

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



TESIS:

Contenido de hierro, fósforo, zinc y magnesio en *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”, Ayacucho - 2024

Para optar el título profesional de:

BIÓLOGO, ESPECIALIDAD: BIOLOGÍA PESQUERA

PRESENTADO POR:

Bach. Americo URBANO ARREA

ASESOR:

Dr. Raúl Antonio MAMANI AYCACHI

AYACUCHO - PERÚ

2025

A mi familia.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por la formación académica en estos años de la carrera.

A la Facultad de Ciencias Biológicas, por ser mi segundo hogar, por brindarme muchas experiencias en mi vida estudiantil y ayudarme a lograr materializar mis estudios en la carrera profesional de Biología.

Al Dr. Raúl Antonio Mamani Aycachi por su apoyo en el transcurso de la experimentación de mi trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1 ANTECEDENTES	3
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	3
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES	5
2.2 MARCO CONCEPTUAL	6
2.2.1. Hierro	6
2.2.2. Fósforo	7
2.2.3. Zinc	9
2.2.4. Magnesio	11
2.2.8 Clasificación sistemática de <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza “elodea”	14
2.2.9 Determinación de hierro por el método de la 1,10- fenantrolina	15
2.2.10 Determinación de fósforo por el método de Azul de molibdeno	15
2.2.11 Determinación de magnesio en plantas (Método de Eriocromo T - ECT	16
2.2.12 Determinación de zinc en plantas por el método de la Dithizona	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Lugar de ejecución	17
3.2 Aspectos físicos de la zona	17
3.3 Muestra	17
3.4 Tamizaje fitoquímico	18
3.5 Cuantificación de hierro total en “elodea”	21
3.6 Determinación de magnesio en plantas por el método de Eriocromo T- ECTN	22
3.7 Determinación de fósforo por el método de azul de molibdeno en “elodea”	23
3.8 Método colorimétrico para la determinación de zinc, por el método de la Dithizona	23

3.9 Análisis estadístico	24
IV. RESULTADOS	25
V. DISCUSIONES	30
VI. CONCLUSIONES	33
VII. RECOMENDACIONES	34
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
ANEXOS	38

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01. Curva espectral de hierro	40
Figura 02. Curva de calibración para hierro	40
Figura 03. Concentración de hierro en tallos y hojas de <i>Elodea</i> <i>potamogeton</i> (Bert.) Espinoza	40
Figura 04. Curva de calibración para fósforo	43
Figura 05. Concentración de fósforo en tallos y hojas de <i>Elodea</i> <i>potamogeton</i> (Bert.) Espinoza	43
Figura 06. Curva espectral de zinc	45
Figura 07. Curva de calibración para zinc	45
Figura 08. Concentración de zinc en tallos y hojas de <i>Elodea</i> <i>potamogeton</i> (Bert.) Espinoza	46
Figura 09. Curva de calibración para magnesio	48
Figura 10. Concentración de magnesio en tallos y hojas de <i>Elodea</i> <i>potamogeton</i> (Bert.) Espinoza	48

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tamizaje fitoquímico del extracto hidroalcohólico de la <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza – UNSCH – Ayacucho - 2025	25
Tabla 2. Concentración y desviación estándar de hierro en el tallo y hoja de <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza – UNSCH – 2025	26
Tabla 3. Concentración y desviación estándar de fósforo en el tallo y hoja de <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza – UNSCH – 2025	27
Tabla 4. Concentración y desviación estándar de zinc en el tallo y hoja de <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza – UNSCH – 2025	28
Tabla 5. Concentración y desviación estándar de magnesio en el tallo y hoja de <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza – UNSCH – 2025	29

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo evaluar el contenido de hierro, fósforo, zinc y magnesio en *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”, en sus hojas y tallos. Para la determinación del contenido de hierro, se utilizó el método colorimétrico de 1,10-fenantrolina; para el contenido de fósforo, el método de azul de molibdeno; para el contenido de zinc, el método de la Dithizona y para determinar el contenido de magnesio, el método negro eriocromo T. Asimismo, se realizó en tamizaje fitoquímico de *Elodea potamogeton*, cuyos resultados indicaron la presencia de cumarinas, los triterpenos/esteroides, compuestos fenólicos/taninos y aminoácidos/aminas en la categoría de abundantes. En cuanto al contenido de hierro, se obtuvieron 3,551 mg/l en hojas y 1,879 mg/l en tallos; para el contenido de fósforo se obtuvo 35,070 mg/l en tallos y 49,046 mg/l en hojas; para el contenido de zinc, se obtuvo 1,873 mg/l en tallos y 1,961 mg/l en hojas; por último, para determinar el contenido de magnesio, se obtuvo valores de 1,648 mg/l en tallos y 5,047 mg/l en hojas. Se concluyó que esta planta tiene metabolitos y minerales que le ayudan en su desarrollo con su entorno para su subsistencia; asimismo, constituye un recurso importante para futuras formulaciones de alimentos para peces ornamentales.

Palabras clave: *Elodea potamogeton*, minerales, hierro, fósforo, zinc, magnesio, metabolitos, tamizaje fitoquímico.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú se ha reportado a *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”, que también guarda similitud con sus pares *Elodea peruviana* H. St. John; *Elodea titicacana* H. St. John, caracterizándose por ser dioica. Asimismo, se diferencian porque sus hojas en algunas son lanceoladas y en otras elípticas, y algunas forman grupos de cuatro en cada nudo. *Elodea potamogeton* se encuentra distribuido a lo largo del Perú desde Amazonas hasta Tacna (Galán et al., 2021). Es de suma importancia conocer las plantas vasculares de las aguas continentales, pues ellas constituyen el soporte de la alimentación de muchas especies acuáticas que la cadena trófica nos presenta y contribuyen al soporte nutricional de muchas especies hidrobiológicas. En el Perú existen muchas de estas especies acuáticas y de gran biodiversidad, debemos resaltar que estas plantas acuáticas juegan un rol importante en los ecosistemas lóticos y lénticos, pues cumplen un papel importante en su economía por constituir una materia prima para diversas actividades. En el Perú, se hace referencias de plantas vasculares acuáticas en la obra de Weberbauer (1945), también hace referencias a estas especies los trabajos de Ferreyra (1983). Sin embargo, debemos resaltar que las investigaciones florísticas y limnológicas de ambientes acuáticos son aún escasas, asimismo existe un creciente interés por la conservación de ambientes acuáticos y el conocimiento de sus características ecológicas y recursos bióticos (Kahn et al., 1993).

Las plantas acuáticas requieren minerales esenciales para su crecimiento y metabolismo, destacando elementos como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y hierro. Estos nutrientes participan en procesos vitales como la fotosíntesis, la regulación osmótica y la defensa frente a factores ambientales. A diferencia de las plantas terrestres, las acuáticas absorben minerales tanto por

raíces como por tejidos sumergidos, adaptándose a las variaciones del medio. En especies como *Elodea potamogeton*, esta capacidad favorece su desarrollo y contribuye a funciones ecológicas como la oxigenación y la mejora de la calidad del agua.

Objetivo general

Evaluar el contenido de hierro, fósforo, zinc y magnesio en *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”.

Objetivos específicos

- Cuantificar el contenido de hierro por el método colorimétrico de 1,10 - fenantrolina en hojas y tallos de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”.
- Determinar el contenido de fósforo por el método de azul de molibdeno en hojas y tallos de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”.
- Determinar el contenido de zinc por el método de la dithizona en hojas y tallos de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”.
- Determinar el contenido de magnesio por el método eriocromo T en hojas y tallos de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”.
- Realizar el tamizaje fitoquímico de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes internacionales

Mamani (2006), realizó una investigación con el propósito de suplementar con heno de *Elodea potamogeton* “elodea” y heno de *Shoenoplectus totora* “totora”, para la alimentación de ganado, entre los hallazgos reportados, indicó un porcentaje de materia seca para “elodea” de 83.4% y 96.4% para totora, un contenido de energía metabolizable para heno de “elodea” 1.6 Mcal/kg y para heno de totora 2.1 Mcal/kg, un contenido de proteína de 8.3% para heno de “elodea” y 8.4% para heno de “totora”.

Cutili (2014), desarrolló una investigación para conocer el aporte de forrajes preparados con agregados de *Elodea potamogeton* y *Schoenoplectus totora*, logrando determinar que “elodea” posee mayor contenido de proteína cruda con 17.8% y fibra cruda 15.4 % frente al forraje preparado a base de *Schoenoplectus totora* con un contenido de proteína cruda de 5.4% y fibra cruda con 28.4%, así también “elodea” presentó mayor digestibilidad con 88% y totora con 86.8%; por otro lado, la digestibilidad de la proteína cruda para elodea fue 90% y para totora 65%. Con respecto al extracto etéreo el forraje elodea presentó una digestibilidad de 88% y un 64% para totora, el extracto de nitrógeno presentó valores para una digestibilidad de 93.2 % para “elodea” y 89% para totora, finalmente los nutrientes digestibles totales (NDT) se determinó 75% para totora y 67.4% para “elodea”. En cuanto a la energía digestible el valor más alto fue de 3.17 Mcal/kg para forraje elodea.

Geng et al. (2022), investigaron macrófitos sumergidos y sus biopelículas que son considerados como medio de transporte y transformación de metales en el ambiente acuático, en el trabajo tomaron muestras de aguas, sedimentos y macrófitos sumergidos como *Potamogeton crispus* L.. La composición de la

comunidad bacteriana es afectada por el nitrógeno total, con una dominancia del género *Aeromonas* entre 25 a 42%, *Acinetobacter* entre 16 a 30% y *Pseudomonas* entre 13 a 24% en las muestras de biopelícula epífita, que poseían la resistencia a los contaminantes de metales pesados. Los contenidos de cromo en biopelículas fueron significativamente más altos que a en las hojas entre 1,0 a 2,4 mg/kg, DW, mientras que los contenidos de cobre entre 11 a 14 mg/kg, DW, en las hojas fueron más altos que aquellos en biopelículas con 0,7 a 4 mg/kg, DW en los tres sitios. Los resultados mostraron que la biopelícula epífita tuvo efectos positivos en la bioacumulación de metales. La bioacumulación por la biopelícula epífita podría ser una alternativa para la biorremediación de metales como el cromo.

Dai et al. (2022), en la investigación que llevaron a cabo, manifestaron que la formación de colonias de fitoplancton desempeña un rol importante en la capacidad antidepredación y en mitigación de competencia entre organismos fotosintéticos, pudiendo afectar la estructura de cadena trófica por tanto del ecosistema acuático. Los resultados evidenciaron que *Chlorella vulgaris* inhibió su crecimiento por estrés del macrófito *Potamogeton crispus*. Además, el número de células por colonia y la proporción de colonias de *Chlorella vulgaris* aumentaron significativamente con la presencia de extractos de *Potamogeton crispus*. Los resultados de esta investigación nos proporcionan información importante sobre las interacciones interespecíficas entre macrófitos acuáticos y algas verdes en los ecosistemas eutróficos contaminados con cianotoxinas.

Nájera (2016), realizó su investigación en el municipio de Barberena, Santa Rosa, donde se obtuvo información sobre la nutrición y productos que usan para el cultivo de café. Se determinó que los productos que manipulan con mayor frecuencia los caficultores son aquellos productos que contengan boro; productos que contengan zinc y potasio. La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de diferentes cantidades de silicio en el peso fresco, seco y altura de plantas de café (*Coffea arabica* L. variedad Catuaí) en almacigo. Nájera evaluó cantidades de: 3, 6, 9 y 15cc de TecnoSilix MgSL, 6, 9, 12 y 15 cc de Armurox como fuentes de silicio. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, un análisis de varianza (ANDEVA), y la prueba múltiple de medias Tukey y Contrates ortogonales con un 5% de significancia. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados y el testigo absoluto.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Huacasi y Adelaida (2016), llevaron a cabo una investigación en *Elodea potamogeton*, cuyo propósito fue conocer la composición química y el contenido de vitamina C. Los resultados evidenciaron que la composición química fue determinada mediante los métodos de la AOAC, encontraron una alta humedad de 38%, materia seca con un 6% de grasa bruta, 38% de fibra detergente neutro, 19.3% de proteína cruda y 17.9% de cenizas totales. El contenido de ácido ascórbico fue de 3.9 mg/g en “elodea” fresca.

Vasquez y Optaciano (2016), realizaron una investigación teniendo entre uno de sus propósitos cuantificar en *Elodea potamogeton*, *Myriophyllum elatinoides* y *Potamogeton strictus*, los metales pesados de Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Al, As, Ba y Hg. Los resultados evidenciaron entre otros las características de las aguas de los tributarios cuya temperatura oscilaba entre los 11 a 13 °C, la conductividad eléctrica entre 1738 a 1742 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el pH entre 7,12 y 8,14 unidades, la turbidez leve y elevada, el OD con valores comprendidos entre 5,6 y 5,7 mg/l, el color del agua aparente en un 80.0% de las muestras, el olor de leve a fétido en porcentaje. En ambas épocas, la biomasa de las macrófitas evaluadas no se les puede calificar como hiperacumuladoras de metales pesados. Los metales como el cadmio, cobre, plomo y mercurio presentes en las macrófitas *Myriophyllum elatinoides* y *Potamogeton strictus* no superan los niveles permisibles, mientras que aluminio, manganeso, arsénico y zinc superan los niveles de 0.10 mg/kg.

Mendoza (2020), en la investigación de plantas sumergidas de ecosistemas lénticos, manifestó que con ellas se inicia la cadena trófica, evaluó el bofedal de Minas Corral logrando registrar 16 especies en 13 géneros, 11 familias y 5 clases (Eudicotiledoneas, Monocotiledoneas, Bryopsida, Polypodiopsida y Lycopodiopsida). Siendo la más abundante *Ranunculus limoselloides* y con poca presencia *Azolla filiculoides*, *Lilaeopsis sp.* y *Juncus bufonius*. En cuanto a plantas sumergidas vasculares fueron registradas especies como *Elodea potamogeton* y *Myriophyllum quitense*, mientras que otras tenían partes sumergidas y partes aéreas como *Ranunculus flagelliformis* y *Lilaeopsis macloviana*.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Hierro

El hierro (Fe) es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre y, a su vez, el metal de transición más común. Las propiedades físicas de las aleaciones de hierro varían significativamente según los métodos de aleación y el tratamiento térmico seleccionados. Dichas aleaciones presentan una amplia diversidad de características, entre ellas resistencia mecánica, dureza, durabilidad, tolerancia a la corrosión y propiedades magnéticas, además de la capacidad de adquirir y conservar un filo agudo (Bishop et al., 2019).

A pesar de su abundancia en la corteza terrestre, el hierro se considera un componente traza en el organismo. Tanto en el estado ferroso [Fe (+2)] como en el estado férrico [Fe (+3)], los iones de hierro pueden participar en la química redox, lo que le permite realizar una variedad de funciones bioquímicas, como transportar otras sustancias con actividad bioquímica, participar en reacciones redox y transferir electrones. Sin embargo, esta elevada reactividad también implica un riesgo, ya que los iones de hierro libres pueden catalizar la generación de radicales libres tóxicos. Por esta razón, el organismo mantiene bajo control sus niveles de hierro libre en condiciones normales (Bishop et al., 2019).

2.2.1.1 Funciones de hierro en la planta

Las raíces absorben mejor el hierro como el ión ferroso (Fe^{2+}). Esta forma es más fácil de incorporar en las estructuras de las biomoléculas y es especialmente más soluble en la solución del suelo. La superficie de las ramas y la epidermis foliar también lo absorben. En la planta, se convierte en un ión férrico (Fe^{3+}) y luego se transporta a las hojas en forma quelatada con ácido cítrico, donde se almacena como ferritina (ferroproteína). El hierro es un componente de las metaloproteínas, como las ferrosulfoproteínas, los citocromos del tipo B y C, las citocromooxidasas, las catalasas, las peroxidasas y las monooxigenasas y dioxigenasas, y cumple el papel de catalizador en la formación de clorofila y en los procesos respiratorios. (Sequi y Piaggese, 2004).

2.2.1.2 Influencia de la disponibilidad

Se puede encontrar en el suelo como amorfos, fosfatos y humatos, así como en la estructura de muchos minerales cristalinos como óxidos e hidróxidos amorfos. Los suelos calcáreos producen óxidos e hidróxidos insolubles, lo que significa que, aunque esté presente en gran cantidad, la planta absorberá las

formas asimilables en niveles bajos. Las bajas temperaturas del suelo, la presencia excesiva de fósforo (P), aluminio (Al) y metales pesados como cobre (Cu), cadmio (Cd), manganeso (Mn), níquel (Ni) y zinc (Zn), junto con una absorción desequilibrada de cationes y aniones, influyen negativamente en la disponibilidad de nutrientes. (Sequi y Piaggese, 2004).

2.2.1.3 Síntomas de deficiencia de hierro

Las deficiencias se presentan principalmente en suelos con reacciones alcalinas, calcáreas y dolomíticas, y especialmente en suelos con deficiencias de potasio. Los suelos ácidos ricos en fósforo (P), donde el hierro se precipita en forma de fosfato, aún pueden tener deficiencia de hierro. Además, se han observado algunos casos en los que los follajes que han sido tratados con fungicidas que contienen cobre (Cu), manganeso (Mn) o zinc (Zn) han causado deficiencias de hierro. Esto significa que las hojas tratadas con el tiempo caen y aumentan significativamente los contenidos de estos elementos en el suelo. La clorosis intervenal muy pronunciada es el síntoma más común de la deficiencia en las hojas jóvenes. La deficiencia prolongada puede causar necrosis foliar y amarillamiento de las hojas más maduras (Sequi y Piaggese, 2004).

2.2.1.4 Sensibilidad de distintos cultivos a la deficiencia de hierro

MUY SENSIBLES	MEDIANAMENTE SENSIBLES	POCO SENSIBLES
Cítricos, vid, durazno, nogal, peral, soya, fresa, tomate, kiwi	Alfalfa, cebada, maíz, arroz, trigo, avena	Manzano, papa, betarraga

Fuente: Sequi y Piaggese (2004)

2.2.2. Fósforo

2.2.2.1 Fisiología del fosfato

Los compuestos de fosfato están presentes en todas las células vivas y están involucrados en muchos de los procesos bioquímicos más cruciales. Los fosfodiésteres complejos son los ácidos desoxirribonucleico y ribonucleico del material genético. La mayoría de las coenzimas son ácidos fosfóricos o polifosforicos. ATP, fosfato de creatina y PEP son las reservas de energía bioquímica más importantes. La depleción de ATP es un síntoma de la deficiencia de fosfato. La afinidad de la hemoglobina por el oxígeno se ve afectada por cambios en la concentración de 2,3-bisfosfoglicerato (2,3-BPG) en eritrocitos

porque se une a la hemoglobina en los tejidos periféricos, lo que facilita la liberación de oxígeno hacia esos tejidos (descarga), mientras que su disociación a nivel pulmonar facilita la unión de oxígeno a la hemoglobina. La concentración de fosfato inorgánico tiene un impacto indirecto en el transporte de oxígeno por la hemoglobina al influir en la formación del 2,3-BPG (Bishop et al., 2019).

La hipofosfatemia (disminución del fosfato en sangre) se debe principalmente al desplazamiento transcelular del ion, es decir, al incremento del paso de fosfato hacia el interior de las células. Por esta razón, resulta complejo explicar con precisión la causa de la alteración en su concentración sanguínea. Una vez que la célula capta fosfato, se utiliza para crear compuestos fosforilados. Los riñones regulan principalmente el fosfato inorgánico en la sangre a medida que estos compuestos son catabolizados (Bishop et al., 2019).

2.2.2.2 Fósforo en plantas

Uno de los diecinueve elementos que se consideran esenciales para la vida de las plantas es el fósforo. Su función es amplia en todos los procesos fisiológicos porque es un componente esencial de los sistemas responsables de la capacitación, el almacenamiento y la transferencia de energía, y es un componente fundamental de las estructuras de macromoléculas importantes como ácidos nucleicos y fosfolípidos. En el sistema suelo-planta, la mayoría del fósforo se encuentra presente en el suelo, mientras que menos del 10% se distribuye fuera del suelo. No obstante, los vegetales solo pueden aprovechar una pequeña porción del 90% (Fernández, 2007).

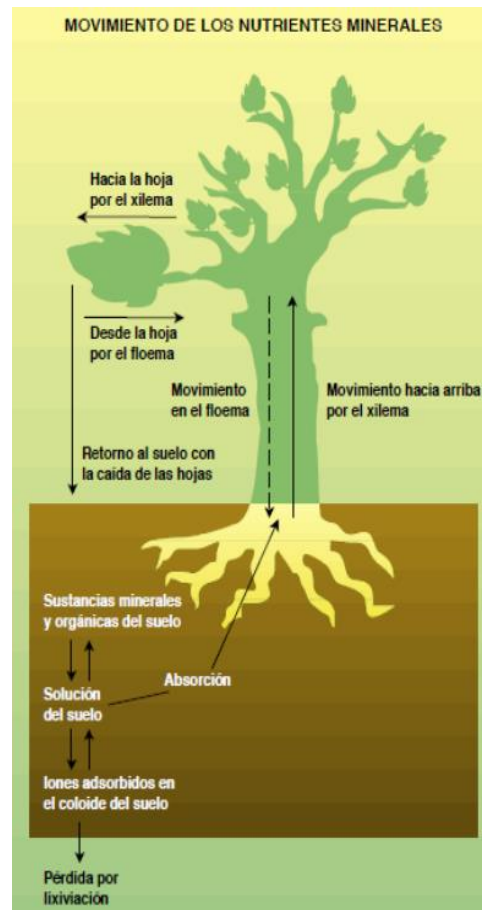
2.2.2.3 Interacciones suelo-planta en la nutrición fosforada de los vegetales

La concentración de fósforo en la solución del suelo suele ser de aproximadamente 0.05 ppm, lo que indica una concentración muy baja en comparación con la que se absorbe por las superficies activas. En consecuencia, cuando las plantas crecen en el suelo, únicamente una fracción reducida de fósforo alcanza la superficie de las raíces, donde es absorbido de manera rápida. Para asegurar un desarrollo adecuado de la planta, este nutriente debe ser reabastecido a través de procesos de difusión o flujo másico (Fernández, 2007).

2.2.2.4 Fracciones y funciones metabólicas del fósforo en la planta

El fósforo no se descompone en las plantas, sino que permanece en estado de oxidación mayor, a diferencia del nitrato y el sulfato. Se presenta en formas orgánicas o inorgánicas, como polifosfatos y ortofosfatos. El ácido fítico y las sales del ácido fítico (fitatos), que se sintetizan a partir del alcohol cíclico

mioinositol por esterificación de los grupos hidroxilos con fosfatos, que son esenciales para la germinación de semillas, son la forma orgánica de mayor interés para la planta. Dado que el fósforo es parte integral de las moléculas que acumulan energía, como el adenosín trifosfato (ATP), interviene en muchas de las reacciones que utilizan energía en la célula. Estas moléculas se producen durante la fotosíntesis y se utilizan durante la respiración (Fernández, 2007).



Fuente: Sequi y Piaggese (2004)

2.2.3. Zinc

El zinc es un metal lustroso azul blanquecino estable en aire seco y, cuando se expone a la humedad, se recubre de una capa blanquecina. El zinc se emplea en la elaboración de diversas aleaciones, especialmente en el latón (junto con el cobre), así como en el galvanizado del acero, el moldeo a presión, la fabricación de pinturas y productos dermatológicos. Además, se utiliza como agente terapéutico en el tratamiento de la enfermedad de Wilson, y muchos otros medicamentos que se venden sin receta médica. La deficiencia de zinc es común

a lo largo de la vida, especialmente en personas que no consumen carne (Bishop et al., 2019).

2.2.3.1 Funciones biológicas

Las raíces de las plantas absorben el ión bivalente (Zn^{2+}). Además, la epidermis foliar y las ramas lo absorben con gran facilidad. Está involucrado en la síntesis del triptófano, que es el precursor fundamental de las auxinas, que estimula el metabolismo del nitrógeno, la producción de pigmentos flavonoides y ácido ascórbico, así como una variedad de actividades enzimáticas en las plantas (fosfatasas, decarboxilasas, etc.). Es un adversario biológico del hierro. El zinc y el magnesio con frecuencia trabajan juntos (Sequi y Piaggese, 2004).

2.2.3.2 Influencia de la disponibilidad

Aunque hay una pequeña cantidad de zinc presente en el suelo, la disponibilidad de este elemento disminuye significativamente en los suelos alcalinos. La planta con mucho fósforo dificulta que el zinc se mueva de las raíces a la parte aérea. El frío o la lluvia también pueden acentuar la deficiencia (Sequi y Piaggese, 2004).

2.2.3.3 Síntomas de carencia de zinc

Los síntomas de deficiencia de zinc en distintos tipos de suelo presentan un patrón de avance acropétalo y se ven favorecidos por la exposición a la luz. Bajo estas condiciones, el zinc ejerce un efecto directo sobre el crecimiento de la planta, evidenciado en el acortamiento de los entrenudos y la formación de una típica apariencia en roseta. Asimismo, los frutos suelen ser de tamaño reducido, con formas inmaduras y con una alta predisposición a la caída prematura (Sequi y Piaggese, 2004).

2.2.3.4 Sensibilidad de distintos cultivos a la carencia de zinc

La luz estimula el comportamiento acropétalo de las manifestaciones de deficiencia de zinc en varios suelos. En condiciones de deficiencia, el zinc tiene un impacto directo en el crecimiento de la planta, lo que se traduce en un acortamiento de los entrenudos y el aspecto arosetado típico. Los frutos suelen ser pequeños, presentan formas inmaduras y tienen un alto porcentaje de pérdida (Sequi y Piaggese, 2004).

MUY SENSIBLES	MEDIANAMENTE SENSIBLES	POCO SENSIBLES
Cítricos, vid, sorgo, maíz, cebolla, frejol	Cebada, soya, betarraga, papa, tomate	Alfalfa, zanahoria, espárrago, avena, trigo

Fuente: Sequi y Piaggese (2004)

Las hojas tienen una disminución en la lámina foliar y una forma típica de media luna. Además, se presentan manchas intermedias de color verde pálido, amarillas y ocasionalmente blancas. Se presentan como bandas paralelas a la nervadura central en las monocotiledóneas. Las raíces son más pequeñas de lo normal y tienen ápices curvos. La deficiencia de zinc es más común en las pomáceas (manzana, pera), las drupáceas (frutos de hueso), la vid y los cítricos (Sequi y Piaggese, 2004).

2.2.4. Magnesio

2.2.4.1 Regulación

Las principales fuentes dietéticas de magnesio (Mg) son los frutos secos sin tostar, los cereales integrales y el agua potable de tipo “dura”. También se encuentra en cantidades considerables en vegetales, carnes, pescados y frutas. En contraste, los alimentos procesados contienen niveles reducidos de Mg^{2+} , lo que puede conducir a una ingesta deficiente de este mineral. Esto puede aumentar la probabilidad de una deficiencia de Mg^{2+} a su vez. Según la necesidad y la ingesta, el intestino delgado puede absorber del 20% al 65% del Mg^{2+} de la dieta (Bishop et al., 2019).

Los riñones son el principal regulador del Mg^{2+} corporal, ya que pueden excretarlo en estados de sobrecarga o reabsorberse en condiciones de deficiencia. Solo el 25% al 30% de Mg^{2+} que no está ligado a las proteínas que se filtran en el glomérulo se reabsorbe en el túbulo contorneado proximal (PCT), en contraste con el 60% al 75% de Na^+ que se reabsorbe en el PCT. El asa de Henle es el principal sitio regulador, donde se reabsorbe entre el 50% y el 60% del Mg^{2+} filtrado en la porción ascendente. También se reabsorbe entre el 2 % y el 5 % en los túbulos contorneados distales (Bishop et al., 2019).

El umbral renal de Mg^{2+} es de alrededor de 0,60 a 0,85 mmol/L (equivalente a 1.46 a 2.07 mg/dL). Los riñones excretan con rapidez los pequeños excesos de Mg^{2+} en el suero porque esta cantidad es cercana a la concentración sérica normal. Solo aproximadamente el 6% del Mg^{2+} filtrado se excreta en la orina cada

día en condiciones normales. Parece que la regulación de Mg^{2+} está relacionada con la de Ca^{2+} y Na^{+} . La hormona paratiroidea (PTH) mejora la absorción intestinal y la reabsorción renal de los iones. No obstante, los cambios iónicos de Ca^{2+} tienen un impacto más significativo en la secreción de PTH. Parece que la aldosterona y la tiroxina afectan los riñones de manera diferente a la PTH, aumentando la excreción renal de Mg^{2+} (Bishop et al., 2019).

2.2.4.2 Importancia de los elementos químicos de la fertilidad en la fisiología de la planta

Las plantas pueden nutrirse y sobrevivir en ambientes iónicos muy diluidos gracias a su capacidad para acumular iones en su interior a concentraciones 10.000 veces superiores a las externas. Las sustancias de bajo peso molecular (como los iones minerales nutritivos) se mueven constantemente en el suelo gracias a la difusión y al flujo de masa, llegando así a las raíces de las plantas (Sequi y Piaggese, 2004).

Un elemento nutritivo mineral puede desempeñar múltiples funciones además de ser un componente de una estructura orgánica, como activar una reacción enzimática, transportar cargas u osmoregular. Como componentes de diversas estructuras enzimáticas, los micronutrientes tienen la capacidad de estimular la mayoría de las reacciones comunes del metabolismo de las plantas, lo que tiene un impacto en la fisiología. Cada planta tiene su tolerancia mínima, óptima y máxima a cada uno de los elementos mencionados. Por lo tanto, su disponibilidad puede ser anormal debido a una deficiencia o falta de nutrición, o puede ser excesiva, lo que puede provocar fitotoxicidad (intoxicación) (Sequi y Piaggese, 2004).

2.2.4.3 Influencia de los micronutrientes sobre algunos procesos fisiológicos de la planta

ELEMENTOS FUNCIONES	Boro	Cobre	Hierro	Zinc	Manganeso	Molibdeno
Fotosíntesis						
Crecimiento						
Fertilidad						
Síntesis proteica						
Síntesis de lignina						
Fijación nitrogenada						
Reducción de nitratos						
Translocación de azúcares						

Fuente: Sequi y Piaggese (2004)

2.2.4.4 Funciones biológicas

Las plantas absorben el magnesio como Mg^{2+} , un ión bivalente, y se une a una variedad de compuestos metalorgánicos en su interior, como la fitina y la clorofila. La función más conocida del magnesio es ser el átomo principal de la molécula de clorofila. El magnesio ayuda a agregar las subunidades ribosomales y juega un papel importante en la síntesis proteica. Es responsable de la formación de una variedad de pigmentos y tiene un impacto en la actividad de las fosfatasa, que son responsables de la formación de los ésteres fosfóricos de los azúcares (Sequi y Piaggese, 2004).

2.2.4.5 Influencia en la disponibilidad

El contenido de magnesio en el suelo está estrechamente relacionado con la naturaleza física del suelo; en suelos arcillosos, el magnesio es más alto, mientras que, en suelos arenosos, es más bajo. Esto se debe a que los suelos arenosos están expuestos a lavados intensos. Este elemento no está disponible en suelos con bajo contenido de materia orgánica ni en suelos completamente alcalinos o ácidos. En suelos con niveles elevados de potasio, se pueden verificar condiciones de deficiencia. La presencia de grandes cantidades de potasio y calcio, antagonistas iónicos, generalmente impide la absorción de magnesio (Sequi y Piaggese, 2004).

2.2.4.6 Síntomas de deficiencia de magnesio

La deficiencia de magnesio presenta síntomas diferentes en diferentes plantas debido a la gran movilidad del ión en las plantas. Las primeras señales aparecen en las hojas más viejas y luego en las más jóvenes, con amarillamientos o clorosis intermedias que, en los casos más graves, se necrosan (Sequi y Piaggese, 2004).

2.2.4.7 Sensibilidad de diferentes cultivos a la deficiencia de magnesio

MUY SENSIBLES		MEDIANAMENTE SENSIBLES	POCO SENSIBLES	
Repollo,	nabo,	Cebolla, lechuga, espinaca,	Zanahoria,	haba,
drupáceas,	vid,	arveja, pepino	habichuela	
manzana,	melón,			
tomate,	betarraga,			
maíz				

Fuente: Sequi y Piaggese (2004)

2.2.8 Clasificación sistemática de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”.

División	: Magnoliophyta.
Clase	: Liliopsida
Subclase	: Alismatide
Orden	: Hydrocharitales
Familia	: Hydrocharitaceae
Género	: Elodea
Especie	: <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza
Nombre común	: “elodea”

Fuente: (Aucasime, 2024)

2.2.8.1 Descripción botánica

Espinosa (1973), reporta que la *Elodea potamogeton*, se caracteriza por tener su tallo de color verdoso, cilíndrico, lustroso, quebradizo, con entre nudos hasta de 2.5 cm, con recorrido interior por un cordón central longitudinal de células angostas y diversos canales aeríferos. Sus hojas son oblongo lineales, obtusas, con el extremo denticulado. Presenta una propagación vegetativa, debido a que en los nudos se forman raíces adventicias y brotes caulinares, las flores son axilares, solitarias, pueden levantarse sobre el agua. Los botones de las flores masculinas tienen forma de maza y son verdosos en el extremo, miden de 5 a 6 mm de largo y de 2.5 a 3 mm de ancho, tienen el aspecto de un grano de trigo. Las flores femeninas poseen un tubo floral más delgado que las anteriores, es verdoso, lustroso y de 0.5 a 0.7 mm., de diámetro, los botones son color crema y tienen forma de maza de 3 a 4 mm., de largo por 1 mm., de ancho. La espata es verdosa de 2.5 a 4 cm de largo, por 1 milímetro de ancho. Los sépalos son ligeramente verdosos, más en extremo son blanquecinos hacia la base (Espinosa, 1973).

Kahn et al. (1993), manifiestan que la familia Hydrocharitaceae está compuesta por 14 a 16 géneros acuáticos, tres ellos marinos, en el Perú se tiene *Elodea*, caracterizada por sus hojas a lo largo del tallo, reportan también a *Elodea granatensis* y *Elodea guyanesas*, *Elodea potamogeton* por sus hojas mayores de 2 mm de ancho.

2.5.6.2 Biología floral y fitosociología En el Perú se encuentran poblaciones de *Elodea potamogeton* con flores masculinas y femeninas. Se resalta la presencia solo con flores femeninas, siendo probable que se lleve a cabo multiplicación vegetativa con presencia de turiones (Galán, 2021).

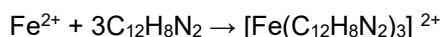
Desde el punto de vista fitosociológico en el Perú se pudo describir la asociación *Myriophylletum quitensis*, *Elodeetosum potamogetonis*. A la asociación *Elodeetum potamogetonis*, de aguas eutróficas de los Andes peruanos y bolivianos, se unen la colombiana *Najo guadalupensis*-*Elodeetum canadensis* (Rangel & Aguirre, 1983, citado en Galán, 2021).

2.2.9 Determinación de hierro por el método de la 1,10- fenantrolina (AOAC, 2019)

El método de 1,10-fenantrolina es un procedimiento colorimétrico para determinar el contenido de hierro en plantas. El fundamento teórico se basa en la reacción química entre el hierro y la 1,10-fenantrolina.

- Complejación: la 1,10-fenantrolina forma un complejo estable con el hierro.
- Colorimetría: la absorción de la luz por el complejo hierro-fenantrolina es directamente proporcional a la concentración de hierro.
- Espectrofotometría: la medición de la absorción se realiza utilizando un espectrofotómetro. (AOAC,2019).

Reacción química:



El hierro (Fe^{2+}) reacciona con la 1,10-fenantrolina en presencia de un tampón ácido (pH 2-3).

- La 1,10-fenantrolina se coordina con el hierro, formando un complejo coloreado.
- El complejo hierro-fenantrolina tiene una absorción máxima a 510 nm.
- Temperatura: 20-25°C.
- Tiempo de reacción: 10-30 minutos. (AOAC,2019)

2.2.10 Determinación de fósforo por el método de azul de molibdeno (AOAC, 2019)

Es un método de análisis, consiste en los derivados coloreados que pueden ser analizados en la región visible del espectro electromagnético. La radiación electromagnética se considera energía radiante que se propaga como onda transversal con un movimiento ondulatorio. La región visible es una parte muy pequeña del espectro electromagnético y se extiende desde el Ultravioleta cercano, 400 nm hasta aproximadamente 800 nm (AOAC, 2019).

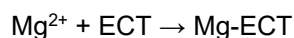
Curva de calibración: del espectro de absorción, seleccionar longitud de onda adecuada para trabajar con ella durante el análisis, medir absorbancia de las soluciones preparada y hacer la curva de calibración para así sacar la ecuación

$y = m \cdot x + b$. Donde y es el espectro de absorbancia, x la concentración de la muestra, m la pendiente de la curva de calibración y b el punto de corte (AOAC, 2019).

2.2.11 Determinación de magnesio en plantas (método de eriocromo T - ECT (AOAC, 2005))

Principio

El método colorimétrico de eriocromo T (ECT) para la determinación de magnesio en plantas se basa en la reacción del magnesio con el indicador ECT, en presencia de un tampón de pH 10, donde el ECT se encuentra en su forma aniónica y reacciona con el magnesio para formar un complejo coloreado azul intenso. La intensidad del color es proporcional a la concentración de magnesio en la muestra y puede ser medido espectrofotométricamente (Cheng y Bray, 1951).



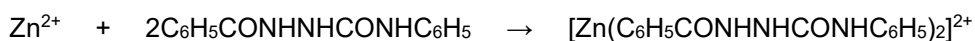
Donde Mg^{2+} es el magnesio en la muestra, ECT es el eriocromo T y Mg-ECT es el complejo coloreado formado por la reacción.

2.2.12 Determinación de zinc en plantas por el método de la dithizona (AOAC, 2019)

Principio

El método de la dithizona es un procedimiento colorimétrico para determinar el contenido de zinc en plantas. El fundamento teórico se basa en la reacción química entre el zinc y la dithizona (1,5-diphenylcarbazida), que produce un complejo coloreado. La dithizona forma un complejo estable con el zinc y la absorción de la luz por el complejo zinc-dithizona es directamente proporcional a la concentración de zinc. La medición de la absorción se realiza utilizando un espectrofotómetro.

Reacción química



Mecanismo

- El zinc (Zn^{2+}) reacciona con la dithizona en presencia de un tampón ácido (pH 8-9).
- La dithizona se coordina con el zinc, formando un complejo coloreado.
- El complejo zinc-Dithizona tiene una absorción máxima a 530-550 nm.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de ejecución

La investigación tuvo lugar en el laboratorio de Bioquímica de la Escuela Profesional de Biología de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

La muestra *Elodea potamogeton*, se obtuvo de un cuerpo de agua natural en el valle la Glorieta, ubicado en el distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, provincia de Huamanga, región de Ayacucho, a una altitud de 2 589 msnm.

3.1.1 Ubicación política

Región	:	Ayacucho
Provincia	:	Huamanga
Distrito	:	Andrés Avelino Cáceres Dorregaray
Lugar	:	Valle La Glorieta

3.1.2 Ubicación geográfica

Latitud sur	:	13° 08' 36" S
Latitud oeste	:	74° 11' 33" W
Altitud	:	2 589 msnm

3.2 Aspectos físicos de la zona

Al momento de extraer la “elodea”, el cielo presentaba una nubosidad de 3/8. El agua presentaba una temperatura de 24,3°C; tuvo TDS de 331 ppm, CE de 840 uS y el pH fue de 8.1.

3.3 Muestra

Se extrajo la *Elodea potamogeton*, separando las hojas y tallos en sus respectivos envases.

3.3.1 Metodología y recolección de muestra

Para la recolección de “elodea”, se utilizó un rastrillo, separando cuidadosamente la planta del sustrato, facilitando su extracción completa de las

hojas y tallos. Posteriormente, la muestra fue enjuagada con abundante agua para poder eliminar restos del sedimento y se procedió a retirar manualmente a los crustáceos (caracoles) y otros agentes extraños adheridos a la planta. Luego, se realizó el proceso de desinfección mediante la inmersión en una solución de hipoclorito de sodio al 1% durante unos minutos, tras lo cual las muestras fueron nuevamente enjuagadas con agua para eliminar cualquier residuo del desinfectante.

Una vez limpias, se separaron manualmente las hojas de los tallos, los cuales fueron colocados sobre papel Kraft y se dejaron secar a la sombra durante 10 días. Para asegurar que esté completamente seco, las muestras se sometieron a la estufa a 40 °C durante 40 minutos. Finalmente, el material seco fue triturado hasta obtener un polvo fino de tallos y hojas por separado, el cual se empleó posteriormente para hacer cenizas y así poder realizar la determinación de hierro, fósforo, zinc y magnesio.

3.4 Tamizaje fitoquímico

Para la realización del tamizaje fitoquímico, se empleó el método de maceración, utilizando el extracto hidroalcohólico de *Elodea*. El material vegetal previamente triturado fue macerado en una solución de etanol al 70% durante un periodo determinado, y posteriormente se procedió al filtrado del extracto. El filtrado fue llevado a baño María hasta lograr la completa evaporación del alcohol, obteniéndose así un concentrado seco del extracto.

Este concentrado fue reconstituido mediante dilución con agua destilada. A partir de esta solución se realizó el raspado del residuo vegetal, obteniendo una suspensión uniforme. De esta se tomaron alícuotas de 1 mL, para ser distribuidas en tubos de ensayo, los cuales fueron utilizados para la ejecución de las pruebas fitoquímicas específicas.

3.4.1 Ensayo de Dragendorff (para alcaloides)

Para la detección de alcaloides en el extracto de *Elodea*, se añadió una gota de ácido clorhídrico concentrado (HCl c) al extracto, y la mezcla fue calentada en baño María durante algunos minutos. Posteriormente, se dejó enfriar la solución hasta alcanzar un pH ácido. Una vez obtenida la solución acuosa y ácida, se procedió al ensayo específico añadiendo tres gotas del reactivo de Dragendorff. La aparición de una opalescencia turbia indicó la presencia positiva de alcaloides, lo cual, según la intensidad observada, fue considerado como un indicativo de abundancia de este grupo de metabolitos secundarios (Miranda y Cuéllar, 2000).

3.4.2 Ensayo de Baljet (para cumarinas)

Se tomó 1 mL del extracto de *Elodea* y se le añadió 1 mL de alcohol etílico. A esta mezcla se agregó posteriormente 1 mL del reactivo de Baljet. La reacción resultó en la aparición de un color rojizo tenue acompañado de un precipitado leve, lo cual fue interpretado como una presencia escasa de este tipo de metabolitos en la muestra analizada (Miranda y Cuéllar, 2000).

3.4.3 Ensayo de Borntrager (quinonas)

El extracto alcohólico de *Elodea*, se disolvió con 1 mL de cloroformo, se le añadió 1 mL de KOH al 5% en agua. Se agitó y se dejó en reposo hasta la separación en fases. La fase superior se tornó de color rosado tenue, dándonos a entender que el ensayo es positivo (Miranda y Cuéllar, 2000).

3.4.4 Ensayo de Liebermann-Burchard (Triterpenos o esteroides)

Para la identificación de esteroides mediante el ensayo de Liebermann-Burchard, se evaporó una pequeña cantidad del extracto alcohólico de *Elodea* en baño María hasta obtener un residuo seco. Este residuo fue disuelto en 1 mL de cloroformo, al cual se añadió 1 mL de anhídrido acético, agitando suavemente para homogeneizar la mezcla. Posteriormente, se agregaron cuidadosamente de 2 a 3 gotas de ácido sulfúrico concentrado por las paredes internas del tubo de ensayo, evitando agitación. La aparición de una coloración verde oscura al final de la reacción indicó un resultado positivo para esteroides, siendo considerados abundantes en la muestra (Miranda y Cuéllar, 2000).

3.4.5 Ensayo de catequinas

Para la detección de catequinas, se aplicaron algunas gotas del extracto alcohólico de *Elodea* sobre un papel filtro y se dejó secar completamente. Posteriormente, se adicionó carbonato de sodio sobre la zona impregnada. La prueba fue expuesta a luz ultravioleta para observar posibles fluorescencias. La presencia de una mancha de color verde amarillento indicaría una reacción positiva para catequinas. Sin embargo, en este caso, únicamente se observó una fluorescencia de tonalidad azul turquesa, lo que evidenció la ausencia de catequinas en la muestra analizada (Miranda y Cuéllar, 2000).

3.4.6 Ensayo de Benedict (azúcares reductores)

Para la identificación de azúcares reductores, se colocó 1 mL del extracto alcohólico de *Elodea* en un tubo de ensayo, al cual se le añadió 1 mL del reactivo de Benedict. La mezcla fue llevada a baño María durante 4 minutos. Al finalizar el calentamiento, se observó la formación de un precipitado anaranjado intenso, lo

cual indica una reacción positiva. Según la intensidad del precipitado, se consideró que los azúcares reductores están presentes en cantidad regular (Miranda y Cuéllar, 2000).

3.4.7 Ensayo de cloruro férrico (compuestos fenólicos y/o taninos)

Para la detección de taninos, se colocaron 2 mL del extracto alcohólico de *Elodea* en un tubo de ensayo, a los cuales se añadieron 3 gotas de tricloruro férrico (FeCl_3) al 5%, preparado en solución fisiológica salina. Durante la reacción, el extracto adquirió una apariencia acuosa y desarrolló una coloración rojiza al final del proceso, lo que indica una reacción positiva. La intensidad del color observado permitió interpretar una presencia abundante de taninos en la muestra (Miranda y Cuéllar, 2000).

3.4.8 Ensayo de la ninhidrina (aminoácidos y aminos)

Para la identificación de aminoácidos y aminos libres, se colocaron 2 mL del extracto alcohólico de *Elodea* en un tubo de ensayo y se mezclaron con 2 mL de una solución acuosa de ninhidrina al 2%. La mezcla fue calentada en baño María durante un periodo de 5 a 10 minutos. Al finalizar el calentamiento, se observó un cambio de color a morado intenso, lo cual indica una reacción positiva. La intensidad del color sugiere una presencia abundante de aminoácidos y compuestos aminados en la muestra (Miranda y Cuéllar, 2000).

3.4.9 Ensayo de Shinoda (flavonoides)

Para la detección de flavonoides se utilizó el ensayo de Shinoda. Se colocó 1 mL del extracto alcohólico de *Elodea* en un tubo de ensayo, al cual se le añadió 1 mL de ácido clorhídrico concentrado y un pequeño fragmento de cinta de magnesio metálico. La mezcla fue dejada en reposo durante 5 minutos para permitir la reacción. Luego, se incorporó 1 mL de alcohol amílico, se agitó suavemente y se dejó reposar hasta que se separaron las fases. La fase superior adquirió una coloración rojiza, indicando una reacción positiva. Según la intensidad observada, se interpretó como una presencia regular de flavonoides en la muestra (Miranda y Cuéllar, 2000).

3.4.10 Ensayo de resinas

Para la detección de resinas, se colocó 1 mL del extracto alcohólico de *Elodea* en un tubo de ensayo y se le añadieron 5 mL de agua destilada. La mezcla fue observada cuidadosamente para identificar la posible formación de un precipitado lechoso, característico de la presencia de resinas. Sin embargo, no se

evidenció la formación de dicho precipitado, por lo que se concluyó que no hubo presencia de resinas en la muestra analizada (Miranda y Cuéllar, 2000).

3.5 Cuantificación de hierro total en “elodea” por el método de la 1,10-fenantrolina (AOAC, 2019)

3.5.1 Procedimiento para la cuantificación de hierro en la muestra

Para la determinación de hierro, se utilizaron muestras de cenizas obtenidas por calcinación de hojas y tallos secos de *Elodea*. Se pesaron 500 mg de ceniza de hojas y 500 mg de ceniza de tallos por separado.

A cada muestra se le añadió 5 mL de ácido clorhídrico (HCl) concentrado y se homogenizó con una varilla de vidrio. Luego, se agregaron 5 mL de agua destilada y la mezcla fue llevada a evaporación en una cocina eléctrica hasta eliminar el exceso de líquido.

El residuo resultante fue transferido a un matraz, utilizando embudo y papel filtro para su filtración. Una vez obtenidas las soluciones filtradas, se tomó una alícuota de 0.5 mL de cada muestra y se transfirió a fiolas de 10 mL.

A cada fiola se le agregaron los siguientes reactivos:

- 0.5 mL de ácido clorhídrico concentrado
- 0.5 mL de clorhidrato de hidroxilamina (agente reductor)
- Se dejó reposar 5 minutos para permitir la reducción del hierro férrico (Fe^{3+}) a ferroso (Fe^{2+})
- 0.5 mL de buffer acetato (para mantener el pH óptimo)
- 0.5 mL de reactivo de 1,10-fenantrolina.

Finalmente, se completó el volumen con agua destilada hasta alcanzar los 10 mL en la fiola. Las muestras fueron almacenadas en un lugar oscuro durante tres días para asegurar el desarrollo completo del complejo coloreado. Posteriormente, se procedió a la lectura de absorbancia en un espectrofotómetro UV-Vis, utilizando una longitud de onda adecuada (510 nm) para la cuantificación del hierro.

3.5.2 Estándar de hierro

Se preparó 100 ml de sulfato de amonio y hierro (II) hexahidratado a una concentración de 50 mg Fe/100 ml.

3.5.3 Obtención de la curva de calibración espectrofotométrica para hierro

Con el fin de cuantificar el contenido de hierro en las muestras de *Elodea*, se elaboró una curva de calibración utilizando soluciones estándar de hierro. A

partir de una solución patrón de hierro de 50 mg/dL, se prepararon cinco concentraciones diferentes: 5, 10, 15, 20 y 25 mg/dL, diluidas en fioles de 10 mL.

A cada una de las soluciones patrón se les añadió:

- 0.5 mL de clorhidrato de hidroxilamina, para reducir el hierro férrico (Fe^{3+}) a ferroso (Fe^{2+}).
- 0.5 mL de 1,10-fenantrolina, para formar el complejo coloreado con Fe^{2+}
- 0.5 mL de buffer acetato, para mantener el pH en condiciones óptimas de reacción.

Después de la adición de los reactivos, se completó el volumen de cada fiola a 10 mL con agua destilada. Las soluciones se mezclaron adecuadamente y se dejaron reposar para el desarrollo completo del color.

Posteriormente, las muestras fueron colocadas en cubetas de 1 mL y analizadas en un espectrofotómetro UV-Visible, utilizando una longitud de onda de 510 nm. Se registró la absorbancia correspondiente a cada concentración de hierro, la cual fue empleada para construir la curva de calibración. Esta curva permitió determinar, por interpolación, la concentración de hierro presente en las muestras de ceniza de hojas y tallos de *Elodea*.

3.6 Determinación de magnesio en plantas por el método de eriocromo T-ECTN (AOAC, 2005)

3.6.1 Cuantificación de magnesio en muestras de *Elodea*

Se pesó 500 mg de la muestra molida de tallo y de hoja, y se mezcló con 5 ml de ácido clorhídrico en un tubo de ensayo. Se calentó en baño maría a 80 °C durante media hora.

Seguidamente se filtró a un tubo de ensayo.

Se tomó 1 ml de este filtrado, se le agregó 1 ml de ECNT 0.1%, 1 ml de hidróxido de sodio 1M y 0,04 ml del tampón amonio-amoniaco con pH 10, y se le enrasó con agua destilada a 10 ml. La mezcla se dejó reposar por 5 minutos para luego proceder a medir la absorbancia a 520 nm.

3.6.2 Solución estándar de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Para obtener el patrón a una concentración de 10 mg/L, se pesó 0,01 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en un vaso de precipitado y se enrasó a 1 L de agua destilada.

3.6.3 Obtención de la curva de calibración espectrofotométrica para magnesio

Con el fin de cuantificar el contenido de magnesio en las muestras de *Elodea*, se elaboró una curva de calibración utilizando soluciones estándar de

MgSO₄·7H₂O. A partir de la solución patrón de 10 mg/L, se prepararon cinco concentraciones diferentes: 0,5, 1, 2, 5 y 10 mg/L, diluidas en fioles de 10 mL.

3.7 Determinación de fósforo por el método de azul de molibdeno en “elodea”

3.7.1 Cuantificación de fósforo en muestras de *Elodea*

Se agregó 5 ml de ácido clorhídrico a la muestra calcinada de 0.5 g en hojas y en tallos, y se aforó a 10 ml con agua destilada. Se calentó la muestra en baño maría hasta que se disolvió. A esta muestra digerida se le agregó 0,1 ml de molibdato de amonio y se le agregó 3 gotas de cloruro estañoso en glicerol, dejándose reposar por 10 minutos, para luego proceder a leer al espectrofotómetro a una longitud de onda de 510 nm.

3.7.2 Solución estándar de fósforo

Para la preparación de la solución estándar a una concentración de 50 mg/L, se usó el molibdato de amonio, y se la mezcló con dos gotas de cloruro estañoso en glicerol, se mezcló bien y se dejó reposar por 10 minutos.

3.7.3 Obtención de la curva de calibración espectrofotométrica para fósforo

Con el fin de cuantificar el contenido de fósforo en las muestras de *Elodea*, se elaboró una curva de calibración utilizando la solución estándar de fosfato con una concentración de 10 mg/L enrasado con agua destilada.

3.8 Método colorimétrico para la determinación de zinc, por el método de la Dithizona

3.8.1 Cuantificación de zinc en muestras de *Elodea*

Se pesó 1 g de la ceniza de hoja y de tallo, y se disolvió con 5 ml de ácido clorhídrico concentrado, se mezcló y se filtró. En los tubos de ensayo se dispuso 1 ml del filtrado y se le agregó 1 ml de la solución de dithizona, luego se midió el pH que tuvo un valor de 5, dejándose reposar por media hora. Se procedió a leer la absorbancia y se halló la concentración de zinc.

3.8.2 Solución estándar de zinc

Se pesó 0,025 g del sulfato de zinc y se le agregó 25 ml de agua destilada para obtener la concentración de 10 mg/L.

3.8.3 Obtención de la curva de calibración espectrofotométrica para zinc

Con el fin de cuantificar el contenido de zinc en las muestras de *Elodea*, se elaboró una curva de calibración utilizando la solución estándar de zinc con una

concentración de 10 mg/L enrasado con agua destilada. Se preparó estándares con concentraciones de 0,5, 1, 2, 3, 5 y 8 mg/L.

3.9 Análisis estadístico

Se expresó en promedio los resultados del contenido de hierro, fósforo, zinc y magnesio, usando tablas y figuras para sus respectivas descripciones.

IV. RESULTADOS

Tabla 1.

Tamizaje fitoquímico del extracto hidroalcohólico de la Elodea potamogeton (Bert.) Espinoza – UNSCH – Ayacucho - 2025

Metabolitos	Ensayo	Resultado	Especificación
Alcaloides	Dragendorff	++	Opaco, turbio
Cumarinas	Baljet	+++	Precipitado rojo
Quinonas	Borntrager	+	Rosado tenue
Triterpenos/esteroides	Liebermann	+++	Verde oscuro
Catequinas	Catequinas	-	Fluorescencia azul turquesa
Azúcares	Benedict	++	Anaranjado intenso
Compuestos fenólicos/taninos	Cloruro férrico	+++	Extracto acuoso
Aminoácidos/aminoas	Ninhidrina	+++	Morado intenso
Flavonoides	Shinoda	++	Rojizo
Resinas	Resinas	-	No se formó el precipitado

Leyenda: (-): Ausente, (+): Escaso, (++) Regular, (+++): Abundante

Tabla 2.

Concentración y desviación estándar de hierro en el tallo y hoja de Elodea potamogeton (Bert.) Espinoza – UNSCH – 2025

MUESTRA	R1	R2	R3	X	D.E.	Und.
TALLO	2,086	1,986	1,564	1,879	0,277	mg/L
HOJA	3,278	3,700	3,765	3,551	0,237	mg/L

En la tabla 2, se presenta un promedio de 3,551 mg/L de hierro en la hoja de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza, y en el tallo un promedio de 1,879 mg/L.

Leyenda:

R1 = repetición 1

R2 = repetición 2

R3 = repetición 3

X = promedio

D.E. = desviación estándar

Tabla 3.

Concentración y desviación estándar de fósforo en el tallo y hoja de Elodea potamogeton (Bert.) Espinoza – UNSCH – 2025

MUESTRA	M1	M2	M3	X	D.E.	Unid.
TALLO	34,279	35,861	35,070	35,070	0,791	mg/L
HOJA	48,518	49,573	49,046	49,046	0,527	mg/L

En la tabla 3, se presenta un promedio de 35,070 mg/L de fósforo en el tallo de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza, y en la hoja un promedio de 49,046 mg/L.

Tabla 4.

Concentración y desviación estándar de zinc en el tallo y hoja de Elodea potamogeton (Bert.) Espinoza – UNSCH – 2025

MUESTRA	M1	M2	M3	X	D.E.	Unid
TALLO	1,853	1,896	1,870	1,873	0,022	mg/L
HOJA	1,982	1,939	1,961	1,961	0,021	mg/L

En la tabla 4, se presenta un promedio de 1,873 mg/L de zinc en el tallo de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza, y en la hoja un promedio de 1,961 mg/L.

Tabla 5.

Concentración y desviación estándar de magnesio en el tallo y hoja de Elodea potamogeton (Bert.) Espinoza – UNSCH – 2025

MUESTRA	M1	M2	M3	X	D.E.	Unid
TALLO	1,557	1,739	1,648	1,648	0,091	mg/L
HOJA	4,986	5,102	5,052	5,047	0,058	mg/L

En la tabla 5, se presenta un promedio de 1,648 mg/L de magnesio en el tallo de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza, y en la hoja un promedio de 5,052 mg/L.

V. DISCUSIONES

Los micronutrientes presentes en la *Elodea potamogeton*, son de vital importancia, así sean encontrados en pequeñas cantidades, por lo que la presencia de estos es beneficiosa para la planta para poder desarrollar sus actividades metabólicas correctamente.

En este trabajo, se realizó previamente el tamizaje fitoquímico, prueba que ayudó a determinar qué tipo de metabolitos secundarios se encuentra en la “elodea”.

En la tabla 01, se evidenció la presencia de 8 metabolitos encontrados en *Elodea potamogeton*, siendo las cumarinas, los triterpenos/esteroides, compuestos fenólicos/taninos y los aminoácidos/aminas los que se encontraron en un nivel abundante en la muestra; seguidamente están los alcaloides, los azúcares reductores y los flavonoides, metabolitos que se encontraron en un nivel regular; escasamente se evidenciaron a las quinonas. También se hizo la prueba para determinar la presencia de catequinas y resinas. Sin embargo, no hubo presencia de estos metabolitos en la *Elodea potamogeton*.

Cala et al. (2018), evidenció en sus resultados experimentados en la *Annona squamosa L.*, que presentaba metabolitos secundarios como los alcaloides, los aceites esenciales, azúcares reductores, flavonoides, carbohidratos y fenoles/taninos.

Rodríguez et al. (2021), en los resultados de tamizaje fitoquímico en seis plantas medicinales, obtuvieron la presencia de metabolitos como los esteroides, flavonoides y taninos en *Passiflora ligularis*, *Malva silvestryz*, *Urtica dioica*, *Desmodium uncinatum*, *Lomatia ligularis* y *Sambucus peruvianus*; mientras que

las quinonas y alcaloides, fueron metabolitos que no tuvieron presencia en ninguna de estas especies realizadas en la investigación.

Morales et al. (2011), en el tamizaje realizado de *Cassia uniflora* Mill, evidenciaron en las hojas, la presencia de alcaloides, cumarinas, triterpenos/esteroides, saponinas, aminoácidos libres, carbohidratos reductores, fenoles/taninos, antocianinas y flavonoides; y de forma muy abundante se encontraron a las quinonas. El metabolito que no tuvo presencia en la muestra de las hojas fue la resina.

En las muestras de *Elodea potamogeton*, se evidenció la presencia de algunos minerales en las hojas y tallos, estos fueron el hierro, fósforo, zinc y magnesio.

El fósforo y el magnesio son macronutrientes que son requeridos en cantidades elevadas por las plantas. Otro grupo perteneciente a los micronutrientes son el hierro y el zinc, que, si bien son requeridos en elevadas cantidades, son igual de importantes que otros minerales (Rodríguez, 2017).

En la tabla 2, se observó que el contenido de hierro tuvo presencia en las hojas y tallos de *Elodea potamogeton*, teniendo 3,551 mg/L en las hojas, y 1,879 mg/L en el tallo. Según Nájera (2016), obtuvo 32,50 ppm de hierro en plantas de café en su experimentación.

Estrada et al. (2018), reportó que el contenido de hierro tiene un rango de 48 a 79 ppm en la *Vigna unguiculata*.

Woolfe (1987), las concentraciones de hierro en la papa, son de 115 mg/Kg PS, siendo un valor muy elevado.

Morales (2015), en su estudio, presentó un clon 98-38-12 de *Solanum tuberosum* L., que presentó una mayor concentración de hierro, con 25,67 ppm.

En la tabla 3, se observó que el contenido de fósforo tuvo presencia en las hojas y tallos de *Elodea potamogeton*, teniendo 35,070 mg/L en el tallo, y 49,046 mg/L en las hojas. Según Delgado (1985), determinó el contenido de fósforo en *Cymodocea nodosa*, *Zostera noltii* y *Ruppia cirrhosa*, obteniendo como valores más altos de 1,62; 2,20 y 2,27 mg PT/g en las hojas, respectivamente. También realizó su experimento en la *Posidonia oceanica*, obteniendo el valor más alto de 1,75 mg PT/ peso seco. Nájera (2016), obtuvo 10,64 ppm de concentración de fósforo en *Coffea arabica* L. El mayor porcentaje de fósforo presente en esta planta, fue de 0,21%.

El *Agaricus campestris*, es un hongo que presenta una cantidad de fósforo de 0,15 a 0,5% de este nutriente, al poseer la micorriza, hace más fácil la adquisición de este elemento (Raya & Aguirre, 2009).

En la tabla 4, se observó que el contenido de zinc tuvo presencia en las hojas y tallos de *Elodea potamogeton*, teniendo 1,873 mg/L en el tallo, y 1,961 mg/L en las hojas. Según Nájera (2016), el zinc presentó una concentración de 3,0 ppm en *Coffea arabica* L.

Rivera et al. (2022), realizó su estudio en el fruto de melón (), para determinar el contenido de zinc, con 52,96 mg/kg, esto se dio ya que el tratamiento tuvo una mayor concentración de nanopartículas de óxido de zinc.

Morales (2015), menciona que el clon I-Natividad de *Solanum tuberosum* L., obtuvo 15,3 ppm en el contenido de zinc.

El magnesio es fundamental en la planta, ya que cumple su función como átomo central de la molécula de clorofila, siendo importante para la fotosíntesis, específicamente en la reacción de carboxilasa. Es un elemento que realiza la síntesis de proteínas, realizado en los ribosomas; y es un elemento esencial para el bombeo de iones para transportar la glucosa (Ross, 2004).

En la tabla 5, se observó que el contenido de magnesio tuvo presencia en las hojas y tallos de *Elodea potamogeton*, teniendo 1,648 mg/L en el tallo, y 5,047 mg/L en las hojas. Nájera (2016), Obtuvo una concentración de 3,66 Meq/100g de magnesio en plantas de café. Para el contenido de magnesio en el trabajo de Estrada et al. (2018), se encontraron valores entre 0,22 y 0,25% en la *Vigna unguiculata* L. Walp.

Melgar (2006), menciona que el magnesio es un nutriente que no se requieren en grandes cantidades, teniendo valores normales en la planta de 0,16 y 1,03% para que tenga un buen funcionamiento.

Killilea y Ames (2008), mencionan que en el caso de *Tagetes micrantha*, el contenido de magnesio es de 0,28%, siendo un contenido alto en esta planta.

Broadley et al. (2008), evidenció que en *Brassica*, la concentración de magnesio va desde 0,35 hasta 0,8% en condiciones de campo y de invernadero.

VI. CONCLUSIONES

1. El contenido de **hierro** en hojas y tallos de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”, determinado por el método de la 1,10- fenantrolina (AOAC, 2019), fue de **3,551 mg/L y 1,879 mg/L**, respectivamente.
2. El contenido de **fósforo** en tallos y hojas de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”, por el método de azul de molibdeno, fue de **35,070 mg/L y 49,046 mg/L**, respectivamente.
3. El contenido de **zinc** en tallos y hojas de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”, determinado por el método de la Dithizona, fue de **1,873 mg/L y 1,961 mg/L**, respectivamente.
4. El contenido de **magnesio** en tallos y hojas de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”, determinado por el método de Ericromo T (AOAC, 2005) fue de **1,648 mg/L y 5,047 mg/L**, respectivamente.
5. El **tamizaje fitoquímico** del extracto hidroalcohólico de la “elodea”, evidenció la presencia de cumarinas, triterpenos/esteroides, compuestos fenólicos/taninos y aminoácidos/aminas en la categoría de abundantes.

VII. RECOMENDACIONES

- Es necesario hacer más estudios de los minerales en la *Elodea potamogeton* para incrementar la información de las plantas acuáticas.
- Realizar cuantificación de minerales por métodos de espectroscopia atómica.
- Llevar investigaciones con muestras de diferentes lugares de procedencia en la región.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almendros, P., Rico, M., López Valdivia & Álvarez, J. (2008). Deficiencia de zinc en los cultivos y correctores de carencia del micronutriente. https://oa.upm.es/2472/2/INVE_MEM_2008_56367.pdf
- AOAC International. "Official Methods of Analysis" (21ª edición, 2019). Método 972.22: "Hierro en plantas, método colorimétrico"
- Bishop, M., Fody, E., y Schoeff, L. (2019) *Química clínica; Principios técnicas y correlaciones*. 8va edición. Edit. Wolters Kluwer.
- Broadley, M.; Hammond, J.; King, G.; Astley, D.; Bowen, H.; Meacham, M.; Mead, A.; Pink, D.; Teakle, G.; Hayden, R.; Spracklen, W.; White P. 2008. Shoot calcium and magnesium concentrations differ between subtaxa, are highly heritable, and associate with potentially pleiotropic loci in *Brassica oleraceae*. *Plant Physiology* 146: 1707–1720.
- Cala Calviño, L., Jardines Cala, D., González Fernández, R.,... & Cruz Vadell, H. (2018). Estudio farmacognóstico preliminar de la especie *Annona squamosa* L. *Revista cubana de plantas medicinales*, vol 23, núm 2. https://www.researchgate.net/profile/Leidys-Cala-Calvino/publication/332864781_Estudio_farmacognostico_preliminar_de_la_especie_Annona_squamosa_L_Preliminary_pharmacognostic_study_of_the_species_Annona_squamosa_L/links/5ccdf95f299bf14d95782266/Estudio-farmacognostico-preliminar-de-la-especie-Annona-squamosa-L-Preliminary-pharmacognostic-study-of-the-species-Annona-squamosa-L.pdf
- Cheng, K., & Bray, R. (1951). Determination of calcium and magnesium in soil and plant material. *Soil Science*, 72(6), 449–458.
- Cutili, A. (2014). *Digestibilidad aparente de llachu (Elodea potamogeton) y totora (Schoenoplectus totora) en ganado bovino en la comunidad Belén provincia Omasuyos*. (Doctoral dissertation). <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/4434>
- Dai, D., Yang, Y., Wang, F., Zhang, M., Gao, Y., Dong, J., ... & Lv, J. (2022). Effects of microcystin-LR on the colony formation of *Chlorella vulgaris* induced by the submerged macrophyte *Potamogeton crispus*. *International Journal of Limnology*, 58, 4. <https://doi.org/10.1051/limn/2022004>
- Delgado, O. (1985). Contenido de fósforo de los tejidos de fanerógamas marinas del Mediterráneo occidental y su relación con la dinámica de cada especie. Departamento de Ecología, Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. Diagonal, 645. Barcelona 08028.
- Espinosa, M. (1973) *La polinización de la Elodea Potamogeton (Bert)*. *Revista chilena de historia natural*.
- Estrada Domínguez, V., Márquez Quiroz, C., Cruz Lázaro, E., Osorio Osorio, R. & Sánchez Chávez, E. (2018). Biofortificación de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) con zinc: efecto en el rendimiento y contenido mineral. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(spe20), 4149-4160. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.986>
- Ferreira, R. (1983). Los tipos de vegetación de la costa peruana. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Museo de Historia Natural.
- Fernández, L. (2007). *Importancia del fósforo en la nutrición vegetal*. *Revista Digital Universitaria*, 8(6), 1–13. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>

- Fernández, M. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, XLI(2), 51-57. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>
- Galán, A., Linares, E., & Montoya, J. (2021). *Distribution of Elodea potamogeton (Bertero) Espinosa (Hydrocharitaceae) in Peru: New record, floral biology and phytosociology*. Arnaldoa, 28(3), 523-530. Epub 31 de diciembre de 2021. <https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.283.28303>
- Geng, N., Xia, Y., Lu, D., Bai, Y., Zhao, Y., Wang, H., ... & Chen, X. (2022). *The bacterial community structure in epiphytic biofilm on submerged macrophyte Potamogeton crispus L. and its contribution to heavy metal accumulation in an urban industrial area in Hangzhou*. Journal of Hazardous Materials, 430, 128455. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128455>
- Huacasi, H., & Adelaida, R. (2016) *Evaluación del yana llachu fresco (Elodea potamogeton) como fuente de vitamina c en la alimentación de cuyes (Cavia porcellus L.)*. Perú <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18487>
- INTAGRI. (2019). El hierro (Fe) en la nutrición vegetal. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-hierro-en-la-nutricion-vegetal>
- Kahn, F., León Bocaangel de Young, B. R., & Young, K. R. (1993). *Las plantas vasculares en las aguas Continentales del Perú*. https://www.researchgate.net/profile/Blanca-Leon/2/publication/282168065_Las_plantas_vasculares_en_las_aguas_continenciales_del_Peru/links/57336eba08ae9ace84073abe/Lasplantas-vasculares-en-las-aguas-continentales-del-Peru.pdf
- Kahn, F., y León, K., Young, K. (1993) *Las plantas vasculares en las aguas continentales del Perú*. IFEA. Lima. Perú.
- Killilea, D.; Ames, B. 2008. Magnesium deficiency accelerates cellular senescence in cultured human fibroblasts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 105: 5768–5773.
- Mamani Plata, B. (2006) *Suplementación con heno de forrajeras acuáticas llacho (Elodea potamogeton) y totora (Schoenoplectus tatora) en la producción de leche en vacunos tipo Holstein en dos módulos en el municipio de Achacachi* (Doctoral dissertation). <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/11085>
- Melgar, R. (2006). Uso de micronutrientes en cultivos de Gruesa. INTA pergamino. <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/uso-de-micronutrientes-en-cultivos-de-gruesa.pdf>
- Mendoza Almeida, M. (2020). *Plantas acuáticas en ambientes lénticos del Bofedal Minas Corral, distrito Vinchos, provincia de Huamanga, Ayacucho 2017-2018*. https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/4474/1/TE SIS%20B900_Men.pdf
- Morales Freire, V. (2015). "Estudio de la variación genética y ambiental sobre el contenido de hierro, zinc y vitamina c en catorce genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.)". <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4269>
- Morales León, J. , Fonseca García, A., Almeida Saavedra, M., Morales Torres, G., & Torres Rodríguez, E. . (2011). Phytochemical screening of *Cassia uniflora* Mill. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(4), 331-336. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962011000400004&lng=es&tIng=en.

- Nájera Chew, J. (2016). Evaluación de la disponibilidad en el suelo y contenidos de fósforo en plantas de café en respuesta a la aplicación de Silicio; Finca El Hato, Santa Rosa, Guatemala, C.A. Universidad de San Carlos de Guatemala. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_3089.pdf
- Official Methods of Analysis of AOAC International (2019). Capítulo 3, Sección 3.1.14: "*Phosphorus in Plants, Colorimetric Method*" (pp. 3-4).
- Official Methods of Analysis of AOAC International (18th ed., 2005). Capítulo 3, Sección 3.1.14: "*Magnesium in Plants, Atomic Absorption Spectrophotometric Method*" y "*Colorimetric Method using Erio Chrome Black T*".
- Rangel, J., & Aguirre, J. (1983). Vegetación del Lago de Tota (Boyacá, Colombia). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales.
- Raya Pérez, J., & Aguirre Mancilla, C. (2009). Composición elemental de algunas especies de plantas silvestres mexicanas. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 15(2), 95-99. Recuperado en 14 de abril de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182009000200002&lng=es&tlng=es.
- Rivera Gutiérrez, R., Preciado Rangel, P., Fortis Hernández, M., Betancourt Galindo, R., Yescas Coronado, P. & Orozco Vidal, J. (2021). Nanopartículas de óxido de zinc y su efecto en el rendimiento y calidad de melón. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(5), 791-803. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2987>
- Rodríguez Ortiz, P. (2017). Nutrición mineral en plantas. <https://www.infobiologia.net/2017/02/nutricion-mineral-plantas.html>
- Rodríguez Quezada, M., Gamarra, O. & Pérez Azahuanche, F. (2021). Tamizaje fitoquímico y actividad antibacteriana de los extractos de seis plantas medicinales usadas en Amazonas. *Medicina naturista*, ISSN 1576-3080, Vol. 15, N° 1, 2021, págs. 32-37. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7747848>
- Ross, M. (2004). Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. *Palmas*, 25. 98–104. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1071/1071>
- Sequi, P., & Piaggese, A. (2004). *Los microelementos en la nutrición vegetal. Valagro SpA, Lanciano (Ch), Italia*.
- Vasquez, C., & Optaciano, B. (2016). *Contaminación por metales pesados en macrofitas de los principales ríos tributarios del Lago Titicaca*. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_a501a959e0694c6b09edecb5aad5e290
- Weberbauer, A. (1945). *El mundo vegetal de los Andes peruanos: estudio fitogeográfico*. Lima: Estación Experimental Agrícola de La Molina, Dirección de Agricultura, Ministerio de Agricultura.
- Woolfe, J. (1987). *The potato in the human diet* Cambridge University Press. 231pp. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511753435>

ANEXOS

Anexo 01

Procedimiento para la determinación de hierro por el método de la 1,10-fenantrolina (AOAC,2019) en *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza "elodea"



Muestra de ceniza del tallo y hoja de "elodea"



Reactivos usados para hallar la curva espectral



Pesado de las cenizas de tallo y hoja de "elodea"



Filtrado de la muestra



Reactivo dispuesto en la muestra de ceniza



Pipeteado del reactivo para preparar diferentes concentraciones



Preparación a diferentes concentraciones para determinar la curva de calibración



Muestras de hoja y tallo preparados para leer sus absorbancias



Anexo 02

Curva espectral de hierro

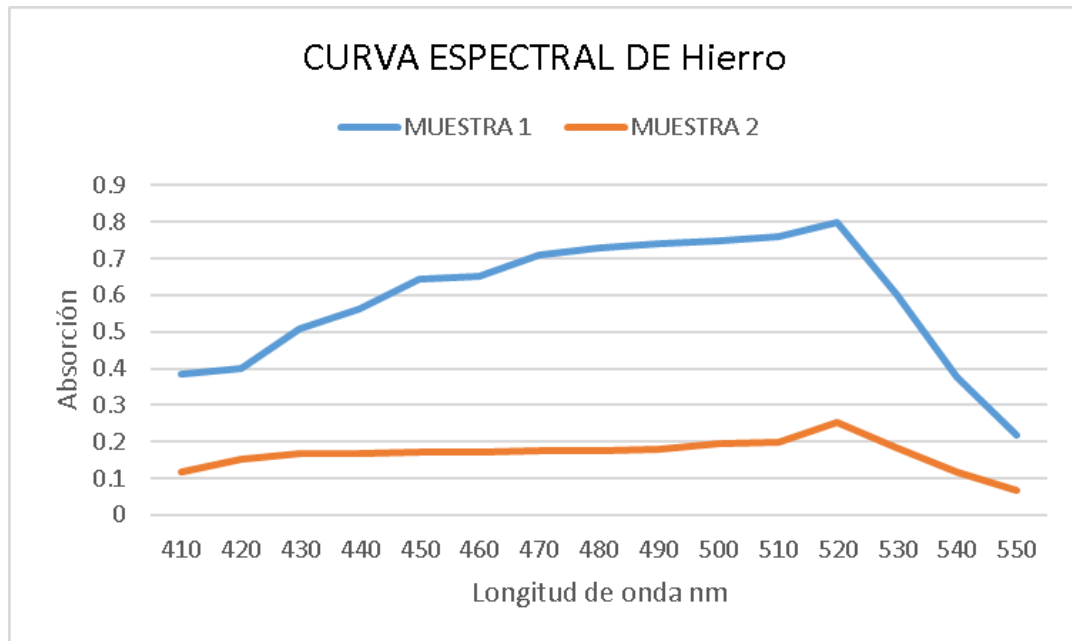


Figura 01. Curva espectral de 2 folios con diferentes concentraciones del patrón, para la determinación de la longitud de onda para hierro. La longitud de onda más alta a la que lee el espectrofotómetro es de 520 nm.

Anexo 03

Curva de calibración para hierro

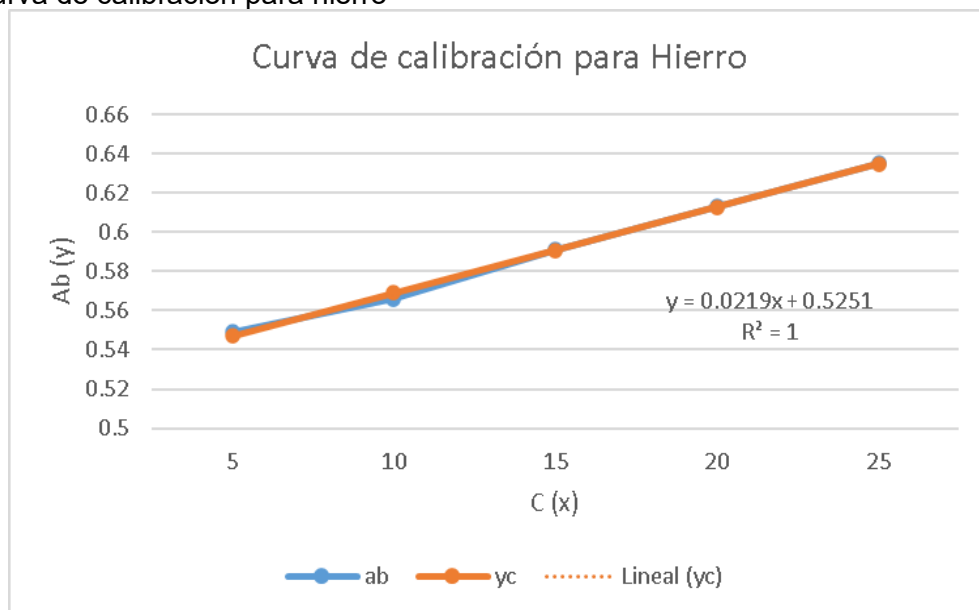


Figura 02. Curva de calibración de los 5 tubos frente a sus absorbancias y al “Yc” corregido.

Anexo 04

Concentración de Hierro en tallos y hojas de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza.



Figura 03. Concentración de hierro de las hojas y tallos de *Elodea potamogeton* frente a sus absorbancias, la mayor concentración es en hojas con 3,551 y en tallos 1,879 mg/L.

Anexo 05

Procedimiento para la determinación de fósforo por el método de azul de molibdeno (AOAC,2019) en *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”



Preparación a diferentes concentraciones



Lectura al espectrofotómetro de las diferentes concentraciones



Centrifugar para separar la solución por densidad

Anexo 06

Curva de calibración para Fósforo

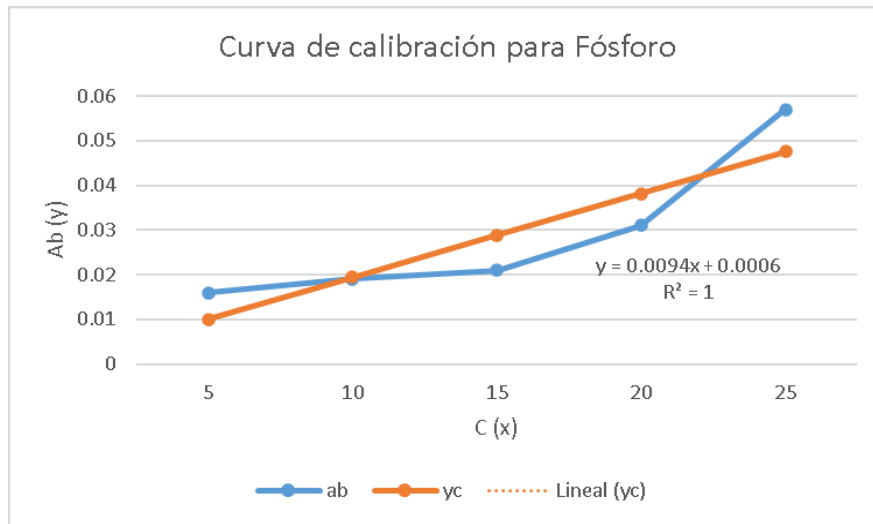


Figura 04. Curva de calibración de los 5 tubos frente a sus absorbancias y al “Yc” corregido.

Anexo 07

Concentración de fósforo en tallos y hojas de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza

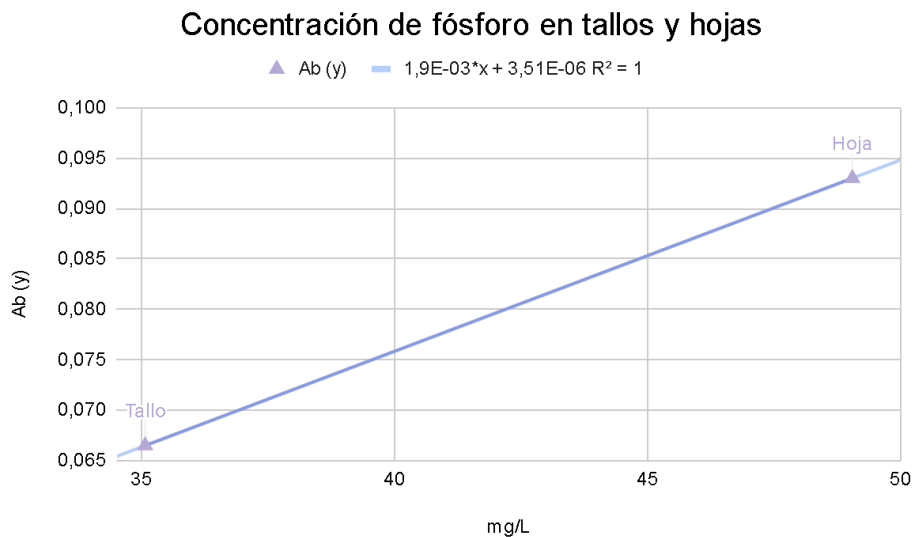


Figura 05. Concentración de fósforo de las hojas y tallos de *Elodea potamogeton* frente a sus absorbancias, la mayor concentración es en hojas con 49,046 y en tallos es de 35,070 mg/L.

Anexo 08

Procedimiento para la determinación de zinc por el método de la dithizona (AOAC, 2019) en *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”



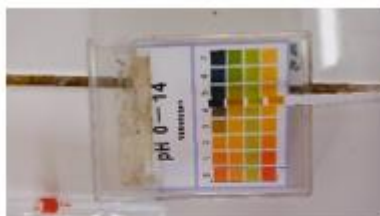
Preparación de reactivos con ácido sulfúrico y ácido clorhídrico



Preparación de soluciones a diferentes concentraciones para determinar la curva de calibración



Muestra de hoja y tallo



Medida de pH 5 en la solución de la muestra



Se procedió a medir al espectrofotómetro

Anexo 09

Curva espectral de zinc

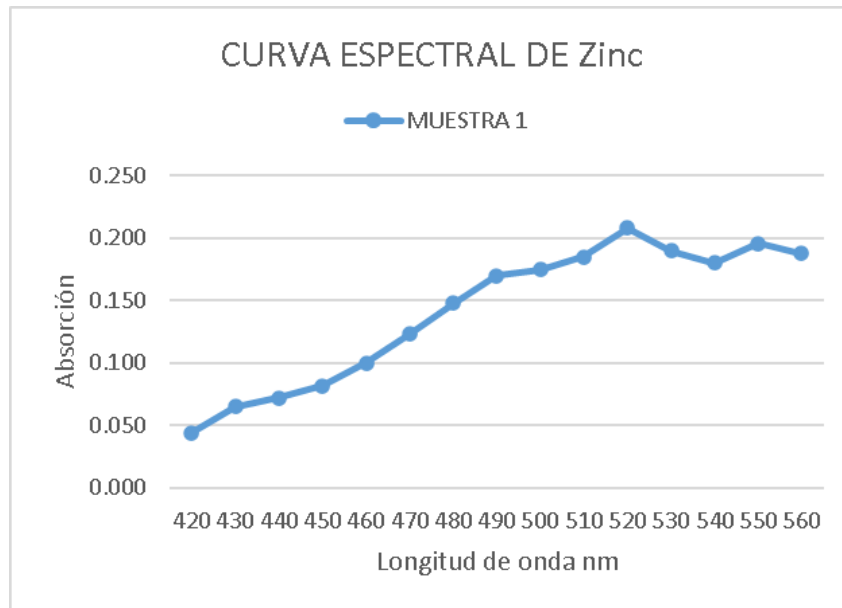


Figura 06. Curva espectral de una fiola con una concentración del patrón, para la determinación de la longitud de onda para zinc. La longitud de onda más alta a la que lee el espectrofotómetro es de 520 nm.

Anexo 10

Curva de calibración para zinc

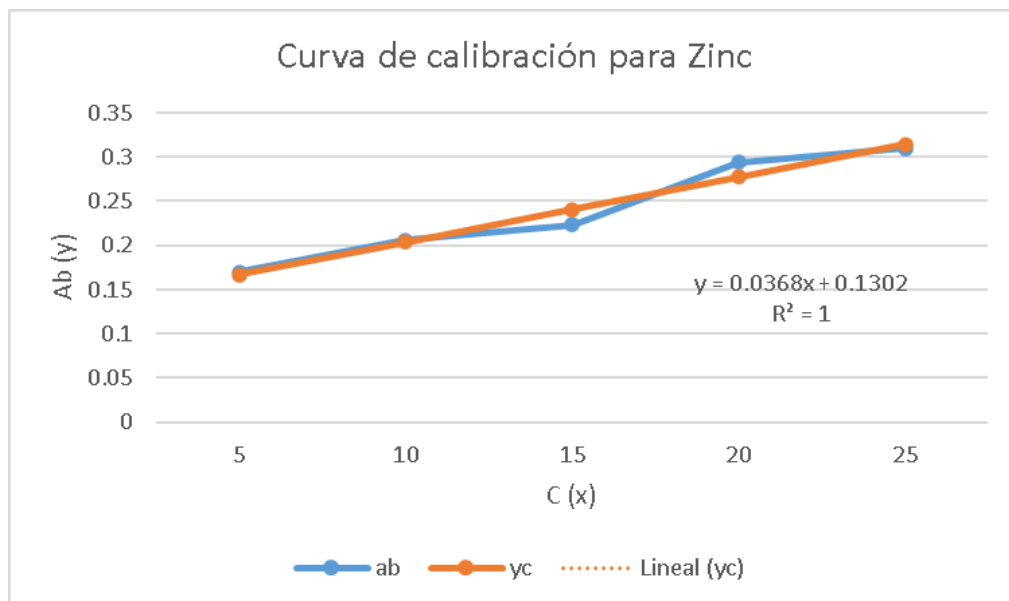


Figura 07. Curva de calibración de los 5 tubos frente a sus absorbancias y al “Yc” corregido.

Anexo 11

Concentración de zinc en tallos y hojas de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza

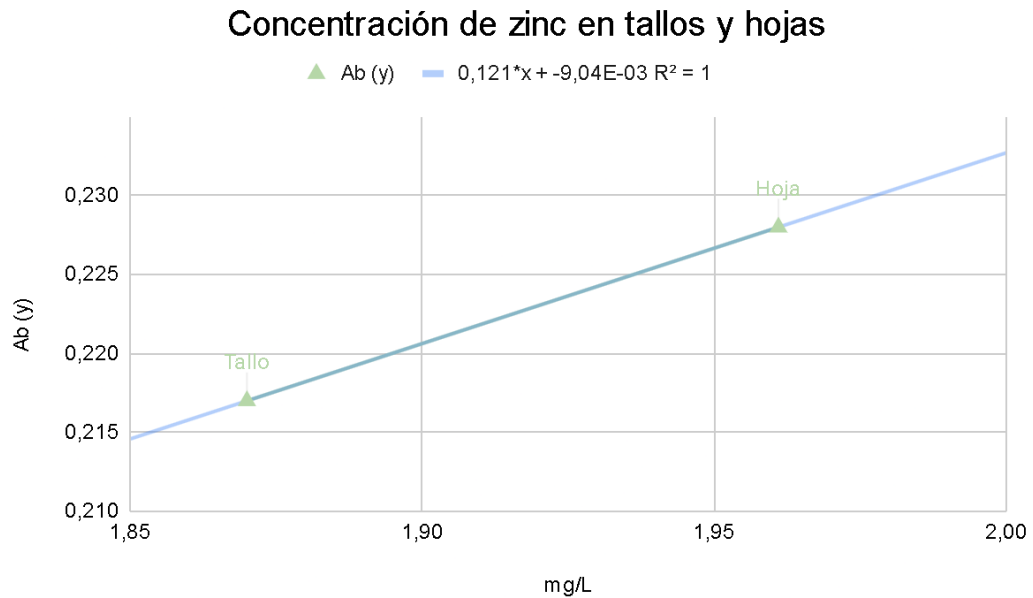


Figura 08. Concentración de zinc de las hojas y tallos de *Elodea potamogeton* frente a sus absorbancias, la mayor concentración es en hojas con 1,961 y en tallos es de 1,873 mg/L.

Anexo 12

Procedimiento para la determinación de magnesio por el método de eriocromo T-ECT (AOAC, 2005) en *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza "elodea"



Para poder obtener diferentes concentraciones se tiene que alcalinizar la muestra



Se obtuvo un pH alcalino



Concentraciones para ser leídas en el espectrofotómetro



Muestras de hoj y tallo de "elodea"

Anexo 13

Curva de calibración para magnesio

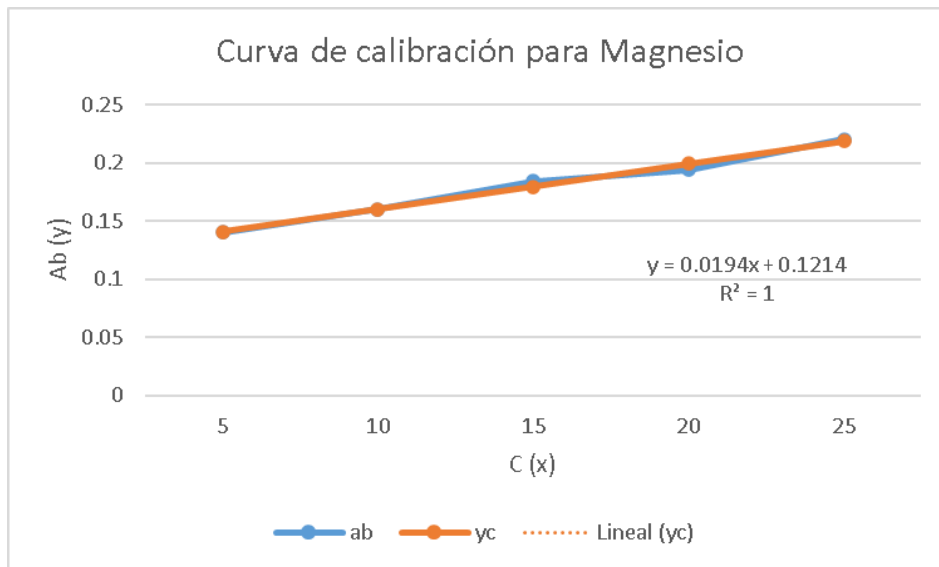


Figura 09. Curva de calibración de los 5 tubos frente a sus absorbancias y al “Yc” corregido.

Anexo 14

Concentración de magnesio en tallos y hojas de *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza

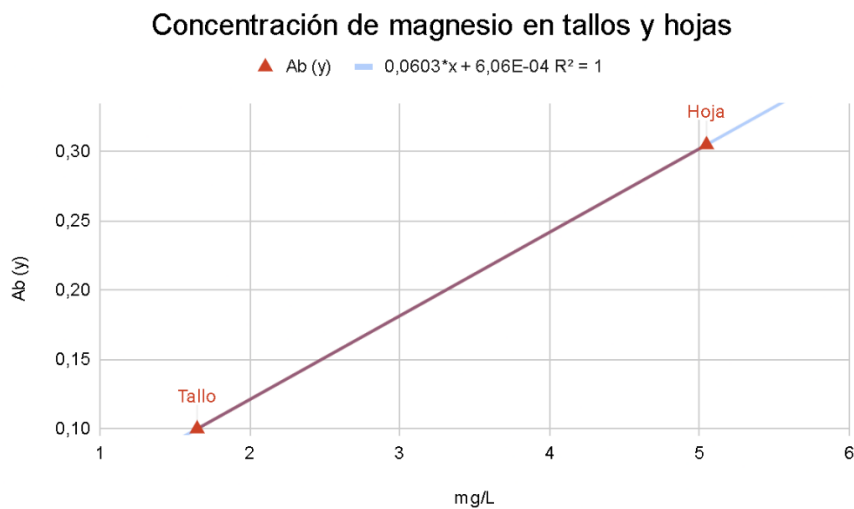


Figura 10. Concentración de magnesio de las hojas y tallos de *Elodea potamogeton* frente a sus absorbancias, la mayor concentración es en hojas con 5,047 y en tallos es de 1,648 mg/L.

Anexo 15

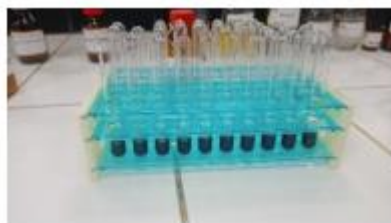
Procedimiento de tamizaje fitoquímico por el método de maceración para determinar la presencia de metabolitos secundarios en *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza "elodea"



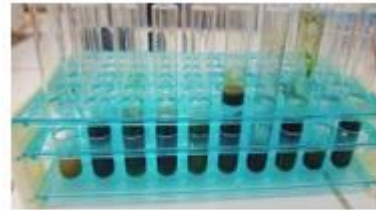
Extracto hidroalcohólico evaporado en baño maría



Reactivos usados en el tamizaje



Tubos de ensayo con extracto de "elodea"



Ensayos realizados y sus reacciones para determinar metabolitos en "elodea"



Reacción de un ensayo para determinar azúcares



Reacción del ensayo de Dragendorff

Anexo 16

Constancia de identificación taxonómica de *Elodea potamogeton*

CONSTANCIA

LA BIOLOGA LAURA AUCASIME MEDINA ESPECIALISTA EN TAXONOMÍA Y SISTEMÁTICA DE PLANTAS DEJA CONSTANCIA:

Que, el Bachiller en Ciencias Biológicas, Sr. Américo, URBANO ARREA, ha solicitado la identificación de una muestra vegetal para trabajo de tesis.

Dicha muestra ha sido estudiada y determinada según el Sistema de Clasificación de Cronquist. A. 1988. Siendo su taxonomía el siguiente:

DIVISIÓN	:	MAGNOLIOPHYTA
CLASE	:	LILIOPSIDA
SUB CLASE	:	ALISMATIDAE
ORDEN	:	HYDROCHARITALES
FAMILIA	:	HYDROCHARITACEAE
GENERO	:	Elodea
ESPECIE	:	<i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza
N.V.	:	"elodea"

Se expide la certificación correspondiente a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Ayacucho, 14 de setiembre del 2024


LAURA AUCASIME-MEDINA
BIÓLOGA
Reg. C.B.P. N° 583 C.R. - XIII

Anexo 17

Matriz de consistencia

Contenido de hierro, fósforo, zinc y magnesio en *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza “elodea”, Ayacucho - 2024

Autor: Americo Urbano Arrea

PROBLEMA	OBJETIVO	MARCO TEÓRICO	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Cuál será el contenido de hierro, fósforo, zinc y magnesio en <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza “elodea”?	Objetivo general: Evaluar el contenido de hierro, fósforo, zinc y magnesio en <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza “elodea”. Objetivos específicos: 1.Cuantificar el contenido de hierro por el método colorimétrico de 1,10-fenantrolina en hojas y tallos de <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza “elodea”. 2.Determinar el contenido de fósforo por el método de Azul de molibdeno en hojas y tallos de <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza “elodea”. 3.Determinar el contenido de zinc por el método de la Dithizona en hojas y tallos de <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza “elodea”. 4.Determinar el contenido de magnesio por el método Eriocromo T en hojas y tallos de <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza “elodea”. 5.Realizar el tamizaje fitoquímico de hojas y tallos de <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza “elodea”	Las plantas pueden nutrirse y sobrevivir en ambientes iónicos muy diluidos gracias a su capacidad para acumular iones en su interior a concentraciones 10.000 veces superiores a las externas. Las sustancias de bajo peso molecular (como los iones minerales nutritivos) se mueven constantemente en el suelo gracias a la difusión y al flujo de masa, llegando así a las raíces de las plantas (Sequi y Piaggese, 2004).	Variable 1 <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza Indicador Hojas y tallos Variable 2 Concentración de hierro, fósforo, magnesio y zinc Indicador -Hierro: mg /L -Fósforo: mg/L -Magnesio: mg/L -Zinc: mg/L	Tipo y diseño de investigación Descriptivo y no experimental Régimen de la investigación Libre Definición de la muestra Población Plantas de <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza “elodea”. Muestra 5 kg de tallo y hojas de <i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinoza “elodea”. Metodología - Recolección de las muestras. - Pre tratamiento de la muestra para la obtención de ceniza. - Obtención del extracto hidroalcohólico - Cuantificación de hierro, fósforo, zinc y magnesio Análisis estadístico Para el análisis estadístico se expresarán en promedio y desviación estándar utilizando la estadística descriptiva, como también serán representados en tablas y figuras.

**UNSCH**FACULTAD DE
CIENCIAS BIOLÓGICAS**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS****Bach. Americo URBANO ARREA****RESOLUCIÓN DECANAL N° 252-2025-UNSCH-FCB-D**

En la ciudad de Ayacucho, siendo las once de la mañana del día viernes ocho de agosto del año dos mil veinticinco; se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, participando como presidente el Dr. Saturnino Martín Tenorio Bautista, el Dr. Pedro Ayala Gómez (miembro – jurado), el Dr. Jesús Javier Ñaccha Urbano (miembro – jurado) y el Dr. Raúl Antonio Mamani Aycachi (miembro – asesor), actuando como secretaria docente encargada la Mg. Ana María Cancho Cuba con memorando N° 158-2025-UNSCH(in)-FCB de fecha cinco de agosto de dos mil veinticinco; para presenciar la sustentación de tesis titulada: **Contenido de hierro fósforo, zinc y magnesio en *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza "elodea", Ayacucho - 2024**, presentado por el Bach. **Americo URBANO ARREA**; el presidente luego de verificar la documentación presentada, indicó al secretario docente dar lectura a la documentación generada que refrenda el presente acto académico, luego de ello dispuso el inicio del acto de sustentación, indicando al sustentante que dispone de cuarenta y cinco minutos para exponer su trabajo de investigación tal como establece en el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Biología de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Culminada la exposición, el presidente invitó a cada uno de los Miembros del Jurado a participar con sus observaciones, sugerencias y preguntas al sustentante. Culminada esta etapa, el presidente invitó al sustentante y al público asistente a abandonar momentáneamente el Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga para que los Miembros del Jurado evaluador puedan realizar las deliberaciones y calificaciones correspondientes; cuyos resultados son los que se consignan a continuación:

Miembros del Jurado Evaluador	Exposición	Respuesta/preguntas	Promedio
Dr. Pedro Ayala Gómez	17	16	17
Dr. Jesús Javier Ñaccha Urbano	17	16	17
Dr. Raúl Antonio Mamani Aycachi	17	17	17

PROMEDIO**17**

El sustentante alcanzó el promedio de 17 aprobatorio. Acto seguido, el presidente autorizó el ingreso del sustentante y el público al Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga dando a conocer los resultados e indicando que de este modo se da por finalizado el presente acto académico, siendo la una con treinta minutos; firmando al pie del presente en señal de conformidad.

Dr. Saturnino Martín Tenorio Bautista
Presidente

Dr. Pedro Ayala Gómez
Miembro - jurado

Dr. Jesús Javier Ñaccha Urbano
Miembro – jurado

Dr. Raúl Antonio Mamani Aycachi
Miembro - Asesor

Mg. Ana María Cancho Cuba
Secretario Docente (e)



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

DECANATURA - ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

Nº 043-2025-FCB-D

Yo, FIDEL RODOLFO MUJICA LENGUA, Director de la Escuela Profesional de Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; autoridad encargada de verificar la tesis titulada: **Contenido de hierro, fósforo, zinc y magnesio en *Elodea potamogeton* (Bert.) Espinoza "elodea", Ayacucho - 2024**, por AMERICO URBANO ARREA; he constatado por medio del uso de la herramienta TURNITIN, procesado CON DEPÓSITO, una similitud de 25%, grado de coincidencia, menor a lo que determina la ausencia de plagio definido por el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario Nº 039-2021-UNSCH-CU.

En consecuencia, la tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Se acompaña el INFORME FINAL DE TURNITIN correspondiente.

Ayacucho, 28 de agosto del 2025.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA
Dr. Fidel R. Mujica Lengua
DIRECTOR

Contenido de hierro, fósforo, zinc y magnesio en Elodea potamogeton (Bert.) Espinoza "elodea", Ayacucho - 2024

por AMERICO URBANO ARREA

Fecha de entrega: 26-ago-2025 08:10p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2735897484

Nombre del archivo: 3A_URBANO_ARREA-Americo-pregrado-2025_TURNITIN.docx (2.97M)

Total de palabras: 9026

Total de caracteres: 47896

Contenido de hierro, fósforo, zinc y magnesio en Elodea potamogeton (Bert.) Espinoza "elodea", Ayacucho - 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%	19%	2%	11%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	11%
	Trabajo del estudiante	
2	actualizandocambios.blogspot.com	4%
	Fuente de Internet	
3	dspace-uh-tmp.igniteonline.la	3%
	Fuente de Internet	
4	docplayer.es	2%
	Fuente de Internet	
5	idoc.pub	1%
	Fuente de Internet	
6	www.repositorio.usac.edu.gt	1%
	Fuente de Internet	
7	repositorio.unsch.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.unap.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
9	repositorio.unc.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
10	Janaina Sánchez García. "Desarrollo y caracterización de nuevas harinas de lenteja y quinoa fermentadas con Pleurotus	1%

ostreatus", Universitat Politecnica de Valencia, 2023

Publicación

11

www.scielo.org.pe

Fuente de Internet

<1 %

12

dokumen.pub

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo