppm	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
9/06/2023	9:10	2,34	874,2	27,1	5,7	1170
	9:40	2,33	870,0	26,6	5,69	1160
	10:10	2,37	886,7	26,3	5,68	1180
	10:40	2,33	870,0	26,3	5,67	1170
	11:10	2,50	940,8	26,7	5,63	1250
	11:40	2,60	982,5	26,8	5,62	1300
	12:10	2,57	970,0	27,1	5,61	1290
	12:40	2,76	1049,2	27,1	5,6	1380
	13:10	2,84	1082,5	27,2	5,58	1420
	13:40	2,79	1061,7	27,2	5,57	1390
	14:10	2,69	1020,0	27,4	5,66	1350
	14:40	2,70	1024,2	27,3	5,56	1350
	15:10	2,83	1078,3	27,2	5,55	1410
	15:40	2,95	1128,3	27	5,56	1470
	16:10	3,01	1153,3	27,1	5,55	1500
	16:40	3,00	1149,2	27	5,55	1500
	17:10	3,08	1182,5	27,2	5,54	1540
	17:40	3,08	1182,5	27,2	5,54	1530
	18:10	3,09	1186,7	27,3	5,53	1540
	18:40	3,12	1199,2	27,2	5,53	1560
10/06/2023	9:10	3,24	1249,2	27	5,55	1620
11/06/2023		3,26	1257,5	28,3	5,91	1620
12/06/2023	10:10	3,27	1261,7	27,6	6,62	1630
13/06/2023	10:10	3,22	1240,8	26,7	6,59	1600
14/06/2023		3,27	1261,7	27,3	7,33	1630
15/06/2023	9:50	3,28	1265,8	26,1	7,75	1640
16/06/2023	9:15	3,22	1240,8	27,3	7,94	1610

TRATAMIENTO CON ÁCIDO (15%)		
Tiempo (min)	Promedio [] ppm	Desviación estandar
0	797,8	81,7
30	789,4	79,2
60	820,0	71,2
90	835,3	30,1
120	893,6	44,2
150	943,6	41,9
180	936,7	33,3
210	1011,7	39,7
240	1050,6	27,7
270	1088,1	29,6
300	1099,2	75,3
330	1081,1	65,9
360	1143,6	66,7
390	1160,3	27,7
420	1197,8	41,9
450	1195,0	42,3
480	1222,8	46,8
510	1192,2	28,4
540	1235,3	52,4
570	1242,2	41,7
600	1286,7	32,5
630	1293,6	31,5
660	1292,2	27,7
690	1286,7	39,7
720	1268,6	44,2
750	1295,0	25,3
780	1265,8	21,7

Anexo F. Tablas de la Ley de Fick

Microcápsulas en medio acuoso

MICROCÁPSULA EN MEDIO ACUOSO									
tiempo (min)	Ln t	25%			20%			15%	
		Promedio [] ppm	Mt/Minf	Ln Mt/Minf	Promedio [] ppm	Mt/Minf	Ln Mt/Minf	Promedio [] ppm	Ln Mt/Minf
0		981	0,7849		845	0,68		867	
30	3,40119738	974	0,7793	-0,2493	894	0,71	-0,34	889	-0,340301782
60	4,09434456	994	0,7949	-0,2296	910	0,73	-0,32	910	-0,317149027
90	4,49980967	980	0,7838	-0,2436	939	0,75	-0,29	914	-0,312582114
120	4,78749174	1046	0,8371	-0,1778	933	0,75	-0,29	874	-0,357627779
150	5,01063529	1006	0,8049	-0,2171	1037	0,83	-0,19	980	-0,243629746
180	5,19295685	1060	0,8482	-0,1646	1019	0,81	-0,20	1002	-0,221200995
210	5,34710753	1078	0,8627	-0,1477	1121	0,90	-0,11	1031	-0,192506582
240	5,48063892	1048	0,8382	-0,1765	1169	0,93	-0,07	1030	-0,193854473
270	5,59842196	1099	0,8793	-0,1286	1162	0,93	-0,07	1046	-0,177798468
300	5,70378247	1101	0,8804	-0,1273	1210	0,97	-0,03	1066	-0,159386586
330	5,79909265	1092	0,8738	-0,1349	1220	0,98	-0,02	1070	-0,155484903
360	5,88610403	1089	0,8716	-0,1375	1277	1,02	0,02	1110	-0,118533317
390	5,96614674	1127	0,9016	-0,1036	1285	1,03	0,03	1064	-0,160690537
420	6,04025471	1160	0,9282	-0,0745	1298	1,04	0,04	1142	-0,090167869
450	6,10924758	1144	0,9149	-0,0890	1337	1,07	0,07	1159	-0,07568186
480	6,1737861	1139	0,9116	-0,0926	1303	1,04	0,04	1144	-0,088952654
510	6,23441073	1108	0,8860	-0,1210	1310	1,05	0,05	1144	-0,088952654
540	6,29156914	1126	0,9004	-0,1049	1288	1,03	0,03	1126	-0,10486681
570	6,34563636	1174	0,9393	-0,0626	1317	1,05	0,05	1131	-0,099943118
600	6,39692966	1170	0,9360	-0,0661	1376	1,10	0,10	1203	-0,038048068
630	6,44571982	1138	0,9104	-0,0938	1394	1,11	0,11	1253	1,00
660	6,49223984	1203	0,9627	-0,0380	1396	1,12	0,11	1251	1,00
690	6,5366916	1208	0,9660	-0,0346	1362	1,09	0,09	1253	1,00
720	6,57925121	1231	0,9849	-0,0152	1385	1,11	0,10	1269	1,01
750	6,62007321	1235	0,9882	-0,0118	1370	1,10	0,09	1244	0,99
780	6,65929392	1239	0,9916	-0,0085	1388	1,11	0,10	1270	1,02
810	6,69703425	1255	1,0038	0,0038	1369	1,09	0,09	1271	1,02
840	6,73340189	1252	1,0016	0,0016	1370	1,10	0,09	1320	1,06

Microcápsulas en medio ácido

MICROCÁPSULA EN MEDIO ÁCIDO									
tiempo (min)	Ln t	25%			20%			15%	
		Promedio [] ppm	Mt/Minf	Ln Mt/Minf	Promedio [] ppm	Mt/Minf	Ln Mt/Minf	Promedio [] ppm	Ln Mt/Minf
0		844	0,67		780	0,62		798	0,64
30	3,4012	880	0,70	-0,35	787	0,63	-0,46	789	-0,455969367
60	4,0943	917	0,73	-0,31	846	0,68	-0,39	820	-0,42159449
90	4,4998	949	0,76	-0,28	909	0,73	-0,32	835	-0,403134493
120	4,7875	930	0,74	-0,30	914	0,73	-0,31	894	-0,335628149
150	5,0106	1045	0,84	-0,18	960	0,77	-0,26	944	-0,281184708
180	5,1930	1027	0,82	-0,20	985	0,79	-0,24	937	-0,288571357
210	5,3471	1052	0,84	-0,17	988	0,79	-0,24	1012	-0,211544415
240	5,4806	1101	0,88	-0,13	1056	0,84	-0,17	1051	-0,173824427
270	5,5984	1159	0,93	-0,08	1096	0,88	-0,13	1088	-0,138751342
300	5,7038	1171	0,94	-0,06	1114	0,89	-0,11	1099	-0,128591234
330	5,7991	1169	0,93	-0,07	1099	0,88	-0,13	1081	-0,145154232
360	5,8861	1195	0,96	-0,04	1195	0,96	-0,04	1144	0,91
390	5,9661	1269	1,01	0,01	1178	0,94	-0,06	1160	0,93
420	6,0403	1253	1,00	0,00	1203	0,96	-0,04	1198	0,96
450	6,1092	1264	1,01	0,01	1213	0,97	-0,03	1195	0,96
480	6,1738	1299	1,04	0,04	1231	0,98	-0,02	1223	0,98
510	6,2344	1309	1,05	0,05	1266	1,01	0,01	1192	0,95
540	6,2916	1309	1,05	0,05	1285	1,03	0,03	1235	0,99
570	6,3456	1306	1,04	0,04	1285	1,03	0,03	1242	0,99
600	6,3969	1405	1,12	0,12	1352	1,08	0,08	1287	1,03
630	6,4457	1431	1,14	0,14	1369	1,09	0,09	1294	1,03
660	6,4922	1403	1,12	0,12	1374	1,10	0,09	1292	1,03
690	6,5367	1421	1,14	0,13	1359	1,09	0,08	1287	1,03
720	6,5793	1405	1,12	0,12	1338	1,07	0,07	1269	1,01
750	6,6201	1409	1,13	0,12	1364	1,09	0,09	1295	1,04
780	6,6593	1419	1,13	0,13	1358	1,09	0,08	1266	1,01

Anexo G. Mediciones de conductividad de los blancos preparados.

Blanco HA/AS en agua desionizada para 25%, 20% y 15%

BLANCO 25% CON AGUA DESIONIZADA						
AS+HA						
Fecha	Tiempo (h)	MINUTOS	Conductividad (mS/cm)	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
10/06/2023	8:40	0	0,79	27,6	10,20	390
	9:10	30	0,79	26,3	10,05	390
	9:40	60	0,84	25,5	9,24	410
	10:10	90	0,88	26,1	9,23	440
	10:40	120	0,81	25,9	9,88	450
	11:10	150	1,02	26,2	9,83	500
	11:40	180	0,99	26,4	9,72	490
	12:10	210	1,10	26,4	5,59	540
	12:40	240	1,03	26,1	9,61	510
	13:10	270	1,04	25,9	9,58	510
	13:40	300	1,09	26	9,53	540
	14:10	330	1,12	26,1	9,46	550
	14:40	360	1,10	25,9	9,44	540
	15:10	390	1,16	26,1	9,4	580
	15:40	420	1,19	26,2	9,32	590
	16:10	450	1,20	26,1	9,29	590
	16:40	480	1,25	26,2	9,26	620
	17:10	510	1,21	25,9	9,24	600
	17:40	540	1,28	26	9,18	640
	18:10	570	1,25	26	9,16	620
11/06/2023	10:10	600	1,36	28,2	8,59	680
12/06/2023	10:10	630	1,44	27,5	8,15	710
13/06/2023	10:10	660	1,46	26,5	8,24	720
14/06/2023	10:10	690	1,43	27,5	8,46	710
15/06/2023	9:55	720	1,50	26	8,53	740
16/06/2023	9:20	750	1,47	27,3	8,7	730

BLANCO 20% CON AGUA DESIONIZADA						
AS+HA						
Fecha	Tiempo (h)	Minutos	Conductividad (mS/cm)	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
10/06/2023	8:40	0	0,45	27,6	6,02	220
	9:10	30	0,50	25,9	6,21	240
	9:40	60	0,53	25,6	6,1	260
	10:10	90	0,55	25,9	6,06	270
	10:40	120	0,60	25,7	6,03	300
	11:10	150	0,57	26,1	6,07	280
	11:40	180	0,63	26,1	6,08	310
	12:10	210	0,68	25,9	6,10	330
	12:40	240	0,71	26	6,04	350
	13:10	270	0,72	26	6,05	360
	13:40	300	0,75	26,1	6,01	370
	14:10	330	0,77	26,1	6,06	380
	14:40	360	0,79	25,9	6,06	390
	15:10	390	0,81	26,1	6,08	400
	15:40	420	0,83	26,2	6,08	410
	16:10	450	0,82	26,1	6,08	400
	16:40	480	0,88	26,3	6,08	440
	17:10	510	0,89	26	6,13	440
	17:40	540	0,93	26	6,11	460
	18:10	570	0,95	25,8	6,10	470
11/06/2023	10:10	600	1,07	27,9	6,29	530
12/06/2023	10:10	630	1,19	27,4	6,63	580
13/06/2023	10:10	660	1,25	26,4	6,79	620
14/06/2023		690	1,32	27,4	7,55	650
15/06/2023	9:55	720	1,34	26,3	7,87	660
16/06/2023	9:20	750	1,33	27,3	8,05	660

BLANCO 15% CON AGUA DESIONIZADA						
AS+HA						
Fecha	Tiempo (h)	minutos	Conductividad (mS/cm)	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
10/06/2023	8:40	0	0,55	27,6	5,64	270
	9:10	30	0,57	25,9	5,62	280
	9:40	60	0,64	25,5	5,60	270
	10:10	90	0,64	25,6	5,56	320
	10:40	120	0,68	25,7	5,55	330
	11:10	150	0,69	26,2	5,54	340
	11:40	180	0,72	25,9	5,55	350
	12:10	210	0,76	25,7	5,55	370
	12:40	240	0,76	25,8	5,53	380
	13:10	270	0,74	25,9	5,54	360
	13:40	300	0,80	26,2	5,55	400
	14:10	330	0,82	26	5,55	410
	14:40	360	0,85	26	5,54	420
	15:10	390	0,88	26	5,53	440
	15:40	420	0,85	26,1	5,55	420
	16:10	450	0,89	26,2	5,55	440
	16:40	480	0,92	26,2	5,56	460
	17:10	510	0,97	25,9	5,58	480
	17:40	540	1,00	26	5,54	490
	18:10	570	0,94	25,8	5,55	460
11/06/2023	10:10	600	1,05	28	5,63	520
12/06/2023	10:10	630	1,10	27,4	5,72	580
13/06/2023	10:10	660	1,13	26,4	5,65	560
14/06/2023		690	1,12	27,2	5,71	550
15/06/2023	9:55	720	1,15	26	5,73	570
16/06/2023	9:20	750	1,15	27,3	5,8	570

Blanco HA/AS en medio ácido para 25%, 20% y 15%

BLANCO 25% CON ACIDO ACETICO						
AS+HA						
Fecha	Tiempo (h)	minutos	Conductividad (mS/cm)	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
13/06/2023	8:00	0	0,66	28,3	9,34	320
	8:30	30	0,66	26,4	8,89	320
	9:00	60	0,69	25,5	9,07	340
	9:30	90	0,73	25,8	9,06	360
	10:00	120	0,74	26	9,13	370
	10:30	150	0,77	26,1	9,12	380
	11:00	180	0,83	26,5	9,09	410
	11:30	210	0,85	26,5	9,12	420
	12:00	240	0,89	26,6	9,08	440
	12:30	270	0,90	26,9	9,04	450
	13:00	300	0,94	26,7	9,04	470
	13:30	330	0,98	26,6	8,98	490
	14:00	360	1,02	27,1	9	510
	14:30	390	1,05	27	8,93	520
	15:00	420	1,09	27	8,82	540
	15:30	450	1,09	27,1	8,76	540
	16:00	480	1,13	27,1	8,73	560
	16:30	510	1,17	27,1	8,62	580
	17:00	540	1,17	26,8	8,64	580
	17:30	570	1,20	27	8,54	590
14/06/2023		600	1,23	27,3	7,94	610
15/06/2023	9:55	630	1,50	26,3	8,17	760
16/06/2023	9:25	660	1,42	27,6	8,48	710

BLANCO 20% CON ACIDO ACETICO						
AS+HA						
Fecha	Tiempo (h)	Minutos	Conductividad (mS/cm)	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
10/06/2023	8:40	0	0,57	27,6	5,80	280
	9:10	30	0,63	26	5,91	310
	9:40	60	0,67	25,4	6,01	330
	10:10	90	0,67	25,6	5,89	350
	10:40	120	0,71	25,7	5,91	350
	11:10	150	0,74	26,1	5,91	370
	11:40	180	0,86	25,9	5,92	420
	12:10	210	0,83	25,9	5,92	400
	12:40	240	0,83	26	5,94	410
	13:10	270	0,86	26	5,94	420
	13:40	300	0,87	26	5,93	430
	14:10	330	0,90	25,9	5,96	450
	14:40	360	0,90	26,15	5,95	450
	15:10	390	0,94	26,1	5,96	470
	15:40	420	0,97	26	5,95	480
	16:10	450	0,97	26,2	5,97	480
	16:40	480	1,02	25,9	5,98	510
	17:10	510	1,03	26,0	6,00	510
	17:40	540	1,03	26,1	6,06	510
	18:10	570	1,08	25,8	6,01	540
11/06/2023	10:10	600	1,14	27,8	6,12	570
12/06/2023	10:10	630	1,38	27,6	6,4	710
13/06/2023	10:15	660	1,41	26,3	6,72	700
14/06/2023		690	1,60	27,5	7,49	790
15/06/2023		720	1,61	26,3	7,91	800
16/06/2023	9:25	750	1,56	27,6	8,08	780

BLANCO 15% CON ACIDO ACETICO						
AS+HA						
Fecha	Tiempo (h)	minutos	Conductividad (mS/cm)	Temperatura (°C)	pH	SD (ppm)
10/06/2023	8:40	0	0,54	27,6	5,54	260
	9:10	30	0,57	26,1	5,55	280
	9:40	60	0,61	25,6	5,50	300
	10:10	90	0,62	25,7	5,50	310
	10:40	120	0,66	25,7	5,47	330
	11:10	150	0,67	26	5,51	330
	11:40	180	0,74	25,7	5,46	360
	12:10	210	0,73	25,8	5,49	370
	12:40	240	0,76	26	5,48	370
	13:10	270	0,78	26	5,5	380
	13:40	300	0,79	26,1	5,49	390
	14:10	330	0,83	25,9	5,5	410
	14:40	360	0,84	26,1	5,49	420
	15:10	390	0,86	26,2	5,51	430
	15:40	420	0,87	26	5,5	430
	16:10	450	0,87	26,2	5,49	430
	16:40	480	0,93	25,9	5,51	460
	17:10	510	0,95	26,0	5,51	470
	17:40	540	0,97	26,1	5,51	480
	18:10	570	1,00	25,9	5,51	500
11/06/2023	10:10	600	1,07	27,8	5,59	530
12/06/2023	10:10	630	1,10	27,6	5,68	550
13/06/2023	10:15	660	1,13	26,5	5,61	560
14/06/2023		690	1,11	27,5	5,54	550
15/06/2023		720	1,15	26,2	5,54	510
16/06/2023	9:25	750	1,14	27,5	5,67	570