



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

TRABAJO EXPERIMENTAL

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL NUTRACÉUTICO DE *SESUVIUM*
PORTULACASTRUM OBTENIDA DE LA PLAYA VARADERO COMO APORTE A LA
DESNUTRICIÓN CRÓNICA INFANTIL**

*Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniera en Biotecnología*

AUTOR: GIANELLA PAULA MUÑOZ RICAURTE

TUTOR: Q.F. JAIRO JOEL JAIME CARVAJAL, MSC.

ING. JAIME ALBERTO NARANJO MORÁN, MSC.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, **Gianella Paula Muñoz Ricaurte** con documento de identificación N° 0955681556
manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la
Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera
total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 29 de febrero del año 2024.

Atentamente,



Gianella Paula Muñoz

Ricaurte

0955681556

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, **Gianella Paula Muñoz Ricaurte** con documento de identificación No. 0955681556, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo experimental: **“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL NUTRACÉUTICO DE *SESUVIUM PORTULACASTRUM* OBTENIDA DE LA PLAYA VARADERO COMO APORTE A LA DESNUTRICIÓN CRÓNICA INFANTIL”**; el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Biotecnología, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 29 de febrero del año 2024.

Atentamente,



Gianella Paula Muñoz

Ricaurte

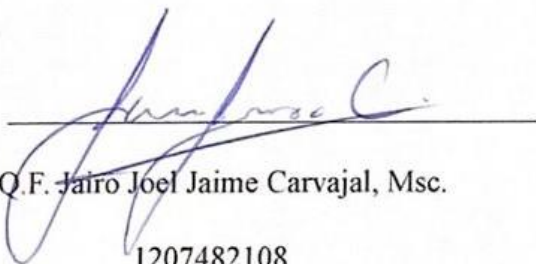
0955681556

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Jairo Joel Jaime Carvajal** con documento de identificación N° 1207482108, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL NUTRACÉUTICO DE *SESUVIUM PORTULACASTRUM* OBTENIDA DE LA PLAYA VARADERO COMO APORTE A LA DESNUTRICIÓN CRÓNICA INFANTIL”**, realizado por Gianella Paula Muñoz Ricaurte con documento de identificación N° 0955681556, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 29 de febrero del año 2024.

Atentamente,



Q.F. Jairo Joel Jaime Carvajal, Msc.
1207482108

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Jaime Alberto Naranjo Morán** con documento de identificación N° 0927155226, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL NUTRACÉUTICO DE *SESUVIUM PORTULACASTRUM* OBTENIDA DE LA PLAYA VARADERO COMO APORTE A LA DESNUTRICIÓN CRÓNICA INFANTIL**”, realizado por Gianella Paula Muñoz Ricaurte con documento de identificación N° 0955681556, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 29 de febrero del año 2024.

Atentamente,



Ing. Jaime Alberto Naranjo Morán, Msc.

0927155226

Dedicatoria

A mi familia; Jenny, Antonio, Osmar e Israel quienes me apoyaron incondicionalmente a través de su paciencia, aliento y amor inmensurable. Especialmente a mi mamá y papá: mi mamá, quien fue la primera que creyó en mí, apostó todo por mis sueños y los impulsó incansablemente. Mi papá, quien sostuvo mis sueños al no dudar nunca en brindarme su mano. Sobre todo, a mí, por permitirme creer en mí, apostar todo por mis convicciones y mis ganas de cambiar el mundo usando biotecnología.

Agradecimiento

A mis tíos, Jimmy y Andrew por su apoyo incondicional. A aquellos docentes que con su pasión por la ciencia me inspiraron. Al Msc. Jaime Naranjo por su respaldo constante y por compartir conmigo sus ideas disruptivas. Al Msc. Jairo Jaime y Msc. Kevin Cedeño por su soporte en el presente trabajo académico. Sobre todo, a la Fundación Hanns Seidel, a Azucena Quilumbaquí, Philipp Fleischhauer y Valeria Mouzas quienes creyeron en mi potencial, me dieron la oportunidad de continuar con mis estudios y de ser parte de una maravillosa familia de becarios líderes.

Gianella Paula Muñoz Ricaurte

Resumen

La desnutrición crónica infantil es un estado patológico que es ocasionado por una incorrecta ingesta de alimentos con nutrientes inadecuados que tiene efectos devastadores tanto en el crecimiento físico como cognitivo de los niños impactando directamente en su calidad de vida. La planta halófito *Sesuvium portulacastrum* por su alto contenido de metabolitos secundarios y nutrientes se posiciona como una fuente de alimentos funcionales y nutracéuticos. Por esto, se exploró el potencial nutracéutico de las hojas *Sesuvium portulacastrum* obtenida de tres diferentes puntos de la Playa Varadero como aporte a la desnutrición crónica infantil. Para esto, se identificó la concentración de macronutrientes y micronutrientes mediante espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Se determinó metabolitos secundarios a través de un tamizaje fitoquímico. Además, se diseñó un sistema de cultivo hidropónico halófito que cumpla con las condiciones óptimas para el cultivo de *Sesuvium portulacastrum* en el campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana. Los resultados demostraron altos contenidos de micronutrientes (Cu, Fe, Cr y Zn) y de macronutrientes (Na, K, Mg y Ca). Se determinó la presencia de metabolitos secundarios como alcaloides, flavonoides, cumarinas y terpenoides. Se concluyó que un cultivo hidropónico ideal para el crecimiento de plantas halófitas es aquel de tipo horizontal, con un sustrato hecho a base de estopa de coco, arena de mar y turba, con un perenne contacto con agua salada misma que contiene solución nutritiva de Steiner y oxigenación constante. Todo el contenido de metabolitos secundarios y de nutrientes apuntan a que esta planta halófito se puede posicionar como un alimento nutracéutico que contribuya significativamente a mejorar la salud y bienestar de los niños afectados con desnutrición crónica infantil gracias a sus propiedades bioactivas.

- Palabras claves: Plantas halófitas, *Sesuvium portulacastrum*, macronutrientes, micronutrientes, ICP, metabolitos secundarios, tamizaje fitoquímico, cultivo hidropónico, desnutrición crónica infantil.

Abstract

Chronic childhood malnutrition is a pathological state that is caused by incorrect intake of foods with inadequate nutrients that has devastating effects on both the physical and cognitive growth of children, directly impacting their quality of life. The halophyte plant *Sesuvium portulacastrum*, due to its high content of secondary metabolites and nutrients, is positioned as a source of functional foods and nutraceuticals. For this reason, the nutraceutical potential of *Sesuvium portulacastrum* leaves obtained from three different points of Varadero Beach was explored as a contribution to chronic childhood malnutrition. For this, the concentration of macronutrients and micronutrients was identified by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-OES). Secondary metabolites were determined through phytochemical screening. In addition, a halophytic hydroponic cultivation system was designed that meets the optimal conditions for the cultivation of *Sesuvium portulacastrum* on the María Auxiliadora campus of the Salesiana Polytechnic University. The results demonstrated high contents of micronutrients (Cu, Fe, Cr and Zn) and macronutrients (Na, K, Mg and Ca). The presence of secondary metabolites such as alkaloids, flavonoids, coumarins and terpenoids was determined. It was concluded that an ideal hydroponic culture for the growth of halophytic plants is that of a horizontal type, with a substrate made from coconut tow, sea sand and peat, with perennial contact with salt water itself that contains Steiner's nutrient solution. and constant oxygenation. All the content of secondary metabolites and nutrients indicate that this halophyte plant can be positioned as a nutraceutical food that contributes significantly to improving the health and well-being of children affected by chronic childhood malnutrition thanks to its bioactive properties.

- Key words: Halophyte plants, *Sesuvium portulacastrum*, macronutrients, micronutrients, ICP, secondary metabolites, phytochemical screening, hydroponic cultivation, chronic childhood malnutrition.

Índice de contenido

Capítulo I	1
1. Antecedentes	1
1.1. Introducción	1
1.2. Problema.....	2
1.3. Delimitación	4
1.4. Pregunta de investigación.....	5
1.5. Objetivos generales y específicos.....	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.5.2. Objetivos específicos.....	6
1.6. Hipótesis.....	6
Capítulo II	7
2. Fundamentación teórica	7
2.1. Plantas halófitas.....	7
2.2. Especie vegetal <i>Sesuvium portulacastrum</i>	8
2.2.1. Taxonomía	8
2.2.2. Descripción.....	9
2.2.3. Morfología de <i>Sesuvium portulacastrum</i>	10
2.2.4. Hábitat	11
2.2.5. Distribución.....	12
2.2.6. Tolerancia al estrés	13
2.2.7. Estudios moleculares.....	13
2.2.8. Implicaciones biotecnológicas	14
2.2.9. Metabolitos secundarios	15
2.2.10. Aplicaciones potenciales	15
2.3. Marismas saladas.....	17
2.4. Edad fisiológica de las hojas de una especie vegetal y sus efectos en sus contenidos de nutrientes.....	18
2.5. Desnutrición crónica infantil	19
2.6. Alimentos nutraceuticos	19
2.7. Macronutrientes y micronutrientes.....	20
2.8. Espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). 23	

2.9.	Generalidades de los metabolitos secundarios	24
2.10.	Tamizaje Fitoquímico.....	25
2.11.	Cultivo hidropónico.....	25
Capítulo III	27
3.	Materiales y métodos	27
3.1.	Materiales	27
3.2.	Diseño.....	27
3.3.	Población y muestra	28
3.4.	Diseño estadístico.....	28
3.5.	Variables	28
3.5.1.	Variables independientes	28
3.5.2.	Variables dependientes	29
3.6.	Recogida de datos.....	30
3.7.	Protocolos.....	30
3.7.1.	Recolección de la muestra	30
3.7.2.	Clasificación.....	31
3.7.3.	Proceso de identificación de macronutrientes y micronutrientes por ICP-OES	31
3.7.4.	Proceso de determinación de metabolitos secundarios por tamizaje fitoquímico	33
3.7.5.	Diseño del cultivo hidropónico	37
3.7.5.1.	Diseño de cultivo hidropónico vertical	37
3.7.5.2.	Diseño de cultivo hidropónico horizontal	38
Capítulo IV	40
4.	Resultados y discusión	40
4.1.	Identificación de la concentración macronutrientes y micronutrientes mediante espectroscopía de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES).....	40
4.2.	Determinación de metabolitos secundarios por tamizaje fitoquímico	45
4.3.	Diseño de cultivo hidropónico halófito que cumple con las condiciones óptimas para el cultivo de <i>Sesuvium portulacastrum</i> en el campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana	48
	Cultivo vertical	49
	Cultivo horizontal	52
Capítulo V	59

5. Conclusiones y recomendaciones	59
5.1. Conclusiones	59
5.2. Recomendaciones.....	60
Bibliografía	61
Anexos	72

Índice de Tablas

Tabla 1. Taxonomía de la especie vegetal <i>Sesuvium portulacastrum</i> (Gobierno de Canarias, s.f.).....	8
Tabla 2. Tabla de identificación de flavonoides (Muñoz, 2024)	35
Tabla 3. Resultados de la concentración de micronutrientes por ICP (Muñoz, 2024)	40
Tabla 4. Resultados de la concentración de macronutrientes por ICP (Muñoz, 2024).....	41
Tabla 5. Resultados de la determinación de metabolitos secundarios por tamizaje fitoquímico (Muñoz, 2024).....	45
Tabla 6. Resultados del diseño hidropónico vertical con el sustrato 1 (Muñoz, 2024).....	49
Tabla 7. Resultados del diseño hidropónico vertical con el sustrato 2 (Muñoz, 2024).....	50
Tabla 8. Resultados del diseño hidropónico horizontal con el sustrato 1 (Muñoz, 2024).....	52
Tabla 9. Resultados del diseño hidropónico horizontal con el sustrato 2 (Muñoz, 2024).....	53

Índice de Figuras

Figura 1. Especie vegetal <i>Sesuvium portulacastrum</i> (Muñoz 2023).....	9
.....	9
Figura 2. Morfología de la especie vegetal <i>Sesuvium portulacastrum</i> (Muñoz 2023).	10
.....	10
Figura 3. Hábitat de la especie vegetal <i>Sesuvium portulacastrum</i> (Muñoz 2023).....	11
Figura 4. Especie vegetal <i>Sesuvium portulacastrum</i> (Muñoz 2023).....	12
Figura 5. Flujograma del proceso de estudio (Muñoz 2023).	27
Figura 6. Gráfica de la concentración de micronutrientes (Muñoz 2024)	41
.....	41
Figura 7. Gráfico de la concentración de macronutrientes (Muñoz 2024).....	42
Figura 8. Gráfico de la relación del sistema hidropónico*sustrato Vs cada una de las variables medidas (Muñoz 2024).....	55
Figura 9. Gráfico de la relación del sistema hidropónico*sustrato Vs todas las variables medidas (Muñoz 2024).....	56

Índice de Anexos

Anexo 1. Materiales: recolección de muestra	72
Anexo 2. Materiales: toma de parámetros.....	72
Anexo 3. Materiales de laboratorio: Determinación de macronutrientes y micronutrientes por ICP.....	72
Anexo 4. Materiales: determinación de metabolitos secundarios por tamizaje fitoquímico ...	73
Anexo 5. Materiales: diseño de cultivo hidropónico vertical	73
Anexo 6. Materiales: diseño de cultivo hidropónico horizontal	74
Anexo 7. Protocolo de solución Steiner.....	74
Anexo 8. Recolección de muestras vegetales de <i>Sesuvium portulacastrum</i>	75
Anexo 9. Clasificación de hojas por edad fisiológica	76
Anexo 10. Preparación de hojas para procesos experimentales.....	77
Anexo 11. Proceso de identificación de macronutrientes y micronutrientes por ICP.....	79
Anexo 12. Proceso de determinación de metabolitos secundarios por tamizaje fitoquímico..	83
Anexo 13. Preparación de sustratos	89
.....	89
Anexo 14. Preparación de Solución Steiner.....	90
Anexo 15. Diseño de cultivo hidropónico vertical	91
Anexo 16. Diseño de cultivo hidropónico horizontal	92
Anexo 17. Diseño de cultivo hidropónico vertical y horizontal	93
Anexo 18. Resultado de cultivos hidropónicos.....	94

Anexo 19. Resultado estadístico de la concentración de micronutrientes y macronutrientes por ICP.....	95
Anexo 20. Resultado estadístico de los cultivos hidropónicos	97

Capítulo I

1. Antecedentes

1.1. Introducción

Las plantas halófitas sintetizan varias moléculas bioactivas posicionándola como un vegetal de múltiples aprovechamientos (Coc-Coj, et al., 2020). Por su alto contenido de metabolitos secundarios se posiciona como una fuente de alimentos funcionales y nutraceuticos con un gran potencial para mitigar diversas enfermedades (Ksouri et al., 2011). Debido a esto, es de vital importancia investigar la síntesis y así mismo la acumulación de nutrientes en esta especie halófitas, sobre todo con relación a las posibles aplicaciones industriales (Lopes et al., 2023).

La especie halófitas, *Sesuvium portulacastrum* es una planta suculenta rastrera perenne (Lonard,& Judd, 1997). Se ha demostrado que las hojas de *Sesuvium portulacastrum* tienen un contenido rico en polifenoles, taninos, proteínas y minerales. Los minerales más importantes encontrados son sodio, potasio, magnesio, calcio y nitrógeno, siendo la cantidad predominante en sodio, seguido del magnesio, potasio y calcio (Sambou et al., 2022). Además, *Sesuvium portulacastrum* se cultiva como verdura para la cocina en India y Asia por su valor nutricional, sabor salado y naturaleza carnosa (Hammer, 2001).

La desnutrición crónica infantil es un estado patológico que es ocasionado por una incorrecta ingesta de alimentos y en general de nutrientes inadecuados, cuyos principales signos se manifiesta en una menor estatura y peso (Cortez & Pérez, 2023). Los organismos halófitos debido a sus compuestos bioactivos, pueden ser una nueva fuente de diversos productos saludables como alimentos funcionales y nutraceuticos para abordar la deficiencia de nutrientes.

En la presente investigación se refleja la evaluación del potencial nutracéutico de *Sesuvium portulacastrum* obtenida de la Playa Varadero a través del análisis de la concentración de macronutrientes y micronutrientes en una muestra de biomasa vegetal mediante espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), la determinación de metabolitos secundarios por tamizaje fitoquímico, y así mismo, se diseñó un sistema de cultivo hidropónico halófito que cumpla con las condiciones óptimas para el cultivo de *Sesuvium portulacastrum* en el campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana a manera de domesticación y preservación de la especie.

1.2. Problema

Hoy en día existe una gran demanda de alimentos para la población creciente, en consecuencia, la agricultura tiene que hacer frente a nuevos retos. Las limitadas tierras cultivables como resultado de suelos degradados, la salinización de suelos, el cambio climático con la reducción de agua dulce demanda encontrar estrategias innovadoras a través cultivos agrícolas que sean alternativos, y en ese sentido que puedan crecer en diferentes suelos tanto salinizados como secos supliendo la pérdida de la producción agrícola (Gollmack, 2014). Por otro lado, la inseguridad alimentaria es un problema grave donde la humanidad corre el riesgo de dietas insuficientes en nutrientes debido a la falta diversificación de alimentos. Estimaciones de la FAO indican que 850 millones de personas en el mundo están sufriendo enfermedades de desnutrición crónica (Debez et al., 2010).

En América Latina, 2.3 millones de niños aproximadamente de 0 a 4 años se encuentran afectados por la desnutrición moderada o incluso la grave y 8,8 millones se encuentran con alta prevalencia de desnutrición crónica (Cueva et al., 2021). El Ecuador es el cuarto país con mayor índice de DCI dentro de la Región luego de Honduras (19,9%), Haití (20,4%) y Guatemala (42,8%) (INEC, 2023). Por ende, la DCI constituye un problema de salud en el país al alterar

el estado bioquímico pero también al incrementar la morbimortalidad infantil a causa de una dieta inadecuada y la insuficiente disponibilidad de alimentos.

En general, la existencia de un sistema alimentario insostenible provoca la DCI. Es importante entender que, la falta de disponibilidad de alimentos, la falta de seguridad y soberanía alimentaria, la escasa información que existe acerca de las propiedades de plantas con potencial nutracéutico, además de la poca exploración de nuestros ecosistemas, son algunas de las causas que generan muchas enfermedades que se podrían prevenir y tratar desde una alimentación sustentable.

Estudios previos han demostrado que las plantas halófitas contienen un gran valor nutricional que podría hacer frente a la escasez de alimentos. A pesar que, estas especies cuentan con un gran valor, su identificación y así mismo su clasificación sigue siendo un reto a nivel local pero también regional. En ese sentido, las plantas halófitas como vegetales no convencionales aún no han alcanzado el mismo nivel de reconocimiento en el mercado alimentario y, por tanto, siguen estando infrautilizadas para su consumo comercial, sumándole a esto que la información y estudios nutricionales de estas, aún son muy escasos (Barroca, et al., 2020).

El interés por alimentos vegetales no convencionales con efectos funcionales de por medio ha incrementado en los últimos tiempos. La prospección de flora no utilizada o subutilizada como candidata a alimento se reconoce colectivamente como una opción sostenible en la productividad alimentaria que pueden prevenir o tratar enfermedades (Patel, 2016). El estudiar las plantas halófitas y caracterizar sus compuestos bioactivos son aspectos cruciales en el contexto de alimentos y así mismo de la salud infantil en Ecuador debido a que, se podría

aprovechar estas plantas como recursos de tipo nutricional y así contribuir a la disponibilidad de más alimentos y a la diversificación de estos.

Los organismos halófitos, especialmente la especie de *Sesuvium portulacastrum* debido a su contenido en macronutrientes y micronutrientes, pueden ser una oportunidad prometedora e innovadora para combatir la DCI, al ser una nueva fuente de principios activos para la creación de productos saludables como alimentos funcionales y nutracéuticos que puedan abordar la deficiencia de nutrientes. Los resultados que tenga este estudio contribuirán al bienestar de los ecuatorianos, especialmente al mejoramiento de la salud de la primera infancia, así como en la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y también la conservación de nuestros ecosistemas salinos costeros. En general, el presente estudio es de gran relevancia para contribuir al avance de la ciencia a nivel local, nacional e internacional a través del fortalecimiento de mejores sistemas de salud y mejores sistemas alimenticios a través de la soberanía y seguridad alimentaria.

1.3. Delimitación

La toma de muestras de la especie halófito *Sesuvium portulacastrum* se dio en diciembre de 2023 y tuvo lugar en la Playa Varadero, un balneario de Guayaquil que se encuentra ubicado en el recinto Data de Posorja dentro de la parroquia rural de Posorja, con poblaciones cercanas a El Morro, Puerto El Morro y también Posorja. Este balneario cuenta con una longitud de 2,5 Km de extensión de playa y un aproximado de 2.000 habitantes. Sus coordenadas son: 2°43'26.0"S 80°17'59.3"W.

Los tres puntos de la toma de muestras se realizaron en la porción de playa que desemboca en la Casa Margarita. Sus coordenadas son las siguientes:

- **Punto 1:** 2°43'22.6"S 80°17'53.6"W

- **Punto 2:** 2°43'28.8"S 80°17'53.1"W
- **Punto 3:** 2°43'28.8"S 80°17'53.2"W

En cuanto a la ubicación y la temporalidad de la parte experimental se buscaron las condiciones idóneas para favorecer el objetivo del estudio. Esta, se desarrolló durante los meses de diciembre 2023, enero y febrero 2024, además tuvo lugar en los laboratorios y espacios de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, dentro del Campus María Auxiliadora Km 19 Vía a la Costa. Sus coordenadas son: 2°11'31.4"S 80°02'44.8"W.

Los recursos para el presente estudio fueron patrocinados por la Universidad Politécnica Salesiana. La institución gestionó los recursos para llevar a cabo la investigación como parte del proyecto “Herbario UPS”, debido a que el presente tema se alinea con los objetivos del proyecto mencionado, facilitando principalmente el uso del laboratorio, materiales y demás recursos para la fase experimental.

Los resultados que se obtengan dentro de la presente investigación servirán como aporte al estudio de la quimio-biodiversidad de especies vegetales no convencionales que cuentan con un gran potencial nutracéutico, como lo es la especie *Sesuvium portulacastrum* a través del uso de técnicas innovadoras como lo es el ICP-OES y el tamizaje fitoquímico.

1.4. Pregunta de investigación

¿Cuál es el contenido nutracéutico presente en *Sesuvium portulacastrum* recolectada de la Playa Varadero?

1.5. Objetivos generales y específicos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar el potencial nutracéutico de *Sesuvium portulacastrum* obtenida de la Playa Varadero como aporte a la desnutrición crónica infantil.

1.5.2. Objetivos específicos

- Identificar la concentración de macronutrientes y micronutrientes mediante espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES).
- Determinar metabolitos secundarios a través de un tamizaje fitoquímico.
- Diseñar un sistema de cultivo hidropónico halófito que cumpla con las condiciones óptimas para el cultivo de *Sesuvium portulacastrum* en el campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana.

1.6. Hipótesis

La especie de planta halófito, *Sesuvium portulacastrum* obtenida de la Playa Varadero contiene un potencial nutracéutico que podría aportar a la desnutrición crónica infantil.

Capítulo II

2. Fundamentación teórica

2.1. Plantas halófitas

Las plantas halófitas (halos=sal; phyta=planta de) son aquellas especies de plantas que crecen en ecosistemas salinos y que se han usado hace más de 200 años con un enfoque principal en el desarrollo de una agricultura de tipo biosalina (Orrego et al. 2018). Las halófitas se presentan como aquellas plantas que toleran la sal en ecosistemas con estrés extremo, por tanto, muestran respuestas de tipo metabólicas conservadas y también divergentes distintas a las plantas convencionales. En ese sentido, es de vital importancia investigar la síntesis y así mismo la acumulación de metabolitos en esta especie halófitas, sobre todo con relación a las posibles aplicaciones industriales (Lopes et al., 2023).

Varias plantas de marismas se usan en el campo de la medicina y nutrición, gozando de un gran interés por el alto contenido de metabolitos primarios y secundarios tales como vitaminas, ácidos grasos poliinsaturados, carotenoides, aceites esenciales, esteroides, polisacáridos, compuestos fenólicos y glucósidos, siendo una fuente de alimentos funcionales y nutracéuticos que muestran un gran potencial para mitigar diversas enfermedades (Ksouri et al., 2011).

Existen una gran diversidad especies de halófitas de las cuales se han documentado su potencial nutricional. Entre ellas, la salicornia *ramosissima* es una de las más representativas dentro del campo de plantas halófitas (Holguín et al., 2020), esta cuenta con un perfil nutricional complejo y rico en fibras dietéticas, además de vitaminas, ácidos grasos, aminoácidos esenciales, fitoesteroides, flavonoides, también se muestra como una fuente de fosfato, calcio, sodio, yodo, fósforo, magnesio, manganeso, zinc, hierro y de una gran cantidad de antioxidantes naturales (Padalino et al., 2019). Se ha identificado en la Salicornia herbácea la presencia de

polisacáridos, fibras dietéticas, lípidos, proteínas y diferentes minerales como calcio, magnesio, hierro y potasio. En ese sentido, el perfil fitoquímico de las especies de salicornias ha sido estudiado informando la presencia de grandes compuestos bioactivos útiles en el campo de los alimentos funcionales (Patel, 2016). Así mismo, la especie vegetal *Sesuvium portulacastrum* presenta un contenido rico en polifenoles, taninos, proteínas y minerales (Sambou et al., 2022), además de alcaloides, aminoácidos, polisacáridos, saponinas, esteroides y triterpenos (Joshi & Bohosale, 1981).

2.2. Especie vegetal *Sesuvium portulacastrum*

2.2.1. Taxonomía

Tabla 1. Taxonomía de la especie vegetal *Sesuvium portulacastrum* (Gobierno de Canarias, s.f.)

Taxonomía de <i>Sesuvium portulacastrum</i>	
Reino	Plantae
Subreino	Traqueobionta
División	Spermatophyta
Subdivisión	Magnoliophytina
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Caryophyllidae
Orden	Caryophyllales
Familia	Aizoaceae
Subfamilia	Sesuvioideae
Género	<i>Sesuvium</i>
Especie	<i>S. portulacastrum</i> L.

2.2.2. Descripción

Sesuvium portulacastrum es una especie vegetal halófila, psamófila, herbácea, perenne, dicotiledónea, rastrera, tapizante y facultativa que pertenece a la familia Aizoaceae. Sus nombres comunes van a depender de su distribución geográfica, sin embargo, su nombre más representativo es “Verdolaga de playa”. Su reproducción se da por semillas y además por fragmentación de los tallos, su madurez sexual se da al año de su germinación (Lonar & Judd, 1997).

Figura 1. Especie vegetal *Sesuvium portulacastrum* (Muñoz 2023).



2.2.3. Morfología de *Sesuvium portulacastrum*

Mantiene densos tapices que miden entre 30-50 cm de alto y varios metros de longitud. Su tallo resulta muy ramificado, además tendido y con sus extremos levantados, mismos que son de color verde-morado. Por otra parte, sus hojas son de tipo opuestas, oblongo-lanceoladas, suculentas, enteras y glabras, es decir, liso, brillante, sin ningún pelo o cerda y tienen un color rosa-verdoso o rojo (Joshi & Bhosale, 1981). Sus pecioloos son anchos en la base y también abrazan al tallo. Por otro lado, sus flores son solitarias, salen en las axilas de las hojas. Mantiene 5 pétalos que son ovados, color rosa-morado y raramente blancas por dentro. Sus estambres tienen 3 a 4 estilos y son números. Finalmente, sus frutos son capsulares y cónicos, y cada uno de ellos produce 50 o más semillas por cápsula (Lonard & Judd, 1997).

Figura 2. Morfología de la especie vegetal *Sesuvium portulacastrum* (Muñoz 2023).



2.2.4. Hábitat

Esta planta halófila suele crecer en espacios arenosos, húmedos tales como playas, manglares, dunas, marismas, etc. Se considera que, habita en áreas que mantienen precipitaciones anuales de 50 a 150 cm y también pueden permanecer verde en áreas con estaciones largas que sean secas y así mismo en hábitats que estén sujetos a la niebla salina (Lonard & Judd, 1997).

Figura 3. Hábitat de la especie vegetal *Sesuvium portulacastrum* (Muñoz 2023).



2.2.5. Distribución

S. portulacastrum crece de manera natural en zonas subtropicales, mediterráneas, costeras y también cálidas de todo el mundo (Ramani et al., 2006). Por eso, se puede mencionar que crece en las costas de los cinco continentes y se encuentra distribuido como especie pionera dentro de las costas tropicales y subtropicales que se extienden desde el Ecuador alrededor de los 34° de latitud norte y los 41° de latitud sur (Lonard & Judd, 1997).

Figura 4. Especie vegetal *Sesuvium portulacastrum* (Muñoz 2023).



2.2.6. Tolerancia al estrés

Esta especie vegetal crece bajo un estrés abiótico, es decir, bajo condiciones de sal, sequía y metales pesados, presenta diferentes adaptaciones por medio del crecimiento morfológico y anatómico, además en la eficiencia del uso del agua y diversos cambios fisiológicos y también bioquímicos. *Sesuvium* puede conservar el potencial de crecimiento y la adquisición de nutrientes durante el periodo correspondiente de estrés como resultado de una disminución del potencial hídrico y también una mayor eficiencia del agua y su uso (Slama et al., 2006).

S. portulacastrum, al ser una halófita facultativa y una especie “acumuladora de sal”, crece de forma eficiente en condiciones de salinidad severa y en situaciones de baja disponibilidad de nutrientes. Esta especie, mantiene su crecimiento mediante el secuestro de iones salino y metales pesados en las vacuolas para así sostener el equilibrio osmótico entre la vacuola y el citoplasma (Moseki & Buru, 2010). Se ha observado que, el crecimiento de *Sesuvium* mejoran luego de la exposición a concentraciones óptimas de NaCl en condiciones *in vitro* y, por otro lado, un aumento con respecto a la tasa de crecimiento y estado de halosuculencia en condiciones *ex vitro* (Lokhande, et al., 2010). Justamente esta propiedad de halosuculencia que mantiene esta especie puede ayudar a *Sesuvium* a adaptarse a diversas tensiones ambientales (Yang & Jen, 2002).

2.2.7. Estudios moleculares

La adaptación de estas plantas al evidente estrés ambiental se encuentra manejada por cascadas de redes moleculares. Por ende, el aplicar tecnologías genómicas ha aportado a la comprensión de las respuestas de plantas al estrés abiótico. En el frente genómico, se ha hecho una biblioteca de ADNc de la especie en mención para identificar los genes de tolerancia a la

sal (Zeng et al., 2006). Las respuestas biológicas y procesos de desarrollo de plantas se controlan en niveles de expresión genética para identificar la función potencial de un gen en particular. Por esto, debido a que no existe información extensa sobre las secuencias de *Sesuvium*, los proyectos sobre el uso de polimorfismos de longitud de fragmentos amplificados de ADNc ayudan a generar información sobre el perfil de expresión de diversos transcriptomas bajo tensiones, para así resolver el mecanismo molecular que subyace a la tolerancia al estrés abiótico de esta especie vegetal (Cushman, 2003).

2.2.8. Implicaciones biotecnológicas

Los procesos de cultivo *in vitro* permiten producir especies vegetales a gran escala para la conservación de plantas. Para *S. portulacastrum* se han desarrollado diferentes protocolos para la micropropagación que han resultado ser eficientes. Uno de ellos, utilizó brotes auxiliares en con un medio Murashige y Skoog, con una combinación de citoquinina en alto contenido y un bajo contenido de auxina. También, se han usado raíces y callos para establecer cultivos en suspensión celular que se posicionan como una fuente para la síntesis y producción de diversos metabolitos secundarios que resultan ser muy valiosos (Lokhande et al. 2010).

Los cultivos *in vitro* permiten una producción mucho más eficiente. Las respuestas de producción son más rápidas. El tiempo de generación es más corto, se mantiene un ambiente controlado y las inferencias que se obtienen de cultivos *in vitro* bajo estrés salino pueden ser aplicadas de forma directa en todo el mundo. Por tanto, una tecnología ecológica, rentable y basada en diversos sistemas biológicos que utilicen un enfoque biotecnológico debería hacer posible justamente la síntesis de diversos tipos de compuestos de interés para la producción a gran escala para aplicaciones en diversos campos (Lokhande et al. 2012).

2.2.9. Metabolitos secundarios

Sesuvium portulacastrum, es una fuente de fitoecdisteroides, fuente de hormonas para la defensa de la planta, además de 20-hidroxiecdisona y ecdisona (Simon & Krolman, 1989). La 20-hidroxiecdisona puede usarse como pesticida biológico, para elevar el rendimiento de la seda (Dinan, 2001), además se pueden utilizar para mejorar la salud debido a que estimulan la síntesis de proteínas, desarrollo muscular e inclusive son adaptógenos para pacientes con VIH, tiene una importante actividad espermicida, sumándole que contiene antioxidantes (Sinlaparaya et al., 2007). Varios estudios también han sugerido que pueden ser eficaces en el control de la diabetes. Sin embargo, la información con relación a la producción a gran escala de este metabolito es muy escasa, por esto, es importante realizar esfuerzos para adoptar tierras no disponibles para la producción en masa de esta especie y realizar una utilización sostenible de la planta.

Esta planta es usada tradicionalmente como un remedio contra la fiebre, trastornos renales, además del escorbuto (Rojas et al., 1992). El aceite esencial que se logra extraer de las hojas de *Sesuvium portulacastrum* mostró una notable actividad antibacteriana contra bacterias grampositivas y gramnegativas, además de una importante actividad fúngica y antioxidante (Magawa et al., 2006). Se ha descubierto que, la planta contiene una rica fuente de alcaloides, aminoácidos, polisacáridos, saponinas, esteroides y triterpenos que se han usado para la actividad antiviral y el curado de hepatitis (Joshi & Bohosale, 1981).

2.2.10. Aplicaciones potenciales

Desde la arista medicinal, *Sesuvium portulacastrum* contiene metabolitos secundarios que muestran un potencial como sustitutos de materias sintéticas en industrias de alimentos, cosmética, perfumería y farmacéutica (Balchin & Deans, 1997). Se usa como remedio para la

fiebre, escorbuto, diversos trastornos renales por diversas comunidades. También se usa como hemostático y su decocción es considerado un antídoto contra las picaduras de peces que son venenosos. Sus hojas mantienen un sabor amargo y antiescorbútico y además se ha demostrado que la planta contiene actividad positiva contra el VIH (Rojas et al., 1992). Por otro lado, el aceite esencial de las hojas muestra una actividad fúngica y antioxidante relevante. Los ésteres metílicos de ácidos grasos de las hojas tienen una gran cantidad de ácidos grasos (Magawa et al., 2006). También, los extractos metanólicos de la planta muestran actividad inhibitoria de colinesterasa para tratar el Alzheimer. A esto se suma que, es una fuente muy rica en esteroides, triterpenos, tiene actividad antiviral, aporta al tratamiento de la hepatitis y demás enfermedades (Suganthi et al., 2009).

Esta planta halófito se ha posicionado también como una fuente de alimentos debido a que se cultiva como una verdura para cocinar. Mantiene un gran valor en la arista de alimentos y se usa como hortalizas silvestres debido a su sabor salado y naturaleza carnosa. Se ha comprobado valores nutricionales aproximados de proteínas del 10,2 %, cenizas totales del 33%, grasas del 0,24%, fibra cruda del 9,9%, carbohidratos del 45,5% y valor calórico de 223 K calorías (Hammer, 2001).

Se ha utilizado también como una fuente de fertilizante y conservante orgánico. Se descubrió que, el abono de plantas halófitas mejora significativamente la microflora de los suelos como bacterias, actinomicetos y hongos en conjunto con su actividad de tipo enzimática del suelo como la deshidrogenasa, fosfatasa alcalina y la ureasa. Un estudio donde se utilizó compost de plantas halófitas junto con estiércol y solubilizantes de fosfato en las semillas del maní comprobó una mayor eficiencia en el crecimiento y en la producción de biomasa del cultivo (Balakrishnan et al., 2007).

Ambientalmente, se ha comprobado que el potencial de la planta para su supervivencia bajo diversas condiciones de estrés abiótico (salinidad, sequía y metales pesados), posicionándose como una especie útil como indicador de contaminación por metales pesados para predecir la salinidad del suelo (Lacerda, 1982). Esta halófito ha demostrado efectos curativos sobre los manglares, al estar en bosques talados ha ayudado a acelerar el reclutamiento de manglares en estas áreas (Rabhi et al., 2009). Por otro lado, la notable capacidad de esta planta para producir biomasa en alta cantidad, así como para acumular y transportar cadmio, plomo, arsénico en sus tejidos en presencia o ausencia de sal, es útil para la fitoextracción de metales pesados de carácter tóxicos de suelos contaminados (Ghnaya et al., 2005). Así mismo, se ha demostrado que, *Sesuvium* cuenta con un potencial para la degradación de colorantes textiles, a través de un estudio que evidencio la decoloración de un tinte textil tóxico verde usando plántulas de *Sesuvium* cultivadas *in vitro* y usando espectrofotometría, HPLC y espectroscopía infrarroja. Considerando todas estas aplicaciones, es prioridad implementar estrategias para la conservación y propagación a gran escala de esta especie (Patil et al., 2012).

2.3. Marismas saladas

Las marismas se podrían definir como aquellas áreas cubiertas de hierbas, pastor o arbustos bajos que bordean diversos cuerpos de agua salina. Estas áreas están expuestas a inundaciones periódicas debido a fluctuaciones del nivel del agua adyacente. Estas marismas se ubican en regiones árticas y templadas, también en trópicos y subtropicos, las marismas suelen no extenderse hacia arriba hasta el nivel de marea más alto, más bien están bordeadas hacia tierra por extensas llanuras hipersalinas (Adam et al., 1990).

Las especies de marismas normalmente son suculentas y pastos con especies como *Bassia difusa*, *Sacocornia mossambicensis*, *Sacocornia natalensis*, *Salicornia spp.*, *Sesuvium portulacastrum*, entre otras. Cierta parte de estas especies se extienden desde Sudáfrica hasta

las regiones bajas de Madagascar y Mozambique. En Tanzania y Madagascar, la *Sesuvium portulacastrum*, conocida como verdolaga de playa se encuentra en suelos demasiados salinos para las especies de manglares (Carbone & Accordi, 2000).

Las marismas son ecosistemas realmente útiles y es importante su conservación. Estas áreas se han posicionado como ecosistemas productivos importantes para almacenar carbono, purificar agua, controlar inundaciones, refugios, hábitats para otros organismos. Adicionalmente, sirven como hábitat para peces y aves migratorias. Los peces usan las marismas como refugios, siendo importante el tipo de vegetación debido a que especies vegetales específicas ofrecen diversas fuentes de alimento y protección estructural. Así mismo, las marismas sirven como hábitat para las aves en términos de reproducción, descanso y alimentación, sobre todo durante la marea alta y durante la noche como un hábitat secundario (Whitfield, 2017).

2.4. Edad fisiológica de las hojas de una especie vegetal y sus efectos en sus contenidos de nutrientes

El contenido mineral que exista en los tejidos de plantas es muy variable y depende de diversas condiciones. La edad fisiológica de la hoja se posiciona como el factor más importante que influye en la composición mineral de plantas (Bates, 1971). Una hoja madura tiene más tendencia a que tenga un contenido mineral elevado a diferencia de una hoja joven, como también una hoja joven puede tener un contenido mineral mayor a diferencia de una hoja vieja, misma que en el tiempo pierde minerales solubles en agua por diversos mecanismos (Fernandez & Morales, 2003). A medida que avanza la edad de las hojas, las membranas plasmáticas de forma eventual se degradan y también permiten una salida incontrolada de metabolitos y diversos constituyentes celulares (Kim et al., 2009).

2.5. Desnutrición crónica infantil

La desnutrición crónica infantil tiene efectos devastadores tanto en el crecimiento físico como cognitivo de los niños, además de impactar directamente en su calidad de vida, por lo que esto requiere soluciones emergentes y urgentes (Unicef, 2021). La DCI es un estado patológico que es ocasionado por una incorrecta ingesta de alimentos y en general de nutrientes inadecuados, cuyos principales signos se manifiesta en una menor estatura y peso (Cortez & Pérez, 2023). Un niño con desnutrición crónica infantil se caracteriza por la deficiencia de macronutrientes (proteínas y ácidos grasos) y de forma particular de micronutrientes (zinc, hierro y yodo) (Barreto & Quino, 2014). Por tanto, es indispensable abordar esta enfermedad a través de alimentos funcionales y nutraceuticos. La desnutrición crónica infantil si bien es cierto se posiciona como un problema de salud, pero también sus causas son de origen social, económico y político.

2.6. Alimentos nutraceuticos

Los nutraceuticos son compuestos biológicamente activos que se encuentran en alimentos o suplementos de tipo dietéticos que mantienen beneficios potenciales para la salud más allá de los básico. Hay varios tipos de nutraceuticos y pueden derivarse de una amplia gama de fuentes incluidas plantas y microorganismos. Algunos tipos comunes de nutraceuticos incluyen vitaminas, minerales, fitoquímicos y probióticos (Bhatia et al., 2020).

Las plantas son una fuente nutraceutica. Esto incluye las hierbas, especias y frutas. Algunos ejemplos incluyen la curcumina de la cúrcuma, resveratrol de las uvas y el licopeno de los tomates. Hoy en día, los nutraceuticos también se derivan de microorganismos como los probióticos que son microorganismos vivos que pueden proporcionar beneficios en la salud cuando se consume en cantidades adecuadas (Bhatia et al., 2020).

Los nutraceuticos pueden ejercer sus beneficios para la salud a través de diversos mecanismos de acción. Por ejemplo, antioxidantes como la vitamina C y E pueden ayudar a proteger las células del daño oxidativo, mientras que las fibras de las frutas y verduras promueven la salud digestiva. Algunos nutraceuticos también modulan el sistema inmunológico o también llegan a tener propiedades antiinflamatorias (Bhatia et al., 2020).

Hoy en día, cada vez hay más pruebas que respaldan los beneficios para la salud de muchos nutraceuticos. Se ha demostrado que los ácidos grasos omega-3 reducen el riesgo de enfermedad cardiovascular, mientras que los probióticos pueden ayudar a aliviar síntomas del síndrome del intestino irritable (Calder, 2010). Sin embargo, es indispensable tener en cuenta que la calidad de los nutraceuticos y su función han sido probados de forma rigurosa a través de ensayo clínicos (Vrese & Schrezenmeir, 2008).

2.7. Macronutrientes y micronutrientes

Los elementos esenciales que aportan al crecimiento y desarrollo de las plantas son los macronutrientes y micronutrientes. Cuando estos elementos no se encuentran disponibles para las plantas, la salud del suelo se verá afectado de forma negativa, aumentando así los niveles de toxicidad y además provocando el debilitamiento y eventual muerte de las plantas. La deficiencia de macro y micronutrientes se puede identificar a través de un análisis tanto del suelo como de la planta. La carencia de varios macronutrientes y micronutrientes está en aumento debido a la búsqueda de altos rendimientos en los cultivos, lo que incrementa la demanda de absorción de nutrientes en cultivos frutales. Al aplicar macronutrientes en el suelo, se mejora la fertilidad y se potencia de la planta, favoreciendo así el desarrollo de la vegetación y frutos. Por otro lado, los micronutrientes son aplicados en la parte foliar de la planta. Estos nutrientes son vitales ya que contribuyen a mantener la estabilidad y producción vegetal (Johnson & Mirza, 2020).

Macronutrientes:

Son aquellos que son absorbidos por las plantas en mayor cantidad como nutrientes principales (Suryawanshi, 2020). Son importantes nutrientes que son absorbidos por el aire y el agua. Son el C, O, H. Los macronutrientes se dividen en nutrientes primarios (N, P, K) y nutrientes secundarios (Ca, Mg, S).

- **Nitrógeno:** elemento esencial para el desarrollo de las plantas desde su siembra hasta su maduración. Este elemento contribuye de forma significativa al aumento de la vegetación, tamaño de las hojas y la actividad fotosintética promoviendo el crecimiento de frutos y, a producción de semillas. Además, desencadena procesos metabólicos vitales en la planta como la síntesis de clorofila, ácidos nucleicos y proteínas junto con la formación de carbohidratos y la realización de la fotosíntesis (Suryawanshi, 2020).
- **Fósforo:** tiene un papel crucial en el desarrollo de plantas jóvenes, facilitando la formación de elementos esenciales tales como azúcares, ácidos nucleicos y ATP para producir energía. Además, este nutriente es fundamental para procesos vitales en cultivo como la maduración, floración, fructificación, germinación y también la mejora de la calidad del grano. Así mismo, participa activamente en reacciones bioquímicas relacionadas con el metabolismo de grasas, proteínas y carbohidratos siendo un nutriente esencial para el desarrollo radicular (Suryawanshi, 2020).
- **Potasio:** desempeña un rol clave en la fotosíntesis, formación de proteínas y transporte de azúcares, así como en la activación de enzimas y coenzimas. Además fortalece el sistema radicular de plantas, aumenta su resistencia a enfermedades y evita que las plantas se inclinen excesivamente. Promueve el desarrollo del

tubérculo, regula el balance hídrico y favorece la formación de almidón y carbohidratos (Dhok, 2020).

- **Calcio:** es importante en la formación de paredes celulares de plantas y componente clave para su estructura. Es crucial para la elongación y división celular, contribuyendo a procesos metabólicos como translocación de carbohidratos, producción de semillas, desarrollo de raíces, estabilidad cromosómica y para aumentar la absorción de nitrógeno en las plantas (Surywanshi, 2020).
- **Magnesio:** desempeña un papel vital para la generación de energía en plantas ya que produce ATP. Constituye una parte importante de la clorofila y da el color verde oscuro a las hojas. Es parte de la absorción de fósforo, formación de carbohidratos, grasas y proteínas (Surywanshi, 2020).
- **Azufre:** es vital en la síntesis de clorofila y formación de proteínas, siendo esencial para la actividad proteica y síntesis de aminoácidos. Contribuye en el desarrollo de nódulos y semillas mejorando la calidad de cultivos. Está involucrado en la formación de coenzima A y vitamina B, y mejora la síntesis proteica (Surywanshi, 2020).

Micronutrientes

Son aquellos elementos que se absorben en menor cantidad en la planta. Son el Fe, Cu, Zn, B, Mn, Mo, Cl.

- **Cloro:** son esenciales para la fotosíntesis y la turgencia de las hojas de la planta (Surywanshi, 2020).
- **Molibdeno:** son esenciales para las leguminosas debido a que arreglan el nitrógeno y la actividad enzimática de las plantas (Dhock, 2020).

- **Boro:** son importantes para la formación del tejido y la formación de la pared celular. Actúa como un activador de enzimas (Surywanshi, 2020).
- **Hierro:** es esencial para las reacciones fotosintéticas y respiratorias (Dhok, 2020).
- **Zinc:** es esencial para la elongación del entrenudo y la producción de las hormonas en las plantas (Dhok, 2020).
- **Cobre:** esencial para la síntesis de proteínas, producción de la clorofila (Surywanshi, 2020).
- **Manganeso:** durante la asimilación de nitrógeno, la enzima es actividad por el manganeso (Surywanshi, 2020).

2.8. Espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES).

Esta técnica ha ganado un amplio reconocimiento global por su habilidad para detectar trazas de elementos en diversas muestras, que frecuentemente requieren preparación previa. Ha consolidado su posición como un método confiable y ampliamente utilizado en laboratorios para análisis de rutina en áreas como la agricultura, alimentos, geología, agua y medicina. Sin embargo, tienen también desafíos como el costo elevado de adquisición y mantenimiento, la necesidad de preparación especializada de muestra y la capacitación requerida para su operación. Pese a esto, se vislumbra un futuro prometedor para la ICP-OES gracias a los avances tecnológicos en constante evolución que están perfeccionando de forma continua esta técnica. No obstante, para avanzar en la investigación y aprovechar al máximo su potencial, es crucial poseer un profundo conocimiento y comprensión de los principios actuales asociados a esta técnica (Jiménez et al., 2020).

2.9. Generalidades de los metabolitos secundarios

Los metabolitos primarios de las plantas mantienen un papel importante en todo el proceso de crecimiento de la planta, mientras que los metabolitos secundarios son críticos para su adaptación en condiciones de estrés ambiental y para defenderse de patógenos, es decir, organismos que causan enfermedades. Por tanto, las plantas producen y liberan estos metabolitos secundarios como respuesta a diversas formas de estrés. Esto es de principal interés para científicos porque se conoce hoy en día que estos contienen grandes beneficios en la industria farmacéutica, cosmética, agrícola, alimentos y particularmente en el ámbito nutracéutico (Lustre, 2022).

Algunos de estos metabolitos secundarios son (González, et al., 2019):

- **Alcaloides:** existen más de 12.000 compuestos conocidos de alcaloides, y sus estructuras básicas consisten en un grupo amino básico y también se derivan biosintéticamente de aminoácidos.
- **Cumarinas:** Tienen una estructura química específica que incluye un anillo de benzopirano unido a una lactona. Las cumarinas son conocidas por sus diversas propiedades biológicas, que incluyen efectos anticoagulantes, antiinflamatorios, antimicrobianos y antioxidantes.
- **Saponinas:** compuestos químicos naturales presentes en una amplia variedad de plantas, especialmente en aquellas de la familia de las leguminosas. Han demostrado tener actividades biológicas, como propiedades antifúngicas, antiinflamatorias y anticancerígenas.
- **Flavonoides:** Son una amplia clase de compuestos polifenólicos que se encuentran de forma natural en una variedad de plantas. Compuesta en un núcleo de flavona, dos anillos aromáticos con un puente de tres átomos de carbono. Los flavonoides se

clasifican en varias subclases según la estructura y la presencia de grupos funcionales, como flavonoles, flavonas, flavanonas, isoflavonas, antocianinas y flavonoles, entre otros.

- **Terpenoides:** Son un grupo importante de sustancias derivadas biosintéticamente del difosfato de isopentenilo. En la actualidad, se identifican más de 35.000 compuestos terpenoides y esteroides conocidos

2.10. Tamizaje Fitoquímico

El tamizaje fitoquímico es un procedimiento químico que implica la preparación de extractos tanto acuosas como orgánicos a partir de muestras vegetales, los cuales pueden derivar de diversas partes de la planta, como hojas, tallos, raíces o cortezas. Este análisis permite identificar componentes presentes en extractos vegetales como la determinación de compuestos predominantes, además juega un papel importante en la identificación de agentes bioactivos con potencial aplicación en la síntesis de fármacos (Pant et al, 2017).

2.11. Cultivo hidropónico

El término de hidroponía (hydro= agua y ponos = trabajo o actividad), se refiere al “trabajo del agua” o incluso se le conoce como cultivo sin suelo, refiriéndose como el cultivo de plantas en líquido con solución nutritiva con o en el uso de medios artificiales. Esta surgió de los estudios sobre las vías de absorción de los nutrientes a través de las plantas que llevaron a cabo fisiólogos como Woodward y De Saussure y se extendió al ejército de EE.UU utilizando estos cultivos para tener alimentos frescos para las tropas estacionadas en islas fértiles del Pacífico durante la Segunda Guerra Mundial (Zárate, 2014).

La hidroponía se ha posicionado como un método eficiente y viable para producir hortalizas, como cultivos ornamentales como hierbas, rosas, fresia y plantas de follaje y

múltiples beneficios (Shrestha & Dunn, 2013). El cultivo hidropónico puede ser una solución en contextos donde la agricultura tradicional en suelo no es factible tales como en zonas áridas o regiones con climas muy fríos. Además, proporciona un control más puntual con relación al contenido de nutrientes y demás factores. Además, conlleva menores costos de agua y nutrientes debido al reciclaje de estos recursos. El crecimiento es más rápido y existe mayor disponibilidad de oxígeno en zona de las raíces. Así mismo la ausencia o reducción de insecto, hongos y bacterias elimina la necesidad de desmalezar. Facilita las labores de siembra, cultivo y cosecha para algunos cultivos, reduciendo costos laborales. Además, elimina la necesidad de rotación de cultivos.

Capítulo III

3. Materiales y métodos

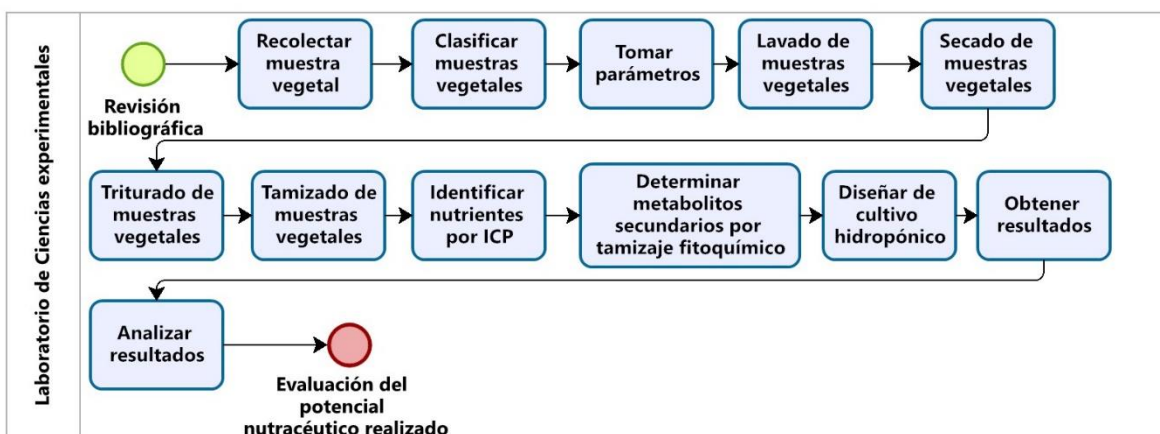
3.1. Materiales

Para el análisis del potencial nutracéutico se utilizaron diversos materiales en cada una de las etapas del proceso como la recolecta de la muestra, el análisis en laboratorio y el diseño del cultivo hidropónico de *Sesuvium portulacastrum*. En el anexo 1, 2, 3, 4, 5, 6, y 7 se puede consultar el listado de materiales que fueron utilizados para el eficaz y exitoso desenvolvimiento del presente estudio.

3.2. Diseño

El presente estudio está basado en un enfoque experimental. Este enfoque involucra una evaluación del potencial nutracéutico de la especie vegetal *Sesuvium portulacastrum* obtenida de la Playa Varadero de Guayaquil a través de la determinación de macronutrientes y micronutrientes de la especie por el método de espectroscopía de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) y la determinación de metabolitos secundarios a través de tamizaje fitoquímico. Además, a manera de preservación y propagación de esta planta halófila se identificará un proceso de domesticación en el Campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana para futuras investigaciones. Para la parte estadística se utilizó el software estadístico Infostat.

Figura 5. Flujograma del proceso de estudio (Muñoz 2023).



3.3. Población y muestra

La población de interés dentro del presente estudio se compone de hojas jóvenes, maduras y viejas de la especie vegetal halófito *Sesuvium portulacastrum* recolectadas de 3 diferentes puntos de la Playa Varadero. Esta especie fue escogida debido a su abundancia en el ecosistema de marisma y así mismo dada su relevancia nutricional conocida a través de la evidencia científica escrita.

3.4. Diseño estadístico

- *DCA*: $\gamma = \mu + \delta + \varepsilon$
- *D*: *Diseño*
- *C*: *Completamente*
- *A*: *Aletorizado*
- γ : Variable dependientes detalladas en el punto 3.5.2
- μ : *Media*
- δ : Variables independientes detalladas en el punto 3.5.1
- ε : aleatoriedad del diseño

El diseño estadístico consiste un análisis de varianza mediante ANOVA y las diferencias significativas se analizaron por la prueba de TURKEY ($p < 0.05$) con intervalos y niveles de confianza individuales de 95% utilizando el Software Infostat

3.5. Variables

3.5.1. Variables independientes

- **Tipo de muestra de biomasa vegetal *Sesuvium portulacastrum***

Se refiere al tipo específico de biomasa vegetal que se analiza en el estudio. En este caso, se centra en *Sesuvium portulacastrum* como planta de interés para evaluar su potencial nutracéutico con relación a la concentración de macronutrientes y micronutrientes mediante ICP-OES y la determinación de metabolitos secundarios por tamizaje fitoquímico.

- **Parámetros del sistema de cultivo hidropónico y condiciones ambientales**

Son fundamentales en el diseño e implementación del sistema de cultivo hidropónico halófito para *Sesuvium portulacastrum*. Los parámetros del sistema, como la composición de la solución nutritiva, el pH, la iluminación y la temperatura, se ajustan y controlan para proporcionar un entorno óptimo para el crecimiento de la planta. Además, las condiciones ambientales del entorno de cultivo, como la temperatura, humedad y la luz natural, son consideradas para maximizar el desarrollo saludable de la planta en el campus universitario.

3.5.2. Variables dependientes

- **Concentración de macronutrientes y micronutrientes**

Se refiere a la cantidad y proporción de elementos nutritivos esenciales presentes en la muestra de biomasa vegetal de *Sesuvium portulacastrum*. El método de ICP-OES se utiliza para analizar y cuantificar estos nutrientes.

- **Perfil fitoquímico de la muestra**

Con esta variable, se proporcionará información sobre la diversidad de los compuestos fitoquímicos presentes en *Sesuvium portulacastrum*, lo que es crucial para evaluar su potencial nutracéutico y farmacológico.

- **Eficiencia del sistema de cultivo para el crecimiento de la especie halófito**

Se refiere al rendimiento y desarrollo de la especie vegetal en el sistema de cultivo hidropónico diseñado. Se evaluará como las condiciones establecidas impactan el crecimiento saludable de la planta. La eficiencia del sistema se medirá en términos de salud general de la planta, su crecimiento, producción de biomasa, contenido nutricional y capacidad para adaptarse al entorno de campus universitario.

3.6. Recogida de datos

Para la recolección de muestras, se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de información en artículos científicos relevantes para identificar las áreas de interés en las marismas donde se encontraba la planta halófila *Sesuvium portulacastrum*. La identificación precisa de la especie se logró mediante el uso de herramientas como la aplicación de PlantNet. En el proceso de laboratorio se siguieron protocolos y manuales específicos para el análisis de las muestras, asegurando la precisión y consistencia en los resultados obtenidos. Además, para el diseño del sistema de cultivo hidropónico se emplearon metodologías y pautas técnicas especializadas, permitiendo establecer condiciones óptimas para el cultivo de la planta en el entorno del campus universitario.

3.7. Protocolos

3.7.1. Recolección de la muestra

Para recolectar las muestras se utilizó una tijera para cortar las plantas y poco a poco de forma manual se fue tomando las hojas de cada planta cortada. Se tomó un aproximado de 200 g de muestra en cada uno de los tres puntos (Anexo 8). Se procedió a guardar en diferentes fundas ziploc rotulándolas con el número de punto (P1, P2 Y P3). Además, se recolectó aproximadamente 50 litros de agua salada para el diseño del cultivo hidropónico. Finalmente, se guardaron las muestras en una refrigeradora hasta continuar con la siguiente fase experimental.

Las hojas del punto 1 mantenían un pH de 5.94, una conductividad eléctrica de 1512 μS , una salinidad de 0.60 ppt, su clorofila era de 28.6 SPAD y el nitrógeno de 15.4 mg/g. Las hojas del punto 2 mantenían un pH de 6.12, una conductividad eléctrica de 654 μS , una salinidad de 1.23 ppt, su clorofila era de 41.7 SPAD y el nitrógeno de 13.5 mg/g. Las hojas del punto 3 mantenían un pH de 6.92, una conductividad eléctrica de 883 μS , una salinidad de 1.06 ppt, su

clorofila era de 39.73 SPAD y el nitrógeno de 10.9 mg/g. Por tanto, la muestra vegetal de *Sesuvium portulacastrum* utilizada tuvo un promedio de pH de 6.09, de conductividad eléctrica 1016 μ S, de salinidad 1.15 ppt, de clorofila 36.68 SPAD y de nitrógeno 13.15 mg/g.

3.7.2. Clasificación

Se comenzó con el diseño de una escala arbitraria con 7 colores que permite identificar por colores la maduración de las hojas, a partir de ellos se escogieron los 3 colores predominantes y se procedió a su clasificación en hojas jóvenes, maduras y viejas dependiendo de su color. Es decir, las jóvenes eran las que tenían pigmentaciones más verdes, las maduras entre una pigmentación verde y amarilla, y las viejas una pigmentación entre amarillo y negro. Cada conjunto de muestra por punto de recolecta estuvo conformado por una mezcla de hojas jóvenes, maduras y viejas (Anexo 9).

3.7.3. Proceso de identificación de macronutrientes y micronutrientes por ICP-OES

- **Lavado**

Para el lavado de las hojas de la planta, se colocaron a las plantas en vasos de precipitación con agua destilada. Se hizo alrededor de 5 lavadas en 100 ml de agua destilada para eliminar todo tipo de residuo adyacente a la hoja (Anexo 10).

- **Pesado**

Se pesó 20 g de muestra por cada uno de los puntos (Anexo 10).

- **Secado**

Se colocaron todas las muestras en una estufa a 100 °C hasta eliminar su humedad (Anexo 10).

- **Triturado**

Se trituraron las muestras secas hasta obtener un polvo fino. Primero se trituraron la biomasa vegetal a través de un mortero para luego pasarlo por un tamiz con una malla muy fina. De esta manera, la muestra quedó en forma de polvo (Anexo 10).

- **Digestión**

Para el proceso de digestión por microondas de las muestras, se siguió lo indicado en el manual del equipo “MARS 6 Microwave Acid Digestion Method Note Compendium”. Siguiendo el protocolo de digestión por microondas para tejido de plantas, se utilizó 0,5 g de muestra vegetal de cada uno de los puntos que se secó a 100 °C y se colocó en el recipiente de digestión. Luego, se añadió 10 ml de HNO₃. Se agitó suavemente la mezcla y se esperó aproximadamente 15 minutos antes de cerrar el recipiente. Posteriormente, se introdujo los recipientes en el microondas y se ajustó el equipo a un 1 etapa, a 200°C, 15:00 mm:ss de ramp y hold, una presión de 800 y un potencia de 900-1800 W. Una vez digestada la muestra, se agregó 50 ml de ácido nítrico (Anexo 11).

- **Proceso ICP**

El proceso de determinación de macronutrientes y micronutrientes mediante la técnica de ICP (Espectroscopía de Plasma Acoplado Inductivamente) fue llevado a cabo meticulosamente en este estudio. Para la identificación de los macronutrientes esenciales, se determinaron elementos como Na, K, Mg, Ca. Por otro lado, se determinaron micronutrientes como Cu, Fe, Cr y Zn.

3.7.4. Proceso de determinación de metabolitos secundarios por tamizaje fitoquímico

- **Lavado**

Para el lavado de las hojas de la planta, se colocaron a las plantas en vasos de precipitación con agua destilada. Se hizo alrededor de 5 lavadas en 100 ml de agua destilada para eliminar todo tipo de residuo adyacente a la hoja (Anexo 10).

- **Pesado**

Se pesaron 20 g de muestra por cada uno de los puntos (Anexo 10).

- **Secado**

Se colocaron las muestras vegetales a secar en una estufa a 40 °C hasta eliminar su humedad (Anexo 10).

- **Triturado**

Se trituraron las muestras secas hasta obtener un polvo fino. Primero se trituraron la biomasa vegetal a través de un mortero para luego pasarlo por un tamiz con una malla muy fina. De esta manera, la muestra quedó en forma de polvo (Anexo 10).

- **Obtención de extractos**

Para la obtención de extractos se utilizó el método de Soxhlet. Se utilizó 10 gr de material vegetal en polvo de cada uno de los tres puntos y como solvente se eligió etanol. Posteriormente, se utilizó el rotavapor para separar el solvente de la muestra. Una vez obtenido los extractos se los refrigeró (Anexo 12).

- **Identificación de metabolitos**

Se analizó la presencia de diversos metabolitos a través de los siguientes protocolos (Anexo 12):

A) Prueba de alcaloides:

- **Reacción de Mayer**

Se colocó 3 gotas de extracto y 3 gotas del reactivo de Mayer. Se reportará como positivo cuando aparezca un precipitado.

- **Reacción de Dragendorff**

Se colocó 3 gotas del extracto filtrado y 3 gotas del reactivo. Se reporta como positivo cuando se forme un precipitado de color naranja.

- **Reacción de Hager**

Se colocó 3 gotas del extracto filtrado y 3 gotas del reactivo. Se reporta como positivo cuando se forme un precipitado amorfo por mezclarse con la solución de alcaloides en ácido diluido.

- **Reacción de Wagner**

Se colocó 3 gotas del extracto filtrado y 3 gotas del reactivo. Se reporta como positivo cuando se forme un precipitado floculento color marrón por mezclarse con solución de alcaloide en ácido diluido se considera positiva.

B) Prueba de Saponinas:

- **Prueba del peróxido**

Se colocó 3 gotas de extracto con 2 gotas de peróxido de hidrógeno. Se agitó constantemente mientras se calienta a 40 °C. Se valora la presencia de saponinas y su concentración de acuerdo con la aparición de espuma.

C) Prueba de Flavonoides:

- **Prueba de Shinoda**

Se colocó 3 gotas de extracto y 2 cm de cinta de magnesio con 4 gotas de HCL concentrado. Se identifica el tipo de metabolito secundario según la coloración de la reacción de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 2. Tabla de identificación de flavonoides (Muñoz, 2024)

Flavonoides	Rx coloración
Flavonas	Naranja
Flavonoides	Rojo
Flavonoles	Rojo azulado
Flavononas	Verde
Flavononoles	Verde azulado
Xantanos	Violeta

- **Prueba de Ácido sulfúrico**

Se colocó 3 gotas de extracto y 3 gotas de ácido sulfúrico grado reactivo. Se identifica el tipo de metabolito secundario según la coloración de la reacción de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 3. Tabla de identificación de flavonoides (Muñoz, 2024)

Flavonoides	Rx coloración
Chalconas	Rojo azulado
Auronas	Rojo - guinda
Flavonas	Amarillo intenso
Flavononas	Naranja o guinda
Flavonoles	Amarillo intenso

D) Prueba de Cumarinas:

- **Prueba de Hidróxido de Potasio**

Se colocó 3 gotas de extracto y 3 gotas del KOH al 5%. La presencia de Cumarinas se identifica mediante el cambio de color fuerte a tenue de rojo a amarillo.

- **Prueba de Hidróxido de Sodio**

Se colocó 2 ml del extracto con 3 ml de una solución acuosa de hidróxido de sodio al 10%. El contenido de cumarinas es detectado mediante la generación de un color amarillo.

E) Test de proteínas:

- **Test de terpenoides**

Se colocó 1 ml con 1.5 ml de ácido sulfúrico fuerte más 1 ml de cloroformo. La existencia de terpenoides es sugerida por el tinte rojizo-marrón.

3.7.5. Diseño del cultivo hidropónico

3.7.5.1. Diseño de cultivo hidropónico vertical

El cultivo hidropónico se construyó con los materiales enlistados en el anexo 5. La estructura de este se muestra en el anexo 15.

A) Preparación de sustrato

Cada unidad experimental contenía una base de estopa de coco seguida de uno de los dos tipos de sustratos. El primer tipo de sustrato fue arena de playa en un 100% con una conductividad eléctrica de 10,43 mS. El segundo sustrato consistía en una mezcla de arena de playa y turba en una proporción 1:1 con una conductividad eléctrica de 8,18 mS. Se prepararon 15 macetas con el primer sustrato y 15 macetas con el segundo sustrato (Anexo 13).

B) Medio acuoso

El medio acuoso consistió en 15 litros de agua de mar con una conductividad eléctrica de 313,5 mS.

C) Preparación de la solución nutritiva de Steiner

Se preparó una solución madre conforme al protocolo que se describe en el anexo 2. Se tomó 10 ml de macronutrientes y 1 ml de micronutrientes por litro de agua de mar, por tanto, para este tipo de sistema hidropónico se agregó 150 ml de macronutrientes y 15 ml de micronutrientes. La presente solución mantenía una conductividad eléctrica de 2,50 mS (Anexo 14).

D) Trasplantes de plantas

Se colocaron 3 brotes de plantas en cada una de las 30 macetas.

E) Mantenimiento del cultivo.

Se monitoreó regularmente el tamaño de las hojas, además de tomar el pH y la conductividad eléctrica para asegurar que siempre se encuentre dentro del rango óptimo para el crecimiento de plantas halófitas. Además, se proporcionó buena iluminación para asegurar las necesidades de las plantas a través de los nutrientes y nivel de agua adecuado.

3.7.5.2. Diseño de cultivo hidropónico horizontal

El cultivo hidropónico se construyó con los materiales enlistados en el anexo 6. La estructura de este se muestra en el anexo 16.

A) Preparación de sustrato

Cada unidad experimental contenía una base de estopa de coco seguida de uno de los dos tipos de sustratos. El primer tipo de sustrato fue arena de playa en un 100%. El segundo sustrato consistía en una mezcla de arena de playa y turba en una proporción 1:1. Se prepararon 15 tratamientos que consistían en 3 pocillos cada uno con el primer sustrato y 15 tratamientos que consistían en 3 pocillos cada uno con el segundo sustrato (Anexo 13).

B) Medio acuoso

El medio acuoso consistió en 30 litros de agua de mar.

C) Preparación de la solución nutritiva de Steiner

Se preparó una solución madre conforme al protocolo que se describe en el anexo 2. Se tomó 10 ml de macronutrientes y 1 ml de micronutrientes por litro de agua de mar, por tanto, para este tipo de sistema hidropónico se agregó 450 ml de macronutrientes y 30 ml de micronutrientes (Anexo 14).

D) Trasplantes de plantas

Se colocó 1 brote de planta en cada pocillo.

E) Mantenimiento del cultivo.

Se monitoreó regularmente el tamaño de las hojas, además de tomar el pH y la conductividad eléctrica para asegurar que siempre se encuentre dentro del rango óptimo para el crecimiento de plantas halófitas. Además, se proporcionó buena iluminación para asegurar las necesidades de las plantas a través de los nutrientes y nivel de agua adecuado.

Capítulo IV

4. Resultados y discusión

4.1. Identificación de la concentración macronutrientes y micronutrientes mediante espectroscopía de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)

A continuación, en la tabla 3 y 4, se desglosan los resultados obtenidos de cada uno de los macronutrientes y micronutrientes encontrados en las hojas de *Sesuvium portulacastrum* de los tres diferentes puntos de recolección. En el caso de los micronutrientes se determinó la concentración de Cu, Fe, Cr y Zn y en los macronutrientes se analizó el contenido de Na, K, Mg, y Ca, ambos tipos de nutrientes fueron expresados en ppm. Ver anexo 11 para verificar proceso y resultados. Ver anexo 19 para identificar cálculos estadísticos.

Tabla 3. Resultados de la concentración de micronutrientes por ICP (Muñoz, 2024)

Puntos	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Cr (ppm)	Zn (ppm)
1	1.33 ± 0.12	392.10 ± 150.11	2.60 ± 0.47	7.37 ± 0.95
	B	A	A	A
2	1.47 ± 0.12	91.70 ± 150.11	1.07 ± 0.47	7.73 ± 0.95
	B	A	A	A
3	2.10 ± 0.12	402.10 ± 150.11	1.60 ± 0.47	4.93 ± 0.95
	A	A	A	A

(P1, P2, P3) Puntos de extracción de la muestra.

Figura 6. Gráfica de la concentración de micronutrientes (Muñoz, 2024)

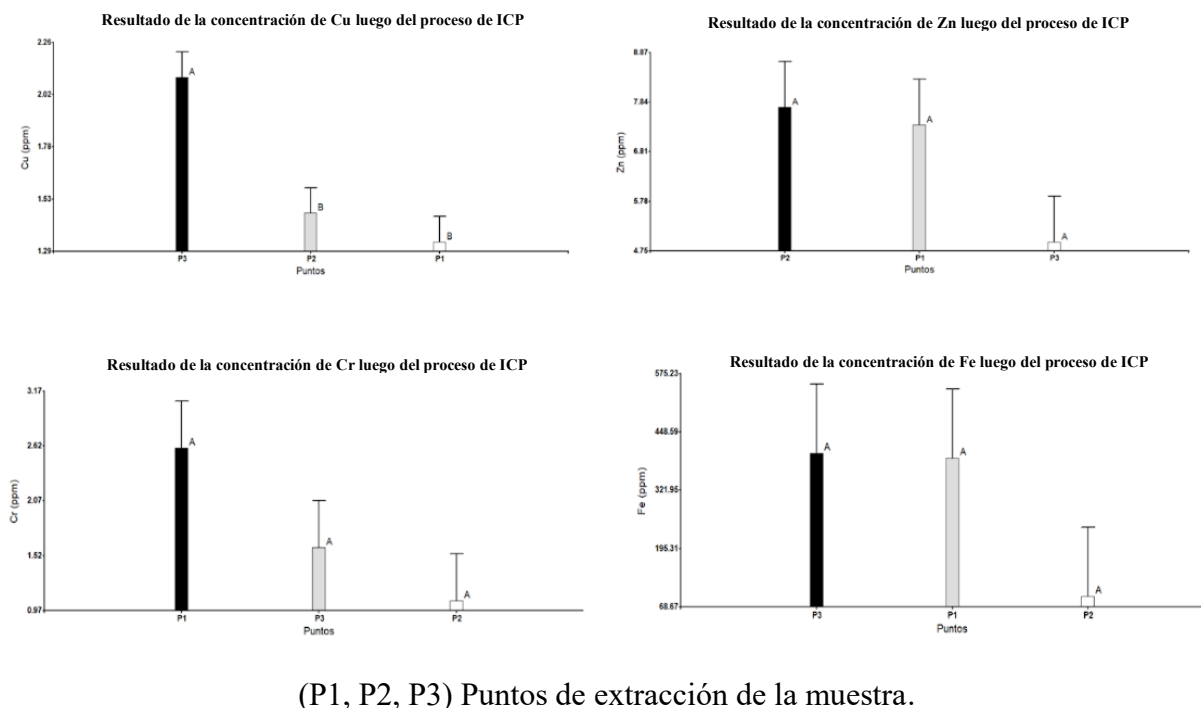
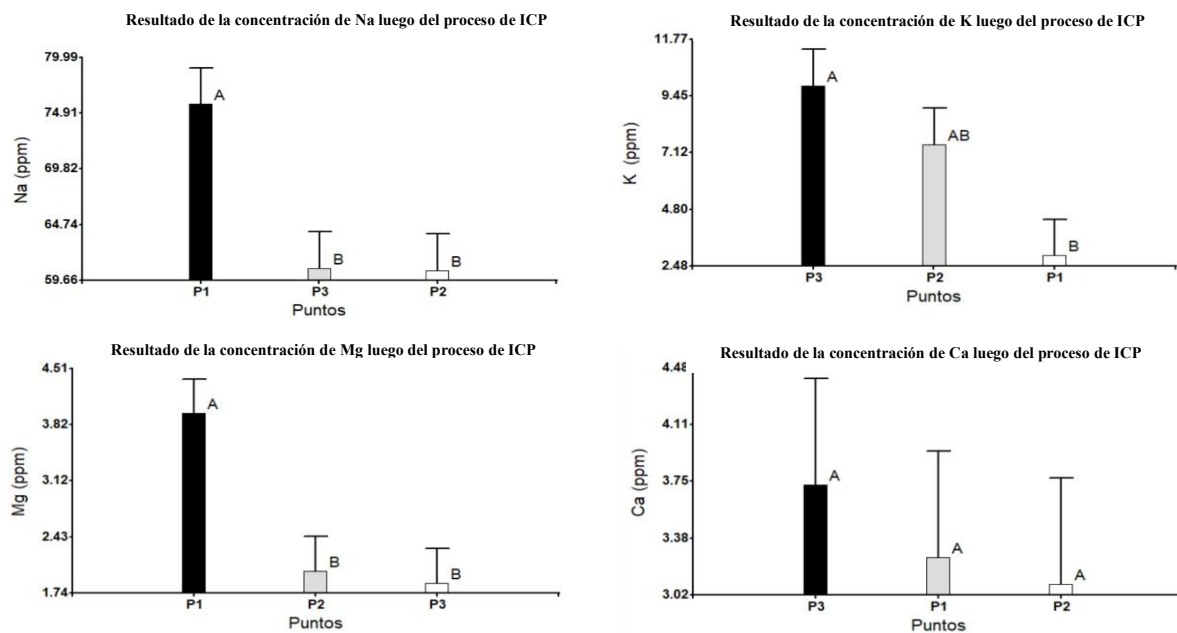


Tabla 4. Resultados de la concentración de macronutrientes por ICP (Muñoz, 2024)

Puntos	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)
1	175.72 ± 3.34	2.90 ± 1.49 B	3.96 ± 0.43	3.26 ± 0.69
	A		A	A
2	60.58 ± 3.34	7.45 ± 1.49	2.01 ± 0.43	3.08 ± 0.69
	B	AB	B	A
3	60.74 ± 3.34	9.86 ± 1.49	1.87 ± 0.43	3.73 ± 0.69
	B	A	B	A

(P1, P2, P3) Puntos de extracción de la muestra.

Figura 7. Gráfico de la concentración de macronutrientes (Muñoz, 2024)



(P1,P2,P3) Puntos de extracción de la muestra.

Los resultados obtenidos a través de la técnica de Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP) revelan una alta concentración de macronutrientes y micronutrientes presentes en la planta halófito *Sesuvium portulacastrum*. Con respecto a los micronutrientes, el Fe y el Zn se encontraron en mayores concentraciones, mientras que el Cu y el Cr en menores concentraciones. Con respecto a los macronutrientes se identificó que, el Na y el K son elementos en altas concentraciones mientras que el Mg y Ca en menores concentraciones. Las concentraciones presentes en estos elementos sugieren que las hojas de la planta halófito *Sesuvium portulacastrum* puede aportar como fuente de nutrientes para combatir la desnutrición crónica infantil.

La planta halófito demostró poca concentración de cobre con relación a los otros nutrientes, pero sigue siendo un aporte significativo. El cobre en el organismo es esencial para

la síntesis del tejido conectivo y la formación de la vaina de mielina que recubre los nervios. Además, desempeña un papel crucial en el metabolismo energético, en la absorción y transporte de hierro, siendo fundamental para la actividad de enzimas. Por tanto, en la desnutrición crónica infantil, la falta de cobre compromete estas funciones afectando al desarrollo neurológico, salud energética y capacidad de absorción de hierro (Morales et al., 2012).

El hierro (Fe), un micronutriente crucial para el desarrollo humano exhibió concentraciones notables en todas las muestras, lo que indica la capacidad de la planta para acumular este micronutriente en diferentes ambientes. La primera infancia se caracteriza por una demanda fisiológica alta de hierro para darle continuidad a procesos como la expansión del volumen sanguíneo, el crecimiento de los tejidos y el desarrollo del cerebro, por tanto, el hierro es un nutriente necesario para el desarrollo infantil óptimo (Armitage & Moretti, 2019). Además, el hierro en los oligodendrocitos es vital para la mielinización de las neuronas que se utilizan en sistemas sensoriales como el visual y el auditivo que repercuten en las conductas de aprendizaje e interacción (Pettifor & Zlotkin, 2004).

Por otro lado, el cromo (Cr) mostró concentraciones relativamente bajas con relación a los otros nutrientes. Aunque sus niveles no son tan significativos como los de otros micronutrientes, la presencia de Cr en *S. portulacastrum* podría contribuir de manera modesta a la ingesta dietética de este elemento (Alvarado et al., 2002). El cromo puede ayudar a regular niveles de glucosa en sangre, además puede contribuir al crecimiento y desarrollo adecuado al influir en el metabolismo de proteínas, lo que es fundamental para la reparación y el crecimiento de tejidos en niños con desnutrición crónica infantil (Pechova & Pavlata, 2007).

El Zinc, es un nutriente esencial para la salud humana y todo ser humano necesita zinc para vivir. Durante el crecimiento, la deficiencia de zinc conduce a falta de crecimiento

afectando también al sistema gastrointestinal, esquelético, nervioso, inmunológico y reproductivo. En el cerebro, el zinc es el elemento más frecuente donde se asocia con proteínas y contribuye a la función y estructura del cerebro, por tanto, el zinc se asocia directamente con el desarrollo motor y cognitivo (Allai et al., 2022).

El Sodio, es un electrolito fundamental para el equilibrio hídrico y transmisión de impulsos nerviosos en el cuerpo. También regula la presión arterial y volumen sanguíneo. La desnutrición puede afectar negativamente los niveles de sodio ya sea por una ingesta insuficiente o pérdidas excesivas por diarrea. Es importante mencionar que, el sodio en la dieta se requiere en cantidades muy bajas, por tanto, el aporte adicional de sodio a través de esta planta halófila que ha demostrado grandes cantidades de sodio puede ser beneficioso si se administra de manera controlada y en cantidades adecuadas para cubrir necesidades nutricionales sin exceder los límites seguros de ingesta (Gowrishankar et al., 2020).

El potasio es un mineral crucial para la función celular y el equilibrio hídrico, función muscular y salud cardiovascular. En el contexto de la desnutrición crónica infantil, donde puede haber deficiencias nutricionales generalizadas, el potasio es esencial para ayudar a regular la presión arterial, prevenir la debilidad muscular y mantener la función cardíaca adecuada. Asegurar una ingesta adecuada de potasio en niños desnutridos es fundamental para mitigar los efectos adversos de la desnutrición en su salud y desarrollo (Amatriain, 2000).

El magnesio, es un mineral esencial que desempeña una variedad de funciones importantes en el cuerpo, incluida la regulación de la función muscular y nerviosa, la síntesis de proteínas, la salud ósea y la función cardíaca. En el contexto de la desnutrición crónica infantil, donde puede haber deficiencias nutricionales generalizadas, el magnesio es crucial para apoyar el crecimiento y desarrollo adecuados, así como para mantener la salud cardiovascular

y neurológica. Asegurar una ingesta adecuada de magnesio en niños desnutridos es fundamental para prevenir complicaciones relacionadas con la deficiencia de este mineral y promover su salud general (Singla et al., 1998).

El calcio, otro macronutriente esencial para el desarrollo óseo y la función neuromuscular, mostró concentraciones moderadas en todas las muestras. El calcio también juega un papel importante en la coagulación sanguínea y la función cardíaca, por lo que su deficiencia puede tener consecuencias graves para la salud cardiovascular de los niños desnutridos. Estas concentraciones podrían ser consideradas significativas en el contexto de la suplementación de calcio en dietas deficientes (Ortega et al., 2015).

4.2. Determinación de metabolitos secundarios por tamizaje fitoquímico

Los resultados del presente proceso de pueden evidenciar en el anexo 12. Se determinaron metabolitos secundarios como alcaloides, saponinas, flavonoides, cumarinas y terpenoides.

Tabla 5. Resultados de la determinación de metabolitos secundarios por tamizaje fitoquímico (Muñoz, 2024)

Metabolitos	Ensayos	P1		P2		P3		Observaciones
		A	B	A	B	A	B	
Alcaloides	Mayer	++	++	++	++	++	++	Presencia de precipitado.
	Dragendorff	-	-	++	++	++	++	Presencia de precipitado naranja.
	Hager	++	++	++	++	++	++	Presencia de precipitado amorfo.
	Wagner	++	++	++	++	++	++	Presencia de precipitado floculento marrón.

Saponinas	Peróxido	-	-	-	-	-	-	Ausencia de espuma.
Flavonoides	Shinoda	++	++	++	++	++	++	Se observaron flavonas a través de la presencia de una coloración naranja.
	Ácido Sulfúrico	++	++	++	++	++	++	Se observaron flavonas y flavononas a través de la presencia de una coloración amarillo intenso y naranja respectivamente.
Cumarinas	Hidróxido de Potasio	+	+	++	++	+	+	Presencia de una coloración tenue amarilla.
	Hidróxido de Sodio	+	+	++	++	+	+	Presencia de una coloración amarilla.
Terpenoides	Ácido Sulfúrico + Cloroformo	+	+	+	+	+	+	Presencia de un tinte marrón oscuro.

(-) ausencia, (+++) abundancia, (++) poca abundancia, (+) presencia.

El análisis fitoquímico llevado a cabo en las hojas de *Sesuvium portulacastrum* reveló una diversidad notable de metabolitos secundarios, cuya presencia y características fueron identificadas mediante una serie de ensayos químicos específicos. Estos resultados proporcionan una visión detallada de la composición química de las hojas de esta especie vegetal y tienen implicaciones importantes para su potencial aplicación en la medicina y la industria farmacéutica que aporten a la mitigación de la desnutrición crónica infantil.

La detección de alcaloides en todas las muestras de hojas se confirmó por las reacciones positivas con los reactivos de Mayer, Dragendorff, Hager y Wagner que mostraron la formación de precipitados. Los alcaloides son conocidos por su diversidad estructural y propiedades farmacológicas, por tanto, la detección de estos compuestos en las hojas de *Sesuvium*

portulacastrum sugiere posibles aplicaciones medicinales de la planta, debido a que cuenta con efectos estimulantes del sistema nervioso central hasta actividades antioxidantes y antiinflamatorias, ofreciendo una fuente natural de nutrientes y compuestos bioactivos ante la desnutrición crónica infantil (Peng et al., 2019).

La ausencia de formación de espuma al tratar de las muestras de hojas con peróxido indica la falta de saponinas en la especie estudiada. Aunque las saponinas son conocidas por sus propiedades emulsificantes y detergentes, su ausencia en *Sesuvium portulacastrum* podría sugerir limitaciones en estas funciones específicas en la planta. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la ausencia de detección de saponinas con este método no descarta por completo su presencia, ya que podría estar presentes en concentraciones muy bajas o requerir métodos de detección más sensibles.

La presencia de flavonoides se confirma por la formación de coloraciones naranja intenso y amarillo intenso con los reactivos Shinoda y Ácido Sulfúrico respectivamente, que destaca el potencial medicinal de las hojas de *Sesuvium portulacastrum*. La observación de flavonas y flavononas indica una diversidad estructural dentro de este grupo de compuestos, además es especialmente relevante debido a sus propiedades beneficios medicinales, que incluyen propiedades anticancerígenas, antioxidantes, antiinflamatorias y antivirales (Ullah et al., 2020).

La detección de cumarinas se evidencia por la formación de coloraciones tenues amarillas al tratar las muestras con hidróxido de potasio y sodio, lo cual sugiere la presencia de estos compuestos con potencial actividad farmacológica en *Sesuvium portulacastrum*. Las cumarinas desempeñan una valiosa función como agentes terapéuticos en diversos campos médicos, han demostrado un amplio espectro de actividades biológicas, que incluyen

antiinflamatorias, anticoagulantes, anticancerígenas, antibacterianas, antipalúdicas, antifúngicas, antivirales, neuroprotectoras, anticonvulsivas, fitoalexinas, ulcerógenas y antihipertensivas (Sharifi-Rad et al., 2021).

La observación de un tinte marrón oscuro al tratar las muestras de hojas con los reactivos para la detección de terpenoides confirma la presencia de estos metabolitos en *Sesuvium portulacastrum*. Los terpenoides en *Sesuvium portulacastrum* son nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo adecuado de los niños, juega un papel importante en la síntesis y reparación de tejidos, son indispensables para la adecuada función del sistema inmunológico y transporte de nutrientes en el cuerpo. Poseen una amplia gama de actividades biológicas que incluyen anticancerígenas, antimicrobianas, antiinflamatorias, antioxidantes y antialérgicas (Masyita et al., 2022).

4.3. Diseño de cultivo hidropónico halófito que cumple con las condiciones óptimas para el cultivo de *Sesuvium portulacastrum* en el campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana

Los resultados del presente proceso de pueden evidenciar en el anexo 18. Se describen a continuación los resultados de cada tipo de cultivo, el vertical y el horizontal con cada tipo de sustrato utilizado. La tabla 6 muestra los resultados del diseño de cultivo hidropónico vertical con el sustrato 1 que consistía en arena en un 100%. La tabla 7 muestra del diseño de cultivo hidropónico vertical con el sustrato 2 que consistía en arena y turba en una proporción 1:1. La tabla 8 muestra del diseño de cultivo hidropónico horizontal con el sustrato 1 que consistía en arena en un 100%. La tabla 9 muestra del diseño de cultivo hidropónico horizontal con el sustrato 2 que consistía en arena y turba en una proporción 1:1.

Cultivo vertical

Tabla 6. Resultados del diseño hidropónico vertical con el sustrato 1 (Muñoz, 2024)

Sustrato 1: arena en un 100%						
		Tamaño Raíz (cm)	Tamaño de tallo (cm)	Número de hoja	Clorofila (Unidades SPAD)	Nitrógeno (mg/g)
T1	a	2	12	10	46,9	17,5
	b	5	10	19	39,9	15,3
	c	6	10	8	11,2	6,2
T2	a	4	10	8	24,9	10,5
	b	2	10	8	21,1	9,3
	c	2	10	14	9	5,5
T3	a	5	10	8	15,2	7,4
	b	4	10	16	20,4	9,1
	c	0	10	13	35,5	13,9
T4	a	5	10	6	28,6	11,7
	b	1	10	12	4,1	3,9
	c	0,5	10	9	40,2	15,4
T5	a	5,5	10	10	36,3	14,1
	b	0	10	3	50,3	18,6
	c	2,5	10	4	24	10,2
T6	a	4	10	6	13,5	6,9
	b	3	10	3	4,2	4
	c	0	10	5	12,2	6,5
T7	a	3,5	10	14	16,4	7,8
	b	1	10	13	9,3	5,6
	c	0	10	5	23,7	10,1
T8	a	0,5	10	8	26,5	11
	b	4	10	4	9,2	5,5
	c	5	10	3	48,9	18,1
T9	a	5,5	10	17	28,3	11,6
	b	0	10	12	26	10
	c	1,5	10	14	10	5,8
T10	a	0	11	3	23	9,9
	b	2	10	3	26,3	11
	c	0,5	10	16	58,2	21,1
T11	a	0,5	10	10	40,4	15,4
	b	0	10	5	11,8	6,4
	c	0	10	35	8	5,2

T12	a	2,5	11	3	28,8	11,8
	b	0	10	12	33,2	13,2
	c	0	10	8	14,5	7,2
T13	a	3,5	11	10	26,1	10,9
	b	2,5	10	16	44,9	16,9
	c	1	10	13	7,9	5,1
T14	a	0	10	3	13,6	6,9
	b	2,5	10	5	10,9	6,1
	c	0,5	10	10	45	16,9
T15	a	2	10	6	14,3	7,2
	b	4	10	16	12,4	6,6
	c	0	10	3	18,1	8,4
Promedio	2,09	10,11	10	23,85	10,17	

(T) número de tratamiento, (a, b, c) brotes plantados.

Tabla 7. Resultados del diseño hidropónico vertical con el sustrato 2 (Muñoz, 2024)

Sustrato 2: arena y turba en proporción 1:1						
		Tamaño Raíz (cm)	Tamaño de tallo (cm)	Número de hoja	Clorofila (Unidades SPAD)	Nitrógeno (mg/g)
T1	a	1	10	20	45,9	17,2
	b	1,5	10	6	12,2	6,5
	c	2	11	20	44,3	16,7
T2	a	1,2	13	11	7,5	5
	b	0,5	10	6	13,2	6,8
	c	0,5	10	7	21,6	9,5
T3	a	0	10	22	8,1	5,2
	b	1,2	10	13	39	15
	c	0,5	10	14	11,2	6,2
T4	a	0	12	8	11,8	0,4
	b	0,5	14,5	18	7,7	5,1
	c	1,5	11	10	20,7	9,2
T5	a	3	10	13	8,2	5,2
	b	0	10	10	30,3	12,1
	c	0	10	8	48,4	18

T6	a	1	10	7	8	5,2
	b	0	10	6	16	7,7
	c	0	10	2	26,3	11
T7	a	1,5	10	13	8,1	5,2
	b	0,5	10	12	16,7	7,9
	c	0,5	10	19	41,9	15,9
T8	a	0,5	10	3	15,7	7,6
	b	0	10	7	40	15,3
	c	0	10	9	32,2	12,28
T9	a	3	13,5	15	49,8	18,4
	b	0,5	10	5	22,6	9,8
	c	0,3	10	11	5,9	4,5
T10	a	0,5	10	5	44,9	16,9
	b	0,5	10	5	43,3	16,4
	c	0,5	10	7	31,7	12,7
T11	a	1,5	10	6	22,9	9,9
	b	0,3	10	7	23,3	9,1
	c	1,4	10	13	6	4,5
T12	a	1,2	10	8	12,1	6,5
	b	1,6	11	12	43,4	16,4
	c	1,5	10	15	16,3	7,8
T13	a	0	13	6	17,2	8,1
	b	0	10	16	13	6,7
	c	0	10	15	27,6	11,4
T14	a	0,5	11	30	28,8	11,8
	b	1	10	12	14	7,1
	c	0	10	13	32	12,8
T15	a	0,8	10	14	46,9	17,5
	b	1,5	10	18	30,8	12,4
	c	1	10	14	47	17,5
Promedio	0,78	10,44	11	24,77	10,32	

(T) número de tratamiento, (a, b, c) brotes plantados.

Cultivo horizontal

Tabla 8. Resultados del diseño hidropónico horizontal con el sustrato 1 (Muñoz, 2024)

Sustrato 1: arena en un 100%						
		Tamaño Raíz (cm)	Tamaño de tallo (cm)	Número de hoja	Clorofila (Unidades SPAD)	Nitrógeno (mg/g)
T1	a	0	14	5	11,6	6,3
	b	30	11	4	15,2	7,4
	c	27	13	21	5,9	4,5
T2	a	0	11	25	51,4	18,9
	b	28	10,5	26	49,4	15,1
	c	18	13	13	29	11,8
T3	a	0	10,5	11	35,2	13,8
	b	5	10	3	24,1	10,3
	c	5	14	15	12,4	6,6
T4	a	20	10	5	54,6	19,9
	b	35	12	10	6,8	4,8
	c	16	11	12	46,8	17,5
T5	a	33	17	18	44,6	16,8
	b	20	11	15	41,1	17,1
	c	28	11	6	30,8	12,4
T6	a	1	10	8	48,6	18
	b	0	10	7	17,7	8,2
	c	14	14,5	18	48,6	18
T7	a	1	10	7	49,1	18,2
	b	25	10	4	47,4	20,8
	c	28	11	20	15	7,4
T8	a	0	11	16	43,4	16,4
	b	25	12,5	19	20,5	9,2
	c	20	10	8	45,3	17
T9	a	0	10	8	17,3	18,1
	b	28	11	24	17,8	8,3
	c	0	11	14	13,1	6,8
T10	a	26	11	20	48,7	18,1
	b	0	10	10	33,5	13,2
	c	0	10	7	46,5	17,4
T11	a	25	12,5	7	35,6	13,9
	b	1	10	3	26,5	11
	c	20	10	10	24,9	10,5

T12	a	0	10	9	42,2	19,2
	b	18	11	14	48,2	17,9
	c	17	16	17	44,6	16,8
T13	a	0	18	29	51,5	19
	b	0	15	19	48,1	17,9
	c	12	16	28	51,7	19
T14	a	32	12	20	8,1	5,2
	b	13	11	8	50,3	18,6
	c	17	11	13	46	17,2
T15	a	17	10	16	38,6	14,9
	b	4	10	11	45,6	17,1
	c	12	11	13	44,6	16,8
Promedio	13,8	11,66	13	35,06	14,07	

(T) número de tratamiento, (a, b, c) brotes plantados.

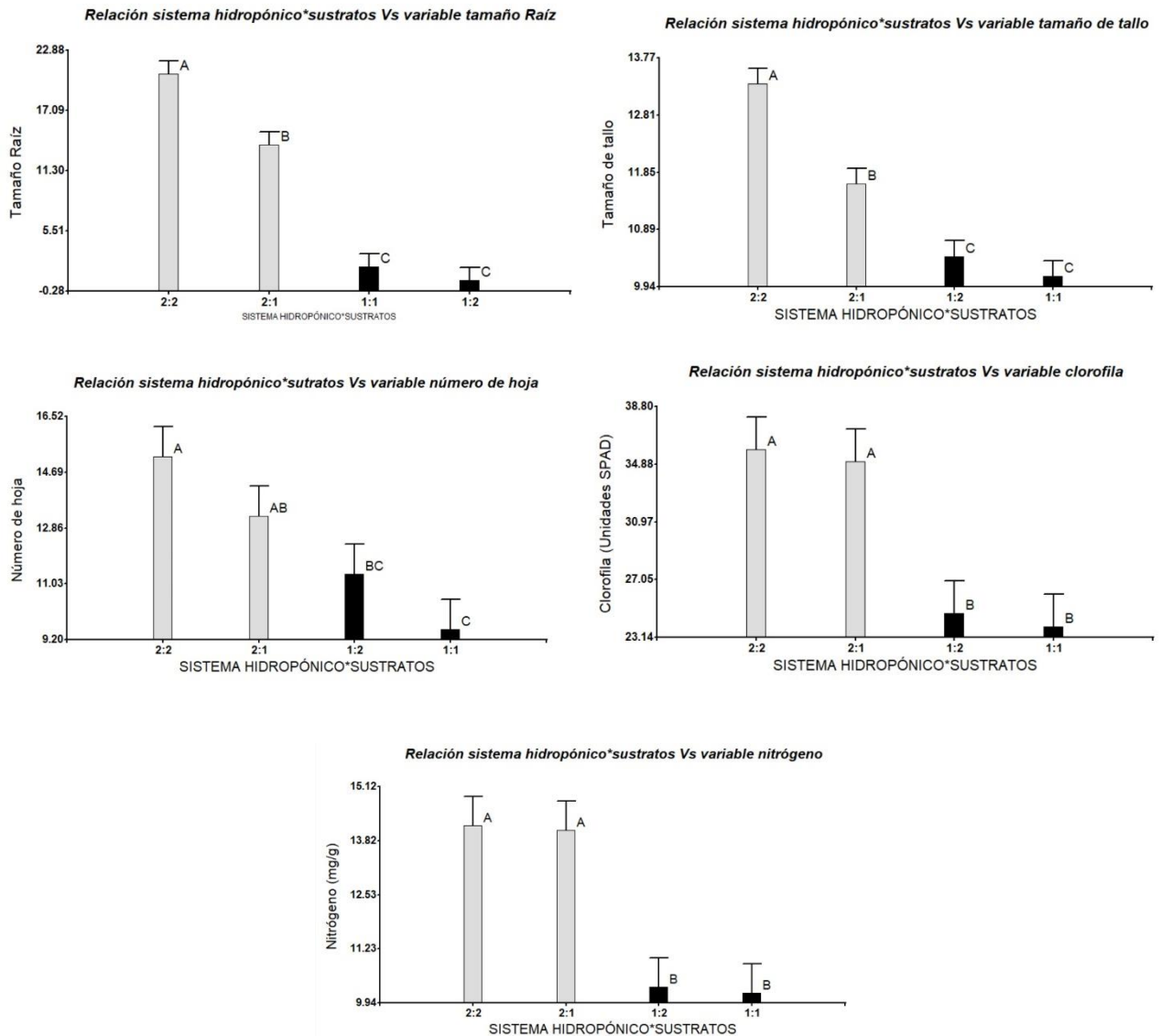
Tabla 9. Resultados del diseño hidropónico horizontal con el sustrato 2 (Muñoz, 2024)

Sustrato 2: arena y turba en proporción 1:1						
		Tamaño Raíz (cm)	Tamaño de tallo (cm)	Número de hoja	Clorofila (Unidades SPAD)	Nitrógeno (mg/g)
T1	a	0	11	5	34,5	16,4
	b	15	15	23	44,5	16,7
	c	21	12	23	13,7	7
T2	a	32	14,5	21	50,9	18,8
	b	42	17	23	41,8	15,9
	c	20	14	11	13,7	7
T3	a	0	10	5	41,6	15,8
	b	30	14	16	20,1	9
	c	31	15	13	48,8	18,1
T4	a	0	10	5	9,4	5,6
	b	23	12,5	12	48,6	18
	c	10	16	21	44,7	16,8
T5	a	30	17	21	13	6,7
	b	0	11	0	8,9	5,4
	c	20	11	10	45,3	17
T6	a	30	11	29	43,8	16,5
	b	25	14	19	43,5	16,4
	c	30	13	21	49,1	18,2
T7	a	20	14	18	11,9	6,4
	b	18	10	5	52,2	19,2

	c	21	12,5	22	44,3	18,4
T8	a	36	16	14	4,6	4,1
	b	29	10,5	7	21,7	9,5
	c	35	17	21	55,3	18,9
T9	a	30	12	14	47,2	17,6
	b	30	14	11	40,8	15,6
	c	18	14,5	5	38	14,7
T10	a	10	13	19	40,8	15,6
	b	18	16	20	44,3	16,7
	c	25	15,5	10	35,9	14,6
T11	a	18	18	28	50,3	18,6
	b	0	11	5	50,6	18,7
	c	12	14	9	40,2	14,4
T12	a	31	16,5	32	46,9	12,5
	b	25	13	12	46,7	17,4
	c	23	19	28	49	18,2
T13	a	30	11	13	40,2	15,4
	b	15	12	19	45,8	17,2
	c	27	18	15	51,8	19,1
T14	a	20	11	10	41,7	15,9
	b	22	12	8	28,2	11,6
	c	35	11,5	26	35	13,7
T15	a	20	10	10	16,6	17,9
	b	0	10	11	6,3	4,3
	c	0	10	14	13,2	6,8
Promedio	20,6	13,33	15	35,90	14,18	

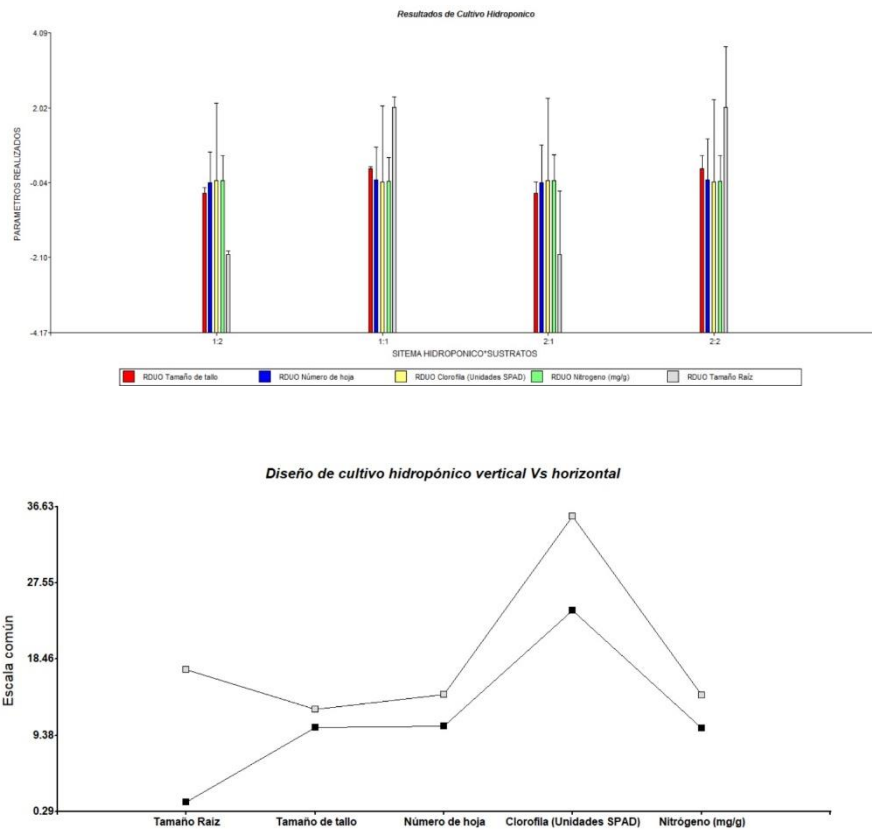
(T) número de tratamiento, (a, b, c) brotes plantados.

Figura 8. Gráfico de la relación del sistema hidropónico*sustrato Vs cada una de las variables medidas (Muñoz, 2024)



(1:1) Sistema hidropónico vertical con sustrato 1 arena en un 100%, (1:2) Sistema hidropónico vertical con sustrato 2 arena y turba en proporción en un 1:1, (2:1) Sistema hidropónico horizontal con sustrato 1 arena en un 100%, (2:2) Sistema hidropónico horizontal con sustrato 2 arena y turba en proporción en un 1:1.

Figura 9. Gráfico de la relación del sistema hidropónico*sustrato Vs todas las variables medidas (Muñoz, 2024)



(1:1) Sistema hidropónico vertical con sustrato 1 arena en un 100%, (1:2) Sistema hidropónico vertical con sustrato 2 arena y turba en proporción en un 1:1, (2:1) Sistema hidropónico horizontal con sustrato 1 arena en un 100%, (2:2) Sistema hidropónico horizontal con sustrato 2 arena y turba en proporción en un 1:1

El diseño y la implementación de un sistema de cultivo hidropónico son aspectos cruciales para maximizar el crecimiento y desarrollo de plantas. En este estudio, se evaluó dos configuraciones de cultivo hidropónico, uno vertical y otro horizontal, utilizando dos sustratos diferentes, arena en un 100% y otro sustrato de arena y turba en proporción 1:1 (50% y 50%). Los resultados obtenidos proporcionan información importante sobre el rendimiento de las plantas cultivadas en cada configuración y sustrato. Ver anexo 20 para identificar cálculos estadísticos.

En el sistema de cultivo hidropónico vertical, se observaron diferencias significativas en el rendimiento de las plantas según el sustrato utilizado. El sustrato de arena mostró un promedio de tamaño de raíz de 2.09 cm, el tamaño del tallo 10.11 cm, el número de hojas 10, el nivel de clorofila 23.85 SPAD, el nivel de nitrógeno 10.17 mg/g. Por otro lado, el sustrato que fue de arena con turba tuvo un promedio en el tamaño de la raíz de 0.78 cm, el tamaño del tallo 10.44 cm, el número de hojas 11, el nivel de clorofila 24.77 SPAD, el nivel de nitrógeno 10.32 mg/g. Por tanto, se puede mencionar que, el sustrato de arena con turba presentó menor longitud radicular pero mayor tamaño del tallo y número de hojas a diferencia del sustrato de arena que presentó mayor longitud radicular pero menor tamaño de tallo y cantidad de hojas. Estas diferencias pueden atribuirse a las propiedades físicas y químicas de cada sustrato, así como su capacidad para retener nutrientes y proporcionar un entorno adecuado para el crecimiento radicular y foliar.

En el sistema de cultivo hidropónico vertical, el sustrato de arena mostró un promedio de tamaño de raíz de 13.8 cm, el tamaño del tallo 11.66 cm, el número de hojas 13, el nivel de clorofila 35.06 SPAD, el nivel de nitrógeno 14.07 mg/g. Por otro lado, el sustrato que fue de arena con turba tuvo un promedio en el tamaño de la raíz de 20.06 cm, el tamaño del tallo 13.33 cm, el número de hojas 15.20, el nivel de clorofila 35.90 SPAD, el nivel de nitrógeno 14.18 mg/g. Por tanto, se puede mencionar que, el sustrato de arena con turba presentó mayor longitud radicular, mayor tamaño del tallo, mayor número de hojas, mayor nivel de clorofila y de nitrógeno a diferencia del sustrato de arena.

En el sistema de cultivo hidropónico horizontal, se observaron resultados más favorables en términos de crecimiento y desarrollo de las plantas en comparación con la configuración vertical. El sustrato de arena sola mostró un incremento significativo en el tamaño de la raíz (13.8) y el número de hojas (13.24) en comparación con la configuración

vertical. Además, el sustrato de arena con turba exhibió un rendimiento aún mejor, con un tamaño de raíz promedio de 20.06 y un número de hojas promedio de 15.20. Estos resultados sugieren que la configuración horizontal proporciona un mejor acceso a los nutrientes y una distribución más uniforme del agua y los nutrientes en comparación con la configuración vertical, siendo este el diseño de cultivo hidropónico ideal.

La inclusión de turba en el sustrato mostró beneficios significativos en el crecimiento y desarrollo de las plantas en ambas configuraciones. Se observaron mayores tamaños de raíz, más hojas y niveles ligeramente más altos de clorofila y nitrógeno en las plantas cultivadas en sustrato de arena con turba en comparación con arena sola. Esto sugiere que la turba puede mejorar la retención de agua y nutrientes, así como proporcionar condiciones favorables para el crecimiento de las plantas en un sistema hidropónico.

Capítulo V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Basado en los resultados obtenidos mediante la técnica de ICP, la planta halófila *Sesuvium portulacastrum* posee un perfil nutricional rico en micronutrientes y macronutrientes por lo que tienen un impacto positivo en la salud y el desarrollo infantil, especialmente en áreas donde la desnutrición crónica es prevalente.
- El tamizaje fitoquímico ha proporcionado una evaluación integral del potencial nutracéutico de *Sesuvium portulacastrum*, esta especie vegetal contiene una presencia significativa de alcaloides, flavonoides, cumarinas y terpenoides en las hojas de la planta.
- Existe una diferencia significativa entre los cultivos verticales y horizontales. Se demostró que, el sistema hidropónico ideal para domesticar a la planta *Sesuvium portulacastrum* es un sistema horizontal con un sustrato de arena más turba. Este sistema favorece un rendimiento superior en el crecimiento de la planta. Además, la inclusión de turba en el sustrato demostró beneficios significativos sugiriendo su potencial para mejorar la retención de agua y nutrientes.

5.2. Recomendaciones

- Se sugiere realizar estudios adicionales para determinar la biodisponibilidad y la eficacia de los nutrientes presentes en esta planta en la mejora del estado nutricional de niños con desnutrición crónica. Además, se insta a llevar a cabo investigaciones sobre posibles formas de procesamiento y preparación de la planta que maximicen su valor nutricional y minimicen cualquier efecto adverso. Además, es necesario evaluar los posibles efectos adversos o contradicciones asociadas con el consumo de esta planta en cantidades significativas.
- Se sugiere explorar otros métodos de extracción e identificación de metabolitos secundarios, incluso explorar otros solventes o partes de la planta, para maximizar su aplicación en la formulación de suplementos nutricionales o alimentos fortificados dirigidos específicamente a abordar la desnutrición crónica infantil.
- Se sugiere investigar otras combinaciones de sustratos y aditivos para determinar cuáles proporcionan mejores resultados en términos de crecimiento y desarrollo de plantas. Así mismo, se recomienda estudiar el efecto de diferentes variables ambientales, como temperatura y la iluminación, en la eficiencia del sistema de cultivo hidropónico, con el fin de maximizar la productividad y calidad de cultivos destinados a combatir la desnutrición crónica infantil.

Bibliografía

- Adam, P. (1990). *Salt Marsh Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Allai, F., Ahmad, T., Gul, K., Nasir, G. (2022). *Malnutrition: impact of zinc on Child Development*. ResearchGate. 10.1007/978-3-030-76609-2_4
- Alvarado, A., Blanco, R., Mora, E. (2002). *El cromo como elemento esencial en los humanos*. Scielo. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-29482002000100006
- Amatriain, M. (2000). *El potasio para la salud*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/28137839_El_potasio_para_su_salud
- Armitage, A., Moretti, D. (2019). *The Importance of Iron Status for Young Children in Low- and Middle-Income Countries: A Narrative Review*. ResearchGate. 10.3390/ph12020059
- Balakrishnan V, Venkatesan K, Ravindran KC (2007). *The influence of halophytic compost, farmyard manure and phosphobacteria on soil microflora and enzyme activities*. Plant Soil Environ 53:186–192
- Barreto, P. y Quino, A. (2014). *Efectos de la desnutrición infantil sobre el desarrollo psicomotor*. Revista Criterios, 21(1), 225-244.
- Barreto, P. y Quino, A. (2014). *Efectos de la desnutrición infantil sobre el desarrollo psicomotor*. Revista Criterios, 21(1), 225-244.
- Barroca, M. J., Guiné, R. P. F., Amado, A. M., Ressurreição, S., da Silva, A. M., Marques, M. P. M., & de Carvalho, L. A. E. B. (2020). *The drying process of Sarcocornia perennis*:

- impact on nutritional and physico-chemical properties. Journal of food science and technology*, 57(12), 4443–4458. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04482-7>
- Bates T. E. (1971). *Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review*. *Soil Science*, 112, 116-30.
- Bhatia S, Shukla S, Taneja G, et al. (2020). *Nutraceuticals: A review*. *Food Res Int.*;128:108744.
- Calder PC (2010). *Omega-3 fatty acids and inflammatory processes*. *Nutrients.*;2(3):355-374.
- Calderilla Jaimes, C. M. (2018). *Avances en la determinación de metales basados en la técnica de análisis en flujo multijeringa e impresión 3D*. Universitat de les Illes Balears, Centro de Investigación en Materiales Avanzados S. C., Palma de Mallorca. https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/150031/Carlos%20Mauricio%20Calderilla%20Jaime_TESIS%20DEF.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Carbone, F., and Accordi, G. 2000. *The Indian Ocean Coast of Somalia*. *Marine Pollution Bulletin* 41 (1-6): 141-159.
- Coc-Coj, O., Cámara, A., González, N., Jiménez, R. (2020). *La salicornia: una planta halófila con propiedades funcionales*. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. <http://www.reibci.org/publicados/2020/jul/3800103.pdf>
- Cortez, D. K., & Pérez Ruiz, M. E. (2023). *Desnutrición crónica infantil y sus efectos en el crecimiento y desarrollo*. *RECIAMUC*, 7(2), 677-686. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.\(2\).abril.2023.677-686](https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.(2).abril.2023.677-686)
- Cueva, M., Pérez, C., Ramos, M., Guerrero, R. (2021). *La desnutrición infantil en Ecuador: Una revisión de literatura*. *Boletín de Malariología y Salud*.

- Cushman JC (2003). *Functional genomics of plant abiotic stress tolerance*. In: Prade RA, Bohnert HJ (eds) *Genomics of Plants and Fungi*. Marcel Dekker, Inc, New York, pp 315–357
- De Vrese M, Schrezenmeir J (2008). *Probiotics, prebiotics, and synbiotics*. *Adv Biochem Eng Biotechnol.*;111:1-66.
- Debez, A., Huchzermeyer, B., Abdelly, C., Koyro, HW. (2010). *Current Challenges and Future Opportunities for a Sustainable Utilization of Halophytes*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/225930229_Current_Challenges_and_Future_Opportunities_for_a_Sustainable_Utilization_of_Halophytes
- Dhok, R. (2020). *Effect of various elements on growth of Plants*. *Plant Nutrients*.223-227
- Dinan L (2001) *Phytoecdysteroids: biological aspects*. *Photochem* 57:325–339. doi:10.1016/S0031-9422(01)00078-4
- Ecuador. Una revisión de literatura. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*.
- Fanego, S., & Carabeo, V. (2017). *Empleo de técnicas de alta precisión en la industria azucarera para el análisis de mieles finales*. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), 51(3), 50-57. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223158039008>
- Fernández, R & Morales, M. (2003). *Ecología para la agricultura*. Mundiprensa. México. 223 Pág.
- Ghnaya T, Nouairi I, Slama I, Messedi D, Grignon C, Abdelly C, Ghorbel MH. (2005). *Cadmium effects on growth and mineral nutrition of two halophytes: Sesuvium portulacastrum and Mesembryanthemum crystallinum*. *J Plant Physiol* 162(10):1133–1140. doi:10.1016/j.jplph.2004.11.011

Gobierno de Canarias (s.f.). *Banco del inventario natural de canarias*. Biocan.
<https://www.biodiversidadcanarias.es/biota/especie/F00086>

Golldack D, Li C, Mohan H and Probst N. (2014). *Tolerance to drought and salt stress in plants: unraveling the signaling networks*. *Front. Plant Sci.* 5:151.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00151>

Gomis Yagües, V. (2008). *Técnicas Instrumentales en el Análisis Industrial. Tema 7. Espectroscopia de emisión y absorción atómica*. Universidad de Alicante, Departamento de Ingeniería Química, Alicante.
<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8252/4/T7Abasorc.pdf>

González, I., González, D., Morera, V. (2019). *Secondary metabolites in plants: Main classes, phytochemical analysis and pharmacological activities*. ResearchGate.
<http://dx.doi.org/10.21931/RB/2019.04.04.11>

Gowrishankar M, Blair B, Rieder MJ. *Dietary intake of sodium by children: Why it matters*. *Paediatr Child Health.* (2020). Feb;25(1):47-61. doi: 10.1093/pch/pxz153. Epub 2020 Feb 6. PMID: 32042243; PMCID: PMC7002818.

Hammer, K. (2001) Aizoaceae. In: *Hanelt P (ed), Mansfeld's encyclopedia on agricultural and horticultural crops, Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research*. Springer, Berlin, 1986, Vol 1, pp 223–227

Holguin R, Medina D, Ghasemi M, Rueda, E. (2020). *Salt tolerant plants as a valuable resource for sustainable food production in arid and saline coastal zones*. *Acta Biol Colomb.* 26(1):116–26. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v26n1.82412>

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023). *Primera encuesta especializada de Desnutrición Crónica Infantil*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/primera->

encuesta-especializada-revela-que-el-20-1-de-los-ninos-en-ecuador-padecen-de-desnutricion-cronica-infantil/

Jiménez, M., Grijalva, A., Ponce, H. (2020). *Plasma acoplado inductivamente en espectroscopía de emisión óptica*. Recimundo.
<https://recimundo.com/index.php/es/article/view/876>

Johnson, V., Mirza, A. 2020. *Role of Macro and Micronutrients in the Growth and Development of Plants*. Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci. 9(11): 576-587.
doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.911.071>

Joshi GV, Bhosale LJ. (1981). *Estuarine ecosystem of India*. In: Sen DN, Tajpurohit KS (eds) *Contributions to the ecology of halophytes*. Dr. W. Junk Publications, The Hague, pp 21–33

Joshi GV, Bhosale LJ. (1981). *Estuarine ecosystem of India*. In: Sen DN, Tajpurohit KS (eds) *Contributions to the ecology of halophytes*. Dr. W. Junk Publications, The Hague, pp 21–33

Kang K, Kim Y-S, Park S, Back K. (2009). *Senescence-induced serotonin biosynthesis and its role in delaying senescence in rice leaves*. Plant Physiol 150: 1380–1393

Ksouri, R., Ksouri, W. M., Jallali, I., Debez, A., Magné, C., Hiroko, I., & Abdelly, C. (2012). *Medicinal halophytes: potent source of health promoting biomolecules with medical, nutraceutical and food applications*. Critical reviews in biotechnology, 32(4), 289–326.
<https://doi.org/10.3109/07388551.2011.630647>

Lacerda, LD. (1982). *Heavy metal pollution in soil and plants of the Iraja River Estuarine area in the Guanabara Bay Brazil*. Rev Brasil de Biol 42:89–94

- Lis-Balchin M, Deans SG. (1997). *Bioactivity of selected plant essential oils against Listeria monocytogenes*. J Appl Bacteriol 82:759– 762. doi:10.1046/j.1365-2672.1997.00153.x
- Lokhande, V., Gor, B., Desai, N., Kikam, T. (2012). *Sesuvium portulacastrum, a plant for drought, salt stress, sand fixation, food and phytoremediation. A review*. ResearchGate. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-012-0113-x>
- Lonard RI, Judd FW. (1997). *The biological flora of coastal dunes and wetlands. Sesuvium portulacastrum (L.) L.* J Coast Res 13(1):96– 104
- Lopes, M., Sanches-Silva, A., Castilho, M., Cavaleiro, C., & Ramos, F. (2023). *Halophytes as source of bioactive phenolic compounds and their potential applications. Critical reviews in food science and nutrition*, 63(8), 1078–1101. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1959295>
- Lustre Sánchez, Hermes. (2022). *Los superpoderes de las plantas: los metabolitos secundarios en su adaptación y defensa*. Revista Digital Universitaria (rdu), 23(2). <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.2.10>
- Magawa ML, Gundidza M, Gweru N, Humphrey G. (2006). *Chemical composition and biological activities of essential oil from the leaves of Sesuvium portulacastrum*. J Ethnopharmacol 103:85– 89. doi:10.1016/j.jep.2005.07.024
- Moseki B, Buru JC. (2010). *Ionic and water relations of Sesuvium portulacastrum (L)*. Scient Res Ess 5:35–40
- Morales-Ruán, Ma. del Carmen, Villalpando, Salvador, García-Guerra, Armando, Shamah-Levy, Teresa, Robledo-Pérez, Ricardo, Ávila-Arcos, Marco Antonio, & Rivera, Juan A.. (2012). *Iron, zinc, copper and magnesium nutritional status in Mexican children aged 1 to 11 years*. Salud Pública de México, 54(2), 125-134.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-363420120002000008&lng=es&tlng=en.

- Orrego, F., De La Fuente, L., Gómez, M., & Ginocchio, R. (2018). *Diversidad de halófitas chilenas: distribución, origen y hábito*. Gayana. Botánica, 75(2), 555-
- Orrego, F., De La Fuente, L., Gómez, M., & Ginocchio, R. (2018). *Diversidad de halófitas chilenas: distribución, origen y hábito*. Gayana. Botánica, 75(2), 555-
- Ortega, R., Jiménez, A., López, A. (2015). *El calcio y la salud*. Redalyc. <https://www.redalyc.org/pdf/3092/309238518002.pdf>
- Padalino L, Costa C, Del Nobile M, Conte A. (2019). *Extract of Salicornia europaea in fresh pasta to enhance phenolic compounds and antioxidant activity*. International Journal of Food Science and Technol. 54(11):3051–7. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14218>
- Pant DR, Pant ND, Saru DB, Yadav UN, Khanal DP. *Phytochemical screening and study of antioxidant, antimicrobial, antidiabetic, anti-inflammatory and analgesic activities of extracts from stem wood of Pterocarpus marsupium Roxburgh*. J Intercult Ethnopharmacol. 2017 Apr 12;6(2):170-176. doi: 10.5455/jice.20170403094055. PMID: 28512598; PMCID: PMC5429076.
- Patel S. (2016). *Salicornia: evaluating the halophytic extremophile as a food and a pharmaceutical candidate*. 3 Biotech, 6(1), 104.
- Patil AV, Lokhande VH, Suprasanna P, Bapat VA, Jadhav JP. (2012). *Sesuvium portulacastrum* (L.) L.: a potential halophyte for the degradation of toxic textile dye, Green HE4B. Planta 235 (5):1051–1063. doi:10.1007/s00425-011-1556-z
- Pechova, A., Pavlata, L- (2007). *Chromium as an essential nutrient: A review*. ResearchGate. 10.17221/2010-VETMED

- Peng J, Zheng T-T, Li X, Liang Y, Wang L-J, Huang Y-C and Xiao H-T. (2019). *Plant-Derived Alkaloids: The Promising Disease-Modifying Agents for Inflammatory Bowel Disease*. *Front. Pharmacol.* 10:351. doi: 10.3389/fphar.2019.00351
<https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2019.00351/full>
- Pettifor, JM, & Zlotkin, S. (2004). *Deficiencias de micronutrientes en los primeros años de vida*. *Nutrición Hospitalaria*, 19(5), 316.
http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112004000500011&lng=es&tlng=es.
- Rabhi M, Hafsi C, Lakhdar A, Barhoumi Z, Hamrouni MH, Abdely C, Smaoui A (2009) *Evaluation of the capacity of three halophytes to desalinize their rhizosphere as grown on saline soils under non leaching conditions*. *Afr J Ecol* 47:463–468.
doi:10.1111/j.1365-2028.2008.00989.x
- Ramani B, Reeck T, Debez A, Stelzer R, Huchzermeyera B, Schmidt A, Papenbrock J. (2006). *Aster tripolium L. and Sesuvium portulacastrum L.: two halophytes, two strategies to survive in saline habitats*. *Plant Physiol Biochem* 44:395–408. doi:10.1016/j.plaphy.2006.06.007
- Rojas A, Hernandez L, Rogeho PM, Mata R. (1992). *Screening for antimicrobial activity of crude drug extracts and pure natural products from Mexican medicinal plants*. *J Ethnopharmacol* 35:127–149. doi:10.1016/0378-8741(92)90025-M
- Sambou, A., Ayessou, N., Diallo, A. (2022). *Cooking process efecto on nutritional value of Sesuvium portulacastrum L. leaves in Senegal*. *JSEA Reports*.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jsf2.94>

- Sharifi-Rad J, Cruz-Martins N, López-Jornet P, Lopez EP, Harun N, Yeskaliyeva B, Beyatli A, Sytar O, Shaheen S, Sharopov F, Taheri Y, Docea AO, Calina D, Cho WC. *Natural Coumarins: Exploring the Pharmacological Complexity and Underlying Molecular Mechanisms*. *Oxid Med Cell Longev*. 2021 Aug 23;2021:6492346. doi: 10.1155/2021/6492346. PMID: 34531939; PMCID: PMC8440074. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8440074/>
- Shrestha, A., Dunn, B. (2015). *Hydroponics*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/280235408_Hydroponics
- Simon P, Krolman J (1989). *Ecdysone: from chemistry to mode of action*. In: Koolman JA (ed) George Thieme, New York, pp 254–259
- Singla PN, Chand P, Kumar A, Kachhawaha JS. (1998) *Serum magnesium levels in protein-energy malnutrition*. *J Trop Pediatr*. 1998 Apr;44(2):117-9. doi: 10.1093/tropej/44.2.117. PMID: 9604603.
- Sinlaparaya D, Duanghaklang P, Panichajakul S. (2007). *Enhancement of 20-hydroxyecdysone production in cell suspension cultures of Vitex glabrata R. Br. By precursors feeding*. *Afr J Biotechnol* 6(14):1639–1642
- Slama I, Messedi D, Ghnaya T, Savou re A, Abdelly C. (2006). *Effects of water-deficit on growth and proline metabolism in Sesuvium portulacastrum*. *Environ Springer*. Vol 46., Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9673-9_8
- Suganthi N, Pandian SK, Devi KP. (2009). *Cholinesterase inhibitory effects of Rhizophora lamarckii, Avicennia officinalis, Sesuvium portulacastrum and Suaeda monica: mangroves inhabiting an Indian coastal area (Vellar Estuary)*. *J Enz Inhibit Med Chem* 24 (3):702–707. doi:10.1080/14756360802334719

Suryawanshi, M.D. (2020). *Plant Nutrients TYBSC. Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives*, Food Chemistry: X, Volume 13, 2022, 100217, ISSN 2590-1575, <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590157522000153>

Ullah A, Munir S, Badshah SL, Khan N, Ghani L, Poulson BG, Emwas AH, Jaremko M. *Important Flavonoids and Their Role as a Therapeutic Agent. Molecules*. 2020 Nov 11;25(22):5243. doi: 10.3390/molecules25225243. PMID: 33187049; PMCID: PMC7697716. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7697716/>

Unicef (2021). *Desnutrición Crónica Infantil*.
<https://www.unicef.org/ecuador/desnutrici%C3%B3n-cr%C3%B3nica><https://www.unicef.org/ecuador/desnutrici%C3%B3n-cr%C3%B3nica-infantil#:~:text=Uno%20de%20los%20mayores%20problemas%20de%20salud%20p%C3%ABblica%20en%20Ecuador.&text=La%20desnutrici%C3%B3n%20cr%C3%B3nica%20infantil%20afecta,la%20vida%20de%20las%20personas>.

Universidad de Alicante. (2020). *Espectroscopía de emisión por plasma de acoplamiento inductivo*. Universidad de Alicante. <https://ssti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-analisis/espectroscopia-de-emision-por-plasma-de-acoplamiento-inductivo.html>

Vinayak Lokhande, Bhoomi Gor, Neetin Desai, Tukaram Nikam, Penna Suprasanna. *Sesuvium portulacastrum, a plant for drought, salt stress, sand fixation, food and phytoremediation. A review. Agronomy for Sustainable Development*, 2013, 33 (2), pp.329-348. [ff10.1007/s13593-012-0113-xf](https://doi.org/10.1007/s13593-012-0113-xf). [ffhal01201356f](https://doi.org/10.1007/s13593-012-0113-xf)

Vol. LXI (4), 556-564. <https://doi.org/10.52808/bmsa.7e5.614.003>

- Whitfield, A.K 2017. *The role of seagrass meadows, mangrove forests, salt marshes and reed beds as nursery areas and food sources for fishes in estuaries*. Reviews in Fish Biology and Fisheries 27, 75-110.
- Yang J, Yen HE. (2002). *Early salt stress effects on the changes in chemical composition in leaves of ice plant and Arabidopsis*. A Fourier transform infrared spectroscopy study. Plant Physiol 130 (2):1032–1042. doi:10.1104/pp.004325
- Zamora, O., Lozano, R., Samayoa, H., Velásquez, M., & Prado, B. (2019). *Adecuabilidad y comparación de técnicas espectroscópicas para el análisis de muestras de origen geológico*. Revista internacional de contaminación ambiental, 35(1), 65-79. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000100065&script=sci_arttext
- Zárate, M. (2014). *Manual de hidroponía*. Universidad Nacional de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponia.pdf
- Zeng HC, Deng LH, Zhang CF. (2006). *Cloning of salt tolerance-related cDNAs from the mangrove plant Sesuvium portulacastrum L.* J Integ Plant Biol 48:952–957. doi:10.1111/j.1744-7909.2006.00287.x

Anexos

Anexo 1. Materiales: recolección de muestra

Recolección de muestra	
Materiales	Uso
Fundas Ziploc	Recogida de muestras
Botellones de agua	Agua para cultivo hidropónico
Tijera	Recogida de muestras
Rotulador	Diferenciar muestras
Pala pequeña	Tomar arena

Anexo 2. Materiales: toma de parámetros

Toma de parámetros	
Materiales	Uso
Vaso de precipitación	Medición de parámetros tomados como pH, salinidad y conductividad eléctrica.
Mortero	Procesamiento de muestra para toma de parámetros
Equipos	Uso
Medidor de clorofila	Toma de parámetros
Multiparámetro (pH, salinidad)	Toma de parámetros
Conductímetro	Toma de parámetros

Anexo 3. Materiales de laboratorio: Determinación de macronutrientes y micronutrientes por ICP

ICP	
Materiales	Uso
Vasos de precipitación	Lavado de muestra
Papel aluminio	Secado de muestra
Mortero	Triturado de muestra
Tamiz	Pulverización de muestra
Matraces aforados	Proceso de digestión
Embudo	Proceso de digestión
Caja de papel filtro	Proceso de digestión
Frascos Ámbar	Conserva luego de proceso de digestión
Equipos	Uso
Refrigeradora	Conservación de muestra
Estufa	Secado de muestra
Balanza gramera	Peso de muestra
Digestor	Proceso de digestión por microondas
Sustancias químicas/Reactivos	Uso
Agua destilada	Lavado de plantas

Ácido nítrico	Proceso de digestión por microondas
Reactivos de ICP de N, P, K, Ca, Mg, S	Proceso de ICP
Ácido nítrico	Solución cultivo hidropónico
Agua tipo 1	Solución cultivo hidropónico

Anexo 4. Materiales: determinación de metabolitos secundarios por tamizaje fitoquímico

Tamizaje fitoquímico	
Materiales	Uso
Vasos de precipitación	Lavado de muestra
Papel aluminio	Secado de muestra
Mortero	Triturado de muestra
Tamiz	Pulverización de muestra
Frascos Ámbar	Conserva de extractos
Tubos de ensayo	Determinación de metabolitos
Gradillas	Determinación de metabolitos
Equipos	Uso
Refrigeradora	Conservación de muestra
Estufa	Secado de muestra
Balanza gramera	Peso de muestra
Equipo Soxhlet	Obtención de extracto
Rotavapor	Eliminación de solventes
Sustancias químicas/Reactivos	Uso
Agua destilada	Lavado de plantas
Etanol	Preparación de extractos

Anexo 5. Materiales: diseño de cultivo hidropónico vertical

Cultivo hidropónico	
Materiales	Uso
Tubo PVC de 4 pulgadas	Diseño de estructura
Tubo PVC de 1 pulgada	Diseño de estructura
Estopa de coco	Diseño de estructura
Pala	Diseño de estructura
Vasos pequeños	Diseño de estructura
Mangueras	Diseño de estructura
Tapa para tubo PVC con agujeros	Diseño de estructura
Balde de agua	Diseño de filtro para agua
Equipos	Uso
Bomba de agua	Salida de agua
Pistola de aire caliente	Diseño de filtro para agua
Sustancias químicas/Reactivos	Uso
Agua de mar	Solución cultivo hidropónico
Arena	Sustrato
Mezcla de arena y turba	Sustrato

Anexo 6. Materiales: diseño de cultivo hidropónico horizontal

Cultivo hidropónico	
Materiales	Uso
Cajón de agua	Diseño de estructura
Semillero de espumafón	Diseño de estructura
Estopa de coco	Diseño de estructura
Pala	Diseño de estructura
Mangueras	Bomba de agua
Equipos	Uso
Bomba de aire	Diseño de filtro para agua
Sustancias químicas/Reactivos	Uso
Agua de mar	Solución cultivo hidropónico
Arena	Sustrato
Mezcla de arena y turba	Sustrato

Anexo 7. Protocolo de solución Steiner

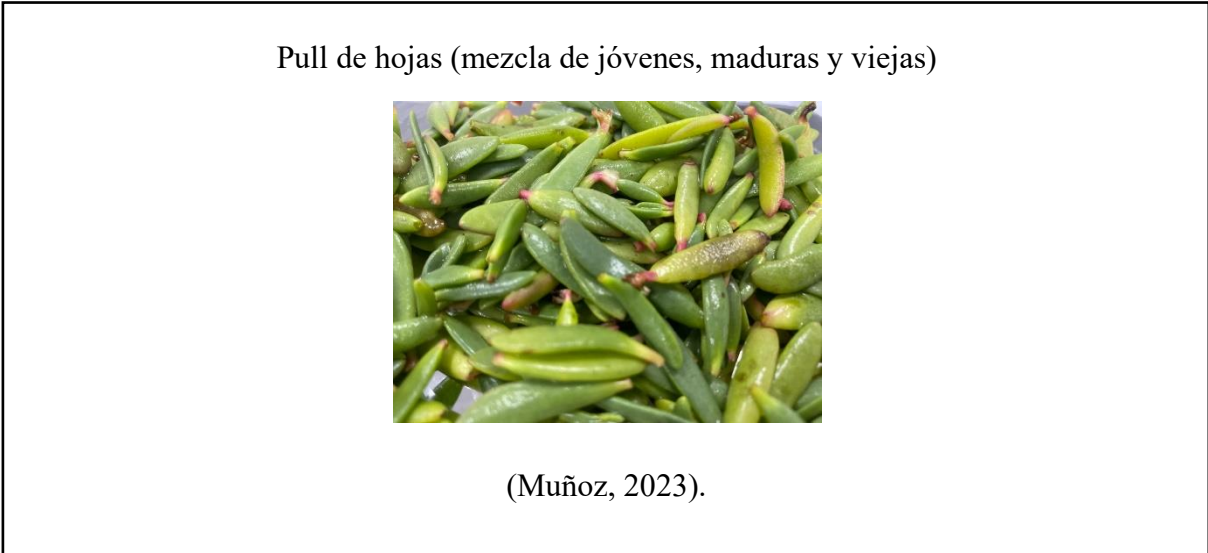
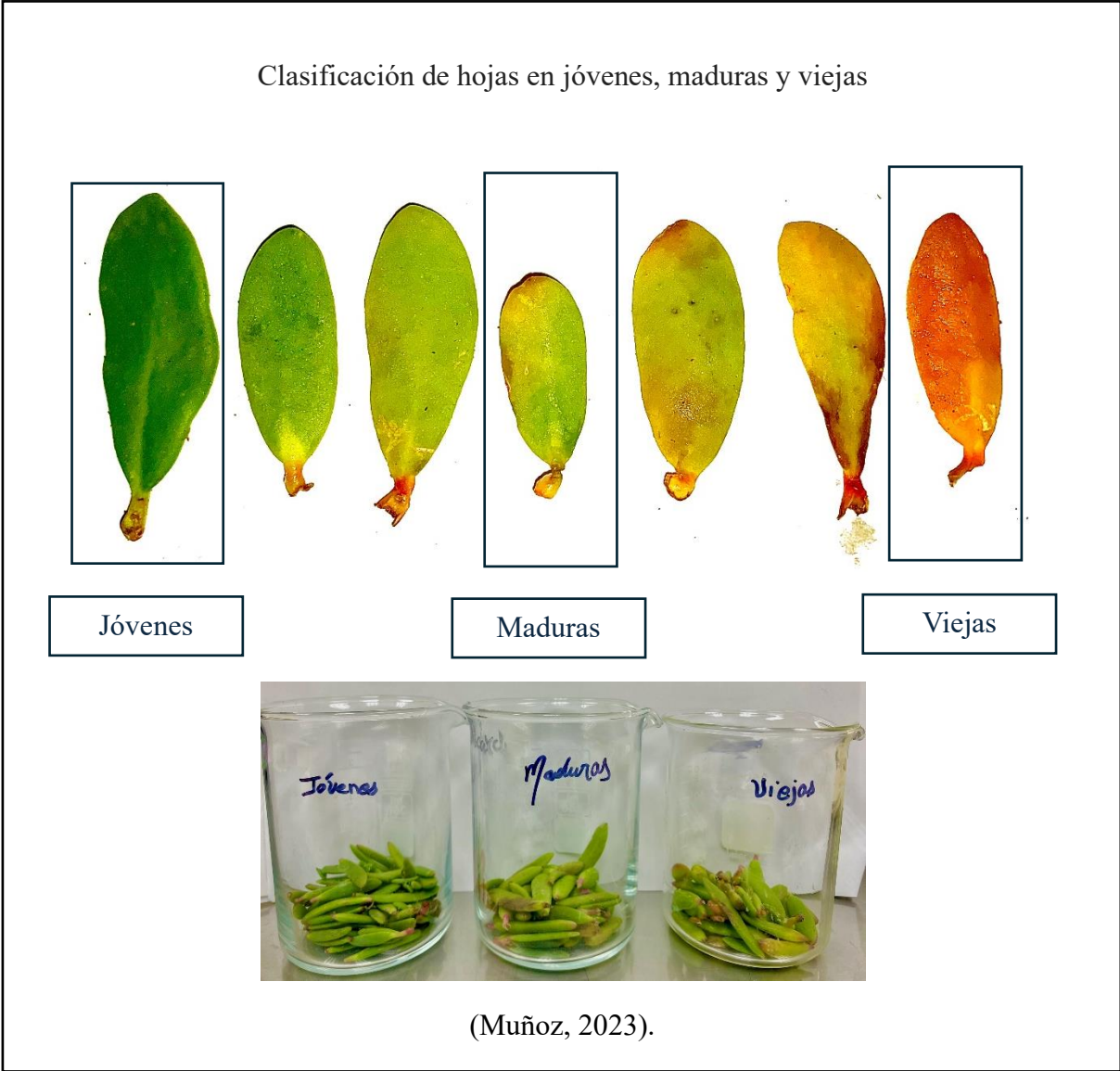
Nutrientes	Reactivos	Para 4Litros de H2O (10x) gramos	Fórmula Química
Macro	Nitrato de Calcio	39,5672	Ca(NO3)2.4H2O
	Sulfato de Magnesio (sal de epsom)	19,7976	Mg SO4.7 H2O
	Nitrato de Potasio	3,6504	KNO3
	Dihidrogeno Fosfato de Potasio	5,4432	KH2PO4
	Sulfato de Potasio	18,0528	K2SO4
Micro	Quelato de Hierro (EDTA)	12 ml	C14H19O10N3NaFe
	Sulfato de Manganeseo	0,76	MnSO4.H2O
	Ácido Bórico	1,004	H3BO3
	Sulfato de Zinc	0,12	ZnSO4
	Sulfato de Cobre	0,028	Cu2SO4
	Molibdato de Sodio	0,0048	Na2MoO4

Anexo 8. Recolección de muestras vegetales de *Sesuvium portulacastrum*



(Muñoz, 2023).

Anexo 9. Clasificación de hojas por edad fisiológica



Anexo 10. Preparación de hojas para procesos experimentales

Lavado



(Muñoz, 2023).

Pesado



(Muñoz, 2023).

Secado



(Muñoz, 2023).

Triturado



(Muñoz, 2024).

Tamizado



(Muñoz, 2024).

Anexo 11. Proceso de identificación de macronutrientes y micronutrientes por ICP

Pesado de muestra seca



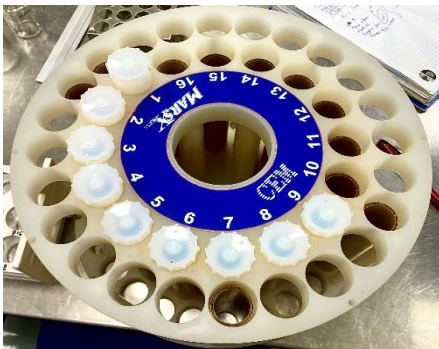
(Muñoz, 2024).

Colocación de Ácido Nítrico



(Muñoz, 2024).

Digestión por microondas



(Muñoz, 2024).

Filtrado



(Muñoz, 2024).

Obtención de extracto



(Muñoz, 2024).

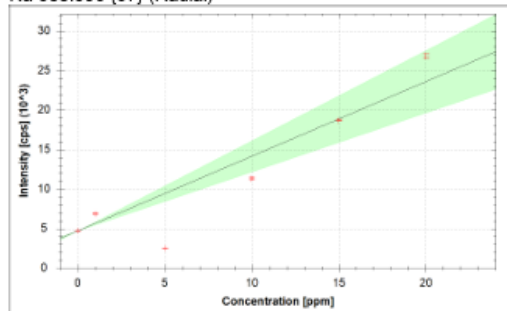
Lectura de muestras por ICP



(Muñoz, 2024).

Gráficos de calibración para proceso ICP

Na 588.995 {57} (Radial)



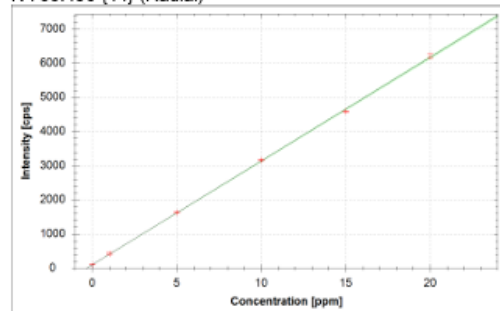
$$f(x) = 944.4274 \cdot x + 4731.6667$$

$$R^2 = 0.8447$$

$$\text{BEC} = 5.010 \text{ ppm}$$

$$\text{LoD} = 0.0582 \text{ ppm}$$

K 766.490 {44} (Radial)



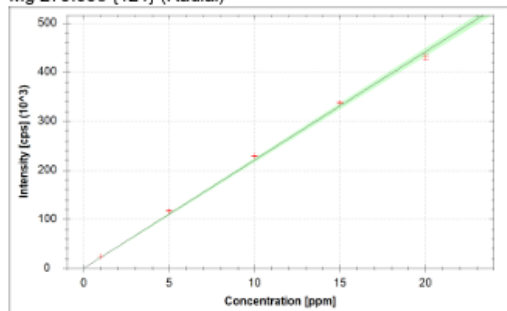
$$f(x) = 303.4106 \cdot x + 102.9986$$

$$R^2 = 0.9998$$

$$\text{BEC} = 0.339 \text{ ppm}$$

$$\text{LoD} = 0.0495 \text{ ppm}$$

Mg 279.553 {121} (Radial)



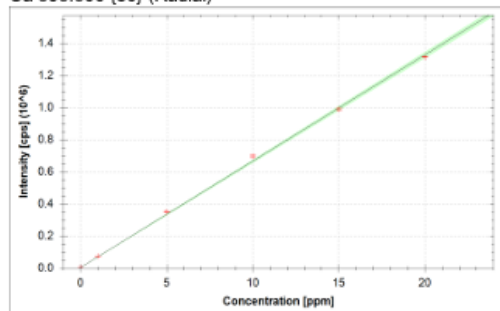
$$f(x) = 22054.7280 \cdot x + 125.9514$$

$$R^2 = 0.9982$$

$$\text{BEC} = 0.006 \text{ ppm}$$

$$\text{LoD} = 0.0007 \text{ ppm}$$

Ca 393.366 (86) (Radial)



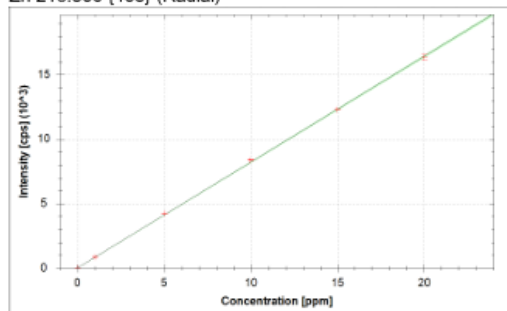
$$f(x) = 66191.8831 \cdot x + 4964.9556$$

$$R^2 = 0.9989$$

$$\text{BEC} = 0.075 \text{ ppm}$$

$$\text{LoD} = 0.0011 \text{ ppm}$$

Zn 213.856 {458} (Radial)



$$f(x) = 821.3453 \cdot x + 21.1376$$

$$R^2 = 0.9998$$

$$\text{BEC} = 0.026 \text{ ppm}$$

$$\text{LoD} = 0.0016 \text{ ppm}$$

(Muñoz, 2024).

Anexo 12. Proceso de determinación de metabolitos secundarios por tamizaje fitoquímico

Pesado de muestra seca



(Muñoz, 2024).



(Muñoz, 2024).

Rotaevaporación de solvente



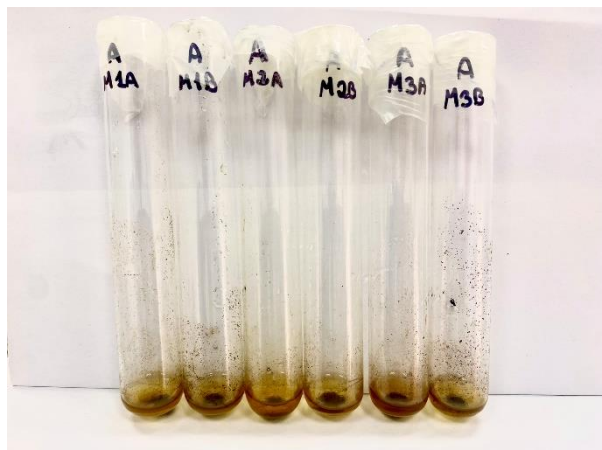
(Muñoz, 2024).

Obtención de extractos



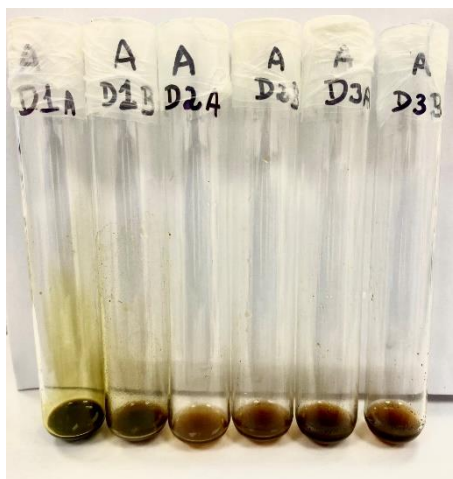
(Muñoz, 2024).

Determinación de Alcaloides – Prueba de Mayer



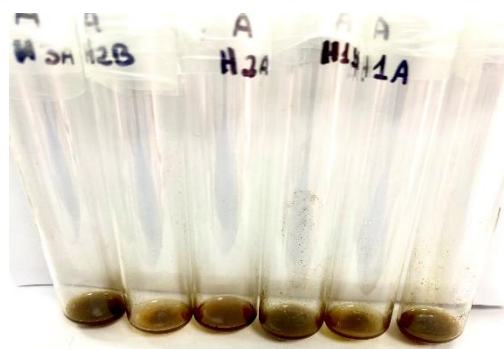
(Muñoz, 2024).

Determinación de Alcaloides – Prueba de Dragendorff



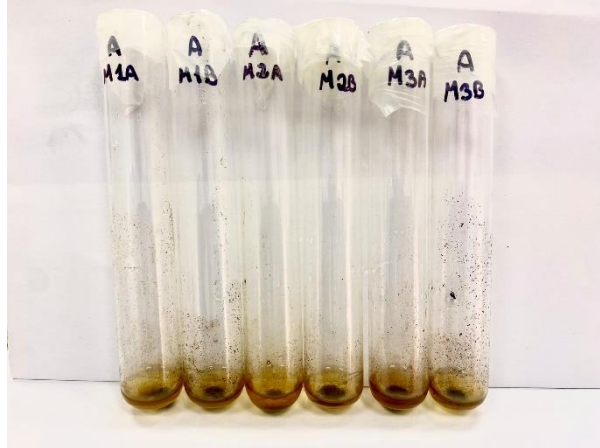
(Muñoz, 2024).

Determinación de Alcaloides – Prueba de Hager



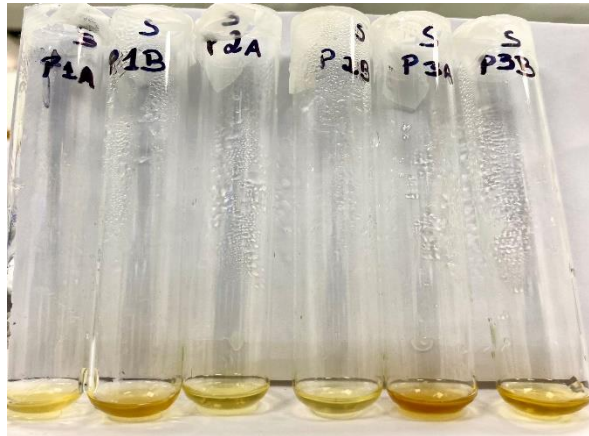
(Muñoz, 2024).

Determinación de Alcaloides – Prueba de Wagner



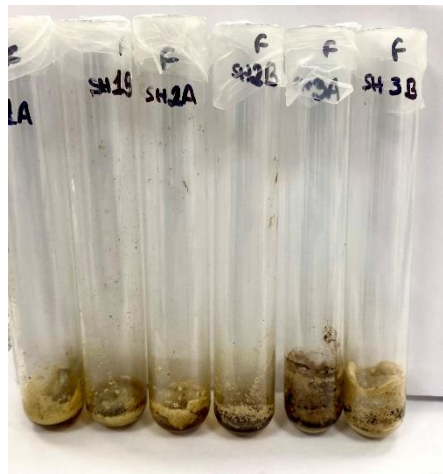
(Muñoz, 2024).

Determinación de Saponinas – Prueba de Peróxido



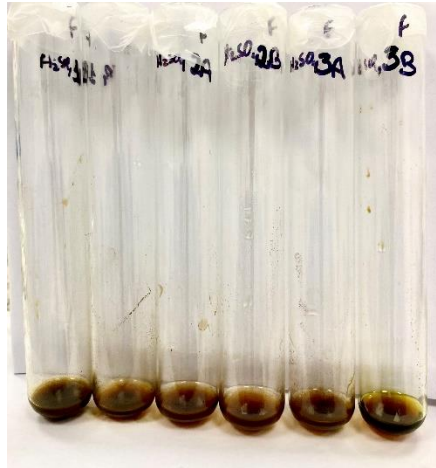
(Muñoz, 2024).

Determinación de Flavonoides – Prueba de Shinoda



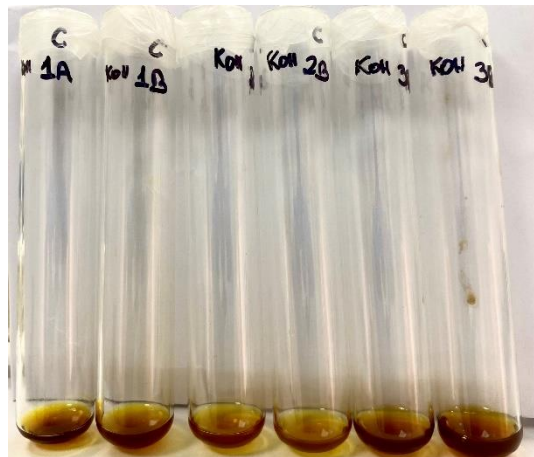
(Muñoz, 2024).

Determinación de Flavonoides – Prueba de Ácido Sulfúrico



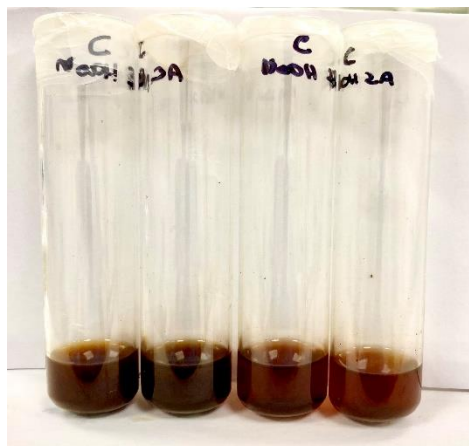
(Muñoz, 2024).

Determinación de Cumarinas – Hidróxido de Potasio



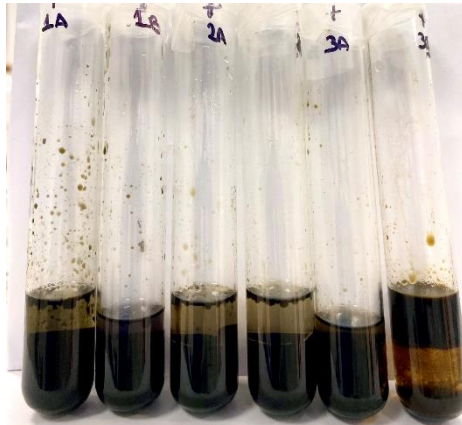
(Muñoz, 2024).

Determinación de Cumarinas – Hidróxido de Sodio



(Muñoz, 2024).

Determinación de Terpenoides – Prueba de Ácido Sulfúrico + Cloroformo



(Muñoz, 2024).

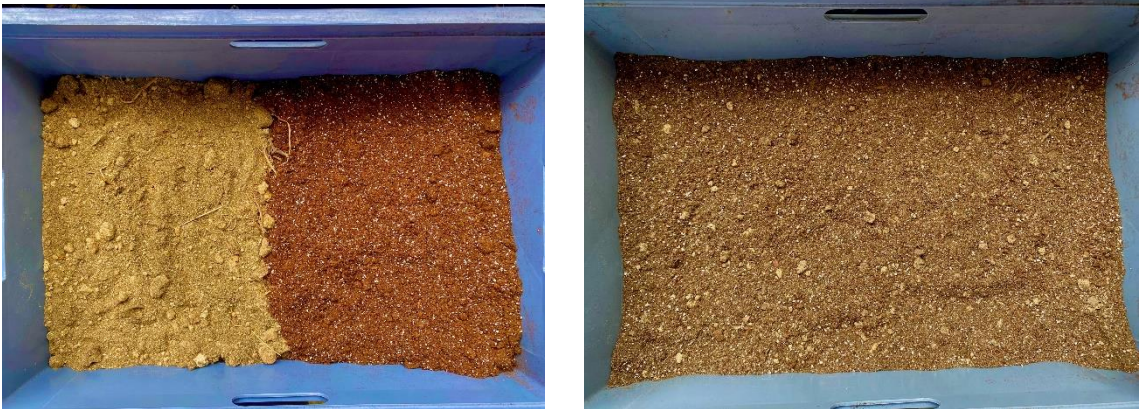
Anexo 13. Preparación de sustratos

Sustrato 1



(Muñoz, 2024).

Sustrato 2



(Muñoz, 2024).

Anexo 14. Preparación de Solución Steiner

Pesado de macronutrientes



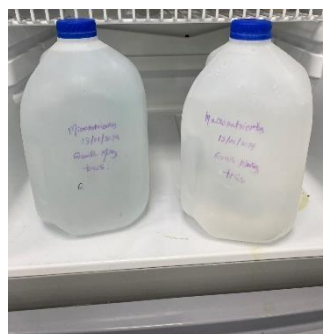
(Muñoz, 2024).

Pesado de micronutrientes



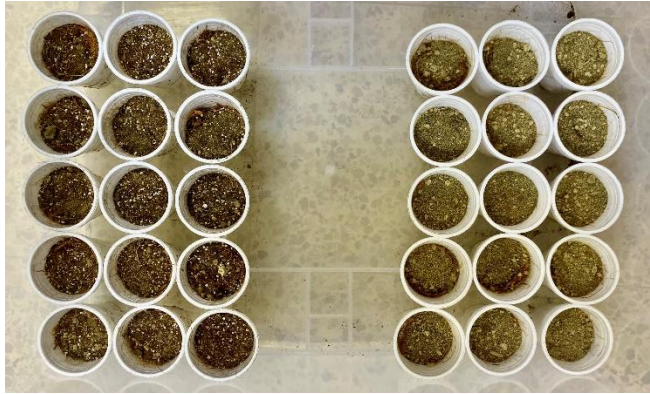
(Muñoz, 2024).

Preparación de soluciones



(Muñoz, 2024).

Anexo 15. Diseño de cultivo hidropónico vertical



(Muñoz, 2024).

Anexo 16. Diseño de cultivo hidropónico horizontal



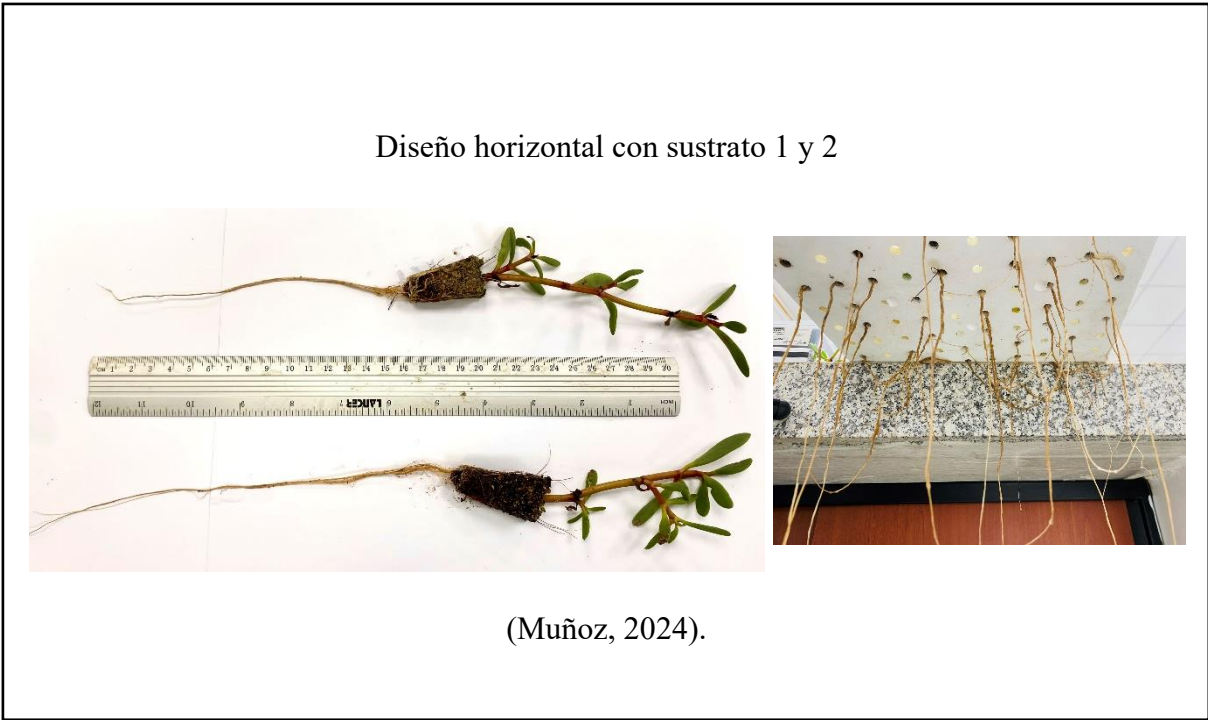
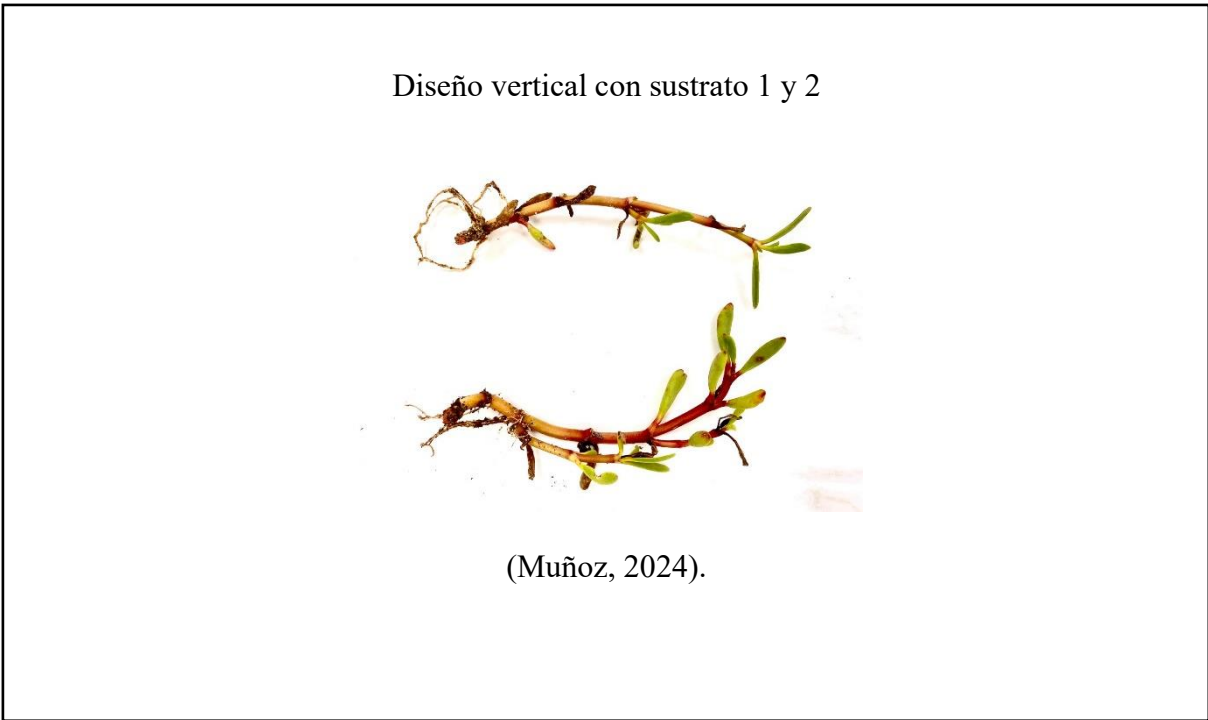
(Muñoz, 2024).

Anexo 17. Diseño de cultivo hidropónico vertical y horizontal



(Muñoz, 2024).

Anexo 18. Resultado de cultivos hidropónicos



Anexo 19. Resultado estadístico de la concentración de micronutrientes y macronutrientes por ICP

Na (ppm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Na (ppm)	9	0.69	0.59	8.82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	453.70	2	226.85	6.76	0.0290
Puntos	453.70	2	226.85	6.76	0.0290
Error	201.37	6	33.56		
Total	655.07	8			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=14.51347

Error: 33.5618 gl: 6

Puntos	Medias	n	E.E.	
P1	75.72	3	3.34	A
P3	60.74	3	3.34	B
P2	60.58	3	3.34	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

K (ppm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
K (ppm)	9	0.65	0.54	38.23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	74.84	2	37.42	5.64	0.0419
Puntos	74.84	2	37.42	5.64	0.0419
Error	39.81	6	6.63		
Total	114.65	8			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=6.45295

Error: 6.6347 gl: 6

Puntos	Medias	n	E.E.	
P3	9.86	3	1.49	A
P2	7.45	3	1.49	A B
P1	2.90	3	1.49	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Mg (ppm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mg (ppm)	9	0.71	0.62	28.43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8.17	2	4.08	7.41	0.0239
Puntos	8.17	2	4.08	7.41	0.0239
Error	3.31	6	0.55		
Total	11.47	8			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.85940*Error: 0.5509 gl: 6*

Puntos	Medias	n	E.E.	
P1	3.96	3	0.43	A
P2	2.01	3	0.43	B
P3	1.87	3	0.43	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)***Ca (ppm)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ca (ppm)	9	0.07	0.00	35.40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.67	2	0.33	0.24	0.7965
Puntos	0.67	2	0.33	0.24	0.7965
Error	8.47	6	1.41		
Total	9.13	8			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.97580*Error: 1.4109 gl: 6*

Puntos	Medias	n	E.E.	
P3	3.73	3	0.69	A
P1	3.26	3	0.69	A
P2	3.08	3	0.69	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 20. Resultado estadístico de los cultivos hidropónicos

Tamaño Raíz

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Tamaño Raíz	180	0.51	0.50	88.58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12265.53	3	4088.51	60.03	<0.0001
SITEMA HIDROPONICO	11186.45	1	11186.45	164.26	<0.0001
SUSTRATOS	338.94	1	338.94	4.98	0.0270
SITEMA HIDROPONICO*SUSTRAT..	740.14	1	740.14	10.87	0.0012
Error	11986.08	176	68.10		
Total	24251.61	179			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.47704

Error: 68.1027 gl: 176

SITEMA HIDROPONICO	SUSTRATOS	Medias	n	E.E.	
2	2	20.60	45	1.23	A
2	1	13.80	45	1.23	B
1	1	2.09	45	1.23	C
1	2	0.78	45	1.23	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tamaño de tallo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Tamaño de tallo	180	0.35	0.34	15.33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	286.95	3	95.65	31.41	<0.0001
SITEMA HIDROPONICO	221.11	1	221.11	72.61	<0.0001
SUSTRATOS	45.50	1	45.50	14.94	0.0002
SITEMA HIDROPONICO*SUSTRAT..	20.33	1	20.33	6.68	0.0106
Error	535.97	176	3.05		
Total	822.92	179			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.94672

Error: 3.0453 gl: 176

SITEMA HIDROPONICO	SUSTRATOS	Medias	n	E.E.	
2	2	13.33	45	0.26	A
2	1	11.66	45	0.26	B
1	2	10.44	45	0.26	C
1	1	10.11	45	0.26	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Número de hoja

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número de hoja	180	0.09	0.08	53.80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	802.98	3	267.66	6.08	0.0006
SITEMA HIDROPONICO	642.22	1	642.22	14.59	0.0002
SUSTRATOS	160.56	1	160.56	3.65	0.0578
SITEMA HIDROPONICO*SUSTRAT..	0.20	1	0.20	4.5E-03	0.9463
Error	7749.02	176	44.03		
Total	8552.00	179			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.59978

Error: 44.0285 gl: 176

SITEMA HIDROPONICO	SUSTRATOS	Medias	n	E.E.
2	2	15.20	45	0.99 A
2	1	13.24	45	0.99 A B
1	2	11.36	45	0.99 B C
1	1	9.53	45	0.99 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Clorofila (Unidades SPAD)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Clorofila (Unidades SPAD)	180	0.13	0.12	49.04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5652.53	3	1884.18	8.77	<0.0001
SITEMA HIDROPONICO	5617.95	1	5617.95	26.14	<0.0001
SUSTRATOS	34.50	1	34.50	0.16	0.6892
SITEMA HIDROPONICO*SUSTRAT..	0.08	1	0.08	3.7E-04	0.9846
Error	37830.67	176	214.95		
Total	43483.19	179			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=7.95379

Error: 214.9470 gl: 176

SITEMA HIDROPONICO	SUSTRATOS	Medias	n	E.E.
2	2	35.90	45	2.19 A
2	1	35.06	45	2.19 A
1	2	24.77	45	2.19 B
1	1	23.85	45	2.19 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Nitrogeno (mg/g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nitrogeno (mg/g)	180	0.15	0.13	38.60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	679.46	3	226.49	10.23	<0.0001
SITEMA HIDROPONICO	678.69	1	678.69	30.67	<0.0001
SUSTRATOS	0.76	1	0.76	0.03	0.8534
SITEMA HIDROPONICO*SUSTRAT..	0.02	1	0.02	7.1E-04	0.9788
Error	3894.89	176	22.13		
Total	4574.36	179			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.55211

Error: 22.1301 gl: 176

SITEMA HIDROPONICO	SUSTRATOS	Medias	n	E.E.
2	2	14.18	45	0.70 A
2	1	14.07	45	0.70 A
1	2	10.32	45	0.70 B
1	1	10.17	45	0.70 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)