



UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

MAGÍSTER EN QUÍMICA APLICADA

TEMA:

**DESARROLLO DE UN HIDROGEL A BASE DE DERIVADOS DE
CELULOSA PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN
DE AGUA Y LIBERACIÓN LENTA DE FERTILIZANTES**

AUTOR:

ARMAS BLACIO CRISTHIAN ANÍBAL

DIRECTOR TFM:

VILLAMAR AVEIGA MÓNICA DEL ROCÍO

MILAGRO, OCTUBRE 2023

ECUADOR

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Por la presente hago constar que he analizado el proyecto de informe de investigación presentado por el Sr. CRISTHIAN ANÍBAL ARMAS BLACIO con el tema DESARROLLO DE UN HIDROGEL A BASE DE DERIVADOS DE CELULOSA PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA Y LIBERACIÓN LENTA DE FERTILIZANTES para la obtención del título de Magíster en QUÍMICA APLICADA, el cual acepto dar el acompañamiento correspondiente al estudiante, durante la etapa de desarrollo del trabajo hasta su presentación, evaluación y sustentación.

Milagro, a los 14 días del mes de agosto del 2023



MÓNICA DEL ROCÍO VILLAMAR AVEIGA

CI. 0918306507

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El autor de esta investigación declara ante el Comité Académico del Programa de Maestría en Química Aplicada de la Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado es de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona, salvo el que está referenciado debidamente en el texto; parte del presente documento o en su totalidad, no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro Título de una institución nacional o extranjera.

Milagro, a los 06 días del mes de noviembre del 2023



CRISTHIAN ANÍBAL ARMAS BLACIO

CI. 1725508590

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN QUÍMICA APLICADA**, presentado por **QUIM. ARMAS BLACIO CRISTHIAN ANIBAL**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "DESARROLLO DE UN HIDROGEL A BASE DE DERIVADOS DE CELULOSA PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA Y LIBERACIÓN LENTA DE FERTILIZANTES", las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACION	58.67
DEFENSA ORAL	38.00
PROMEDIO	96.67
EQUIVALENTE	Excelente



Firma digitalizada por:
DELIA DOLORES
NORIEGA VERDUGO

Mgtr. NORIEGA VERDUGO DELIA DOLORES
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firma digitalizada por:
GUSTAVO ELIAS
MARTINEZ VALENZUELA

MARTINEZ VALENZUELA GUSTAVO ELIAS
VOCAL



Firma digitalizada por:
JOSE FRANCISCO
FALCONI NOVILLO

FALCONI NOVILLO JOSE FRANCISCO
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

- A Rosita, mi madre, quien ha sido el pilar fundamental en la edificación de mi trayectoria profesional. Su inquebrantable determinación y continuo esfuerzo han sido un modelo inspirador. Agradezco su orientación, sabios consejos, amor incondicional y especialmente la paciencia que ha mantenido a lo largo del tiempo.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Estatal de Milagro, y a mis distinguidos profesores de la Maestría de Química Aplicada por compartir sus valiosos conocimientos conmigo.
- A la Universidad Central del Ecuador, y de manera especial, al Centro de Química, donde tuve la oportunidad de llevar a cabo mi proceso experimental bajo la orientación y colaboración de sus dedicados docentes.
- A mi tutora, Mónica Villamar, quien me guio durante este trabajo y brindarme su confianza, apoyo e impartir sus conocimientos para culminar con éxito mi trabajo de investigación.
- Al Dr. Fernando Novillo por compartirme sus conocimientos y orientarme durante el desarrollo de mi proceso investigativo y especialmente por la amistad que me ha brindado.
- A Dios, por haberme dado una familia maravillosa que supo llenarme de amor, de valores y por apoyarme incondicionalmente en la búsqueda de mis metas.

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Doctor

Fabrizio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer la Cesión de Derecho de Autor del Trabajo realizado como requerimiento para la obtención de mi Título de Cuarto Nivel, cuyo tema fue “Desarrollo de un hidrogel a base de derivados de celulosa para mejorar la capacidad de retención de agua y liberación lenta de fertilizantes” y que corresponde al Vicerrectorado de Investigación y Posgrado

Milagro, a los 06 días del mes de noviembre de 2023



Firmado electrónicamente por:
**CRISTHIAN ANIBAL
ARMAS BLACIO**

CRISTHIAN ARMAS BLACIO

CI. 1725508590

ÍNDICE GENERAL

ACEPTACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLA.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Delimitación del problema	5
1.3. Formulación del problema.....	5
1.4. Preguntas de investigación	5
1.5. Determinación del tema	5
1.6. Objetivo general.....	5
1.7. Objetivos específicos	6
1.8. Hipótesis	6
1.9. Operacionalización de las variables	6
Variable independiente.....	6
Variable dependiente	7
1.10. Justificación.....	7
1.11. Alcance y limitaciones.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	9
2.1. Antecedentes	9

Antecedentes históricos	9
Antecedentes referenciales	10
2.2. Contenido teórico	10
Hidrogel.....	10
Celulosa	11
Carboximetil celulosa	11
Hidroxietil celulosa	12
Reticulación de un hidrogel	13
Hinchamiento del hidrogel.....	13
Propiedades de los hidrogeles con respecto a su pH	14
Liberación del hidrogel	15
Capacidad de retención.....	15
Biodegradabilidad del hidrogel	16
Fertilizantes.....	16
Viscosidad y Reología.....	17
Dispersión de luz dinámica.....	17
Absorción atómica.....	18
Método Kjendahl	18
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO.....	20
3.1. Tipo y diseño de investigación	20
Nivel de la investigación	20
3.2. Los métodos y las técnicas	21
Preparación del hidrogel.....	21
Caracterización del hidrogel	21
Carga de fertilizante	22
Determinación de potasio.....	23
Determinación de nitrógeno amoniacal y nítrico	23
3.3. Procesamiento estadístico de la información.....	24
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	25

4.1. Preparación del hidrogel	25
4.2. Caracterización del hidrogel	25
4.3. Carga de fertilizante	31
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
5.1. Conclusiones.....	35
5.2. Recomendaciones	36
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
ANEXOS	42

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Composición de las muestras de hidrogel.....	21
Tabla 2. Composición porcentual de la fracción gel.....	28
Tabla 3. Capacidad porcentual de retención de agua en suelo.....	30
Tabla 4. Capacidad porcentual de retención de agua.....	31
Tabla 5. Concentración de potasio y nitrógeno en el hidrogel.....	31
Tabla 6. Relación de hinchamiento a diferentes PH	46
Tabla 7. Concentraciones de Nitrógeno y Potasio en suelo negro.....	46
Tabla 8. Concentraciones de Nitrógeno y Potasio en suelo amarillo.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la celulosa	11
Figura 2. Estructura de la carboximetil celulosa trisustituida.....	12
Figura 3. Estructura de la hidroxietil celulosa trisustituida.....	12
Figura 4. Reacción de entrecruzamiento polimérico	13
Figura 5. Representación esquemática del hinchamiento de una red polimérica	13
Figura 6. Gráfica de Esfuerzo (Pa) vs Velocidad de cizalla (1/s).....	26
Figura 7. Morfología del hidrogel con aumento (10X, 40X, 100X).....	26
Figura 8. Absorción del hidrogel a diferentes pH	29
Figura 9. Nitrógeno y Potasio en suelo negro y amarillo	32
Figura 10. Hidrogel cargado de Úrea en suelo negro y amarillo	33
Figura 11. Hidrogel cargado de KNO ₃ en suelo negro y amarillo	34

Lista de Abreviaturas

CMC	Carboxi Metil celulosa
HEC	Hidroxi Etil celulosa
AC	Ácido Cítrico

Resumen

El presente estudio se centró en desarrollar y caracterizar un innovador hidrogel a base de derivados de celulosa con el propósito de mejorar la capacidad de retención de agua y la liberación lenta de fertilizantes, aspectos vitales para la gestión eficiente del agua y la optimización de la fertilización.

Durante la fase de preparación, se llevó a cabo la mezcla de carboximetil celulosa (CMC) con hidroxietil celulosa (HEC) y ácido cítrico en un medio de suero de leche, empleando agitación a lo largo de 48 horas. El resultado fue la formación de un hidrogel que posteriormente se cargó con úrea y KNO_3 .

La caracterización del hidrogel desveló su comportamiento similar al de un fluido pseudoplástico, y debido a su origen en un polímero lineal, su morfología resultó ser porosa y fibrosa. Los resultados también arrojaron una fracción de gel del 89%, y una capacidad de retención de 1200 en agua; en cuanto al hidrogel cargado con úrea, se constató un aumento del contenido de nitrógeno en un factor 4 veces superior. Por su parte, el hidrogel cargado con KNO_3 exhibió un incremento del contenido de potasio de 6 veces mayor a la cantidad inicial del suelo.

Cabe destacar que el hidrogel demostró una elevada capacidad de absorción de agua, además de ser un mejorador de suelos lo que se tradujo en una mayor difusión de iones de nitrógeno y potasio, enriqueciendo así las propiedades del suelo.

Palabras claves: hidrogel, liberación lenta, celulosa, fertilizante

Abstract

This study focused on developing and characterizing an innovative hydrogel based on cellulose derivatives with the purpose of improving water retention capacity and slow-release of fertilizers, which are vital aspects for efficient water management and fertilizer optimization.

During the preparation phase, a mixture of carboxymethyl cellulose (CMC) and hydroxyethyl cellulose (HEC), along with citric acid, was conducted in a whey medium using agitation over 48 hours. This resulted in the formation of a hydrogel, subsequently loaded with urea and KNO_3 .

Characterization of the hydrogel revealed its behavior resembling that of a pseudoplastic fluid. Due to its origin from a linear polymer, the hydrogel's morphology was found to be porous and fibrous. The results also showed an 89% gel fraction and a water retention capacity of 1200. In the case of the urea-loaded hydrogel, a significant 4-fold increase in nitrogen content was observed. Similarly, the KNO_3 -loaded hydrogel demonstrated a 6-fold increase in potassium content compared to the initial soil amount.

It's worth noting that the hydrogel displayed a high-water absorption capacity and acted as a soil conditioner, resulting in enhanced diffusion of nitrogen and potassium ions, thus enriching soil properties.

Keywords: hydrogel, controlled release, cellulose, fertilizer

INTRODUCCIÓN

El mundo y el país atraviesan actualmente los desafíos más relevantes de la historia moderna, debido a la fabricación de materiales no renovables o no biodegradables lo cual ha provocado un aumento de la crisis ambiental. Esto ha impulsado al desarrollo de nuevas investigaciones sobre el remplazo de dichos materiales por materiales que sean rentables ecológicos y degradables para diversas aplicaciones de ingeniería. (Martínez & Porcelli, 2017)

Entre las diversas opciones de materiales es importante conocer sobre los derivados de la celulosa los cuales son una amplia familia de materiales obtenidos a partir de la misma, el cual es el componente principal de las paredes celulares de las plantas, por lo que estos materiales han sido objeto de una gran atención en los últimos años debido a su versatilidad y amplia gama de aplicaciones en diversos campos. (Castro-Ochoa et al., 2010)

Por ello en la búsqueda y entendimiento estos materiales nos encontramos con la liberación lenta de un fertilizante en el suelo se puede lograr mediante el uso de hidrogeles, recubrimientos y fertilizantes de liberación controlada. (Cordero, 2020) Estos métodos permiten una liberación gradual y sostenida de nutrientes en el suelo, lo que puede mejorar la eficiencia del uso de los fertilizantes y reducir el impacto ambiental.

Pero ante todo es importante resaltar que la liberación controlada de nutrientes a través de hidrogeles no es una tecnología nueva, ya que ha sido investigada y utilizada en la industria agrícola y en la fabricación de productos farmacéuticos durante varias décadas. Si se refiere a lo netamente realizado para el campo agrícola se conoce que los hidrogeles se han utilizado para mejorar la eficiencia del uso de los fertilizantes, reducir las pérdidas de nutrientes y reducir el impacto ambiental. (Tillan, 2005)

Esta investigación se enfocó en la realización de un hidrogel a base de celulosa cargado con diferentes compuestos usados en la industria agrícola como son la urea y el nitrato de potasio.

En el Capítulo I. Se detalla el planteamiento del problema apoyado en datos bibliográficos, se presenta también la formulación del problema, las hipótesis planteadas, los objetivos de la investigación, la justificación e importancia del estudio realizado y el alcance esperado.

En el Capítulo II. Se presentan antecedentes de varias investigaciones relacionadas al tema planteado, además, de datos bibliográficos como parte del fundamento sobre las generalidades de la planta estudiada, así como los fundamentos de técnicas utilizadas, también se presenta el fundamento legal, las hipótesis y el sistema de variables.

En el Capítulo III. Se aborda el diseño de la investigación, métodos y materiales, diseño experimental, matriz de operacionalización de las variables, procesamientos de datos y técnicas de procesamiento de datos.

En el Capítulo IV. Se detalla profundamente los resultados obtenidos en las cuatro etapas de experimentación, y también se formula discusiones en base a la bibliografía existente.

En el Capítulo V. Se expone de manera resumida los resultados obtenidos en concordancia con los objetivos planteados, además se realizan recomendaciones para futuras investigaciones que puedan darse a partir de esta.

Capítulo I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Los hidrogeles han emergido como materiales extremadamente versátiles y de gran utilidad en una amplia gama de sectores, abarcando desde la medicina hasta la agricultura y la electrónica, a medida que la investigación y la tecnología avanzan incansablemente, es innegable que los hidrogeles continuarán desempeñando un papel fundamental en la generación de soluciones innovadoras para diversas industrias. (Palencia et al., 2021)

El progreso en la formulación de hidrogeles ha sido un dominio activo de investigación y desarrollo en los últimos años. Científicos e ingenieros de materiales han centrado sus esfuerzos en perfeccionar las características de los hidrogeles y en crear formulaciones cada vez más especializadas para satisfacer las necesidades de aplicaciones concretas. (Díaz García et al., 2018)

Hasta la fecha, Ecuador no ha sido ampliamente reconocido por su desarrollo significativo en la investigación y producción de hidrogeles en comparación con naciones más avanzadas en este campo. No obstante, es esencial tener en cuenta que el desarrollo científico y tecnológico evoluciona rápidamente, influenciado por la investigación académica, la inversión en ciencia y tecnología, así como las necesidades y oportunidades industriales. (León Torres et al., 2020) En este contexto, Ecuador podría avanzar en el ámbito de los hidrogeles a medida que se intensifiquen las actividades de investigación, se fomente la inversión en ciencia y se explore la colaboración con expertos y organizaciones a nivel nacional e internacional.

En este sentido, se han realizado importantes avances en la formulación y aplicación de fertilizantes, incluyendo la creación de fertilizantes de liberación controlada, ya que los hidrogeles de los cuales están hechos en su mayoría pueden absorber grandes cantidades de agua y retenerlas en su estructura, lo que ayuda a mantener la humedad del suelo, pueden retener nutrientes y liberarlos gradualmente en el suelo. (Escobar Molina, 2021)

Los fertilizantes ha sido un proceso continuo que ha evolucionado a lo largo del tiempo, se puede decir que la innovación en los fertilizantes comenzó a finales del siglo XIX, cuando se descubrió el proceso de Haber-Bosch para la síntesis de amoníaco a partir del nitrógeno atmosférico, este proceso permitió la producción de grandes cantidades de fertilizantes nitrogenados, lo que revolucionó la agricultura y permitió el aumento de la producción de alimentos. (Brizuela Dorado, 2022)

En los últimos años, se ha observado un aumento en la demanda de fertilizantes orgánicos en Ecuador, con mayor prioridad en el compost y el estiércol, aunque los fertilizantes de liberación controlada también están ganando popularidad en Ecuador, ya que permiten una administración más eficiente de los nutrientes y la capacidad para mejorar la fertilidad del suelo sin dañar el medio ambiente. (Bonilla Bolaños et al., 2019)

Actualmente, en el país los fertilizantes ocupados requieren de una aplicación frecuente, ya que su liberación de nutrientes es inmediata y no controlada, esto significa que se debe aplicar una nueva dosis de fertilizante cada vez que los nutrientes se agotan en el suelo, lo que puede ser cada pocos días o semanas, dependiendo del cultivo y las condiciones del suelo; lo que contribuye a la acidificación del suelo afectando negativamente la fertilidad del suelo a largo plazo y requiriendo una inversión adicional para corregir estos problemas. (Bonilla Bolaños et al., 2019)

Al usar un fertilizante de liberación controlada, se puede administrar la cantidad adecuada de nutrientes en el momento en que la planta los necesita, lo que aumenta la eficiencia de la fertilización y reduce el desperdicio. Lo que permite proporcionar los nutrientes de manera constante y equilibrada, con esto se puede ahorrar tiempo y dinero en la aplicación y compra de fertilizantes al reducir la cantidad de fertilizante necesario y se prolongaa su eficacia. (Kiang & Goh, 2007)

1.2. Delimitación del problema

Esta investigación delimita a las interacciones del hidrogel con Urea y KNO_3 y la temperatura, lo que puede afectar su funcionalidad y estabilidad. Estas interacciones deben ser consideradas para garantizar que el hidrogel funcione de manera adecuada y predecible en el entorno previsto.

1.3. Formulación del problema

Es posible elaborar un hidrogel a base de celulosa que permita la liberación lenta de fertilizantes y con ello el suministro adecuado de nutrientes, para el desarrollo óptimo de la planta

1.4. Preguntas de investigación

¿Cuál es la concentración ideal de ácido cítrico para un hidrogel consistente? ¿A qué pH se da una mejor absorción por parte del hidrogel? ¿Este hidrogel es óptimo para su uso como fertilizante? ¿Se puede dar un mejoramiento de iones como nitrógeno y potasio?

1.5. Determinación del tema

La importancia del tema investigado radica en su papel fundamental en la creación de hidrogeles diseñados para la liberación controlada de fertilizantes en la agricultura. Además, de la adecuada elaboración del hidrogel, la carga precisa de nutrientes, la factibilidad de obtención y la capacidad de retención son factores críticos que determinan la eficacia y la viabilidad de esta tecnología, que puede contribuir significativamente a mejorar la sostenibilidad agrícola al permitir una distribución gradual y eficiente de nutrientes a las plantas, reduciendo el desperdicio y optimizando el uso de recursos hídricos.

1.6. Objetivo general

Desarrollar un hidrogel a base de derivados de celulosa para el mejoramiento de la capacidad de retención de agua y liberación lenta de fertilizantes

1.7. Objetivos específicos

- Investigar la reología y morfología hidrogel por medio de métodos físicos y microscópicos.
- Estudiar la capacidad de retención de agua del hidrogel formado, mediante su fracción gel y su cinética de hinchamiento.
- Realizar un perfil de liberación in-situ, contenido en el hidrogel cargado con fertilizantes.

1.8. Hipótesis

Hipótesis alternativa: Es posible desarrollar un hidrogel a base de derivados de celulosa para mejorar la capacidad de retención de agua y liberación lenta de fertilizantes.

Hipótesis nula: No es posible desarrollar un hidrogel a base de derivados de celulosa para mejorar la capacidad de retención de agua y liberación lenta de fertilizantes.

1.9. Operacionalización de las variables

Variable independiente

Método de elaboración del hidrogel: La elaboración de un hidrogel depende de la composición química y del propósito específico del hidrogel que se desea producir.

Carga de fertilizante: Es la cantidad de nutrientes presentes en un fertilizante determinado, estos nutrientes incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y otros oligoelementos.

Variable dependiente

Factibilidad de obtención del hidrogel: Corresponde a la posibilidad para obtener un hidrogel que permita la liberación lenta de fertilizante.

Capacidad de retención: Es la cantidad de agua y de fertilizante, que puede ser retenida por un por el hidrogel.

1.10. Justificación

La investigación en hidrogeles de liberación lenta puede proporcionar soluciones más sostenibles debido a que un hidrogel está diseñado para liberar gradual y constantemente de agua y nutrientes durante un período específico. Al hacerlo de forma controlada, se minimiza el desperdicio y la lixiviación de nutrientes al suelo, lo que aumenta la eficiencia en el uso de nutrientes.

Por lo general, los fertilizantes usados en el agro liberan sus nutrientes rápidamente, lo que incrementa el riesgo de pérdida debido a la volatilización, lixiviación o escorrentía. Por el contrario, los fertilizantes de liberación controlada reducen estas pérdidas, generando un impacto positivo en el medio ambiente y ahorrando dinero al requerir menos aplicaciones frecuentes.

Su uso también otorga a los agricultores y jardineros un mayor control sobre la nutrición de las plantas, permitiéndoles ajustar las dosis y los intervalos de aplicación según las necesidades específicas de los cultivos, las condiciones del suelo y el clima, lo que garantiza una fertilización más precisa.

1.11. Alcance y limitaciones

Este proyecto se enfoca en la creación de una formulación altamente eficiente de hidrogel, utilizando derivados de celulosa y aplicando técnicas de fabricación que puedan substancialmente mejorar su capacidad de absorción de agua, así como la regulación precisa de la liberación de agua por parte del hidrogel.

Es importante destacar que existen limitaciones en términos de recursos y presupuesto que pueden influir en la amplitud del desarrollo y en la viabilidad de llevar a cabo pruebas exhaustivas. Estas restricciones podrían tener un impacto en la extensión de las investigaciones y experimentos realizados. Sin embargo, se abordarán estos desafíos con la intención de maximizar los resultados y obtener conclusiones significativas.

La investigación actual tiene como objetivo principal verificar la hipótesis que sugiere una correlación entre la preparación de un hidrogel y la cantidad de fertilizante incorporado en él, con el propósito de lograr una liberación controlada de este último.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

Antecedentes históricos

La búsqueda y la mejora continua de los fertilizantes ha sido un punto clave para la industria ecuatoriana durante mucho tiempo esto por causa de su extensa variedad agrícola debido a sus diferentes condiciones climáticas correspondientes a sus diferentes regiones, las cuales han brindado datos sobre calidad y costo de su mejoramiento. Donde cabe mencionar 3 investigaciones realizadas en la Universidad Técnica de Babahoyo, (Ayala C., 2022) Evaluó el impacto que tiene el alto costo de los fertilizantes en la agricultura ecuatoriana, el cual explica que actualmente se ha dado incremento debido a una combinación de factores como la creciente demanda mundial, los cambios en los patrones climáticos, el aumento del costo de la energía y la política de comercio internacional, por lo cual estos factores han afectado tanto la oferta como la demanda de fertilizantes.

Los fertilizantes de liberación controlada con son nuevos en el país y se los ha venido usando desde hace algunos años, (Vera J., 2019) estudio el efecto de fertilizantes nitrogenados de liberación controlada en la producción de arroz, para lo cual se usó dos clases de arroz con cuatro variedades de fertilizantes nitrogenados, en donde dependiendo de cada factor de variabilidad se obtuvo mejoras en tamaño, flores y cantidad de grano en la planta. (Colina et al., 2017)

Evaluaron de fertilizantes de liberación controlada con fertilización convencional, sobre el rendimiento de maíz duro, realizaron para dos especies de maíz, lo cual demostró que las diferentes aplicaciones de fertilizantes de liberación controlada en conjunto con aplicación de fertilizantes convencionales logro un notable incremento en las condiciones del cultivo de maíz, debido a que colocaron los nutrientes a disposición de la planta de una manera distribuida.

Antecedentes referenciales

Aunque en el país es casi nula la investigación de hidrogeles, a nivel de latinoamérica se han realizado algunas investigaciones como lo realizado en Bogotá, Colombia (Barón et al., 2018) Realizaron un el encapsulamiento con alcohol polivinílico de un agroquímico de composición 15:15;15 en un hidrogel a base de quitosano, donde realizaron las diferentes pruebas de absorción y liberación del agroquímico. (López-Nataret et al., 2022)

(Durpekova et al., 2021) Realizaron el desarrollo de un hidrogel a base de biopolímeros biodegradable para su aplicación en agricultura como agente acondicionador del suelo y para la liberación de un nutriente o fertilizante.

2.2. Contenido teórico

Hidrogel

Un hidrogel es un material polimérico que puede absorber grandes cantidades de agua y otros líquidos para formar una estructura tipo gel. Los hidrogeles están compuestos de moléculas de polímeros reticulados que forman una red tridimensional de poros interconectados. (Rogel-Hernández et al., 2003)

La estructura porosa de los hidrogeles les permite retener grandes cantidades de agua o líquidos y, dependiendo de la composición química del material, pueden variar en su capacidad de absorción, resistencia y elasticidad.

Los hidrogeles se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, como en la industria farmacéutica, donde se utilizan para encapsular y liberar fármacos de manera controlada en el cuerpo. También se utilizan en la fabricación de lentes de contacto, pañales, apósitos médicos y productos de higiene personal.

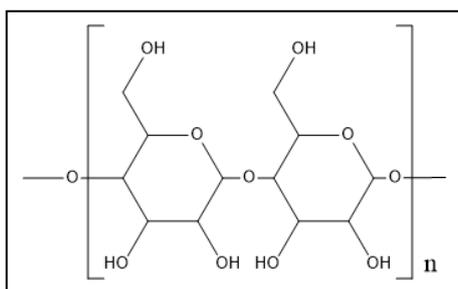
Los hidrogeles también tienen aplicaciones en la ingeniería de tejidos, para la regeneración de tejidos y órganos. Además, pueden ser utilizados como sensores de pH y temperatura, dispositivos de microfluídos y materiales de absorción de impactos en la industria deportiva (Ramirez et al., 2016).

Celulosa

La celulosa es un tipo de polisacárido, es decir, una molécula compuesta por varias unidades de azúcares simples unidos entre sí. Es uno de los principales componentes estructurales de las paredes celulares de las plantas y algunos organismos unicelulares.

La celulosa es un polímero lineal de glucosa, como se describe en la Figura 1 los monómeros de glucosa están unidos por enlaces glucosídicos beta-1,4. Estos enlaces son difíciles de romper debido a la estructura química de la molécula, lo que hace que la celulosa sea muy resistente y difícil de digerir. (Seymour & Carraher, 1995)

Figura 1. Estructura de la celulosa

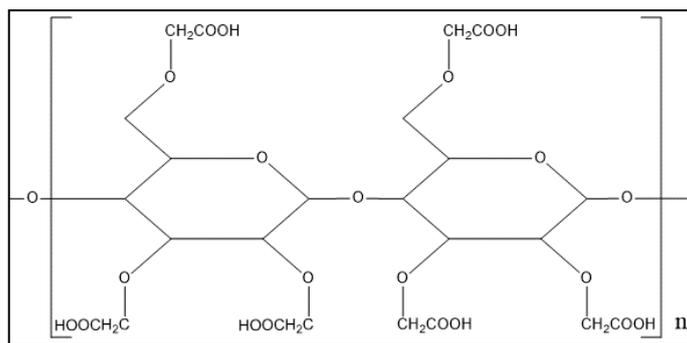


Carboximetil celulosa

La carboximetil celulosa (CMC) es un polímero derivado de la celulosa que se produce mediante la reacción de la celulosa con cloroacético y posteriormente con hidróxido de sodio; la estructura de la celulosa puede ser mono, di o tri sustituida al igual que la estructura presentada en la Figura 2.

La CMC es un polímero de cadena larga que es altamente higroscópico, lo que significa que absorbe la humedad del aire. Esto hace que sea útil en la industria alimentaria, ya que puede evitar que los alimentos se sequen y aguanten. Además, la CMC también se utiliza en la industria papelera como agente de retención, mejorando la retención de fibras y la formación de hojas. (Billmeyer, 1975)

Figura 2. Estructura de la carboximetil celulosa trisustituida

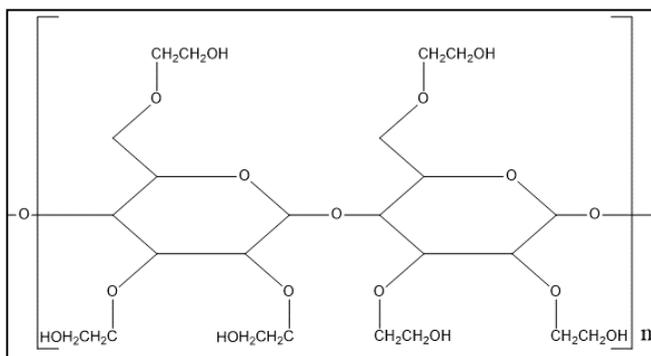


Hidroxietil celulosa

La hidroxietil celulosa (HEC) es un polímero soluble en agua que se produce a partir de la celulosa mediante la modificación química de grupos hidroxilo con óxido de etileno para agregar grupos hidroxietilo a la estructura de la celulosa, tal como la estructura presentada en la Figura 3 la cual se encuentra trisustituida. La HEC es un polímero no tóxico, no iónico y no alergénico que se utiliza en diversas aplicaciones industriales. (Billmeyer, 1975)

La HEC se utiliza normalmente como espesante, estabilizante y agente de suspensión en productos cosméticos, como cremas y lociones, y en la industria alimentaria para mejorar la textura y la viscosidad de los alimentos y bebidas. También se utiliza en la industria de la pintura y recubrimientos para mejorar la adhesión y la viscosidad.

Figura 3. Estructura de la hidroxietil celulosa trisustituida

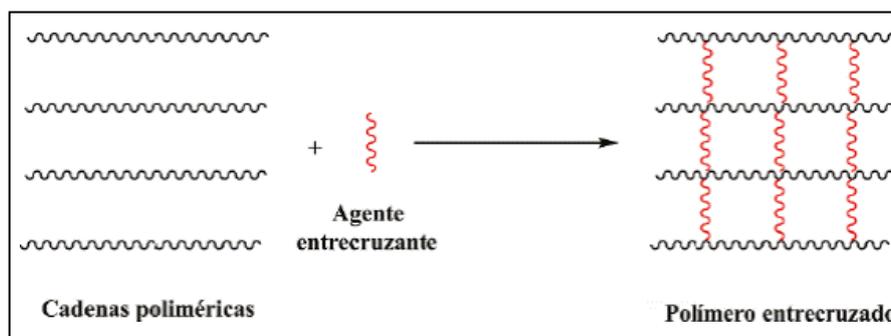


Reticulación de un hidrogel

La reticulación de polímeros es un proceso químico mediante el cual se unen los monómeros de un polímero para formar una estructura tridimensional más sólida y resistente. En la reticulación, los enlaces covalentes adicionales se forman entre los monómeros para crear una red tridimensional continua.

La reticulación se puede realizar de diversas formas, incluyendo el uso de calor, radiación, productos químicos o una combinación de estos métodos; tal como se aprecia en la Figura 4. La elección del método de reticulación depende del tipo de polímero que se esté utilizando y del propósito de la reticulación.

Figura 4. Reacción de entrecruzamiento polimérico

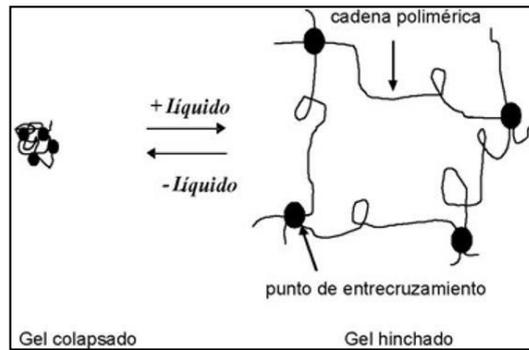


(Villalobos & González, 2019)

Hinchamiento del hidrogel

Un hidrogel es un tipo de material polimérico que se compone de cadenas largas de polímero interconectadas y que tienen una alta capacidad para absorber agua o líquidos. El hinchamiento de un hidrogel se refiere al aumento en el volumen del material debido a la absorción de líquido.

Figura 5. Representación esquemática del hinchamiento de una red polimérica



(Rogel-Hernández et al., 2003)

La capacidad de un hidrogel para hincharse depende de varios factores, como la cantidad de agua o líquido disponible lo cual se aprecia en la Figura 5, la temperatura, la presión y la composición química del hidrogel. Además, la tasa y la cantidad de hinchamiento pueden ser controladas a través de la modificación de la composición química y las propiedades del hidrogel. (Ortiz-García & Rapado-Paneque, 2021)

El hinchamiento de los hidrogeles tiene numerosas aplicaciones en áreas como la medicina, la agricultura, la ingeniería y la ciencia de materiales.

Propiedades de los hidrogeles con respecto a su pH

El hinchamiento de un hidrogel puede verse afectado por varios factores, incluido el pH de la solución en la que se encuentra el hidrogel. Esto se debe a que el pH puede afectar la carga eléctrica de los grupos funcionales presentes en el hidrogel, lo que a su vez puede afectar su capacidad para absorber líquidos. (Pérez et al., 2022)

Los hidrogeles que contienen grupos funcionales ácidos o básicos pueden ser sensibles al pH y cambiar su grado de hinchamiento en función de las condiciones de pH. Por ejemplo, los hidrogeles con grupos carboxilo (-COOH) pueden hincharse más en soluciones alcalinas (pH básico) debido a la ionización de los grupos carboxilo, lo que aumenta su carga negativa y, por lo tanto, su capacidad de absorción de líquidos. Por otro lado, los hidrogeles con grupos amino (-NH₂) pueden hincharse más en soluciones ácidas (pH ácido) debido a

la protonación de los grupos amino, lo que aumenta su carga positiva y, por lo tanto, su capacidad de absorción de líquidos.(Botello Montoya et al., 2022)

Liberación del hidrogel

La liberación de agua de un hidrogel es el proceso opuesto al hinchamiento, y se refiere a la capacidad del hidrogel de liberar agua o líquidos que ha absorbido previamente. El proceso de liberación de agua es controlado por la difusión de los líquidos a través de la estructura del hidrogel, que puede estar influenciado por diversos factores como la temperatura, la presión, el pH, la concentración de sales, entre otros.

La liberación de agua de un hidrogel puede ser controlada y diseñada para cumplir una variedad de aplicaciones, la liberación controlada de medicamentos en el cuerpo puede mejorar la eficacia y la seguridad de los tratamientos médicos. (Ortiz-García & Rapado-Paneque, 2021)

Capacidad de retención

Retención en agua

La capacidad de retención de agua de un hidrogel se refiere a la cantidad de agua o líquido que un hidrogel puede absorber y retener en su estructura sin perder su integridad física o mecánica. Esta propiedad puede variar significativamente dependiendo de la composición química del hidrogel y las condiciones ambientales en las que se encuentra.(Saborío, 2002)

La capacidad de retención de agua de un hidrogel puede verse afectada por varios factores, como la concentración de iones en la solución en la que se encuentra el hidrogel, la temperatura, el pH y la composición química del hidrogel. La modificación de estas condiciones puede influir en la capacidad de retención de agua del hidrogel y en su comportamiento en diferentes aplicaciones. (Silva Julca, 2020)

Retención en suelo

La capacidad de retención de agua en los suelos se refiere a la cantidad de agua que un suelo puede retener en su estructura por debajo de la superficie del suelo. Esta propiedad puede variar dependiendo del tipo de suelo, su estructura y composición, así como de las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad y la precipitación. (Navarro García, 2013)

Por lo general los suelos arcillosos y limosos suelen tener una mayor capacidad de retención de agua que los suelos arenosos, ya que los primeros tienen una mayor superficie específica y una mayor capacidad de retención de agua en los espacios entre las partículas del suelo.

Es importante tener en cuenta que la capacidad de retención de agua de un suelo no es, sin embargo, la misma que su capacidad para retener nutrientes. La capacidad de retener nutrientes en el suelo está influenciada por otros factores, como el pH del suelo y la presencia de microorganismos beneficiosos. (Ramos, 2022)

Biodegradabilidad del hidrogel

La biodegradabilidad del hidrogel depende de su composición química y estructura, y puede variar significativamente. Los hidrogeles sintéticos generalmente son menos biodegradables que los hidrogeles naturales, pero se están desarrollando hidrogeles sintéticos biodegradables para su uso en aplicaciones específicas.

Los hidrogeles sintéticos, fabricados a partir de monómeros sintéticos, generalmente son menos biodegradables que los hidrogeles naturales, como la gelatina o la alginina, que se derivan de fuentes naturales. (Silva Julca, 2020)

Fertilizantes

Los fertilizantes son sustancias que se utilizan para mejorar la calidad del suelo y aumentar la producción de plantas y cultivos. Estas sustancias contienen nutrientes esenciales que las plantas necesitan para crecer, como nitrógeno,

fósforo y potasio, así como otros micronutrientes como el calcio, magnesio y azufre. (Saborío, 2002)

Pueden ser aplicados de diferentes maneras, como por ejemplo mediante la aplicación superficial en el suelo, mediante la inyección directa en la raíz de la planta, o mediante la aplicación foliar en las hojas de la planta. Es importante utilizar los fertilizantes adecuados en las cantidades y momentos correctos para evitar la contaminación del suelo y del agua, y para garantizar una producción de alimentos sostenible y saludable. (Finck, 2021)

Viscosidad y Reología

La reología es una disciplina científica que se enfoca en el estudio de cómo los materiales se deforman y fluyen, ya sea como fluidos o sólidos, en diversas condiciones de estrés y temperatura. En el contexto de los hidrogeles, la reología desempeña un papel esencial al ayudar a comprender y caracterizar las propiedades mecánicas y de flujo de estos materiales. (Rojas et al., 2012)

En particular, en los hidrogeles, la reología se utiliza para analizar cómo responden a fuerzas externas, cómo fluyen y deforman en función de factores como la temperatura, concentración, tiempo y frecuencia de deformación. Algunos parámetros reológicos clave que se evalúan en los hidrogeles incluyen la viscosidad, que mide su resistencia al flujo, la elasticidad que se relaciona con la capacidad de recuperar su forma original después de aplicar fuerza, y el comportamiento de flujo, que puede variar desde un flujo constante hasta un flujo no constante dependiendo de la velocidad de deformación. (Chávez, 2022) Además, se utilizan términos como tixotropía (adelgazamiento bajo estrés) y reopexia (espesamiento bajo estrés) para describir cómo los hidrogeles cambian con el tiempo bajo diferentes condiciones de estrés y cómo regresan a su estado original cuando el estrés se retira.

Dispersión de luz dinámica

La dispersión de luz se utiliza en diversas aplicaciones, como en la determinación de la concentración de partículas en un líquido o en la medición de la masa

molecular de macromoléculas en solución. La dispersión de luz también es un fenómeno importante en la óptica de la atmósfera y en la física de los materiales, y su comprensión es esencial en diversas áreas de la investigación científica y la tecnología (Cuadros-Moreno et al., 2014).

Este fenómeno se produce porque las diferentes partes del medio tienen diferentes índices de refracción, lo que hace que la luz se refracte o se refleje en diferentes direcciones.

Absorción atómica

La absorción atómica es una técnica muy sensible y precisa, que se utiliza habitualmente para la determinación de metales y otros elementos en suelos y otros materiales. Sin embargo, la técnica de absorción atómica es selectiva solo para elementos específicos, lo que significa que solo puede medir la concentración de un metal a la vez y no proporciona información sobre otros elementos presentes en la muestra. Además, el análisis por absorción atómica requiere equipo especializado y un alto grado de capacitación técnica (Litter et al., 2009).

Para analizar los metales en los suelos, primero se debe extraer el metal de la muestra de suelo. El suelo se trata con un ácido fuerte, como ácido clorhídrico o nítrico, que disuelve los metales del suelo. Luego, la solución se filtra y se diluye a una concentración conocida antes de la medición con el espectrómetro de absorción atómica (Quero-Jiménez et al., 2017).

Método Kjendahl

El método Kjeldahl se basa en la conversión del nitrógeno orgánico presente en una muestra en amoníaco. En este proceso, la muestra se trata con ácido sulfúrico concentrado y se calienta en presencia de un catalizador, como sulfato de cobre o selenio (Jarquín-Sánchez et al., 2011). El ácido sulfúrico se descompone la muestra y el nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco. Esta solución se neutraliza con hidróxido de sodio y se destila para separar el amoníaco generado. El amoníaco se recoge en una solución de ácido bórico y

se titula con una solución estándar de ácido clorhídrico. La cantidad de ácido clorhídrico necesaria para neutralizar el amoníaco se utiliza para calcular la cantidad de nitrógeno presente en la muestra (Mamani et al., 2020).

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación se considera de paradigma cuantitativo, ya que, según (Arias, 1999) la investigación cuantitativa es perteneciente o relativo a su análisis y determina las porciones de cada elemento analizado; ésta presenta características de confiabilidad, validez, y muestreo. La investigación fue confiable ya que va a permitir la obtención de resultados estables y seguros, validados por métodos estadísticos; es válida ya que los procesos de tratamiento se enfocan al objetivo que se busca comprobar y el muestreo se realizó de tal manera que se pueda representar de manera universal sus materias primas, para que sea posible generalizar el resultado. Se realizaron varias mezclas de hidrogel tomando en cuenta las variables independientes propuestas en el capítulo anterior, se recogieron datos y se realizaron los análisis e interpretaciones pertinentes.

Nivel de la investigación

De acuerdo a las características de la investigación este trabajo utiliza el nivel de investigación exploratorio, descriptiva, explicativa, ya que primero se realizó una exploración para recopilar datos suficientes que ayuden a relacionar las variables, se describió cómo éstas se relacionan y por último se explicó en qué se relacionan las variables, de esta manera se controlaron las variables con el fin de observar resultados para su caracterización.

Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva ya que nos indicará sus características y la variación polimérica, además, esta es una investigación aplicada ya que se realizó la liberación lenta de fertilizantes a partir del hidrogel. (Espinell, 2017).

3.2. Los métodos y las técnicas

Preparación del hidrogel

Las muestras se prepararon de acuerdo con un procedimiento descrito en (Durpekova et al., 2021). con modificaciones menores.

Primero se pesó y mezcló Carboximetil celulosa (CMC) e hidroxil etil celulosa (HEC) en proporción de 3:1, esta mezcla fue disuelta en ácido láctico dando una concentración de polímero de 3 % en peso con agitación temperatura ambiente durante 24 h, una vez homogénea la solución en agitación magnética, se añadió ácido cítrico (AC) a diferentes concentraciones (5%, 10% y 15%), como lo detallado en la Tabla 1, durante un lapso de 24 h.

Por último, se dejó secar en la estufa a una temperatura de 60 °C durante un tiempo de 48 h.

Tabla 1. Composición de las muestras de hidrogel.

Muestra	Concentración (% p/p)	Ácido cítrico (%)
H ₅	3 CMC/HEC (3:1)	5
H ₁₀	3 CMC/HEC (3:1)	10
H ₁₅	3 CMC/HEC (3:1)	15

Caracterización del hidrogel

Fracción gel

Las muestras secas de hidrogel se sumergieron en agua destilada durante 48 horas, a temperatura ambiente, hasta alcanzar un peso constante, a continuación, las muestras se secaron en la estufa a una temperatura de 45 °C hasta que alcanzaron nuevamente un peso constante.

Cinética de hinchamiento

El hidrogel obtenido se sumergió en soluciones con diferentes valores de pH (2, 4, 7, 8 y 10), se utilizó 1 g de hidrogel seco en cada solución durante un período

de 24 horas. El grado de hinchamiento se evaluó en intervalos de tiempo específicos (5, 10, 15, 20, 30, 60, 180, 240, 360, 720 y 1440 minutos).

Capacidad de retención de agua en el suelo

Se tomaron dos muestras de suelo distintas y se procedió a secarlas completamente en una estufa. Una vez que estuvieron completamente secas, se colocaron en recipientes plásticos junto con 2 g de hidrogel en cada uno. Posteriormente, se añadieron 50 mL de agua destilada a cada recipiente y se volvió a pesar el peso de las muestras de hidrogel.

Este proceso de hinchamiento, seguido de secado y nuevamente hinchamiento, se repitió varias veces con cada muestra de hidrogel y sus respectivas muestras de suelo.

Retención de agua

Se controló diariamente el peso de las muestras de suelo en condiciones normales, hasta la estabilización en la pérdida de peso detectable.

Carga de fertilizante

Se prepararon dos soluciones, una de KNO_3 (0,5 M) y otra de urea (0,5 M), para llevar a cabo tres cargas de fertilizante. En el primer recipiente de vidrio, se introdujo 1 g de hidrogel en 150 mL de solución de urea 0,5 M, mientras que en otro recipiente de vidrio se colocaron 1 g de hidrogel en 150 mL de solución de KNO_3 0,5 M. Las cargas de fertilizante se llevaron a cabo hasta alcanzar la máxima absorción, una vez que se alcanzó el equilibrio, se procedió a lavar los hidrogeles cargados con agua destilada y posteriormente se secaron. Finalmente, cada uno de los hidrogeles cargados con los fertilizantes fue molido finamente.

Liberación en el suelo

Se tomaron dos tipos de suelos con características diferentes, y se pesaron cuatro muestras de 25 g cada una. La primera muestra se dejó intacta, a la segunda se le añadieron 0,5 g de hidrogel con úrea, y a la tercera se le incorporaron 0,5 g de hidrogel con KNO_3 . En un recipiente plástico con papel filtro en la parte inferior se colocó la muestra de suelo, cada dos horas, se añadieron 100 mL de agua sobre la muestra y se recogió el filtrado.

Determinación de potasio

La muestra de interés fue preparada adecuadamente para su análisis hasta obtener una mezcla homogénea. Se preparó una serie de soluciones de referencia con concentraciones conocidas de potasio, con las cuales se realizó una curva de calibración, de la concentración de potasio con la señal absorbida por el espectrómetro de absorción atómica.

Determinación de nitrógeno amoniacal y nítrico.

En un tubo Kjeldahl, se añadió el filtrado al cual se incorporaron 0,2 g de óxido de magnesio seco, y luego se procedió a llevarlo a la unidad de destilación. Este proceso propició la generación de iones amonio (NH_4^+). El amoníaco (NH_3) resultante se destiló y se recogió en una solución al 2 % de ácido bórico (H_3BO_3). Posteriormente, se tituló la solución resultante con ácido clorhídrico (HCl) 0,1 N. Este procedimiento se repitió con las muestras restantes, incluyendo una muestra de blanco de referencia.

A continuación, en los mismos tubos Kjeldahl previamente utilizados, se añadió una aleación de Devarda para convertir cualquier nitrito ($-\text{NO}_2$) presente en iones amonio (NH_4^+). Luego, se sometió inmediatamente la mezcla a un proceso de destilación y se repitió el proceso anterior en todas las muestras. (Milla González, 2014)

3.3. Procesamiento estadístico de la información

En la investigación, se adoptó un enfoque experimental que involucra la observación directa y la medición de variables relevantes. Este enfoque ha permitido la obtención de datos detallados y altamente informativos. Para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados, se han llevado a cabo múltiples repeticiones y controles experimentales rigurosos.

Aunque no he seguido un diseño estadístico convencional, he realizado un análisis exhaustivo de los datos utilizando métodos estadísticos adecuados. He considerado cuidadosamente la significancia estadística, la variabilidad y la reproducibilidad de los resultados en el contexto de mi investigación. De esta manera, he asegurado una interpretación sólida y fundamentada de mis hallazgos.

Es importante destacar que mi enfoque experimental no convencional no afecta la calidad ni la relevancia de mi estudio. Por el contrario, me ha permitido explorar nuevos aspectos y generar conocimientos innovadores en mi campo de investigación.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La interpretación de los resultados de este proyecto consta de cuatro etapas:

- Preparación del hidrogel
- Pruebas de retención
- Carga de fertilizante

4.1. Preparación del hidrogel

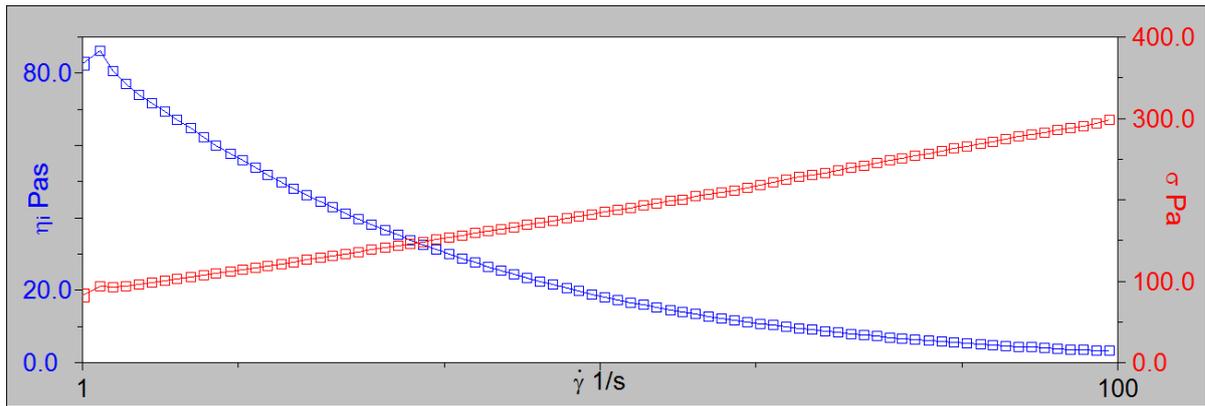
Durante la adición del suero de leche a la mezcla de Carboximetil celulosa (CMC) con Hidroxi etil celulosa (HEC), se controlaron los grumos resultantes mediante agitación manual, mientras que los grumos más pequeños desaparecieron después aproximadamente 6 horas de agitación. Cabe destacar que el ácido cítrico no actúa principalmente como un agente reticulante polimérico, sino más bien como un aditivo que contribuye a la biodegradabilidad del material.

4.2. Caracterización del hidrogel

Caracterización Reológica del hidrogel

En la Figura 6 se observa que el hidrogel es un fluido del tipo pseudoplástico, característico de las gomas conformadas de CMC. Se observa que al haber un aumento del esfuerzo de cizalla esto lleva a un aumento en la resistencia del material al flujo, lo que se traduce en un aumento de la presión en el sistema. A medida que se aplica un mayor esfuerzo de cizalla, las cadenas poliméricas o las estructuras del gel se deforman y entrelazan más, lo que resulta en una mayor resistencia al flujo, una mayor presión y una disminución de la viscosidad.

Figura 6. Gráfica de Esfuerzo (Pa) vs Velocidad de cizalla (1/s)

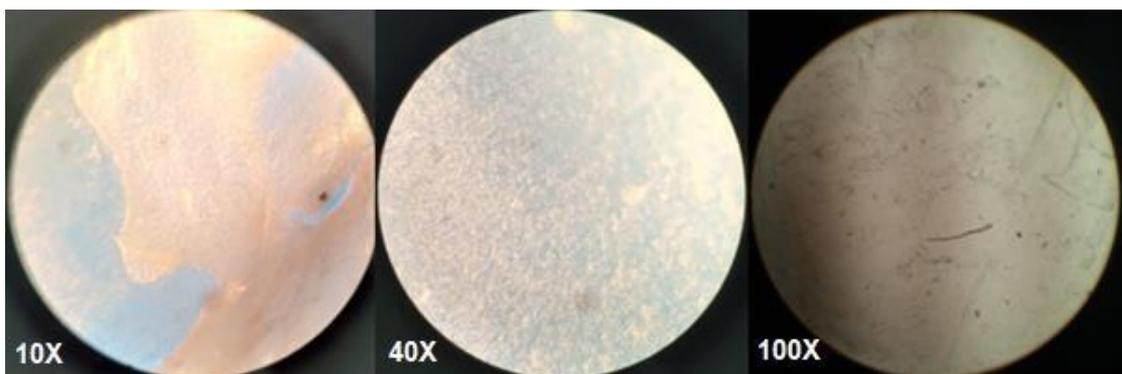


Fibra hidrogel

Para analizar la morfología del hidrogel, se empleó un microscopio óptico convencional, lo cual posibilitó la observación de más detalles estructurales en la muestra. Como se muestra en la Figura 7 de aumento 40X, la morfología del hidrogel presenta similitudes con una estructura porosa y fibrosa. Las fibras del hidrogel exhiben una disposición que se asemeja a una red filamentosa, lo que contribuye a su aspecto fibroso y confiere mayor resistencia mecánica y estabilidad.

Además, mediante diferentes aumentos, se pudo apreciar con mayor claridad la forma porosa del hidrogel. Esta característica porosa es resultado de la red de polímeros entrecruzados que lo conforma, permitiéndole poseer propiedades hidrofílicas que facilitan la absorción y retención de agua en su estructura.

Figura 7. Morfología del hidrogel con aumento (10X, 40X, 100X)



El uso del microscopio óptico resultó fundamental para la visualización detallada de la morfología del hidrogel, permitiendo comprender su estructura a nivel microscópico y resaltar las características porosas y fibrosas que lo hacen valioso para diversas aplicaciones, especialmente en la liberación controlada de sustancias y en contextos que requieran una alta capacidad de absorción de agua.

Fracción gel

Se cuantificó la cantidad de material polimérico reticulado en el hidrogel mediante la determinación del peso del material insoluble en agua. Esta insolubilidad se debe a la formación de enlaces cruzados o reticulaciones entre las cadenas del polímero. Expresado mediante la ecuación (1):

$$FG(\%) = \frac{m_d}{m_i} * 100 \quad (1)$$

Donde:

- FG → Fracción gel
- m_i → masa de hidrogel inicial seco
- m_d → masa de hidrogel desionizado seco

Claramente, en el hidrogel que contiene un 15 % de ácido cítrico (AC), se observa un mayor porcentaje de fracción de gel de 89% como se expresa en la tabla 2, lo cual representa un excelente resultado para los fines de esta investigación, lo cual indica que el material polimérico es más resistente y rígido.

Tabla 2. Composición porcentual de la fracción gel

Muestra	AC (%)	Fracción gel (%)
H ₅	5	77
H ₁₀	10	81
H ₁₅	15	89

Esto podría implicar propiedades adicionales, como una mayor resistencia mecánica y estabilidad.

Relación de hinchamiento

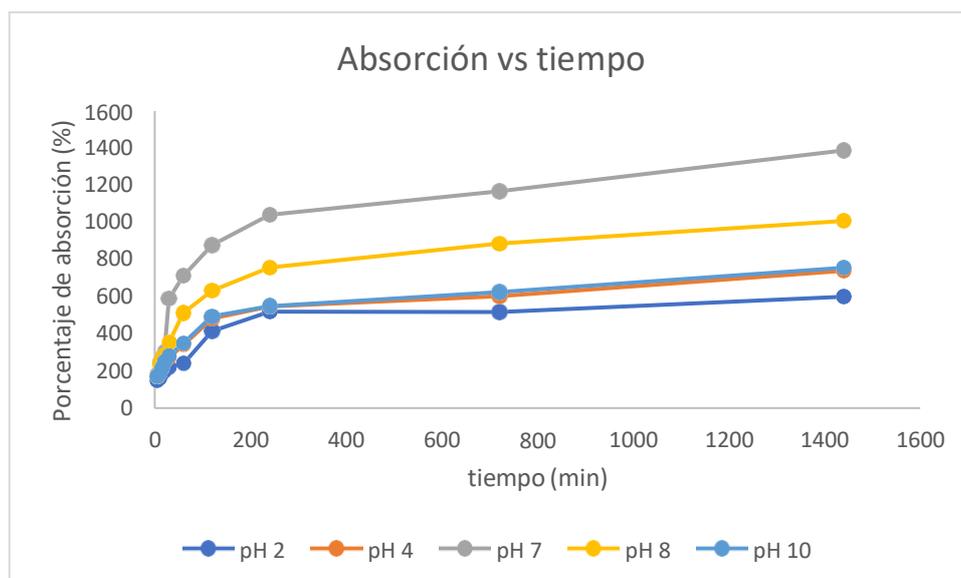
Al hidrogel se lo evaluó a diferentes pH para evaluar la capacidad de absorción y su retención, esta capacidad se expresa de mejor manera con la ecuación (2).

$$RH(\%) = \left(\frac{m_h - m_s}{m_s} \right) * 100 \quad (2)$$

Donde:

- RH → Relación de hinchamiento
- m_s → masa de hidrogel seco
- m_h → masa de hidrogel hinchado

Figura 8. Absorción del hidrogel a diferentes pH



Tal como se observa en la Figura 8 el hidrogel tiene una mayor absorción a pH neutro y en menor escala a pH ácido, el cual es característico de la mayoría de los fertilizantes usados en agricultura en la región andina.

Capacidad de retención de agua en el suelo

Con el fin de conocer cuáles son las condiciones en las que se pueden utilizar el hidrogel realizado se trabajó con 2 diferentes suelos el primero un suelo negro (S_N) tomado del parque Metropolitano del Sur (Pichincha) y un suelo arcilloso de color amarillo (S_A) obtenido en la vía a Papayacta (Pichincha). La capacidad en el suelo fue medida mediante la ecuación (3).

$$RS(\%) = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_0} \right) * 100 \quad (3)$$

Donde:

RS → Retención de agua en suelo

m_0 → masa de suelo

- m_1 → masa de suelo con hidrogel inicial
 m_2 → masa de suelo con hidrogel final

Tabla 3. Capacidad porcentual de retención de agua en suelo

Suelo	RS (%)
S _N	43
S _A	58

En la Tabla 3 se observa que S_A tuvo una mayor capacidad de retención de agua en comparación a S_N, debido a sus espacios interiores entre las partículas de arcilla.

Retención de agua

En el caso de las muestras de hidrogel obtenidas del suelo, se realizó un proceso de observación hasta alcanzar una masa constante, y luego, se midió utilizando la ecuación (4).

$$CR(\%) = \left(\frac{m_2 - m}{m_1 - m} \right) * 100 \quad (4)$$

Donde:

- CR → Capacidad de retención
 m → masa de hidrogel seca
 m_1 → masa de hidrogel con agua
 m_2 → masa de hidrogel a intervalos

Se determinó que el porcentaje obtenido fue mayor para la muestra S_N, como se describe en la Tabla 4. Este resultado podría deberse a varios factores, como el pH del suelo y su interacción con la composición química del hidrogel, esta observación es consistente con lo expresado en la figura 8.

Tabla 4. Capacidad porcentual de retención de agua

t (h)	H_N	H_A
1	42	56
6	40	53
12	38	52
24	37	52
48	37	52

4.3. Carga de fertilizante

Durante el experimento, se llevaron a cabo varias medidas para cada solución. Se midió la concentración inicial de potasio y nitrógeno en la solución, así como la concentración después de retirar el hidrogel. Estas mediciones permitieron obtener valores estimados de la concentración de potasio y nitrógeno en cada muestra, estos resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Concentración de potasio y nitrógeno en el hidrogel

Fertilizante	K_H (ppm)	N_H (ppm)
A		1923
B	2549	905

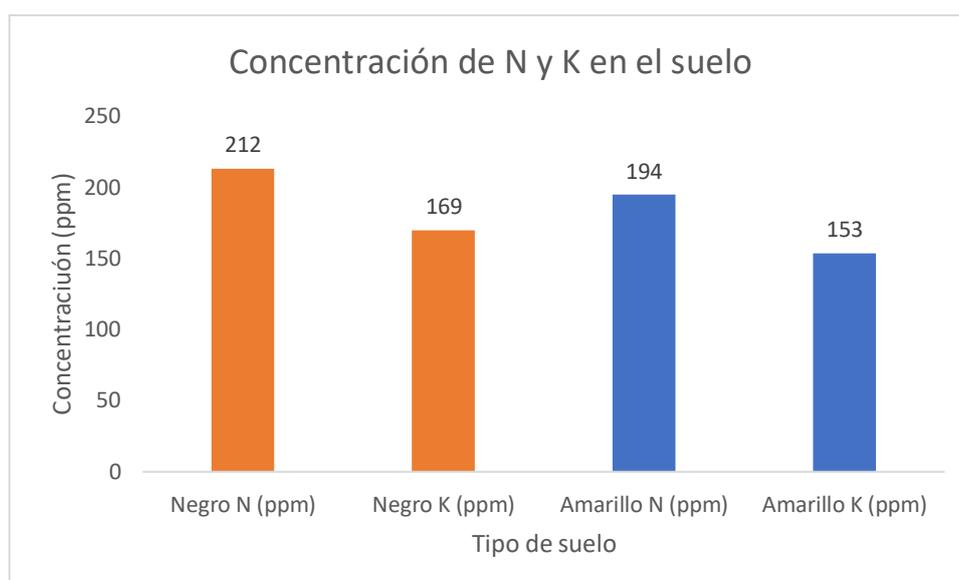
- A → urea
- B → nitrato de potasio
- K → potasio
- N → nitrógeno

Liberación en el suelo

En base a los datos proporcionados en la literatura, se estima que la concentración de potasio en el suelo se encuentra en el rango de 5 a 200 ppm, mientras que la concentración de nitrógeno se encuentra entre 50 y 250 ppm, para una cantidad de suelo de 50 g. Al observar los datos medidos, se confirma que la cantidad de nitrógeno y potasio está dentro de estos rangos descritos en la Figura 9. Además, se puede notar que el suelo negro presenta una mayor cantidad de nitrógeno y potasio en comparación con el suelo amarillo, lo cual está en consonancia con lo evidenciado en la gráfica.

Esta diferencia se debe a que los suelos negros suelen ser reconocidos por su riqueza en nutrientes debido a su alto contenido de materia orgánica. Por otro lado, los suelos arcillosos presentan partículas finas y compactas que limitan la circulación del aire y el agua. Esto dificulta la disponibilidad de nutrientes para las plantas, ya que el movimiento del agua y los nutrientes se ve restringido por la estructura densa del suelo.

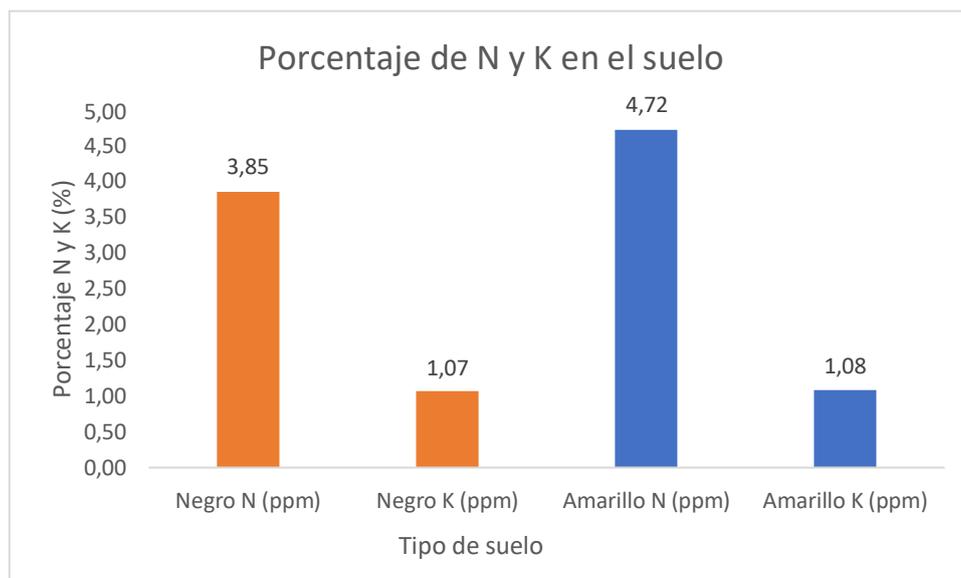
Figura 9. Nitrógeno y Potasio en suelo negro y amarillo



En el caso del hidrogel cargado con urea, se demostró un incremento en la cantidad de nitrógeno de 3,85 veces al ser mezclado con el suelo negro y de 4,72 veces al ser mezclado con el suelo amarillo, como se aprecia en la Figura 10. Este aumento se debe principalmente a que la urea puede actuar como una fuente de carbono y nitrógeno para las bacterias y otros microorganismos presentes en el suelo. Esto puede promover la actividad microbiana en el suelo, lo que a su vez mejorará la degradación de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes.

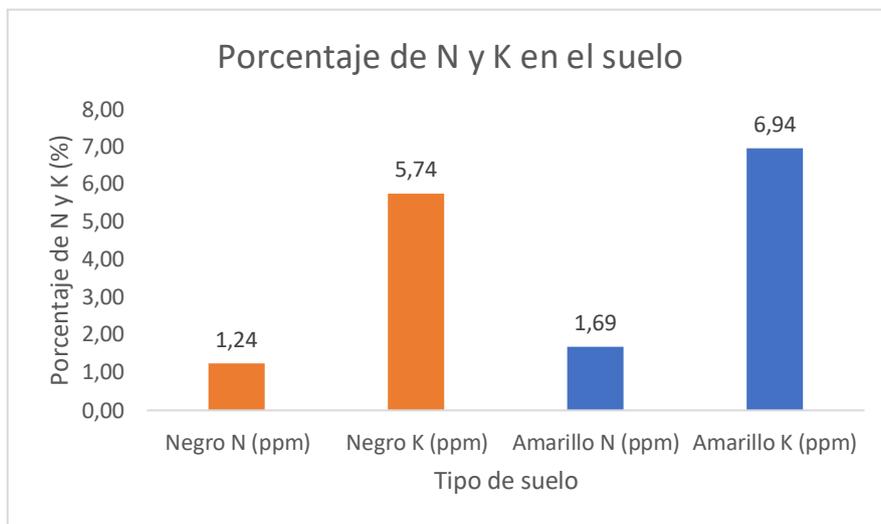
A pesar de que el hidrogel no contiene potasio, se dio un incremento en su concentración en ambos suelos. Esto sugiere que el hidrogel actúa como un mejorador de suelos, cumpliendo con las expectativas establecidas.

Figura 10. Hidrogel cargado de Úrea en suelo negro y amarillo



Un caso muy diferente presento el hidrogel cargado con KNO_3 , hubo un incremento de la cantidad de potasio de 5,74 veces superior que a la cantidad contenida en el suelo negro y unos 6,94 veces mayor a la presentada por el suelo amarillo. Pero hubo una presencia menor en la cantidad de nitrógeno, aunque nada despreciable por lo cual, resulta ser un mejorador para suelos faltos de macronutrientes.

Figura 11. Hidrogel cargado de KNO_3 en suelo negro y amarillo



Tal como se observa en la Figura 11, el hidrogel permitió el paso de una mayor de nitrógeno y potasio en el suelo amarillo.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La absorción del agua en el hidrogel de celulosa es dependiente a la difusión desde la superficie del hidrogel hacia el interior del mismo, lo cual influye en que sea capaz de absorber hasta 10 veces su peso en agua de modo que se efectúe de manera proporcional a la exposición térmica.
- El hidrogel en contacto con las soluciones tiene una mayor absorción en agua a pH neutro y en una proporción muy cercana a pH ácido, el cual es muy común para una solución nutritiva ideal que se encuentra en un rango de 5,5 a 6.
- El hidrogel al ser una estructura a base de celulosa permite mejorar la capacidad de liberación de nitrógeno y oxígeno, mejorando el suelo lo cual se evidencia con el hidrogel cargado con urea el en donde existe un aumento de la cantidad de potasio.
- El hidrogel cargado con urea tiene un incremento de nitrógeno de 3,85 veces superior al valor del suelo negro y de 4,72 veces mayor al de suelo amarillo, en tanto que el hidrogel de KNO_3 tuvo un incremento de potasio de 5,74 veces superior a la cantidad de negro y de 6,94 veces mayor al suelo amarillo.
- La morfología específica del hidrogel al ser constituido por CMC y HEC varía según los parámetros de síntesis y las proporciones de los polímeros utilizados, debido a que el hidrogel presenta una estructura porosa. Estos poros le permiten que se absorba y retenga una cantidad significativa de agua, lo que le confiere su capacidad de liberación controlada.

5.2. Recomendaciones

- La formulación del hidrogel desarrollado puede ser usado en jardinería, en riego programado y especialmente en la industria agrícola.
- Este hidrogel puede ser desarrollado con diferentes medios dependiendo el tipo de nutrientes necesarios para el mejoramiento de suelos y el aumento de la fertilidad para el tipo de flora requerida.
- Se puede realizar un proyecto usando fertilizantes específicos para potasio, nitrógeno y también para fosforo el cual no fue evaluado en esta ocasión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. G. (1999). El proyecto de investigación Guía para su elaboración. Orial ediciones.
- Ayala, L. C. (2022). Impacto del alto costo de los fertilizantes en la agricultura ecuatoriana. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13239>
- Billmeyer, F. (1975). Ciencia de los polímeros (Reverté, Ed.; 1st ed.).
- Bonilla Bolaños, A. G., Singaña Tapia, D. A., Bonilla Bolaños, A. G., & Singaña Tapia, D. A. (2019). La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador. *La Granja*, 29(1), 70–83. <https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.06>
- Botello Montoya, A., Alanís Rodríguez, E., Sigala Rodríguez, J. Á., Silva García, J. E., & Ruiz Carranza, L. D. (2022). Evaluación de sustratos y tratamientos para mitigar el estrés hídrico en una plantación de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(74), 77–96. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322022000600077&script=sci_arttext
- Brizuela Dorado, J. (2022). Estudio de procesos para la producción de amoniaco a partir de H₂ obtenido mediante electrólisis desde recursos renovables. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/56571>
- Castro-Ochoa, D., Peña-Montes, C., & Farrés, A. (2010). Producción y características de cutinasas: Una alternativa interesante para biocatálisis a nivel industrial. *TIP. Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 13(1), 16–25. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2010000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Chávez, L. (2022). Propuesta de formulaciones cosméticas a base de Aceite de Aguacate Hass colombiano, una revisión bibliográfica. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. <https://doi.org/10.1/JQUERY.MIN.JS>
- Colina, E., Castro, C., Sánchez, H., & Troya, G. (2017). Evaluación de fertilizantes de liberación controlada con fertilización convencional, sobre el rendimiento de maíz duro (*zea mays*) en la zona de Febres-Cordero, Provincia de los Ríos. *Revista Alfa*, 1(3), 88–97. <https://doi.org/10.33996/REVISTAALFA.V1I3.30>
- Cordero, A. (2020). NUEVOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE ECOCATALIZADORES A PARTIR DE BIO-RESIDUOS.
- Cuadros-Moreno, A., Casañas Pimentel, R., San Martín-Martínez, E., & Yañes Fernandez, J. (2014). Dispersión de luz dinámica en la determinación de tamaño de nanopartículas poliméricas. *Am. J. Phys. Educ*, 8(4). <http://www.lajpe.org>

- Díaz García, A. M., Felipe Gómez, A. M., Díaz García, A. M., & Felipe Gómez, A. M. (2018). Las investigaciones en el área de la bionanotecnología en Cuba. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencia y Nanotecnología*, 10(19), 37.
<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2017.19.62392>
- Durpekova, S., Di Martino, A., Dusankova, M., Drohsler, P., & Sedlarik, V. (2021). Biopolymer Hydrogel Based on Acid Whey and Cellulose Derivatives for Enhancement Water Retention Capacity of Soil and Slow Release of Fertilizers. *Polymers* 2021, Vol. 13, Page 3274, 13(19), 3274.
<https://doi.org/10.3390/POLYM13193274>
- Ernesto, J., & Vera, V. (2019). Efecto de fertilizantes nitrogenados de liberación controlada en la producción de arroz (*Oryza sativa* L.) en la zona de Ricaurte, provincia de Los Ríos.
<http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6104>
- Escobar Molina, V. (2021). Siena: dispositivo de captura de agua inspirado en las adaptaciones funcionales de las plantas de páramo.
<http://hdl.handle.net/1992/53283>
- Espinel, E. (2017). Estructura del trabajo de titulación modalidad proyecto de investigación.
- Finck, A. (2021). Fertilizantes y fertilización.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2VApEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=Los+fertilizantes+son+sustancias+que+se+utilizan+para+mejorar+la+calidad+del+suelo+y+aumentar+la+producci%C3%B3n+de+plantas+y+cultivos.+Estas+sustancias+contienen+nutrientes+esenciales+que+las+plantas+necesitan+para+crecer,+como+nitr%C3%B3geno,+f%C3%B3sforo+y+potasio,&ots=AwXeNHp_XE&sig=NN6ZJ9Mi0CTcxfSP4zLKVvkS4L4
- Jarquín-Sánchez, A., Salgado-García, S., Jesús Palma-López, D., Camacho-Chiu, W., & Guerrero-Peña, A. (2011). Análisis de nitrógeno total en suelos tropicales por espectroscopía de infrarojo cercano (NIRS) y quimiometría. *Agrociencia*, 45(6), 653–662.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952011000600001&script=sci_abstract&tlng=pt
- Kiang, K., & Goh, K. (2007). Manejo integrado de la nutrición en la palma de aceite. in palmas (Vol. 28).
- León Torres, P. J., Maila Paucar, J. H., Albuja Córdova, E. W., León Torres, P. J., Maila Paucar, J. H., & Albuja Córdova, E. W. (2020). Influencia de aditivos (polímeros y polialuminio) en las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 9(1), 60–71. <https://doi.org/10.29166/REVFIG.V11I1.1931>
- Litter, M., Armienta, M., & Farías, S. (2009). Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. *IBEROARSEN*.

http://limza.uta.cl/jdownloads/Libros/metodologas_analticas_para_la_determinacin_y_especiacion_de_arsnico_en_aguas_y_suelos.pdf

- López-Nataret, A. A., Matías-Pérez, D., Sánchez-Medina, M. A., García-Montalvo, I. A., López-Nataret, A. A., Matías-Pérez, D., Sánchez-Medina, M. A., & García-Montalvo, I. A. (2022). Evaluación de la microencapsulación de ácidos húmicos y fúlvicos para ser empleados en la fertilización de liberación controlada para plantas de ornato con alto valor comercial. *Journal of Negative and No Positive Results*, 7(3), 298–316. <https://doi.org/10.19230/JONNPR.4672>
- Mamani, M., Miranda, R., López, M. A., Yujra, E., López, M., & Chuquimia, A. (2020). Validación del método Kjeldahl en la determinación del Nitrógeno Mineral, mediante el uso de Cloruro Potasio. *Apthapi.Umsa.Bo*, 6(2), 1917–1925. <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/60>
- Martinez, A. N., & Porcelli, A. M. (2017). Consumo (in) sostenible: nuevos desafíos frente a la obsolescencia programada como compromiso con el ambiente y la sustentabilidad. *Ambiente y Sostenibilidad*, 2016(6), 105–135. <https://doi.org/10.25100/ays.v0i0.4294>
- Milla González, M. (2014). Determinación de la composición de un sólido (fertilizante) constituido por nitrato y sulfato amónicos. Ejercicio interactivo. <https://rodin.uca.es/handle/10498/15755>
- Navarro Garcia, G. (2013). Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=RSs6AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP18&dq=Los+fertilizantes+son+sustancias+que+se+utilizan+para+mejorar+la+calidad+del+suelo+y+aumentar+la+producci%C3%B3n+de+plantas+y+cultivos.+Estas+sustancias+contienen+nutrientes+esenciales+que+las+plantas+necesitan+para+crecer,+como+nitr%C3%B3geno,+f%C3%B3sforo+y+potasio,&ots=UQlhqgWxl0&sig=Efnm6klvWLVHvWor-FWbN922Wlc>
- Ortiz-García, T., & Rapado-Paneque, M. (2021). Hidrogeles superabsorbentes basados en poliacrilamida para aplicación agrícola: estudio de hinchamiento. *Revista Cubana de Química*, 33(2), 46–68. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212021000200046
- Óscar, A., Álvarez, A., María, S., Esparza, A. B., Catalina, P., & Sánchez, P. (2018). Diseño de un hidrogel para el encapsulamiento de un agroquímico. *Instname:Universidad de Los Andes*. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/38975>
- Palencia, M., Afanasjeva, N., & Benítez, N. (2021). Migración Diferencial de Metabolitos Secundarios a través de Hidrogeles Hidrodinámicos. *Journal of Science with Technological Applications*, E01. <https://doi.org/10.34294/AFICAT.21.08.001>

- Pérez, D. R., Díaz, M., Baschini, C. D., & Sabino, G. (2022). Hidrogel y protección contra mamíferos en plantaciones de restauración ecológica en tierras secas: una evaluación en *Prosopis denudans* var. *denudans*. *Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica*, 57(2), 31–40.
<https://doi.org/10.31055/1851.2372.v57>
- Quero-Jiménez, P. C., Zorrilla Velazco, M., Morales Fernández, S., & Rodríguez Pequeño, M. (2017). Determinación de la contaminación por metales pesados en suelos aledaños a la Empresa Electroquímica de Sagua. *Centro Azúcar*, 44(3), 53–62.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000300006
- Ramirez, A., Benítez, J., Rojas de Astudillo, L., & Rojas de Gáscue, B. (2016). Materiales polimeros de tipo hidrogeles: revisión sobre su caracterización mediante ftir, dsc, meb y met. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 36(2).
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522016000200002
- Ramos, M. (2022). Influencia de dos dosis de hidrogel y dos niveles de compost en la instalación inicial de granado (*Punica granatun* L.) en el distrito de Samegua provincia Mariscal.
<http://3.17.44.64/handle/20.500.12819/1635>
- Rogel-Hernández, E., Licea-Claverie, A., Cornejo-Bravo, J. M., & Arndt, K.-F. (2003). Preparación de hidrogeles anfífilos sensibles a diferentes valores de pH utilizando monómeros ácidos con espaciadores hidrofóbicos. *Revista de La Sociedad Química de México*, 47(3), 251–257.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932003000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Rojas, O., Briceño, M., & Avendaño Jorge. (2012). *Fundamentos de reología* (1st ed., Vol. 3). Universidad de los Andes.
https://www.academia.edu/25385887/FUNDAMENTOS_de_REOLOGIA
- Saborío, F. (2002). Bioestimulantes en fertilización foliar. *Fertilizacion Foliar: Principios y Aplicaciones*, 107–126.
http://www.nutricaodeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/Memoria_CursoFertilizacionFoliar.pdf#page=110
- Seymour, R., & Carraher, C. (1995). *Introducción a la Química de los polímeros* (Reverté, Ed.; 1st ed.).
- Silva Julca, R. C. (2020). Capacidad de retención del agua disponible en suelos agrícolas de acuerdo a la textura y al contenido de materia orgánica, transecto Huaura-Mazo.
<https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/837>

- Tillan, G. (2005). Actualidad y tendencias en el mercado del diagnóstico in vitro. *Revista CENIC Ciencias Biologicas*, 36.
www.redalyc.org/pdf/1812/181220525011.pdf
- Villalobos, M. C., & González, A. M. H. (2019). Polímeros adhesivos y formación de uniones a través de reacciones de polimerización y fuerzas intermoleculares. *Educación Química*, 30(2), 2–13.
<https://doi.org/10.22201/FQ.18708404E.2019.2.68197>

ANEXOS

Anexo A: Solicitud de uso de espacio físico en la Universidad Central del Ecuador

Quito, 27 de enero de 2023

Doctor
Jorge Moncayo
Director del Centro de Química
Presente

De mi consideración

Yo, Cristhian Anibal Armas Blacio con CI 1725508590, estudiante graduado de la Facultad de Ciencias Químicas y actual de la maestría de Química Aplicada en la UNEMI, solicito a usted muy comedidamente la autorización del espacio físico de los laboratorios del Centro de Química durante un periodo aproximado de 2 meses a partir del día 30 de enero del presente año, tiempo en el cual deseo realizar mi proyecto de investigación previo a la titulación.

Adicional pongo en su conocimiento, que todo el material necesario para la misma será proporcionado por mi persona.

Le anticipo mi agradecimiento por su favorable atención.

Atentamente,



Armas Blacio Cristhian A.
C.C. 1725508590
Tel: 0995764803



Aprobado
Jorge Moncayo

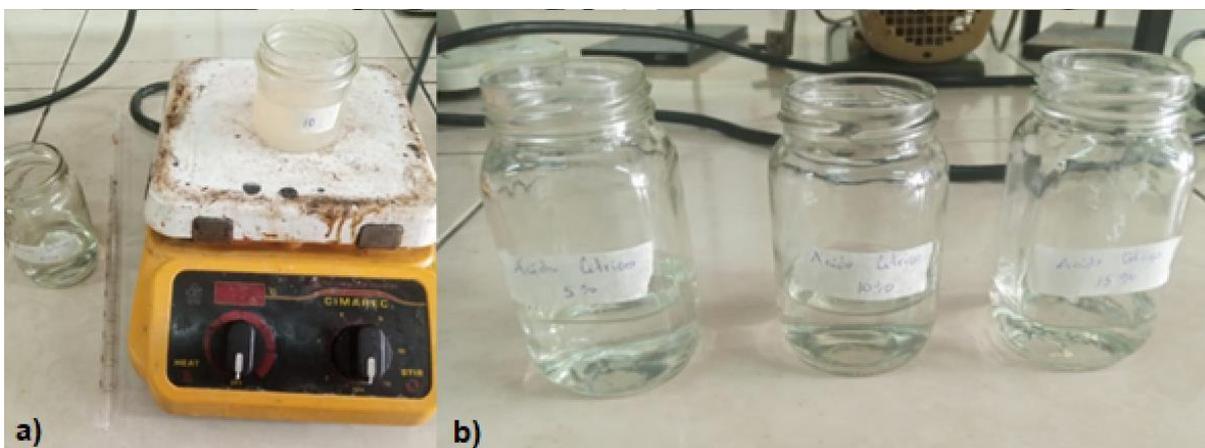
Anexo B: Fotografías del proceso experimental



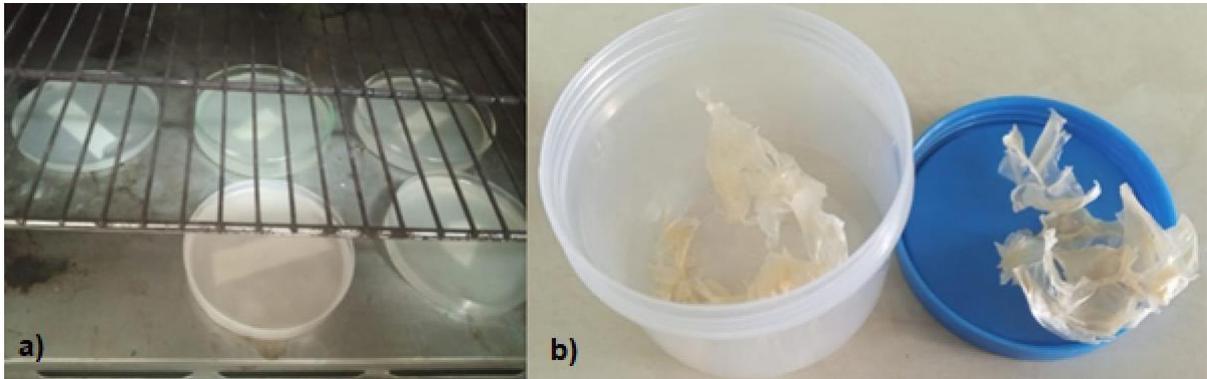
a) Masa CMC, b) Masa HEC, c) Frasco de suero de leche, d) Mezcla de CMC, HEC y suero de leche



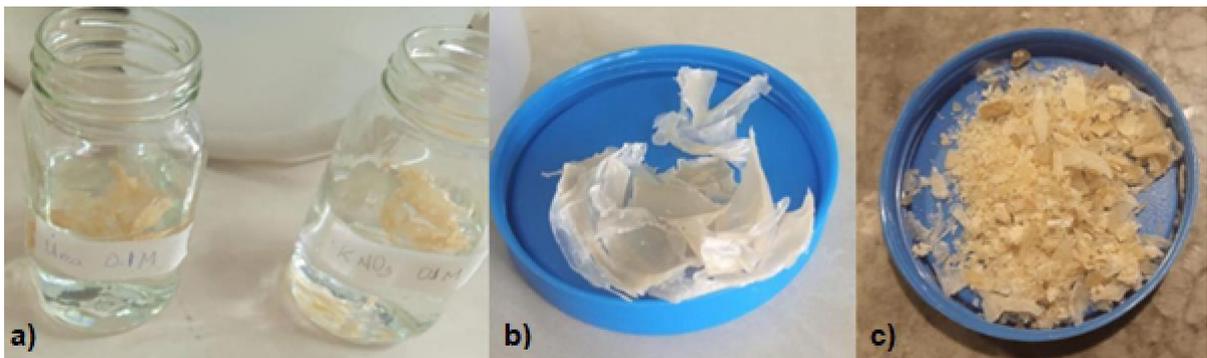
Hidrogel en agitación: a) Vista Frontal, b) Vista superior



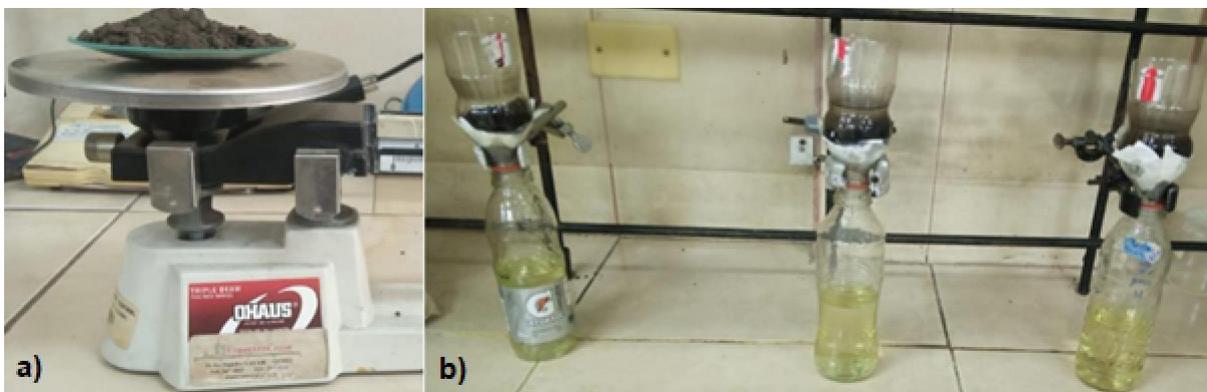
a) Hidrogel con ácido cítrico, b) Soluciones de ácido cítrico (5, 10 y 15%)



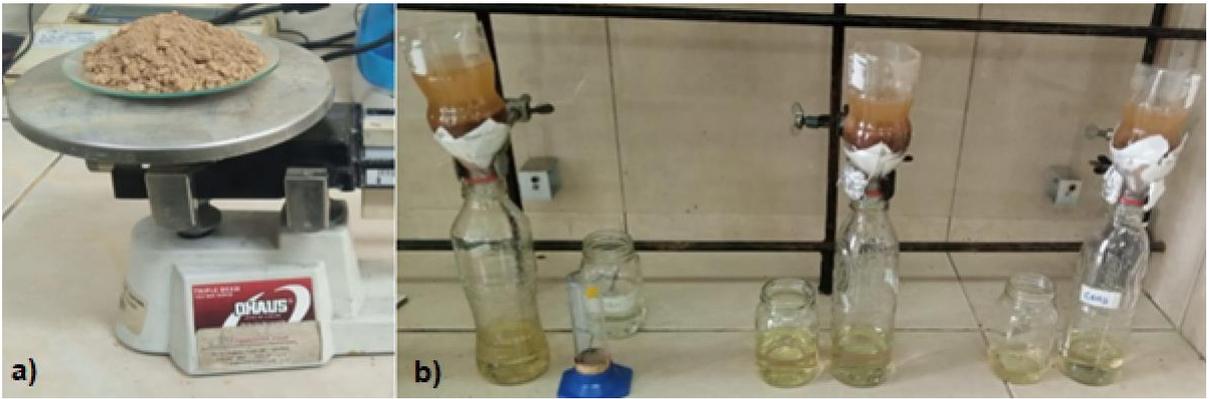
a) Hidrogel en la estufa, b) Hidrogel seco



a) Hidrogel inmerso en urea y KNO_3 , b) Hidrogel cargado y seco, c) Hidrogel cargado de menor tamaño



a) Masa de suelo negro, b) Filtrado de suelo negro con hidrogel cargado



a) Masa de suelo amarillo, b Filtrado de suelo amarillo con hidrogel cargado

Anexo C: Tablas con resultados

Tabla 6. Relación de hinchamiento a diferentes PH

t (min)	pH 2	pH 4	pH 7	pH 8	pH 10
5	150	172	182	170	171
10	162	193	244	238	186
15	186	213	272	268	216
20	199	250	300	285	251
30	218	272	588	352	282
60	239	339	712	513	349
120	415	482	877	630	493
240	520	547	1040	756	548
720	517	602	1167	885	624
1440	600	739	1388	1008	755

Tabla 7. Concentraciones de Nitrógeno y Potasio en suelo negro

Fertilizante	Suelo	N (ppm)	K (ppm)
Blanco	Negro	211	178
Blanco	Negro	214	177
Blanco	Negro	210	181
A	Negro	1021	203
A	Negro	1034	198
A	Negro	1025	199
B	Negro	487	1147
B	Negro	465	1143
B	Negro	469	1119

Tabla 8. Concentraciones de Nitrógeno y Potasio en suelo amarillo

Fertilizante	Suelo	N (ppm)	K (ppm)
Blanco	Amarillo	194	163
Blanco	Amarillo	192	160
Blanco	Amarillo	195	165

A	Amarillo	1108	194
A	Amarillo	1102	195
A	Amarillo	1112	190
B	Amarillo	516	1224
B	Amarillo	523	1213
B	Amarillo	522	1201

UNEMI
UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

