



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

EVALUACIÓN DEL HIDROGEL FERTILIZANTE
APLICADO EN LA *ORQUÍDEA PHALAENOPSIS*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIATURA EN: INGENIERÍA QUÍMICA

P R E S E N T A N:
GERARDO HERNÁNDEZ MÁRQUEZ
ALEJANDRO HERNÁNDEZ RAMÍREZ

JURADO DE EXAMEN

DIRECTORA DE TESIS: M. EN C. YENNIFER PAOLA ARAUZ TORRES
ASESOR: M. EN C. FRANCISCO JAVIER ALMAZÁN RUIZ
ASESOR: M. EN C. CESAR SAÚL VELASCO HERNÁNDEZ
SINODAL: DRA. ANA LILIA MALDONADO ARELLANO
SINODAL: M. EN C. PAULETTE TAPIA TORRES



CIUDAD DE MEXICO

ENERO 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres (Guadalupe R.M, Yolanda R.M, Daniel T.D) y mi abuela (Berta M.S) porque a pesar de los tropiezos que se presentan en la vida han sabido enseñarme a salir adelante y a no rendirme. Sin su apoyo incondicional en todos los ámbitos no hubiera podido llegar a donde estoy ahora.

Gracias por ser los primordiales pilares de mis vida, por todos los días confiar y creer en mí, por acompañarme en esta etapa de mi vida que muchas veces creía no podría concretar, Siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida.

Para mi Hermana (Karina H.R) Gracias por enseñarme que la vida es más divertida cuando hay una hermana en tu vida, enseñarme que muchas veces tropezamos, pero nunca estamos solos. Esta tesis es el resultado de años de compartir risas, enojos y aventuras.! ¡Este logro es tuyo también!

Gracias familia por ser principalmente los autores de este logro, su amor, dedicación, cuyo esfuerzo a resultado un proyecto más que culmino en mi vida.

A la Directora de tesis Yennifer , a quien hago llegar mi más sincero agradecimiento y admiración por permitirme ser partícipe de uno de sus proyectos dentro de la Universidad y por su entrega incondicional durante el desarrollo de este trabajo de investigación y gran parte de mi carrera universitaria lo cual marcó etapa muy importante en mi vida me enseñó crecer como persona , de la misma manera a mis asesor Almazán el cual agradezco infinita mente en confiar en mi ayudarme desarrollarme académicamente como nunca me imaginé y por compartir toda su experiencia y conocimiento de igual manera agradezco mi asesora Paulette por brindarme su confianza , su paciencia en el desarrollo de este proyecto por compartir su conocimiento, siempre guiarme por el mejor camino posible .

Gracias, mi asesor César el cual me aporto su experiencia y su confianza en el desarrollo de este proyecto y su confianza

Agradezco mi amigo Gerardo el cual se convierte un compañero de aventuras en mi carrera universitaria, el cual formamos un equipo para el desarrollo de este proyecto el cual me enseñó entre risas y buenos momentos para llegar concluir esta estampa de mi vida académica

Gracias todos quienes colaboraron directamente en el proyecto en el cual me brindaron su apoyo incondicional y su conocimiento, y a todos mis amigos que me ayudaron en la ejecución de la tesis.

Alejandro Hernández

A mis padres, por ser mi apoyo incondicional en todo mi trayecto académico dándome siempre amor y bienestar, para salir adelante; gracias por ser un excelente ejemplo para seguir y poniendo siempre a sus hijos primero, permitiéndonos recibir la mejor educación y valores como base para un futuro próspero. Es un privilegio ser su hijo.

A mi hermana, por ser mi compañera de risas, mi confidente y mi cómplice en aventuras. Tu presencia ha llenado mi vida de color, convirtiéndote en una sinfonía de momentos inolvidables. Eres mi apoyo incondicional, mi amiga fiel y mi inspiración constante personalmente como académicamente. Sabes que cuentas con mi apoyo incondicional para tus proyectos futuros.

A mi amada abuelita, que, en el camino de la vida, has sido la luz que ilumina mi sendero. Esta tesis no es solo un logro personal, sino también un tributo a tu sabiduría atemporal, amor incondicional y apoyo eterno. Este logro no solo es mío, sino también tuyo. Gracias por ser mi apoyo incondicional preocupándose por mi bienestar y por celebrar conmigo en los días de triunfo.

A mi tía Tania, por ser un ejemplo de fortaleza y lucha hasta el fin, convirtiéndose en mi más grande apoyo en mi búsqueda de oportunidades personales y laborales. Tu orientación, paciencia y dedicación han sido fundamentales en mi crecimiento profesional. Valorizo cada lección aprendida y la oportunidad de aprender de tu experiencia

A mi tío Avisahí, por ser mi mayor motivación de lo que se puede alcanzar como profesional. Gracias por el esfuerzo y apoyo mutuo durante toda la etapa universitaria y personal; teniéndome una infinita paciencia personalmente. Aprecio enormemente las lecciones aprendidas y el tiempo invaluable que has invertido en mi crecimiento profesional. Gracias por ser más que un tío; eres un maestro y un inspirador. Tu impacto perdurará en cada paso que dé en mi carrera.

Al Dr. Fernando Placencia, por su apoyo incondicional, ayuda y apoyo en gran parte del proceso de elaboración, ejecución y culminación de esta etapa profesional.

A Alejandro, por haber sido el mejor compañero de tesis y amigo, demostrándome que todo puede ser posible. Gracias por el esfuerzo y apoyo mutuo durante toda la etapa universitaria y personal; teniéndome una infinita paciencia dentro y fuera de la escuela.

A mi directora de tesis Yennifer, con profunda gratitud y admiración, dedico este trabajo a usted. Su orientación experta, paciencia incansable y compromiso inquebrantable han sido las fuerzas motrices detrás de este viaje académico, especialmente en el tiempo que nos tomó la planeación y ejecución de este proyecto.

A mi asesora Paulette, este logro no solo representa mi esfuerzo individual, sino también la influencia positiva de su mentoría. Estoy agradecido por la oportunidad de contar con su dirección, la cual ha enriquecido significativamente mi experiencia académica.

A mi asesor Almazán, este logro no habría sido posible sin su valioso aporte y mentoría. Estoy agradecido por la oportunidad de aprender de usted y por la influencia positiva que ha tenido en mi crecimiento académico. Gracias por ser no solo un asesor, sino también un inspirador en mi camino académico.

A mis asesores Ana Lilia y Cesar, la combinación de sus conocimientos expertos, paciencia inquebrantable y dedicación excepcional fue fundamental para el éxito de nuestra investigación. Sus orientaciones precisas y sugerencias constructivas

*no solo mejoraron nuestro trabajo, sino que también enriquecieron nuestra
comprensión del tema*

*A los profesores que hicieron parte de toda la etapa universitaria, especialmente
los docentes Gilberto Bahena, Edson Herrera, Ponce Guerrero, Eloísa Anleu,
Víctor Villar y Cornelio Flores, quienes transmitieron una importante cantidad de
conocimientos e hicieron parte de mi crecimiento profesional y personal.*

Gerardo Hernández

DEDICATORIA

*Dedicamos este proyecto de investigación a nuestras familias, a nuestros
profesores que hicieron parte de toda la etapa universitaria, a nuestros amigos:
Alan Chávez, Daniel Serrano, Mario Ramos, Roberto Cabañas, Fernando Aguirre
y Jorge Zaranda, sus risas, apoyo y complicidad han convertido estos años
académicos en una experiencia inolvidable.*

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, las personas en general y científicos han estado atraídos por la fascinante y diversa familia botánica principalmente de las orquídeas. Las orquídeas tienen más de 25,000 especies en todo el mundo y ofrecen una amplia gama tanto en formas, colores y adaptaciones únicas para la floricultura.

Las orquídeas son plantas muy atractivas debido a su diversa morfología. Esta planta tiene muchas subespecies, por lo que se caracteriza por ser diferentes, exóticas y distintivas por la complejidad en sus flores. Curiosamente, el tamaño de una orquídea puede variar de unos pocos milímetros a centímetros dependiendo del tipo de familia (Freuler, Maria Julia, 2008); de manera particular, los cuidados de la *orquídea phalaenopsis* requieren un lugar fijo, un clima templado, poca luz y riego (una o dos veces por semana).

Así mismo, los fertilizantes en hidrogel mejoran el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas, mejorando su salud y aumentando la calidad de los tallos y las flores. Al efectuar esta técnica permite mantener la humedad y prolongar gradualmente tanto los nutrientes esenciales como la absorción del agua en las plantas. La planta a su vez se alimenta de un fertilizante contenido en el hidrogel, evitando la pérdida de propiedades por medio de la lixiviación, lo que permite un amplio aprovechamiento del uso de los recursos y a su vez, reduce la contaminación ambiental.

Con base en lo anterior, en este proyecto se busca implementar un fertilizante utilizando como medio de transporte el hidrogel comercial, que permita prolongar el tiempo de permanencia de vida de la planta y a su vez el ciclo de vida, evitando el deterioro de la *orquídea phalaenopsis* con el objetivo de incursionar en el mercado de flores de Xochimilco.

Se llevaron a cabo valoraciones de los macro y micronutrientes, hinchamiento del hidrogel con agua y fertilizante respecto al tiempo, crecimiento de la planta con y sin fertilizante.

Por otra parte, se determinaron variaciones en la concentración de acuerdo a los nutrientes presentes en el fertilizante; por ejemplo, para el nitrógeno total fue determinado por el método de digestión de Kjeldahl, para fosfatos se usó el método de Olsen y en el caso del cobre se utilizó la técnica de voltamperometría cíclica; respecto a las determinaciones en la planta conteniendo el hidrogel fertilizado se identificó que contenía una concentración de cobre de 0,4 g/L y 1 g/L, 6,5 % de fosfatos y un 20 % de nitrógeno.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	6
MARCO TEORICO	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
OBJETIVOS	16
Objetivo general	16
Objetivos particulares	16
METODOLOGIA	17
Pruebas de hinchamiento	21
Determinación de Micronutrientes	22
Determinación de cobre	22
Determinación de Macronutrientes	24
Determinación de Nitrógeno total.	24
Determinación de Fósforo.....	27
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	28
CRECIMIENTO DE LA PLANTA	28
Planta a	29
Planta b	30
Planta sin riego	33
Comparación de las plantas	35
ÁNÁLISIS DEL AGUA	37
Dureza total	37
Acidez total	37
Alcalinidad total.....	38
PRUEBAS DE HINCHAMIENTO	39
Hinchamiento con agua.....	39
Hinchamiento con agua fertilizada.....	41
DETERMINACIÓN DE NUTRIENTES	45
Nitrógeno Total	45
Fosforo	47
Cobre.....	49
CONCLUSIONES	55

Análisis de la calidad del agua	55
Hinchamiento del hidrogel	56
Determinación de nutrientes en el fertilizante	57
Crecimiento de las Orquídeas	58
Evaluación de la efectividad de un hidrogel fertilizado en orquídeas	58
REFERENCIAS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Propiedades generales del poliacrilato de sodio.	18
Tabla 2.	Parámetros de trabajo del potencióstato – galvanostato	24
Tabla 3.	Parámetros obtenidos en la recta del crecimiento.	30
Tabla 4.	Parámetros obtenidos en la recta del crecimiento total	30
Tabla 5.	Parámetros obtenidos en la recta del crecimiento.	31
Tabla 6.	Parámetros obtenidos en la recta del crecimiento total	31
Tabla 7.	Parámetros obtenidos en la recta del crecimiento.	34
Tabla 8.	Parámetros obtenidos en la recta del crecimiento total	34
Tabla 9.	Parámetros obtenidos en la recta del crecimiento total	48
Tabla 10.	Parámetros obtenidos de la curva patrón de cobre	51
Tabla 11.	Concentraciones de cobre obtenidas en la planta a partir de las diferentes muestras de plantas obtenidas en g/L empleadas en el Potencióstato- Galvanostato.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i>	Clasificación del fertilizante, por sus ventajas y desventajas.....	13
<i>Figura 2.</i>	Clasificación del hidrogel, por método de preparación, cambio iónico y sus características de estructuras físicas.....	14
<i>Figura 3.</i>	Hinchamiento del hidrogel con agua.....	21

<i>Figura 4.</i> Hinchamiento del hidrogel con agua fertilizada a diferentes concentraciones.	22
<i>Figura 5.</i> Sistema acoplado: (a) Celda de tres electrodos; (b) Potenciostato-Galvanostato	23
<i>Figura 6.</i> Reacción de la digestión Kjeldahl.	25
<i>Figura 7.</i> Reacción de la destilación.	26
<i>Figura 8.</i> Reacción al añadir el ácido absorbente en la destilación.	26
<i>Figura 9.</i> Reacción en la valoración indirecta o por retroceso.	26
<i>Figura 10.</i> Montaje del equipo Kjeldahl (a) Matraz de Kjeldahl con las soluciones patrón; (b) Trampa de Kjeldahl; (c) Condensador tipo serpentín para los vapores de amoníaco.....	27
<i>Figura 11.</i> Colorímetro espectrofotómetro marca Jenway.	28
<i>Figura 12.</i> Gráfico de la planta a) del crecimiento de la planta hasta su floración.....	29
<i>Figura 13.</i> Gráfico de la planta b) del crecimiento de la planta hasta su floración.....	30
<i>Figura 14.</i> Planta al inicio del experimento (Día 0).	32
<i>Figura 15.</i> Planta al final del experimento (Día 93).....	32
<i>Figura 16.</i> Floración de la orquídea al final del experimento (Día 93).	32
<i>Figura 17.</i> Gráfico de la planta sin fertilizar del crecimiento de la planta hasta su floración.....	33
<i>Figura 18.</i> Orquídea sin fertilizar al inicio del experimento (Día 0).	34
<i>Figura 19.</i> Orquídea sin fertilizar al final del experimento a) vara estudiada, b) vara donde ya se había desarrollado y no se tomó en el experimento.	35
<i>Figura 20.</i> Comparación del crecimiento total de las orquídeas en la plana a) que se muestra con mayor fertilización, b) en la que se muestra una menor fertilización y planta sin riego en el transcurso de 90 días	36
<i>Figura 21.</i> Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua en la prueba 1 (izquierda) con respecto a su velocidad de hinchamiento (derecha).....	39
<i>Figura 22.</i> Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua en la prueba 2 (izquierda) con respecto a su velocidad de hinchamiento (derecha).....	40

<i>Figura 23.</i> Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua en la prueba 3 (izquierda) con respecto a su velocidad de hinchamiento (derecha).....	40
<i>Figura 24.</i> Comparativa del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua a diferentes pruebas (1, 2, 3) con respecto a sus velocidades de hinchamiento.	41
<i>Figura 25.</i> Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua fertilizada a la concentración 0.4 g/L (izquierda) con respecto a su velocidad promedio de las tres pruebas realizadas de hinchamiento (derecha).	42
<i>Figura 26.</i> Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua fertilizada a la concentración 0.8 g/L (izquierda) con respecto a su velocidad promedio de las tres pruebas realizadas de hinchamiento (derecha).	42
<i>Figura 27.</i> Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua fertilizada a la concentración 1.2 g/L (izquierda) con respecto a su velocidad promedio de las tres pruebas realizadas de hinchamiento (derecha).	43
<i>Figura 28.</i> Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua fertilizada a la concentración 1.6 g/L (izquierda) con respecto a su velocidad promedio de las tres pruebas realizadas de hinchamiento (derecha).	43
<i>Figura 29.</i> Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua fertilizada a la concentración 2 g/L (izquierda) con respecto a su velocidad promedio de las tres pruebas realizadas de hinchamiento (derecha).	44
<i>Figura 30.</i> Comparativa del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua fertilizada promedio a diferentes concentraciones utilizadas (izquierda) con respecto a sus velocidades promedio de las pruebas realizadas de hinchamiento (derecha).....	44
<i>Figura 31.</i> Curva de absorbancia contra concentración.	47
<i>Figura 32.</i> Identificación del proceso de reducción en el voltamperograma obtenido en las soluciones de la curva patrón.....	50
<i>Figura 33.</i> Curva patrón de cobre	51
<i>Figura 34.</i> Concentraciones de cobre obtenidas en la planta a partir de las diferentes muestras de plantas obtenidas en g/L empleadas en el Potenciostato-Galvanostato	54

MARCO TEÓRICO

Las orquídeas, son una familia amplia de plantas con flores, se clasifican en diferentes tipos según sus características morfológicas y hábitats. Las orquídeas saprófitas obtienen nutrientes de materia orgánica en descomposición; las orquídeas terrestres, que crecen en el suelo; y las orquídeas epífitas, que crecen sobre otras plantas sin ser parásitas. También se dividen en orquídeas simpodiales, que se ramifican, y orquídeas monopodiales, que tienen un solo tallo. Por siglos, los amantes de la botánica y los coleccionistas han estado fascinados por las adaptaciones únicas y la sorprendente diversidad de cada tipo.

La *Phalaenopsis* perteneciente a la familia *Orchidaceae* del orden *Asparagales*, es un tipo de flor de diferentes tamaños y colores, que le confieren un aspecto atractivo como planta ornamental (Freuler, Maria Julia, 2008). Este tipo de planta tiene una gran importancia económica a nivel mundial, debido a sus flores vistosas y a la capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales.

Para el uso comercial y de investigación, las técnicas de cultivo in vitro son esenciales para mejorar la eficacia germinativa, el crecimiento y el desarrollo de las orquídeas. Sin embargo, el mantenimiento de la planta es extremadamente complejo debido a una variedad de factores, incluida la iluminación, la ventilación y el riego adecuado con la cantidad adecuada. (Salazar Mercado, Seir Antonio, Amaya Nieto, Anggy Zulay, & Barrientos Rey, Fernando., 2013).

Los fertilizantes se clasifican de acuerdo con sus ventajas y desventajas como se muestra en la siguiente figura:

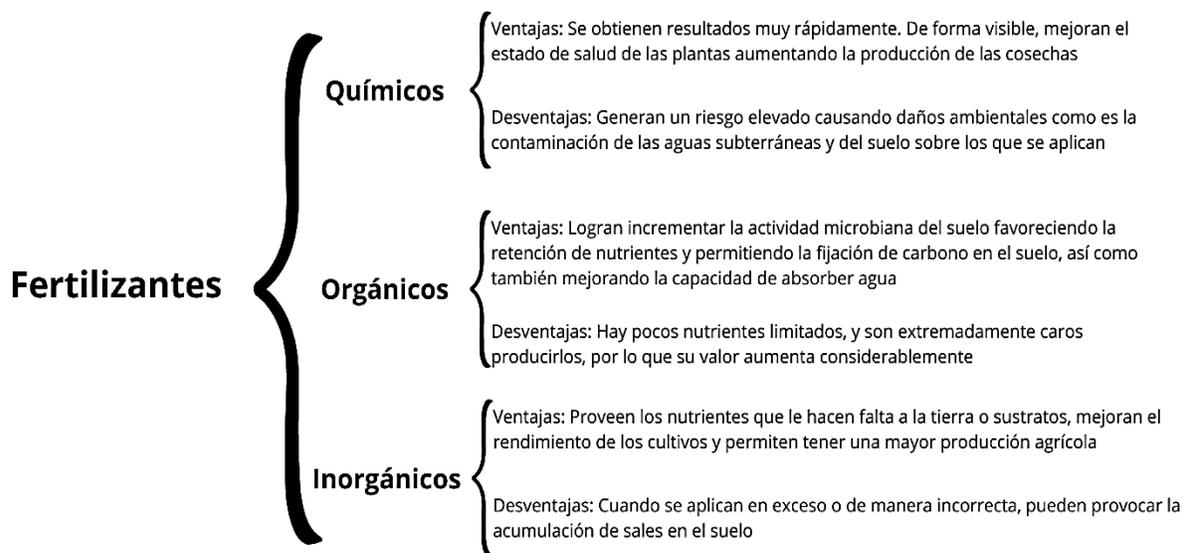


Figura 1. Clasificación del fertilizante, por sus ventajas y desventajas. (Rural, 2019).

El uso de un medio hidropónico que utiliza polímeros absorbentes con el objetivo de: (a) permitir un mayor control sobre el entorno de crecimiento, (b) reducir la necesidad de nutrientes y (c) mejorar la eficiencia del uso del agua, puede complementar el uso de fertilizantes. La forma más efectiva e ingeniosa de lograrlo es usar un polímero absorbente con alta retención de agua. Un ejemplo de este tipo de polímero son los hidrogeles.

Los hidrogeles son geles poliméricos hidrofílicos con una red tridimensional que pueden absorber una gran cantidad de agua sin perder su forma hasta que alcanzan su nivel máximo de hidratación o índice de hinchamiento. (Díaz, 2006).

En 1995, Hickey et al. clasificaron los hidrogeles según su método de preparación, su cambio iónico y sus rasgos de estructura física (ver figura 2). Pueden ser neutros o iónicos (aniónicos o catiónicos) según la naturaleza de los grupos laterales. En redes: (a) homopolimérica, (b) copolimérica, (c) multipolimérica y (d) polimérica interpenetrada, dependiendo del método de preparación. Por último, pero no menos importante, debido a la estructura física de la red en hidrogeles amorfos y semicristalinos.

El poliacrilato de sodio se clasificaría como un hidrogel aniónico, ya que contiene grupos laterales iónicos (en este caso, aniones carboxilato). Además, en términos de la clasificación de redes según el método de preparación, el poliacrilato de sodio sería categorizado como un hidrogel homopolimérico, ya que está compuesto principalmente por unidades de polímero derivadas del mismo monómero, en este caso, el acrilato de sodio. Por lo que lleva a clasificarse como un hidrogel aniónico – homopolimérico.

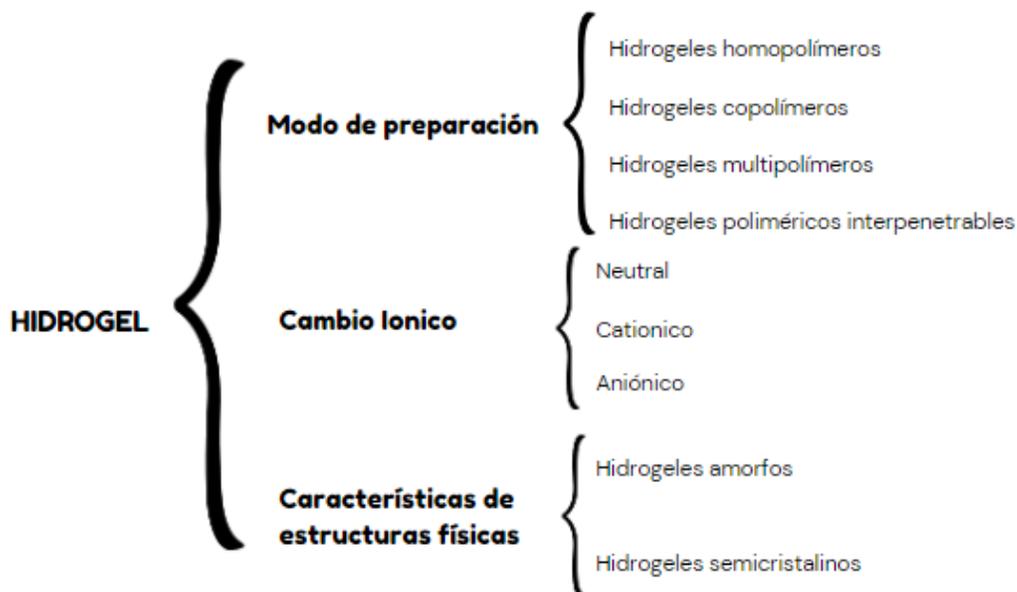


Figura 2. Clasificación del hidrogel, por método de preparación, cambio iónico y sus características de estructuras físicas.

Por lo tanto, es fundamental comprender los componentes de los geles hidroalcohólicos; estos están formados por tres componentes principales: alcohol 60-80%, glicerina 2 -10%, agua y gelificante o emulsificante. Estos últimos ingredientes se utilizan como perlas en arreglos florales porque están presentes en una concentración muy baja. Este tipo de perlas con alcohol no se pueden usar con orquídeas porque inhiben su crecimiento al contener alcohol.

La investigación más reciente sobre hidrogeles fertilizados o fertilizados con un fertilizante se enfoca en temas importantes. Como se muestra a continuación, estas investigaciones están transformando la forma en que se percibe y se utiliza el

hidrogel, proyectándolos como un componente crucial en la vanguardia de las innovaciones agrícolas y tecnológicas:

a) Desarrollo de un hidrogel a base de almidón fertilizado con nitrógeno y fósforo: Un estudio publicado en la revista "Journal of Agricultural and Food Chemistry" en 2023 describe el desarrollo de un hidrogel a base de almidón de maíz fertilizado con nitrógeno y fósforo. El hidrogel está compuesto por un polímero de almidón de maíz, ácido hialurónico, extracto de algas y fertilizantes; el estudio demostró que el hidrogel puede mejorar el crecimiento y rendimiento de las plantas de tomate, al aumentar la absorción de nutrientes y reducir el estrés osmótico [Fuente: (Xiaowei Wang, et al., 2023)].

b) Desarrollo de un hidrogel a base de quitosano fertilizado con fosfato de potasio: Un estudio publicado en la revista "Journal of Plant Physiology" en 2023 describe el desarrollo de un hidrogel a base de quitosano fertilizado con fosfato de potasio. El hidrogel está compuesto por un polímero de quitosano, ácido hialurónico, extracto de alfalfa y fosfato de potasio; el estudio demostró que el hidrogel puede mejorar el crecimiento y el rendimiento de las plantas de arroz, al aumentar la absorción de potasio y reducir el estrés hídrico [Fuente: (Jing Zhang, et al., 2023)].

c) Desarrollo de un hidrogel a base de poliuretano fertilizado con micronutrientes: Un estudio publicado en la revista "Plant Physiology and Biochemistry" en 2023 describe el desarrollo de un hidrogel a base de poliuretano fertilizado con micronutrientes. El hidrogel está compuesto por un polímero de poliuretano, ácido hialurónico, extracto de algas y micronutrientes; el estudio demostró que el hidrogel puede mejorar el crecimiento y rendimiento de las plantas de trigo, al aumentar la absorción de micronutrientes y reducir el estrés salino [Fuente: (Hui Liu, et al., 2023)].

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Xochimilco, un mercado tradicionalmente dedicado a la comercialización de productos agrícolas se enfrenta a desafíos significativos en cuanto a la eficiencia y

sostenibilidad de la producción. A pesar de la rica tradición agrícola de la región, la disponibilidad de recursos hídricos y la gestión eficaz de fertilizantes siguen siendo obstáculos para maximizar el rendimiento de los cultivos y plantas de ornamento, además de garantizar una producción de alta calidad.

Para aumentar las oportunidades de venta y crecimiento, es necesario utilizar fertilizantes líquidos y sólidos de manera tradicional. En este contexto, la introducción de hidrogeles fertilizados es una posible solución para mejorar la retención de agua y nutrientes en el suelo, así como para optimizar el uso de recursos para que el fertilizante sea rico en macronutrientes como nitrógenos, fosfatos y potasio.

El proyecto tiene como objetivo mejorar la eficiencia en el crecimiento de las orquídeas ornamentales en el mercado de Xochimilco mediante la implementación de hidrogeles fertilizados, lo que permite beneficiar el estudio de otras plantas. En contexto, se propone aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería química para evaluar la calidad de un hidrogel fertilizado; este enfoque no solo busca optimizar los procesos de cuidado asociados al crecimiento de las orquídeas, sino también reducir significativamente los tiempos y gastos involucrados en estas prácticas, contribuyendo así a una gestión más eficaz y sostenible de la producción de plantas ornamentales en el mercado local.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el rendimiento de un hidrogel fertilizado con macro y micronutrientes en el crecimiento floral de las *orquídeas phalaenopsis* para comercializar a mediano plazo en el mercado de Xochimilco.

Objetivos particulares

- Analizar el crecimiento de la planta *orquídea phalaenopsis* respecto a la adición del hidrogel fertilizado.

- Contrastar el comportamiento del hinchamiento del hidrogel a partir del agua servicio y agua fertilizada.
- Aplicar técnicas analíticas y electroquímicas para la determinación principal de macro y micronutrientes en el fertilizante.
- Determinar los costos de materia prima para respaldar el proceso de comercialización en el futuro.

METODOLOGIA

El presente proyecto consistió en realizar:

- Evaluación de un hidrogel (poliacrilato de sodio), midiendo la calidad del agua utilizada (agua de red, agua destilada y agua des ionizada) por medio de la dureza, alcalinidad o acidez total.
- Pruebas de hinchamiento con y sin fertilizante para ver las interacciones moleculares que se llevan a cabo en el sistema y su comportamiento del hidrogel con respecto al tiempo.
- Determinación de los macro y micronutrientes que se contiene en el fertilizante a utilizar para su implementación adecuada en la orquídea.
- Evaluación del crecimiento de la orquídea con y sin el fertilizante en condiciones controladas. Tales como luz (evitando la exposición directa al sol), temperatura (por lo general, las *phalaenopsis* prosperan en temperaturas diurnas entre 20-30 °C y nocturnas entre 15-22 °C.), sustrato y maceta (sustrato bien ventilado y específico para orquídeas. Las macetas deben permitir un buen drenaje para evitar el estancamiento del agua alrededor de las raíces.), riego (dejando que el sustrato se seque entre riegos) y fertilización (aplicando un fertilizante balanceado formulado para orquídeas durante la temporada de crecimiento activo).
- Por último, se realizó valoración de costos para llevar a cabo un emprendimiento de un producto de hidrogel fertilizado para las *orquídeas phalaenopsis*, provenientes de Madre selva #211 (VIVERO DANY), Alcaldía Xochimilco, C.P:16090, CDMX.

Evaluación del hidrogel

Se seleccionó la aplicación de poliacrilato de sodio en polvo ($C_3H_3NaO_2$)_n, como el hidrogel, debido a que es el hidrogel más comercial y accesible que se puede encontrar en el mercado. Se estudió sus propiedades generales (ver tabla 1), en dónde; el pH en agua con el poliacrilato de sodio es de 6, por lo que se buscó hacer similitudes de pH del agua para establecer un estándar en las muestras.

Tabla 1. Propiedades generales del poliacrilato de sodio.

General	Propiedades
Apariencia	Polvo granulado de color blanco
Tamaño de partícula	150-850um
Densidad	550-750g/L
Humedad	<5%
pH (en agua 0,9%NaCl)	6+-0,5
Absorción Agua (0,2% NaCl)	>80g/g
Absorción Agua (0,9% NaCl)	>40g/g
Retención Agua (0,2% NaCl)	>50g/g
Retención Agua (0,9% NaCl)	>30g/g

Fuente: (Alquera, 2022) (<https://www.alquera.com/poliacrilato-de-sodio/propiedades/>)

El poliacrilato de sodio absorbe más de 80 gramos de agua por cada gramo de poliacrilato para agua de salinidad 0,2%, que corresponde al agua de grifo normal.

Con la finalidad de estudiar la solubilidad del polímero absorbente, es necesario conocer las características físicas, químicas del agua que se va a emplear durante el crecimiento y como las especies presentes afectan las características del hidrogel, por ello se busca realizar pruebas analíticas de dureza, alcalinidad o acidez.

Se realizaron determinaciones de **dureza** del agua como de acidez total como carbonato de calcio con la finalidad de realizar una medida de la cantidad de ácidos presentes en el agua. Esta última medida es importante para determinar la calidad

del agua potable, debido a un alto nivel de acidez puede indicar la presencia de contaminantes químicos y metales pesados.

La determinación de la dureza en el agua se lleva a cabo mediante una técnica de análisis químico conocida como titulación EDTA (ácido etilendiaminotetraacético). Los materiales y reactivos necesarios incluyen el agua de la muestra al analizar, una bureta, un matraz Erlenmeyer, pipetas volumétricas y aforadas, matraces aforados y equipos de laboratorio comunes como soportes, pinzas y agitadores magnéticos.

La solución de EDTA se preparó a una concentración de 0.1 molar, así como la elaboración de una solución que contiene el indicador de negro de eriocromo T a 0.01 molar.

A continuación, se preparó la muestra de agua. Para lograr esto, se sometió a una filtración para eliminar cualquier partícula sólida.

Se transfirió una cantidad específica de la muestra de agua en un matraz Erlenmeyer con una pipeta aforada para realizar la titulación. Después, se agregaron unas gotas de indicador, hasta el vire a un tono violeta.

Cuando el color violeta del indicador viro a un azul intenso, demostró que todos los iones de calcio y magnesio en la muestra habían reaccionado completamente con el EDTA.

Por último, con el gasto alcanzado se determinó la concentraciones de los iones calcio y magnesio en miligramos por litro (mg/L) o partes por millón (ppm) para determinar la dureza total del agua.

La determinación de la **acidez total o alcalinidad** se realiza midiendo la cantidad exacta de ácido que se necesita para neutralizar todos los ácidos presentes en el agua. Esta metodología se basa en la evaluación de la acidez en el agua mediante

la valoración de una muestra con una solución valorante, ya sea un álcali o un ácido, en función de su concentración perfectamente conocida. El resultado de esta evaluación se muestra en forma de una concentración equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3), que representa la acidez total.

El método potenciométrico se utiliza para medir la acidez total y la alcalinidad del agua de acuerdo con la norma (NMX-AA-036-SCFI-2001, 2001). En este procedimiento se realizan dos evaluaciones diferentes: una utiliza ácido (Ácido Clorhídrico) y la otra utiliza una base (Hidróxido de Sodio). El biftalato de potasio ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$) y el carbonato de sodio anhidro (Na_2CO_3) también se utilizan. La combinación de fenolftaleína, naranja de metilo, peróxido de hidrógeno al 30 % en relación con la velocidad de vapor (H_2O_2), tiosulfato de sodio pentahidratado ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$), etanol y cloroformo.

Se prepararon las siguientes disoluciones:

- Disolución de ácido sulfúrico o ácido clorhídrico (0.1 N).
- Disolución de ácido sulfúrico o clorhídrico (0,02 N).
- Disolución de hidróxido de sodio (0,1 N).
- Disolución de hidróxido de sodio (0.02 N).
- Disolución de tiosulfato de sodio pentahidratado (0.1 M).
- Disolución indicadora de naranja de metilo (0.5 g de la sal de sodio a 1 L).
- Disolución indicadora de fenolftaleína (5 g de fenolftaleína en 500 mL de etanol y 500 mL de agua).

Para las valoraciones del ácido sulfúrico o ácido clorhídrico (0,02 N), pesamos 0,0265 g del patrón primario de carbonato de sodio, que previamente secado a 105°C . Luego se agregan unas gotas de la disolución de naranja de metilo y 25 mililitros de agua. Después, se valora la solución con ácido hasta el vire de color de canela a amarillo.

El hidróxido de sodio (0,02 N) se valora pesando 0.102 gramos de biftalato de potasio previamente secado a 105°C. Se utilizó la disolución de hidróxido de sodio para titular hasta el vire de color de incoloro a rosa.

En el caso de la **alcalinidad**, se lleva una muestra de 100 mL a un matraz Erlenmeyer de 250 mL, se adicionan gotas de fenolftaleína, y se valora con la disolución valorada de ácido (0.02 N) hasta el vire de fenolftaleína (de rosa a incoloro) y se registran los mililitros gastados. Se añaden gotas de la disolución indicadora de naranja de metilo y se titula hasta el vire de naranja de metilo. (De canela a amarillo) para determinar la cantidad total de alcalinidad.

Pruebas de hinchamiento

El objetivo es realizar un análisis y una serie de pruebas sobre la expansión del hidrogel en contacto con agua.

Se realizaron varias pruebas con probetas de 500 mL de capacidad. En cada uno de estos ensayos, se mezclaron 1 gramo de hidrogel con 250 mililitros de agua en la probeta y se midió el tiempo transcurrido para medir la velocidad de expansión del hidrogel.

Esto se puede observar en la siguiente figura.



Figura 3. Hinchamiento del hidrogel con agua.

Para determinar la razón de hinchamiento en agua fertilizada se midió en una probeta de 500 mL en donde, se añadió 1 g de hidrogel a 250 mL de agua previamente mezclada con fertilizante a concentraciones diferentes: 0,4 g/L, 0,8 g/L, 1,2 g/L, 1,6 g/L y 2 g/L. Se calculó el tiempo requerido para medir la tasa de expansión del hidrogel fertilizado como se muestra en la siguiente imagen



Figura 4. Hinchamiento del hidrogel con agua fertilizada a diferentes concentraciones.

Se decidió abordar los macro y micronutrientes del fertilizante por separado para analizarlo de manera más detallada. Para lograr esto, se utilizaron varias técnicas analíticas para determinar las concentraciones precisas de cada uno de estos nutrientes.

Determinación de Micronutrientes

Determinación de cobre

El método analítico espectrofotometría de absorción atómica (AA) se usa con frecuencia para medir la concentración de cobre en una muestra. (Harris, 2010); Sin embargo, una de las limitaciones es la concentración, esto debido porque el micronutriente se utiliza como elemento traza y puede quedar fuera del límite de detección. Por lo tanto, se deben encontrar y desarrollar alternativas que ayuden a determinar este metal.

Mientras que la técnica de electroanálisis como la voltamperometría cíclica (CV), es una técnica utilizada para medir la corriente eléctrica utiliza un electrodo de trabajo, un electrodo de referencia y un contraelectrodo. (Harris, 2010).

Para el estudio del cobre (Cu), se utilizó un sistema acoplado (ver figura 2), el cual contiene: (a) una celda de tres electrodos compuesta por un electrodo de trabajo se utilizó un electrodo de disco rotatorio (RDE, por sus siglas en inglés) de acero inoxidable S316L, como electrodo de referencia se empleó un electrodo saturado de sulfatos Hg/HgO/K₂SO_{4(sat)} y de contra electrodo un electrodo de grafito de alta pureza; (b) Potenciostato-Galvanostato. AUTOLAB® PGSTAT302N, serie: AUT83317.

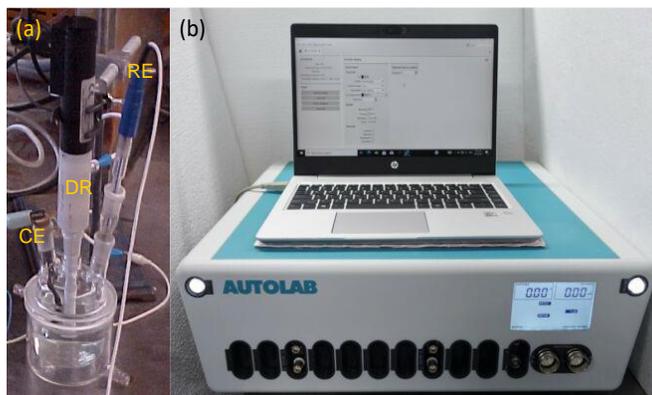


Figura 5. Sistema acoplado: (a) Celda de tres electrodos; (b) Potenciostato-Galvanostato

El método electroquímico consistió en la preparación de un blanco 10% (v/v) de ácido sulfúrico (H₂SO₄) y como cobre se utilizó CuSO₄ · 5H₂O y a diferentes concentraciones donde se llevó a cabo una voltamperometría cíclica y para realizar una curva patrón (0.1305, 0.2610, 0.3917, 0.5223, 0.6530, 0.7835 g Cu (II)/L).

Tabla 2. Parámetros de trabajo del potencióstato – galvanostato

Parámetro	Amplitud
Autolab	1 Amp.
OCP	120 seg. Interval: 0.5 Time: 5 seg
Apply	0 a V_{REF}
Wait	5 seg
CV	Upper: 1.0 Lower: -1.3 Step: - Scans: 1 Scan Rate: 0.01

Determinación de Macronutrientes

La determinación de los macronutrientes que se realizó fue de Nitrógeno total por el método de digestión de Kjeldahl y determinación de fosfatos por método de Olsen.

Determinación de Nitrógeno total.

La técnica de digestión Kjeldahl se utiliza para medir el contenido de nitrógeno en tanto muestras orgánicas como inorgánicas; esta técnica analítica busca romper todos los enlaces de nitrógeno de las muestras y convertir el nitrógeno en iones amonio (NH_4^+). También se utiliza esta técnica para medir el nitrógeno en aguas residuales y suelos. Este método está establecido en varias normativas, como las AOAC, USEPA, ISO, DIN, Farmacopeas y directivas comunitarias específicas. (AppliChem, Sin fecha).

El método consta de tres etapas las cuales son la digestión (el nitrógeno orgánico se transforma en iones amonio), destilación (los iones amonio es destilado y recogido en un recipiente receptor) y valoración (la cual se determina el nitrógeno con un medio ácido).

La primera etapa de digestión es romper todos los enlaces de nitrógeno de la muestra y convertir todo el nitrógeno unido orgánicamente en iones amonio (NH_4^+). El carbono orgánico y el hidrógeno forman dióxido de carbono y agua. En este proceso la materia orgánica se carboniza dando lugar a la formación de una espuma negra. Durante la digestión, la espuma se descompone y finalmente se convierte en un líquido claro que indica que la reacción química ha terminado. Para ello, la muestra se mezcla con ácido sulfúrico a temperaturas entre 350 y 380 °C. Cuanto más alta sea la temperatura, más rápido será el proceso de digestión. La digestión también se puede acelerar con la adición de sales y catalizadores. Se añade sulfato de potasio para aumentar el punto de ebullición del ácido sulfúrico y se añaden catalizadores para aumentar la velocidad y la eficiencia del procedimiento de digestión. También se pueden añadir agentes oxidantes para mejorar aún más la velocidad.

El proceso consiste en añadir una muestra de 1 g de fertilizante junto con una mezcla de catalizadores (sulfato de potasio y sulfato de cobre) y ácido sulfúrico. Esta reacción (Figura 6) produce sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Una vez la digestión ha finalizado, se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente, se diluye con agua y se trasvasa a la unidad de destilación.



Figura 6. Reacción de la digestión Kjeldahl.

Esta muestra se calienta hasta que se deje de emitir vapores. Posteriormente en la segunda etapa los iones amonio se convierten en amoniaco mediante la adición de un álcali (NaOH), este amoniaco es arrasado por medio de una corriente de vapor (destilación) de agua (Ver Figura 7) y se condensa en una solución absorbente de ácido sulfúrico para capturar el gas amoniaco disuelto (Ver Figura 8).



Figura 7. Reacción de la destilación.



Figura 8. Reacción al añadir el ácido absorbente en la destilación.

La concentración de los iones amonio capturados se determinan por medio de una valoración indirecta o por retroceso en la solución estandarizada de ácido que no reacciona con los iones amonio.

Cuando se utiliza una solución valorada de ácido sulfúrico como solución absorbente, el ácido sulfúrico residual (es decir, el exceso que no reacciona con NH₃) se valora con una solución estandarizada de hidróxido sódico y la cantidad de amoniaco se calcula por diferencia. Esta valoración se llama valoración indirecta o por retroceso (Ver Figura 9).



Figura 9. Reacción en la valoración indirecta o por retroceso.

En la aplicación de este método, se empleó un matraz (a) en combinación con una trampa de tipo Kjeldahl (b), la cual se ensambló en conjunto con un refrigerante (c) para la condensación de los gases de amoniaco liberados durante el proceso. En esta configuración, los vapores de amoniaco se enfriaron y transformaron en líquido para su posterior manejo. El líquido resultante de esta condensación se introdujo en un matraz Erlenmeyer (d), que contenía una solución absorbente compuesta de ácido sulfúrico (Ver figura 10).

Esta metodología permite la captura eficaz del amoníaco liberado durante la reacción y su interacción con el ácido sulfúrico en el matraz Erlenmeyer. Esta interacción con el ácido sulfúrico es fundamental en el proceso analítico y sujeto a posteriores análisis para la cuantificación y evaluación del contenido de amoníaco presente en la muestra en estudio.

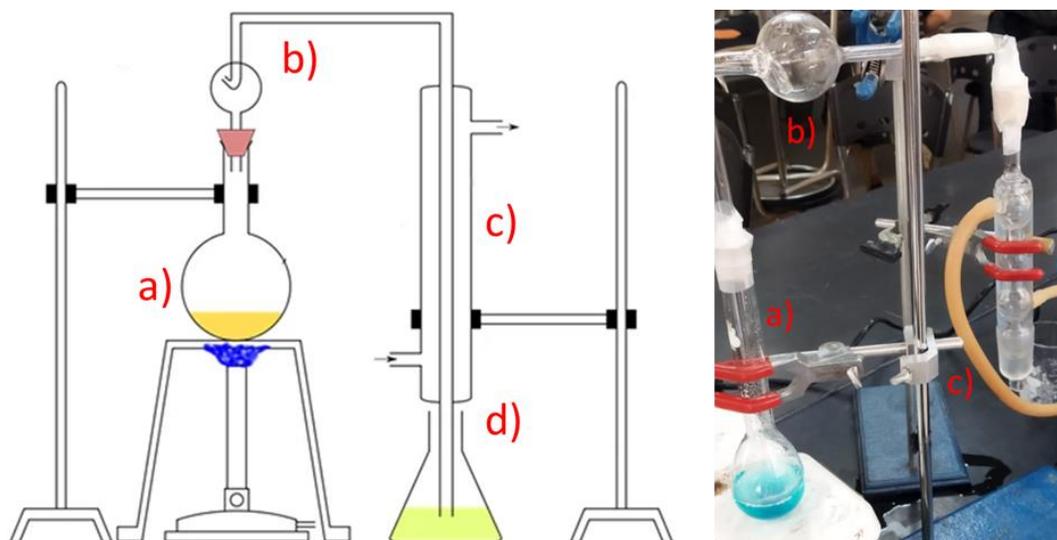


Figura 10. Montaje del equipo Kjeldahl (a) Matraz de Kjeldahl con las soluciones patrón; (b) Trampa de Kjeldahl; (c) Condensador tipo serpentín para los vapores de amoníaco.

Determinación de Fósforo

El método Olsen se realiza tomando una muestra de suelo representativa y previamente se seca al ambiente en dado caso de que se encuentre húmeda, tamizándola para eliminar partículas grandes y obtener un tamaño de partícula uniforme. Se mezcla la muestra de suelo con una solución de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) en una proporción específica y agitar vigorosamente. La solución de bicarbonato de sodio disuelve el fósforo disponible en el suelo. La solución se filtra por medio de un papel filtro para separar los sólidos de la solución. Por último, se cuantifica el fósforo en la solución filtrada mediante una técnica de análisis de fósforo, para ese método se utiliza la espectrofotometría.

Para este punto se utilizó un colorímetro marca Jenway modelo 6061 con número de serie 1650 (Figura 11).



Figura 11. Colorímetro espectrofotómetro marca Jenway.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CRECIMIENTO DE LA PLANTA

En el marco de este experimento, se consideraron dos plantas que compartían un mismo recipiente, o maceta, como entorno de estudio. Para enriquecer su desarrollo, se les suministró una fertilización con una concentración de 1 g por litro de agua de riego de manera semanal. En este proceso, cada ciclo de crecimiento se extendió a lo largo de 23 días, durante los cuales se llevaron a cabo las mediciones de muestra utilizando un flexómetro. Dicho instrumento se utilizó para medir con precisión la distancia desde el suelo o sustrato hasta un punto de referencia en la planta.

Los datos recopilados se derivan de una de las ramificaciones de la primera planta. Estos datos resultan esenciales para analizar y comprender la evolución del crecimiento de la planta, evaluando cómo la fertilización y el tiempo influyen en su desarrollo como se muestra a continuación.

Planta A

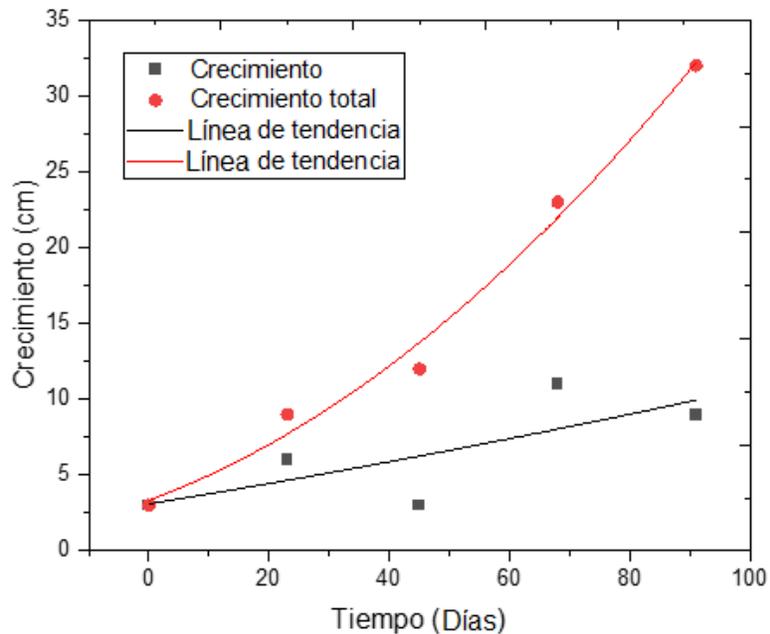


Figura 12. Gráfico de la planta a) del crecimiento de la planta hasta su floración.

En la figura 12, la planta muestra manteniendo una tendencia gradual en su inicio, seguida por un aumento significativo en su crecimiento durante el cuarto intervalo. La velocidad a la que la planta ha crecido podría estar influenciada por diversos factores, tales como las condiciones ambientales, la disponibilidad de nutrientes expuestos por el fertilizante y la intensidad de la luz a la que ha sido expuesta.

Es crucial comprender la interacción entre el entorno y el desarrollo de la planta, ya que esto proporciona una perspectiva integral del proceso de crecimiento. Además, es posible identificar patrones significativos en los datos. Por ejemplo, se destaca un aumento exponencial en el crecimiento alrededor del día 70, sugiriendo un período de rápido avance para la orquídea. Por otro lado, se observa un descenso en el crecimiento en el día 45, lo que puede indicar una etapa de desaceleración temporal en su desarrollo. Estos puntos de inflexión aportan un valor adicional a la interpretación de los datos y respaldan la importancia de considerar tanto los factores ambientales como los patrones de crecimiento al analizar la salud y crecimiento de la planta.

En las siguientes tablas se representan los parámetros obtenidos del crecimiento de la planta.

Tabla 3. Parámetros obtenidos en la recta del crecimiento.

B1	0.14534 ± 0.23057
B2	$-5.40103E-4 \pm 0.0024$
Coefficiente de Determinación	0.5226
Coefficiente de Correlación	0.04521

Tabla 4. Parámetros obtenidos en la recta del crecimiento total

B1	0.13913 ± 0.08671
B2	$0.00189 \pm 9.03765E-4$
Coefficiente de Determinación	0.98812
Coefficiente de Correlación	0.97624

Planta B

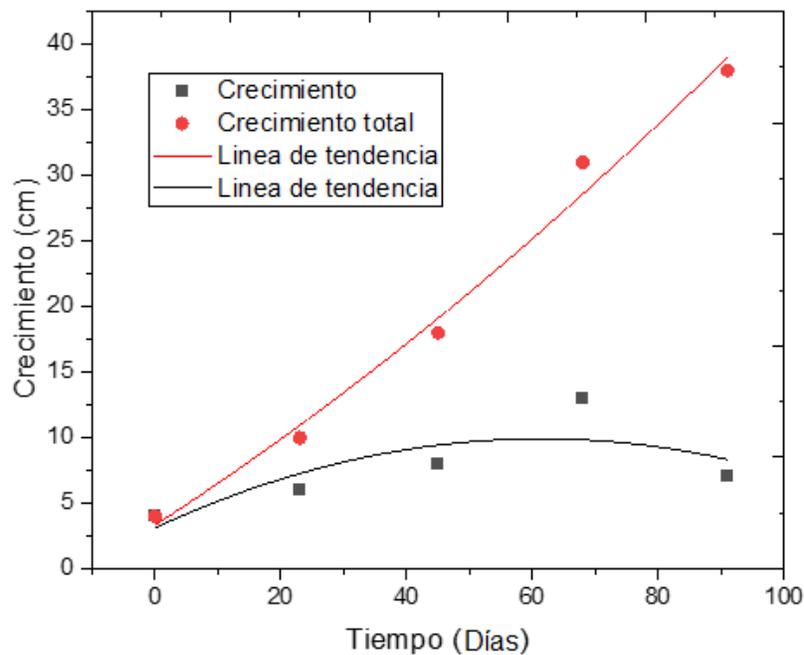


Figura 13. Gráfico de la planta b) del crecimiento de la planta hasta su floración.

En la planta B, el análisis de los datos refleja que el crecimiento de la planta se mantuvo de manera constante a lo largo del período observado. No obstante, se observaron variaciones en la velocidad de crecimiento en el día 70. El crecimiento

total acumulado evidencia un aumento gradual conforme avanzaba el tiempo. Estos datos indican la existencia de fases en las que el crecimiento fue más acelerado o lento. Esta variabilidad en la tasa de crecimiento podría estar influenciada por diversos factores, como las condiciones ambientales, el suministro de nutrientes en el fertilizante y otros elementos que influyen en el cuidado y desarrollo de la planta.

En las siguientes tablas se representan los parámetros obtenidos del crecimiento de la planta.

Tabla 5. Parámetros obtenidos en la recta del crecimiento.

B1	0.25963 ± 0.12506
B2	-0.00216 ± 0.0013
Coefficiente de Determinación	0.73996
Coefficiente de Correlación	0.47991

Tabla 6. Parámetros obtenidos en la recta del crecimiento total

B1	0.33354 ± 0.09763
B2	$6.75128E-4 \pm 0.00102$
Coefficiente de Determinación	0.99032
Coefficiente de Correlación	0.98063

Las siguientes imágenes permiten observar la evolución de la planta desde el día 0 hasta el día 93, notando una floración en la planta B en el día 93.



Figura 14. Planta al inicio del experimento (Día 0).



Figura 15. Planta al final del experimento (Día 93).



Figura 16. Floración de la orquídea al final del experimento (Día 93).

Planta sin riego

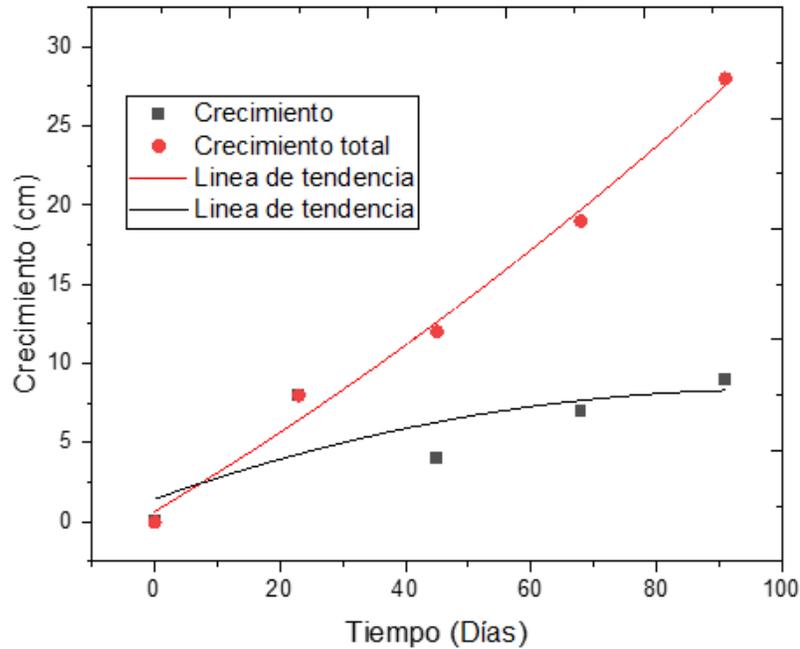


Figura 17. Gráfico de la planta sin fertilizar del crecimiento de la planta hasta su floración.

El análisis realizado aporta indicios de que la orquídea tuvo un comienzo en el que no mostró crecimiento alguno. Sin embargo, a medida que pasan los días, se evidenció un incremento constante en su desarrollo. A pesar de que el crecimiento inicial fue mínimo, se puede notar un aumento progresivo en el crecimiento total a lo largo de las mediciones. Este aumento gradual en el crecimiento total podría interpretarse como una señal de que la planta se adaptó y continuó su proceso de desarrollo a lo largo del tiempo.

Es posible que haya superado una fase inicial de crecimiento, y posteriormente, haya experimentado un patrón de crecimiento constante y continuo. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar la evolución a lo largo del tiempo y cómo diversos factores pueden influir en el desarrollo de la planta obteniendo los siguientes parámetros.

Tabla 7. Parámetros obtenidos en la recta del crecimiento.

B1	0.2118 ± 0.05435
B2	$-0.00122 \pm 5.66464E-4$
Coefficiente de Determinación	0.95892
Coefficiente de Correlación	0.91783

Tabla 8. Parámetros obtenidos en la recta del crecimiento total

B1	0.16398 ± 0.04984
B2	$0.00162 \pm 5.19454E-4$
Coefficiente de Determinación	0.99602
Coefficiente de Correlación	0.99203

Las siguientes imágenes representan la evolución de la planta sin riego.



Figura 18. Orquídea sin fertilizar al inicio del experimento (Día 0).



Figura 19. Orquídea sin fertilizar al final del experimento a) vara estudiada, b) vara donde ya se había desarrollado y no se tomó en el experimento.

Comparación de las plantas

La observación revela que el día 70 marcó un punto de máximo crecimiento para ambas plantas, demostrando un patrón uniforme de desarrollo. Sin embargo, se hace evidente una diferencia en cuanto al tratamiento de las plantas. La planta que experimentó un crecimiento notable y uniforme que recibió un enfoque particular en la fertilización, mientras que la orquídea, que solo fue sometida a riego semanal sin fertilización, mostró un crecimiento moderado en comparación. Estos resultados resaltan la influencia significativa de las prácticas de cuidado, como la fertilización y la frecuencia de riego, en el desarrollo y salud de las plantas.

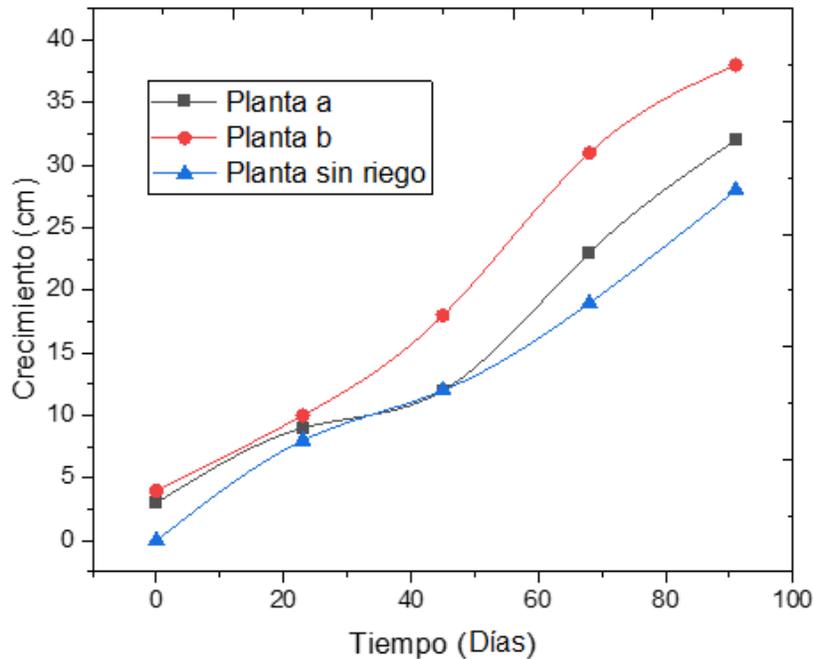


Figura 20. Comparación del crecimiento total de las orquídeas en la plana a) que se muestra con mayor fertilización, b) en la que se muestra una menor fertilización y planta sin riego en el transcurso de 90 días

Es importante subrayar que en relación con la orquídea (Figura. 19), vara etiquetada como "A" fue un elemento integral en las observaciones de acuerdo con el registro de acuerdo con su crecimiento correspondiente. No obstante, en el caso de la vara identificada como "B)", su contribución no fue tomada en cuenta durante el proceso de recopilación de datos. La razón radica en que, al inicio de las mediciones (en el día 0), esta vara ya había completado su proceso de florecimiento, lo que la excluyó del seguimiento.

Esta decisión de descartar dicha vara ("B), fue considerado debido a que su estado floreado desde el comienzo indicaba que su desarrollo había ocurrido antes del experimento, marcando un punto de diferencia crítica entre ambas varas en términos de análisis en mediciones y subsecuentes.

ANÁLISIS DEL AGUA

Dureza total

Mediante un proceso de análisis volumétrico, se obtuvo el valor correspondiente a la dureza total del agua proveniente de las instalaciones de la FES Zaragoza. Durante este procedimiento, se registró el volumen total promedio en mL de la titulación hasta el punto de vire de color, y el valor obtenido fue de 27.125 mL. Dichos resultados arrojaron la siguiente conclusión:

$$ppm_{CaCO_3} = ppm_{Ca^{2+}} \left(\frac{PM_{CaCO_3}}{PM_{Ca^{2+}}} \right) + ppm_{Mg^{2+}} \left(\frac{PM_{CaCO_3}}{PM_{Mg^{2+}}} \right)$$

$$ppm_{CaCO_3} = (106) \left(\frac{100.08}{40.08} \right) + (1.579) \left(\frac{100.08}{24.3} \right)$$

$$ppm_{CaCO_3} = 271.185 \text{ ppm } \left(\frac{mg}{L} \right)$$

Los resultados de la medición revelaron un valor que claramente indica que la concentración medida es superior a 180 mg/L. Este resultado establece de manera firme y concluyente que el agua que se está determinando puede ser categorizada sin lugar a duda como "agua dura". Esta conclusión se basa en el hecho de que la concentración excede significativamente el umbral de referencia ampliamente reconocido para la dureza del agua.

Acidez total

A continuación, se presentan diversos resultados correspondientes a las muestras de agua:

$$N_{HCl} = \frac{A}{B \times 53} \times 100 = \frac{0.026}{20.9 \times 53} \times 100 = 0.00234 \frac{eq}{L} = 2.34 \text{ mEq/L}$$

$$N_{NaOH} = \frac{A}{B \times 204.2} \times 100 = \frac{0.102}{39.11 \times 204.2} \times 100 = 0.001277 \frac{eq}{L} = 12.77 \text{ mEq/L}$$

Para calcular la acidez total como carbonato de calcio obtenemos que:

$$\begin{aligned} \text{Acidez Total como CaCO}_3 &= \frac{[(A \times B) - (C \times D)][50,000]}{100} \\ &= \frac{[(2.575 \times 0.001277) - (0.85 \times 0.00234)][50,000]}{100} = \mathbf{0.6496 \text{ mg/L}} \end{aligned}$$

En resumen, al analizar y cuantificar la acidez total del agua en concordancia con los parámetros establecidos por la Norma Oficial Mexicana, se registró un valor de 0.6496 mg/L expresado en términos de carbonato de calcio (CaCO₃) equivalente. Este resultado se ajusta a los criterios definidos por la normativa, lo que indica que el agua en cuestión cumple con los estándares específicos de acidez establecidos en México

Al cumplir con los parámetros de la Norma Oficial Mexicana, se confirma que el agua analizada se encuentra dentro de los requisitos establecidos para su manejo y uso en México, lo que contribuye a asegurar su idoneidad para diferentes propósitos y a proteger tanto el medio ambiente como la salud pública.

Alcalinidad total

Por último, para determinar la alcalinidad total como carbonato de calcio, obtenemos que:

$$\begin{aligned} \text{Alcalinidad Total como CaCO}_3 &= \frac{A \times N}{100} (50)(1000) = \frac{2.575 \times 0.001277}{100} (50)(1000) \\ &= \mathbf{1.644137 \text{ mg/L}} \end{aligned}$$

En los resultados de alcalinidad, la cual expresa la capacidad que tiene un agua de mantener su pH a pesar de recibir soluciones ácidas o alcalinas, ésta corresponde principalmente al contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. (López, 2016). El rango de la alcalinidad en aguas domésticas, es decir, el agua potable, oscila en valores de 50 a 200 mg/L de CaCO₃.

Los resultados obtenidos de los análisis revelan que la alcalinidad del agua es inferior a 70 mg/L de CaCO_3 . Este valor apunta a una característica fundamental del agua: su limitada habilidad para enfrentar variaciones en el pH. Esta situación conlleva una tendencia hacia la acidez en términos de naturaleza química.

PRUEBAS DE HINCHAMIENTO

Hinchamiento del hidrogel en agua

Las pruebas se realizaron por triplicado para tener una mejor evaluación de la capacidad del hinchamiento del hidrogel expuesto en agua.

A continuación, se muestran las siguientes figuras donde se muestra el comportamiento del aumento de volumen con respecto al tiempo y consecutivamente su velocidad.

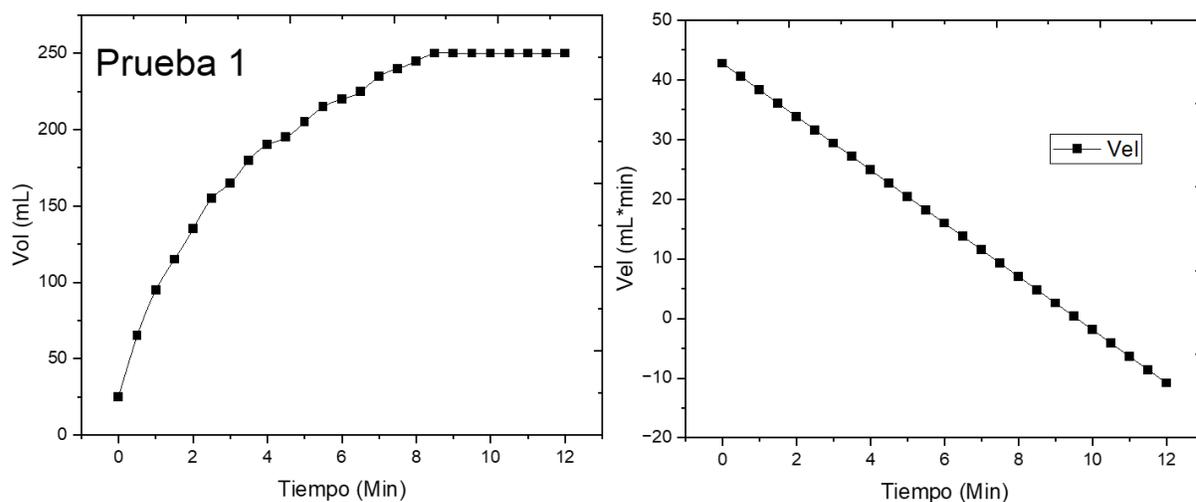


Figura 21. Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua en la prueba 1 (izquierda) con respecto a su velocidad de hinchamiento (derecha).

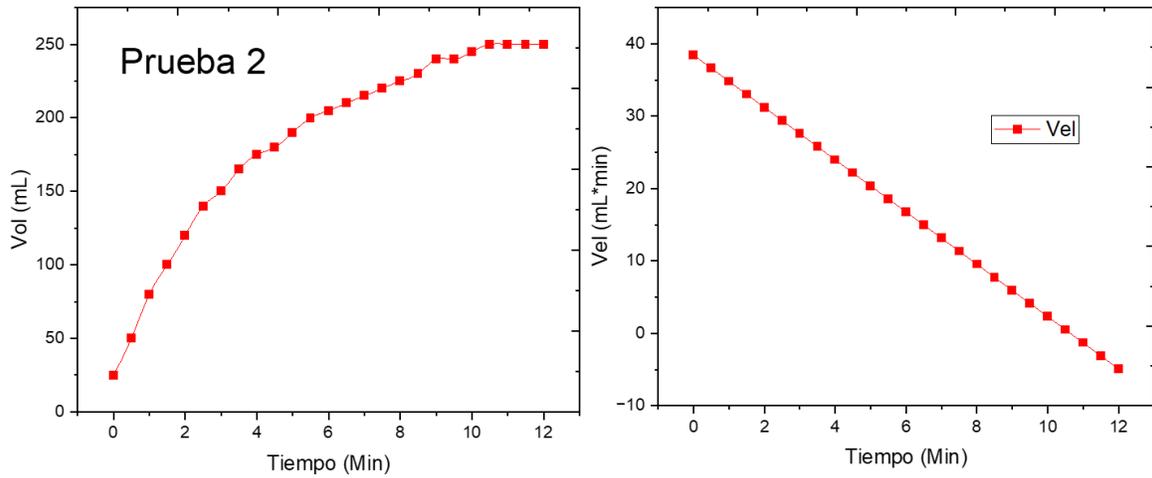


Figura 22. Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua en la prueba 2 (izquierda) con respecto a su velocidad de hinchamiento (derecha).

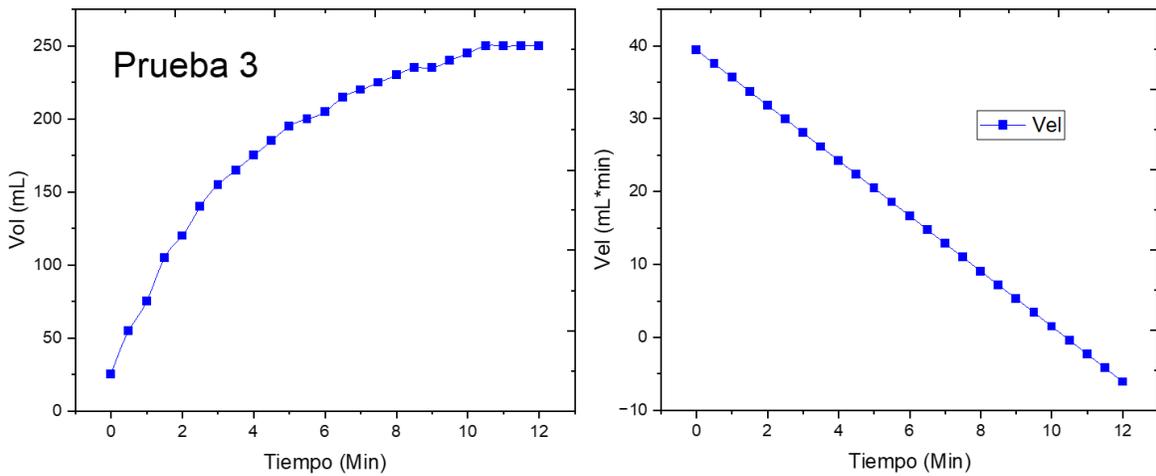


Figura 23. Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua en la prueba 3 (izquierda) con respecto a su velocidad de hinchamiento (derecha).

En la figura 24 se comparan las pruebas hechas junto con el promedio con respecto a sus velocidades de hinchamiento.

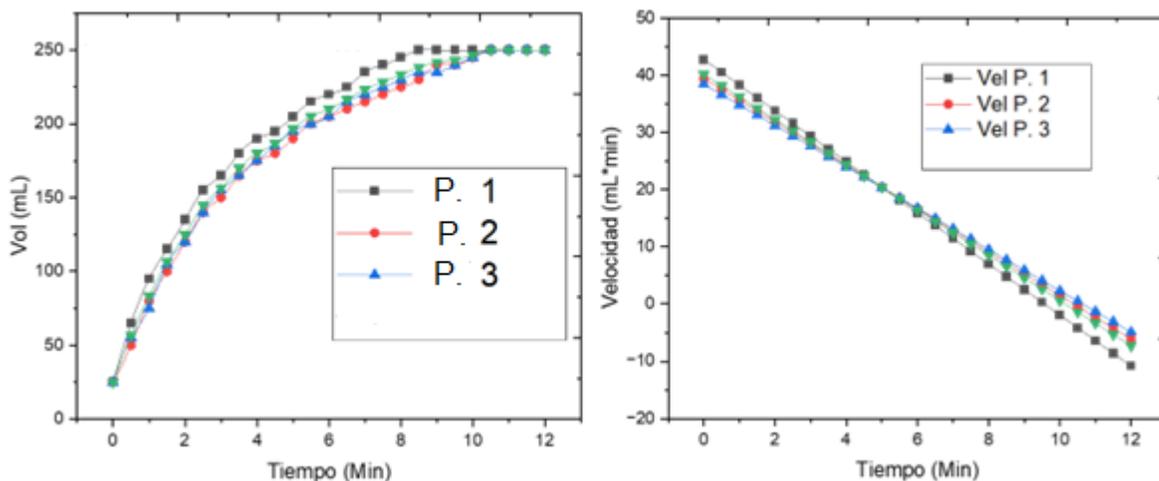


Figura 24. Comparativa del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua a diferentes pruebas (1, 2, 3) con respecto a sus velocidades de hinchamiento.

El hidrogel es una sustancia capaz de retener grandes cantidades de agua debido a su estructura molecular única y su capacidad para formar enlaces con las moléculas de agua. En este contexto, cuando se comparan los resultados de las pruebas de hinchamiento de agua con hidrogel a diferentes velocidades, es posible notar un patrón interesante. En particular, entre los minutos 4 y 7 de las pruebas, se encuentran intersecciones en las curvas de hinchamiento. Estas intersecciones indican que, en esos momentos específicos, el hidrogel ha alcanzado el mismo volumen en diferentes pruebas.

Esto podría sugerir que el proceso de hinchamiento del hidrogel alcanza un cierto equilibrio o punto crítico entre los minutos 4 y 7, donde la absorción de agua se vuelve constante o se estabiliza. Es decir, a partir de ese momento, el hidrogel absorbe agua a una tasa similar en todas las pruebas, independientemente de las condiciones iniciales o la velocidad con la que se haya agregado el agua.

Hinchamiento del hidrogel con agua fertilizada

Posteriormente, se procedió a llevar a cabo una serie de tres experimentos en los cuales se variaron las concentraciones de fertilizante utilizadas. Estos experimentos tenían la finalidad de investigar y evaluar cómo el hidrogel respondía al proceso de

hinchamiento cuando se exponía al agua fertilizada a diferentes concentraciones. Los resultados obtenidos de estos experimentos fueron los siguientes:

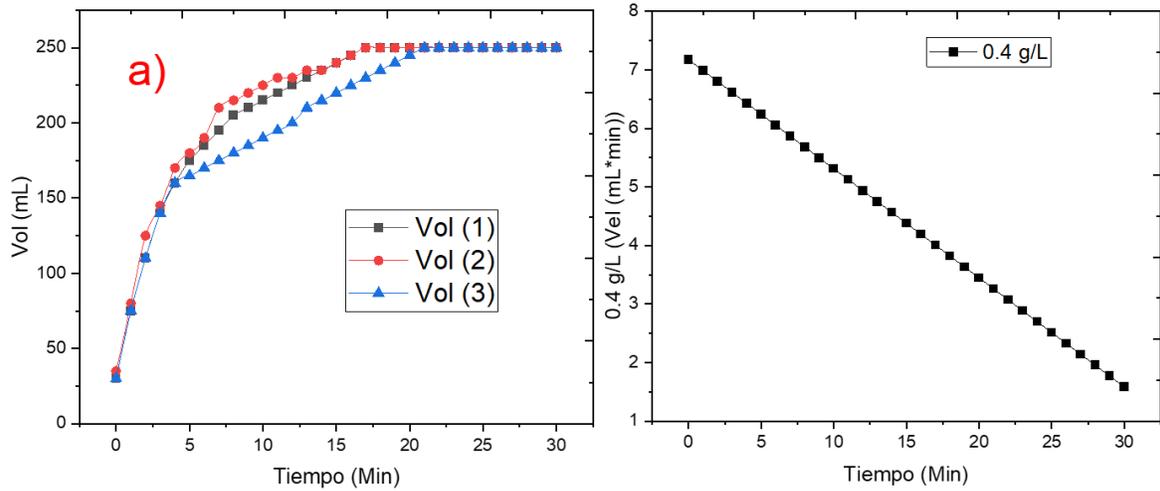


Figura 25. Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua fertilizada a la concentración 0.4 g/L (izquierda) con respecto a su velocidad promedio de las tres pruebas realizadas de hinchamiento (derecha).

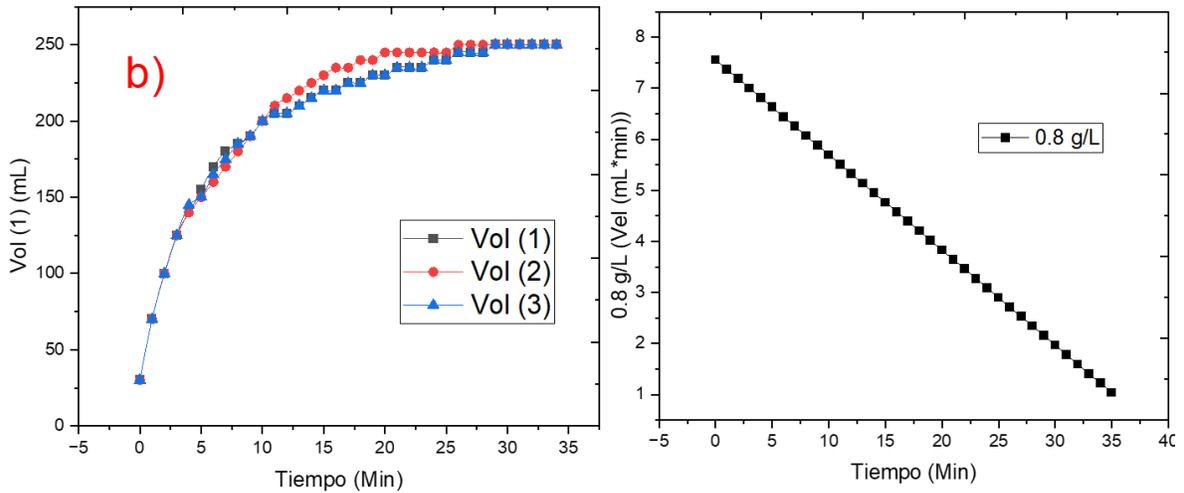


Figura 26. Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua fertilizada a la concentración 0.8 g/L (izquierda) con respecto a su velocidad promedio de las tres pruebas realizadas de hinchamiento (derecha).

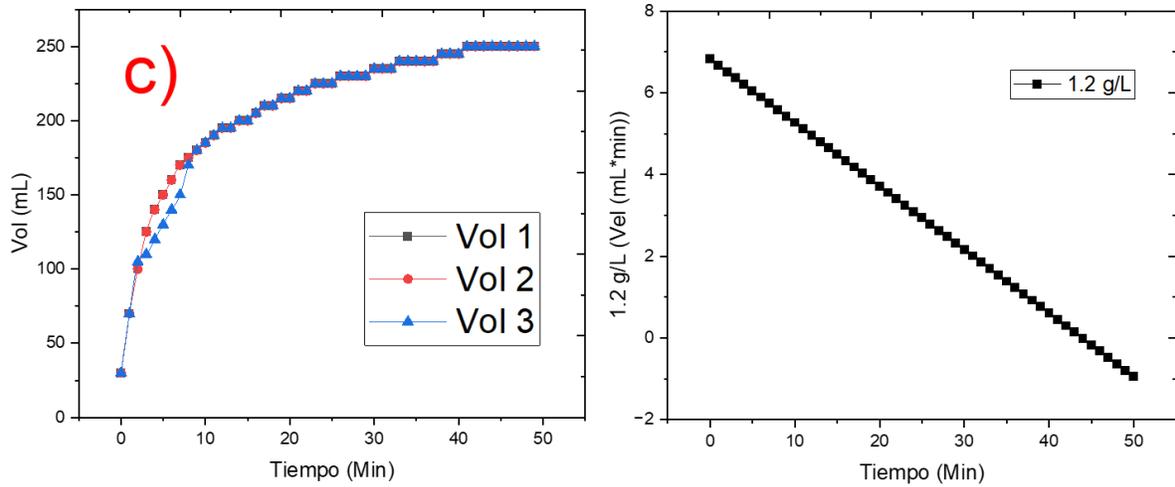


Figura 27. Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua fertilizada a la concentración 1.2 g/L (izquierda) con respecto a su velocidad promedio de las tres pruebas realizadas de hinchamiento (derecha).

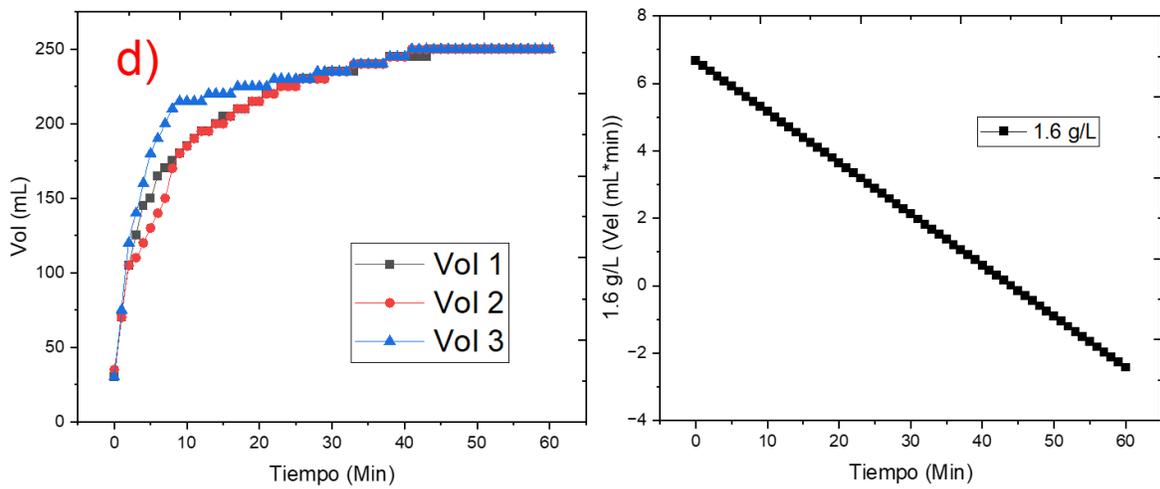


Figura 28. Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua fertilizada a la concentración 1.6 g/L (izquierda) con respecto a su velocidad promedio de las tres pruebas realizadas de hinchamiento (derecha).

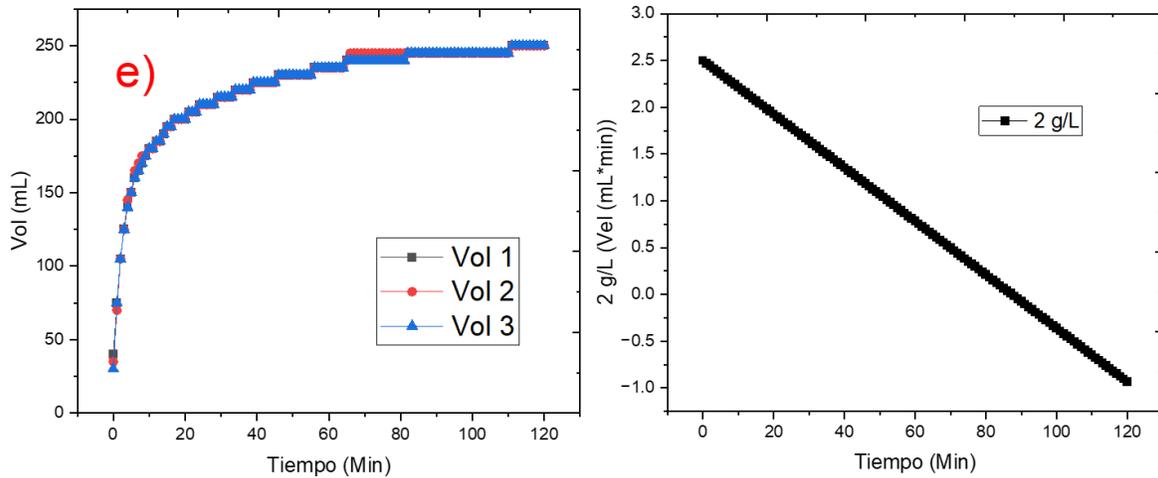


Figura 29. Datos correspondientes del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua fertilizada a la concentración 2 g/L (izquierda) con respecto a su velocidad promedio de las tres pruebas realizadas de hinchamiento (derecha).

A continuación, en figura 30 se presenta una comparativa de las pruebas realizadas con el hidrogel a diferentes concentraciones de agua fertilizada.

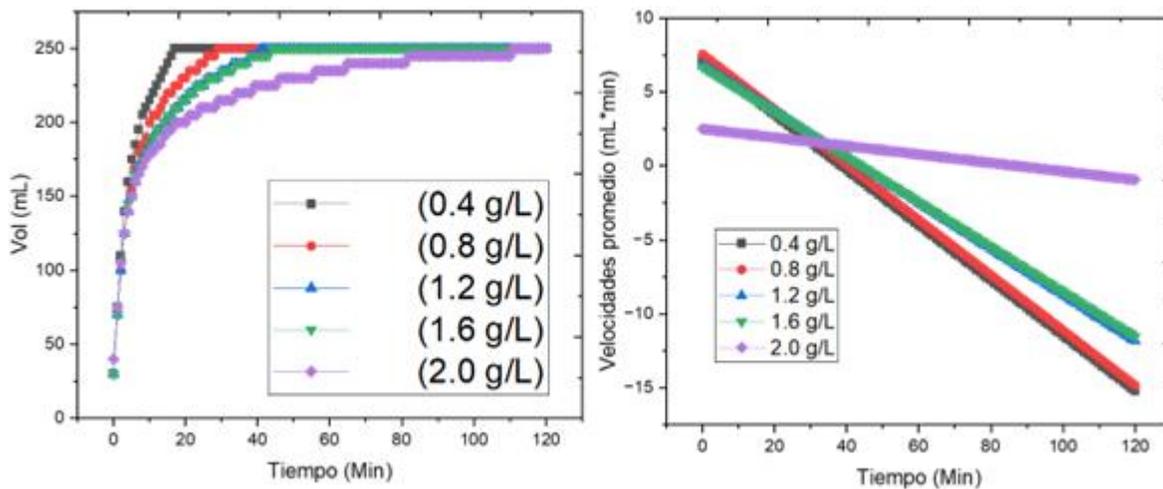


Figura 30. Comparativa del proceso de hinchamiento del hidrogel con agua fertilizada promedio a diferentes concentraciones utilizadas (izquierda) con respecto a sus velocidades promedio de las pruebas realizadas de hinchamiento (derecha).

Al analizar y contrastar los resultados obtenidos de los estudios de la expansión del agua fertilizada en hidrogel, se puede notar una diferencia significativa en la velocidad de hinchamiento a bajas concentraciones al comienzo de las pruebas.

En consecuencia, el agua que ha sido enriquecida con fertilizante a concentraciones más altas requiere más tiempo para completar una expansión en comparación con el agua sin fertilizar. Esto significa que las moléculas de agua en un entorno fertilizado tienen más obstáculos y colaboraciones químicas para superar antes de alcanzar su estado de expansión máximo, lo que resulta en un aumento en el tiempo requerido para que ocurra el hinchamiento.

En resumen, el hinchamiento de agua con hidrogel alcanza un punto de estabilización entre los minutos 4 y 7 en las pruebas, mientras que el hinchamiento de agua fertilizada con hidrogel muestra una velocidad de expansión más lenta debido a las interacciones moleculares. Estas observaciones son esenciales para comprender cómo el hidrogel interactúa con diferentes tipos de agua y sustancias, lo que tiene implicaciones importantes en diversas aplicaciones prácticas, como la agricultura y la retención de agua en el suelo.

DETERMINACIÓN DE NUTRIENTES

Nitrógeno Total

Se encontraron tres diferentes volúmenes de tres diferentes pruebas hechas en la digestión Kjeldahl, haciendo un promedio gastado de 31.46 mL al hacer la valoración.

Posteriormente se realizó una valoración de un blanco con la solución estandarizada de hidróxido de sodio, dando resultado de un volumen gastado: 17.2 mL hasta el viraje de color.

La ecuación utilizada para el análisis de resultados es la siguiente:

$$\%Nitrogeno = \frac{[C_{Tit}(\frac{mol}{L})][V_B - V_M(L)][M.M.(\frac{g}{mol})]}{masa\ de\ la\ muestra\ (g)} \times 100$$

Donde:

C_{Tit} = Concentración titulante = 1 mol/L

V_B = Volumen del blanco = 0.03146 L

V_M = Volumen de la muestra = 0.0172 L

M.M. Nitrógeno = 14 g/mol

Sustituyendo valores en la ecuación 3, obtenemos que:

$$\%Nitrogeno = \frac{\left[1 \left(\frac{mol}{L}\right)\right] [0.03146 - 0.0172(L)] \left[14 \left(\frac{g}{mol}\right)\right]}{1 (g)} \times 100$$

$$\%Nitrogeno = 0.20244 \times 100$$

$$\%Nitrogeno = \mathbf{20.244 \%}$$

Para determinar la masa de nitrógeno obtenido obtenemos la relación del volumen consumido con la concentración titulante:

$$mNitrógeno = 17.2 \text{ mmol} \times 14 \text{ mg/mmol}$$

$$mNitrógeno = \mathbf{240.8 \text{ mg de nitrógeno} = 0.2408 \text{ g de nitrógeno}}$$

La composición en porcentaje promedio de los macronutrientes en un fertilizante puede variar según el tipo de planta que estés cultivando y las necesidades específicas de tu suelo. Sin embargo, existe una proporción generalmente aceptada de macronutrientes que se conoce como la proporción "N-P-K", que representa los porcentajes de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el fertilizante.

De acuerdo con los estándares normales de fertilizantes comerciales, el porcentaje 15-15-15 es distintivo por su proporción equitativa de nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Este equilibrio garantiza que las plantas reciban la nutrición adecuada durante todas las etapas del ciclo de vida. Este fertilizante tiene una concentración de nitrógeno superior al 15%, lo que lo distingue de otras fórmulas y confirma su capacidad para promover un crecimiento saludable.

Este fertilizante es una herramienta versátil que satisface las necesidades nutricionales de una amplia gama de plantas, ya sea en pequeños jardines caseros o en extensas áreas de cultivo. Su popularidad deriva de su eficacia en el suministro de nutrientes esenciales en proporciones equilibradas, lo que contribuye al éxito en el cultivo de diversas especies vegetales y a la promoción de un crecimiento vigoroso y productivo.

Fósforo

Utilizando el método Olsen, se llevó a cabo la construcción de una curva patrón. Posteriormente, se procedió a analizar una muestra representativa de fertilizante, con una cantidad de 1 g. La absorbancia de la muestra se registró a una longitud de onda de 470 nm utilizando un espectrofotómetro. Como consecuencia de estas mediciones, se obtuvo un resultado determinado. (Figura 31):

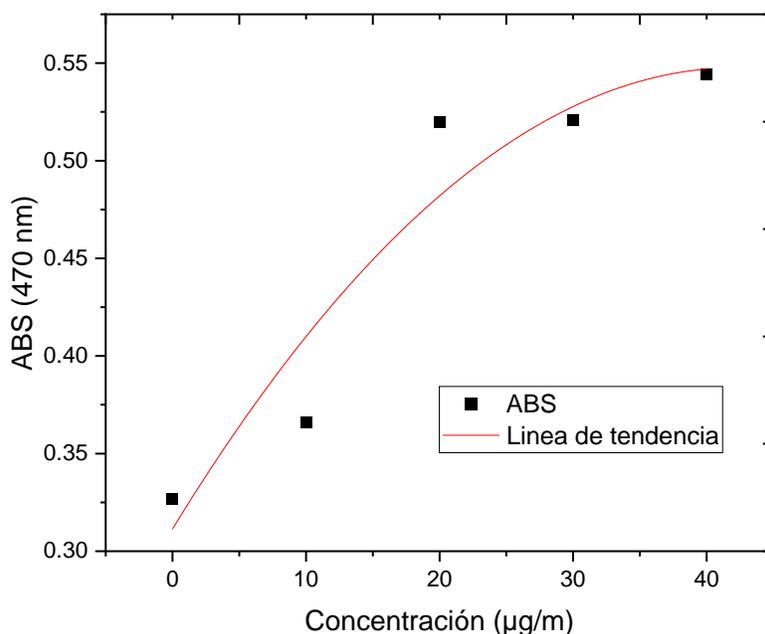


Figura 31. Curva de absorbancia contra concentración.

A continuación, se muestran los parámetros estadísticos correspondientes a la línea de tendencia polinómica. A través de este análisis, es posible observar una serie de resultados estadísticos que brindan información importante acerca de la relación entre las variables estudiadas.

Tabla 9. Parámetros obtenidos en la recta del crecimiento total

B1	0.01118 ± 0.00477
B2	- 1.32143E-4 ± 1.14462E-4
Coefficiente de Determinación	0.9101
Coefficiente de Correlación	0.8202

Se obtiene que la correlación entre la absorbancia y la concentración de fósforo se realizó un ajuste mediante mínimos cuadrados con origen en cero obteniendo un coeficiente de determinación; $R^2 = 0.9101$.

Durante el proceso de análisis, se llevó a cabo la evaluación de fertilizante, y se registró una lectura de absorbancia de 0.4. A partir de esta medición, se pudo determinar que la concentración de fósforo presente en dicho fertilizante alcanzó un valor de **13 µg/mL**.

De acuerdo con (Raúl López Aguilar et Al, 2002) es común realizar disoluciones de los extractos de la muestra con el propósito de que el valor de su absorbancia quede dentro del rango de la línea de medición. En este ejemplo la muestra fue diluida 5 veces, por lo cual la concentración real de fósforo en la muestra es de 13 µg/mL x 5 = **65 µg P/ 50 mL**, o su equivalente, **65 µg P/ 1 g de muestra**.

Generalmente la concentración de P en los suelos se expresa como mg P/100g de suelo, o en ppm (µg P/g de suelo = mg P/Kg de suelo).

Para transformar el valor de 65 µg P/ 1 g de muestra. A mg P/100 g de suelo u otra unidad como ppm se realiza la operación siguiente:

$$\frac{\mu\text{g P}}{\text{g}} \text{ de suelo (ppm)} = \frac{65}{1} = 65 \frac{\mu\text{g P}}{\text{g de suelo (ppm)}}$$

O para la transformación a mg P/100 g de suelo:

65 µg P/1 g de suelo = 0.065 mg P/1 g de suelo, por lo tanto:

$$\frac{\text{mg P}}{\text{g}} \text{ de suelo (ppm)} = \frac{0.065 \times 100}{1} = 6.5 \frac{\text{mg P}}{100 \text{ g de suelo}}$$

Si la determinación de fósforo es 6.5 (mg P) / (100 g de suelo):

$$\text{Fósforo (g P}_2\text{O}_5\text{/g suelo)} = \frac{6.5 \text{ mg}}{100} = 0.065 \frac{\text{g P}}{\text{g de suelo}}$$

Porcentaje de fósforo (%) = 0.065 g P₂O₅/g suelo × 100 = 6.5%

Por lo tanto, la concentración de fósforo expresada como P₂O₅ en la muestra de suelo es del **6.5%** en peso.

Esta observación indica que la composición de este fertilizante desarrollado es inferior en comparación con las recomendaciones estándares de los fertilizantes comerciales. No obstante, el 15-15-15 destaca por su característica fundamental: la proporción uniforme de nutrientes esenciales que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas. En este caso, la equitativa distribución de sus componentes nutricionales es el factor distintivo del fertilizante 15-15-15.

De manera general, la concentración observada indica la presencia de una relación no lineal entre la cantidad de fósforo presente y la absorbancia medida en la muestra que fue sometida al análisis. En otras palabras, los datos sugieren que los cambios en la concentración de fósforo no se traducen directamente en cambios proporcionales en la absorbancia, lo que podría indicar cierta complejidad en la interacción entre estas variables.

Cobre

Mediante electroanálisis se determinó cobre a diferentes concentraciones anteriormente descritas y se elaboró una curva patrón; se destacaron los procesos de reducción y oxidación del cobre, los cuales se manifestaron en los voltamperogramas obtenidos a diferentes concentraciones de cobre en solución acuosa. En particular, se focalizó en el proceso de reducción del cobre, el cual fue analizado exhaustivamente para determinar la carga electroquímica, utilizando la información obtenida a través del área bajo la curva.

La muestra objeto de análisis, consistió en una solución de fertilizante que se aplica durante el riego de la especie de *orquídea phalaenopsis*. Los resultados de este

análisis electroquímico proporcionaron información crucial sobre la composición y concentración de cobre presente en la solución de fertilizante, contribuyendo así a una identificación concreta de acuerdo con los efectos relacionados con la aplicación de este fertilizante en el cultivo de la orquídea.

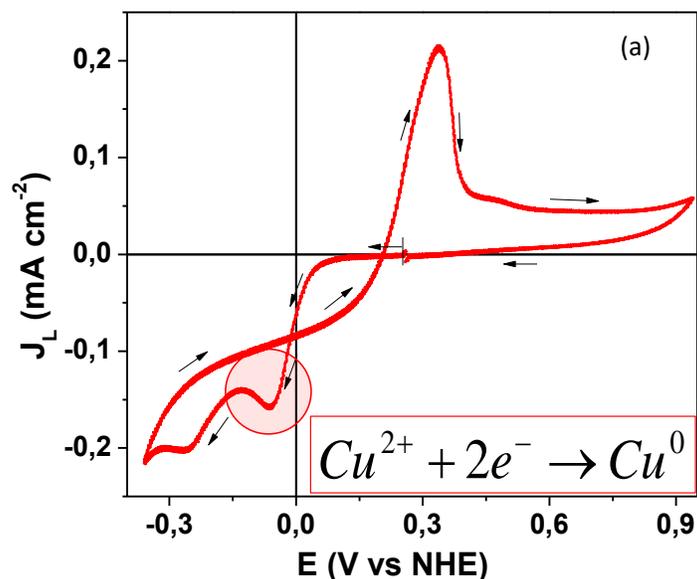


Figura 32. Identificación del proceso de reducción en el voltamperograma obtenido en las soluciones de la curva patrón

En la figura 31 se muestra uno de los voltamperogramas obtenidos en donde se identificaron los procesos de reducción de Cu (II) a Cu (I) y de Cu (I) a Cu (0) . Debido a que el barrido durante la microelectrólisis fue de 10 mV/s y en el regreso en dirección positiva, se observa el paso de Cu (0) a Cu (II) como único proceso debido al exceso de concentración en la interfase.

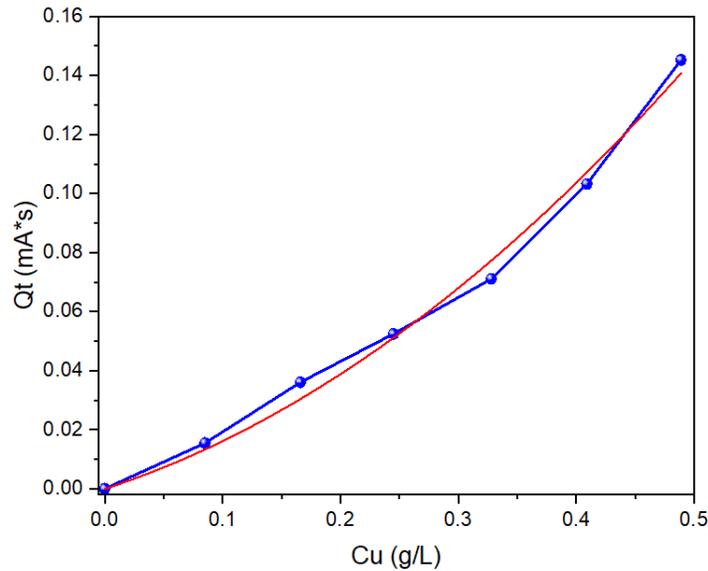


Figura 33. Curva patrón de cobre

Para determinar la correlación entre la carga (área bajo la curva de los picos de reducción) y la concentración de cobre se realizó un ajuste mediante mínimos cuadrados (Figura 32) con origen en cero obteniendo una $R^2 = 0.99615$, los parámetros obtenidos son:

$$y = 1.2954 \times 10^{-4} X + 3.23836 \times 10^{-4} X^2 \dots\dots \text{Ec. 1}$$

$$Q_t = 1.2954 \times 10^{-4} Cu + 3.23836 \times 10^{-4} Cu^2 \dots\dots \text{Ec. 2}$$

Tabla 10. Parámetros obtenidos de la curva patrón de cobre

B1	1.29514E-4 ± 2.47678E-5
B2	3.23836E-4 ± 6.07628E-5
Coefficiente de Determinación	0.99725
Coefficiente de Correlación	0.99615

Esta última ecuación (Ec. 2) se refiere a la cantidad total de carga eléctrica (Q_t), generada en un proceso electroquímico en función de la concentración de iones de cobre (Cu) presentes en la disolución. La ecuación de segundo grado que muestra una relación cuadrática entre la carga eléctrica y la concentración de iones de cobre,

lo que indica que la cantidad de carga eléctrica generada puede aumentar rápidamente a medida que aumenta la concentración de iones de cobre.

Para despejar la variable Cu de la ecuación dada, debemos igualar la ecuación a un valor específico de Qt y luego resolver la ecuación resultante.

La ecuación dada es:

$$Q_t = 1.2954 \times 10^{-4} Cu + 3.23836 \times 10^{-4} Cu^2$$

Para despejar Cu, igualamos Qt a un valor específico, por ejemplo, a "y":

$$y = 1.2954 \times 10^{-4} Cu + 3.23836 \times 10^{-4} Cu^2$$

Luego, reorganizamos la ecuación en forma cuadrática:

$$3.23836 \times 10^{-4} Cu^2 + 1.2954 \times 10^{-4} Cu - y = 0$$

De acuerdo con la ecuación cuadrática estándar en términos de "Cu", se pudo resolver utilizando la fórmula general para resolver ecuaciones cuadráticas:

La fórmula general para resolver una ecuación cuadrática $ax^2 + bx + c = 0$ es:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

En este caso, $a = 3.23836 \times 10^{-4}$, $b = 1.2954 \times 10^{-4}$, y $c = -y$.

Sustituyendo los valores en la fórmula, obtenemos:

$$Cu = \frac{-(1.2954 \times 10^{-4}) \pm \sqrt{(1.2954 \times 10^{-4})^2 - 4(3.23836 \times 10^{-4})(-Qt)}}{2(3.23836 \times 10^{-4})} \dots Ec 3$$

Simplificando los cálculos, obtenemos la solución para Cu en términos de "y". La solución tendrá dos valores debido al signo \pm , ya que es una ecuación cuadrática. En este caso se tendrá el valor positivo para cada concentración obtenida.

Se realizaron varias corridas de voltamperometrías cíclicas a diferentes concentraciones de una raíz previamente triturada de cada planta de para su

análisis y se le aplicó ácido nítrico (HNO_3) al 10% (v/v), a esto se le conoce como "acidificación de la raíz" o "acidificación del medio radicular". Este proceso se refiere a la práctica de ajustar el pH del suelo o medio de cultivo alrededor de las raíces de las plantas mediante la adición de una solución ácida.

Posteriormente después de realizar las corridas voltamperométricas se obtuvo el área bajo la curva de cada una de ellas en donde se determinó la concentración real de cobre en la raíz como de una flor de la orquídea (ver tabla 11).

Los pesos de las raíces obtenidas de cada concentración de estudio fueron:

$$2 \text{ g/L} = 1.616 \text{ g}$$

$$1 \text{ g/L} = 1.652 \text{ g}$$

$$0.4 \text{ g/L} = 1.646 \text{ g}$$

$$\text{Flor} = 0.041 \text{ g}$$

$$\text{pH}_{\text{prom}} = 1.02$$

Tabla 11. Concentraciones de cobre obtenidas en la planta a partir de las diferentes muestras de plantas obtenidas en g/L empleadas en el Potenciostato-Galvanostato.

Concentración de Muestra	Qt (mA*s)	[Cu] (g/L)	[Cu] Prom. (g/L)
1 g/L	5.2024E-05	0.2479	0.2648
	5.7699E-05	0.2671	
	6.1483E-05	0.2794	
0.4 g/L	5.5009E-05	0.2581	0.2695
	5.8053E-05	0.2683	
	6.2348E-05	0.2822	
2 g/L	4.9648E-05	0.2397	0.1244
	1.8489E-05	0.1116	
	3.0000E-06	0.0220	
Flor	1.0049E-04	0.3919	0.3882
	1.0742E-04	0.4097	
	8.9701E-05	0.3630	

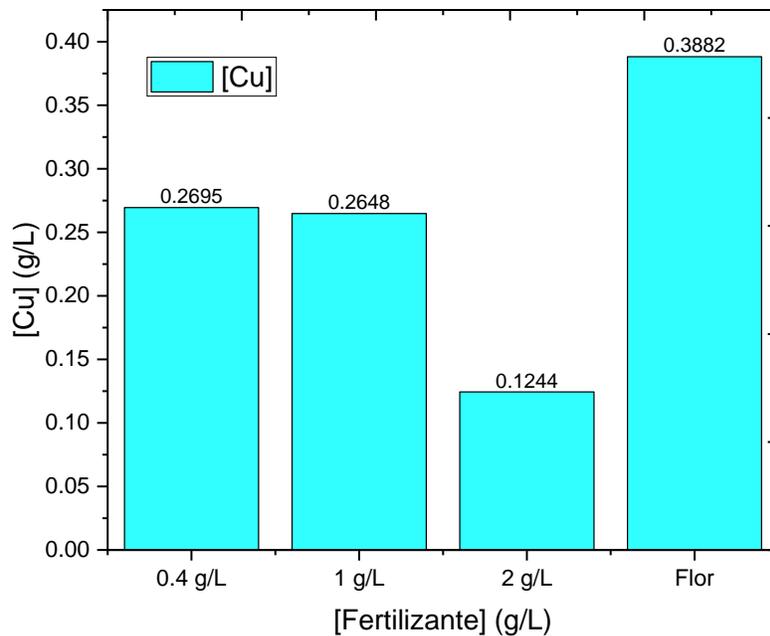


Figura 34. Concentraciones de cobre obtenidas en la planta a partir de las diferentes muestras de plantas obtenidas en g/L empleadas en el Potenciostato-Galvanostato

La determinación de la concentración de cobre en este contexto se relaciona con el análisis del fertilizante enriquecido con cobre en el crecimiento y desarrollo de las orquídeas. La tabla proporciona información valiosa sobre cómo diferentes concentraciones del fertilizante afectan la absorción de nutrientes, incluyendo el cobre, por parte de las plantas.

En primer lugar, se observa que al administrar el fertilizante a las orquídeas a concentraciones bajas (0.4 g/L y 1 g/L), se logra una mayor eficacia en la absorción de nutrientes, particularmente en las raíces. Esto sugiere que las orquídeas tienen una capacidad de absorción más efectiva a concentraciones más bajas de cobre en el fertilizante. Esta información es crucial para determinar la concentración óptima de cobre que las orquídeas necesitan para un crecimiento saludable.

Por otro lado, cuando se utiliza una concentración más elevada del fertilizante (2 g/L), se observa un aprovechamiento menos eficiente de los nutrientes en toda la planta. Esto puede indicar que una concentración más alta de cobre en el fertilizante

puede tener efectos adversos en el desarrollo de las orquídeas, lo que resalta la importancia de encontrar un equilibrio en la dosificación de nutrientes.

Además, los hallazgos indican que la flor de la orquídea tiene una asimilación significativamente alta de los nutrientes provenientes del fertilizante. Esto implica que más del 50% de los componentes nutricionales, incluyendo el cobre, se disuelven y son absorbidos por la flor, las hojas y el sustrato. Esta observación resalta la importancia de una dosificación precisa del fertilizante, ya que una flor de orquídea saludable y un florecimiento óptimo dependen de la disponibilidad adecuada de nutrientes, incluyendo el cobre.

Finalmente, la determinación de la concentración de cobre en el fertilizante es esencial para garantizar un crecimiento saludable de las orquídeas. Los resultados sugieren que concentraciones bajas son más efectivas para la absorción de nutrientes, mientras que concentraciones elevadas pueden ser menos eficientes y potencialmente perjudiciales. La asimilación eficiente de nutrientes por parte de la flor resalta la necesidad de una dosificación precisa para lograr un desarrollo óptimo de la planta y un florecimiento saludable.

CONCLUSIONES

Análisis de la calidad del agua

La determinación de dureza, alcalinidad o acidez en el agua mostró que la concentración de carbonato de calcio (CaCO_3) obtenida es mayor a 180 mg/L. Esto confirma que el agua analizada es considerada como "agua dura", debido a que la concentración excede el umbral de 120 mg/L de CaCO_3 (establecido en la Norma Oficial Mexicana "NOM-AA-072-SCFI-2001").

Al analizar la acidez del agua según la Norma Oficial Mexicana (NMX-AA-036-SCFI-2001, 2001), se obtuvo un valor de 0.6496 mg/L en términos de carbonato de calcio equivalente. Este valor se encuentra dentro de los parámetros definidos por la

normativa (50 mg/L de CaCO₃), lo que significa que el agua cumple con los requisitos de acidez establecidos en México.

Los resultados de alcalinidad demostraron que la alcalinidad del agua, indica su capacidad para mantener el pH estable frente a cambios ácidos o alcalinos (menor a 70 mg/L de CaCO₃). Esto sugiere que el agua tiene una capacidad limitada para resistir cambios en el pH, lo que la hace propensa a volverse ácida en términos químicos y además cumple con la normativa vigente (menor a 200 mg/L de CaCO₃).

Hinchamiento del hidrogel

1. *Diferencia en la Velocidad de Hinchamiento*: Se demostró que la velocidad de hinchamiento del hidrogel varía significativamente según la composición del agua. En particular, se observó que el agua fertilizada mostró una velocidad de expansión más lenta, especialmente a bajas concentraciones, en comparación con el agua sin fertilizar. Esta diferencia en la velocidad de hinchamiento es fundamental y se debe a la presencia de un mayor número de interacciones moleculares en juego en el agua fertilizada.

2. *Impacto de las Interacciones Moleculares*: El agua enriquecida con fertilizante contiene una mayor concentración de partículas y compuestos que pueden afectar la absorción de agua por parte del hidrogel. Las moléculas de agua en un entorno fertilizado tienen más obstáculos y colaboraciones químicas que superar antes de alcanzar su estado máximo de expansión. Esto resulta en un aumento en el tiempo necesario para que ocurra el hinchamiento.

3. *Punto de Estabilización*: Se observó que el hinchamiento del hidrogel alcanzaba un punto de estabilización entre los minutos 4 y 7 en las pruebas, independientemente de si el agua utilizada era fertilizada o no. Esto sugiere que, después de cierto tiempo, el hidrogel alcanza su capacidad máxima de absorción, y el proceso de hinchamiento se vuelve constante.

En resumen, el hinchamiento de agua con hidrogel es un proceso interesante que se ve influenciado por la composición y concentración del agua utilizada. Estas observaciones tienen implicaciones significativas en aplicaciones prácticas, como la floristería y la retención de agua en el suelo, donde la capacidad del hidrogel para absorber agua es fundamental para su eficacia.

Determinación de nutrientes en el fertilizante

Para la determinación de nitrógeno total, el fertilizante 15-15-15 tiene una proporción equilibrada de estos nutrientes, especialmente un 15% de nitrógeno, lo que promueve un crecimiento saludable, debido a que se obtuvo un porcentaje mayor del 20%.

Dentro de la determinación de fósforo, la muestra de suelo tiene un 6.5% de fósforo expresado como P_2O_5 . Aunque el fertilizante tiene menos fósforo que las recomendaciones, el 15-15-15 se destaca por su equilibrada distribución de nutrientes que promueven el crecimiento de las plantas. En este caso, la uniformidad de nutrientes es lo distintivo del 15-15-15.

Para la determinación de cobre, al analizar la tabla 11, se observa que aplicar el fertilizante en bajas concentraciones (0.4 g/L y 1 g/L) mejora la absorción de nutrientes, especialmente en las raíces de las orquídeas. En comparación, a la concentración más alta como la de 2 g/L.

Estos resultados muestran que las flores de las orquídeas absorben nutrientes del fertilizante de manera notable. Más del 50% de estos nutrientes se disuelven en los tallos, hojas y sustrato de la orquídea. En otras palabras, la flor utiliza los nutrientes de forma efectiva, lo que destaca la importancia de dosificar el fertilizante con precisión para lograr un crecimiento general óptimo de la planta y un florecimiento saludable en particular.

Crecimiento de las Orquídeas

La planta "a" y "b" comparten la misma maceta, sin embargo, se observó únicamente el crecimiento de una planta, en este caso, la planta "a" y su comparación con la planta sin riego, revela información valiosa sobre los factores que influyen en el desarrollo vegetal. Los datos recopilados indican que, para ambas plantas, el día 70 marcó el punto máximo de crecimiento, lo que sugiere un patrón uniforme en su desarrollo.

Sin embargo, lo más destacado de este experimento es la diferencia significativa en el tratamiento aplicado a las plantas. La planta que recibió una fertilización específica mostró un crecimiento de acuerdo con lo indicado anteriormente en comparación con la orquídea que solo recibió riego semanal sin fertilización, en el que su crecimiento fue más moderado.

Además, es importante destacar la selección cuidadosa de las varas etiquetadas como "a)" y "b)" en el análisis. La vara "a)" fue monitoreada a lo largo del experimento, mientras que la vara "b)" fue excluida de la recopilación de datos debido a que había completado su proceso de florecimiento al inicio del experimento. Esto subraya la importancia de considerar la cronología y los estados de desarrollo al interpretar los resultados de manera precisa y significativa.

En general, la fertilización demostró ser un factor determinante para un crecimiento más robusto. La selección cuidadosa de las variables y el seguimiento de las plantas durante todo el experimento son esenciales para obtener un crecimiento vegetal y floral.

Evaluación del hidrogel fertilizado en la orquídea *phalaenopsis*

En resumen, se podría considerarse una mayor diversidad en los tratamientos aplicados a las plantas en el estudio de crecimiento. Explorar diferentes combinaciones de fertilización y riego, esto brinda una comprensión más profunda de cómo interactúan estos factores en el desarrollo de las plantas. Además,

observar cómo las variaciones en la frecuencia y cantidad de riego podrían influir en los resultados proporcionando un amplio panorama de las prácticas de cuidado.

En la caracterización de fertilizantes, sería valioso investigar cómo diferentes proporciones de nutrientes en los diferentes tipos de fertilizantes pueden afectar de manera específica a las plantas y cultivos. También se podría explorar cómo los nutrientes se liberan y absorben a lo largo del tiempo, lo que podría proporcionar una guía más precisa para la aplicación de fertilizantes en diferentes etapas de crecimiento.

Por último, se considera que este proyecto tiene un área de oportunidad en el campo, específicamente en el mercado de plantas de Xochimilco (actualmente, se cuenta con un negocio propio). Se considera que el cliente siempre busca una manera sencilla del cuidado de sus orquídeas y sobre todo sin la necesidad de gastar mucho en su mantenimiento.

Cabe destacar, que se pretende introducir al mercado el hidrogel fertilizado en dos opciones: una vez que el cliente (frecuente y ocasional) adquiera una orquídea se le incluya un kit para dar a conocer el producto (se considera el costo dentro de su consumo), el cual contiene 4g de hidrogel y 1g de fertilizante preparado en 1L de agua, y la segunda opción como el cliente ya conoce el producto adquiera el kit de manera individual, aunque, también el cliente que sin haberlo conocido anteriormente y le interese el producto se le pueda vender. Se desea que comercializar el producto de hidrogel fertilizado garantice por más de dos meses el riego pasivo y fertilización con un margen de ganancia del 60%.

REFERENCIAS

- Alquera. (2022). *Alquera*. Obtenido de PROPIEDADES POLIACRILATO DE SODIO: <https://www.alquera.com/poliacrilato-de-sodio/propiedades/>
- AppliChem, P. (Sin fecha). *Determinación de Nitrógeno por el método Kjeldahl*. Barcelona, España: ITW Reagents.
- Diaz, D. D. (2006). Los geles: una maravilla de la ciencia al servicio de la sociedad. *Dialnet, Un breve viaje por la ciencia*, 19-24.
- Freuler, Maria Julia. (2008). *Orquideas*. Albatros.
- Harris, D. C. (2010). *Análisis Químico Cuantitativo* (3ª ed. ed.). México D.F: Reverte.
- Hickey, S. A. y N. A. Peppas. (1995). Mesh size and diffusive characteristics of semicrystalline poly(vinyl alcohol) membranes prepared by freezing/thawing techniques. *Journals Membrane Science*, 229-237.
- Hui Liu, et al. (2023). Polyurethane-based hydrogel fertilized with micronutrients for wheat growth improvement. *Plant Physiology and Biochemistry*, 167, 104-113.
- Idrobo, Humberto Junior; Rodríguez, Andrés Mauricio; Díaz Ortíz, Jaime Ernesto. (2010). Comportamiento del hidrogel en suelos arenosos. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 33-37.
- ISUSA, I. S. (Sin Fecha). NPK 15-15-15, Uso doméstico y huertas en granel. San José, Uruguay.
- Jing Zhang, et al. (2023). Chitosan-based hydrogel fertilized with potassium phosphate for rice growth improvement. *Journal of Plant Physiology*, 225, 153-162.
- Klempner. (1990). *Concise Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*. New York: John & wileySon.
- Mexicana, N. O. (2001). *NOM-AA-072-SCFI-2001 "Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas"*. México DF: Diario Oficial de la Federación.
- NMX-AA-036-SCFI-2001. (2001). Determinación de la acidez y alcalinidad total de agua - Método potenciométrico. *Diario Oficial de la Federación*. Mexico.
- Ramírez., J. M. (2000). *Algunos conceptos sobre fertilizantes*. Barcelona, España.: Césped Deportivo, BASF.

- Raúl López Aguilar, Bernardo Murillo Amador, Mario Benson Rosas, Eduardo López Arce, Gabriela Valle Meza. (2002). *Manual de Análisis Químicos de Suelos*. La Paz, B. C. S. México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste.
- Rural, S. d. (2019). *¿Qué es y para qué sirve el fertilizante?* Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural:
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/que-es-y-para-que-sirve-el-fertilizante>.
- Salazar Mercado, Seir Antonio, Amaya Nieto, Anggy Zulay, & Barrientos Rey, Fernando. (). (2013). Evaluación de diferentes medios de cultivo in vitro en el desarrollo de híbridos de *Phalaenopsis* (Orchidaceae). *Revista Colombiana de Biotecnología.*, 97-105.
- Xiaowei Wang, et al. (2023). Starch-based hydrogel fertilized with nitrogen and phosphorus for tomato growth improvement. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71 (17), 6306-6316.