







Effect of using Hydrogel on the stem system for the cultivation of spearmint (*Mentha spicata*)

Milton A. Martinez-Julca¹; Renny R. Nazario-Naveda²; Yalu M. Nolasco-Garcia¹; Maycoll V. Vila-Torres¹
Jhimer N. Gutierrez-Juñuruco¹; Zayumy A. Ramos-Crisosotomo¹







¹Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Pampas 09156, Perú, mmartinezjulca@gmail.com

²Vicerrectorado de Investigación, Universidad Autónoma del Perú, Lima 15842, Perú, renny.nazario@autonoma.pe

Abstract– *One of the main factors affecting the productivity of plant cultivation is water scarcity. Likewise, “hierba buena” (Mentha spicata) is considered a plant with beneficial characteristics for health due to its antidiabetic, anti-inflammatory, antioxidant, and digestion-improving properties. In the present work we examined the use of hydrogel in the cultivation of Mentha spicata, evaluating its effect on growth in the cauline and root systems. A control sample “A” without the application of the hydrogel, a sample “B” in the presence of hydrogel with soil, and a sample “C” containing hydrogel and a guano substrate were analyzed. Greater growth was observed in the cauline system in sample “B” with a size of 21.400 ± 0.337 cm and 4.300 ± 0.0816 cm in stem and leaves, respectively; growth in this system could be associated with the thermoregulatory role of the hydrogel in the presence of soil which favored the growth of this zone. These results are favorable since the main sources of its nutrients and the plant zone that is most used are found in the caulinar system.*

Keywords– *Mentha spicata; hydrogel; guinea pig guano; aeration; caulinar system; assisted growth; assisted growth.*

Efecto del uso de Hidrogel en el sistema caulinar para el cultivo de hierba buena (*Mentha spicata*)

Milton A. Martinez-Julca¹; Renny R. Nazario-Naveda²; Yalu M. Nolasco-Garcia¹; Maycoll V. Vila-Torres¹; Jhimer N. Gutierrez-Juñuruco¹; Zayumy A. Ramos-Crisosotomo¹

¹Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Pampas 09156, Perú, mmartinezjulca@gmail.com

²Vicerrectorado de Investigación, Universidad Autónoma del Perú, Lima 15842, Perú, renny.nazario@autonoma.pe

Resumen– Uno de los principales factores que afectan la productividad del cultivo de plantas es la escasez de agua. Así mismo, la hierba buena (*Mentha spicata*) es considerada una planta con características beneficiosas para la salud debido a sus propiedades antidiabética, antiinflamatoria, antioxidante, además de mejorar la digestión. En el presente trabajo examinamos el uso del hidrogel en el cultivo de *Mentha spicata*, evaluando su efecto en el crecimiento en los sistemas caulinar y radicular. Se analizó una muestra “A” testigo sin la aplicación del hidrogel, una muestra “B” en presencia de hidrogel con tierra, y una muestra “C” que contiene hidrogel y un sustrato de guano de cuy. Se observó un mayor crecimiento en el sistema caulinar en la muestra “B” con un tamaño de 21.400 ± 0.337 cm y 4.300 ± 0.0816 cm en tallo y hojas, respectivamente; el crecimiento en este sistema podría estar asociado al rol termorregulador del hidrogel en presencia de la tierra el cual favoreció el crecimiento de esta zona. Estos resultados son favorables ya que las fuentes principales de sus nutrientes y la zona de la planta que más se usa se encuentra en el sistema caulinar.

Palabras clave– *Mentha spicata*; hidrogel; guano de cuy; aireación; sistema caulinar; crecimiento asistido

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la población está en continuo crecimiento demográfico y uno de los principales recursos limitados con alta demanda es el agua [1–5]. En el sector agricultura el consumo global promedio de agua se encuentra alrededor del 70% y la crisis de la escasez de agua es uno de los principales riesgos en términos de impacto según el Informe Global de Riesgos 2020 [6]. Pampas es una ciudad situada en la provincia de Tayacaja que pertenece al departamento de Huancavelica- Perú y se encuentra a 3600 m.s.n.m. aproximadamente, se presentan fluctuaciones en el caudal de agua y por eso la reserva hídrica del agua es limitada; las principales fuentes abundantes de agua para esta ciudad son los caudales de los ríos debido a las fuertes lluvias que ocurren en los meses de enero a marzo [7]. En los últimos años, enormes esfuerzos se han realizado para innovar el proceso de cultivo de plantas para la conservación del agua en la agricultura como como riego por goteo, programación del riego, mejoramiento de la salud del suelo, sistemas hidropónicos, sistemas de cultivo recirculación de agua y sistemas de cultivo usando hidrogel [8–14]. El hidrogel está siendo usado en diversas áreas como medicina en el

tratamiento de cicatrización de heridas, lentes de contacto, sensores electrónicos como super capacitores, monitoreo del medio ambiente, control de calidad de alimentos, y sustrato para cultivo de plantas [11, 15–17].

Un hidrogel está constituido por una red de cadena de polímeros hidrofílicos en un medio acuoso y pueden absorber grandes cantidades de líquidos. El hidrogel tiene un peculiar comportamiento cuando es inmerso en una solución líquida y puede hincharse absorbiendo el líquido presente en el medio [11]. El hinchamiento del hidrogel podría estar asociado a la sinergia de la contribución de la entalpía debido al enlace del polímero con las moléculas del solvente y la entropía generada entre las moléculas del solvente con las cadenas del polímero en la mezcla [18–20]. El hidrogel puede absorber líquidos hasta 100 veces su masa, y esto convierte al hidrogel en un material eco amigable con el agua [21]. Los hidrogeles pueden ser naturales, los que son preparados a base de celulosa, y sintéticos, los derivados de poliacrilatos [22]. Las ventajas del hidrogel en el sector agricultura son: capacidad de mantener el agua mejorando la calidad del suelo, proteger a los cultivos en las temporadas de sequía, modula el pH del suelo y facilita el transporte lento de los nutrientes esenciales para las plantas. En comparación con los fertilizantes comerciales, el hidrogel es más estable en el proceso de desintegración después que se humedece y minimiza la contaminación ambiental [22]. Así también, a nivel de procesos de cultivos, el hidrogel reduce los costos de mantenimiento por irrigación [23–25]. En un estudio realizado en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) usando hidrogel se incrementó los parámetros de crecimiento en comparación con el cultivo de tomate usando tierra con nutrientes de N, P₂O₅ y K₂O; los parámetros de crecimiento que incrementaron fueron altura de la planta, número de hojas por planta y número de ramas por planta [26]. En otro estudio realizado en el cultivo de *Capsicum annum* en dos tipos de muestras, una control que contenía solo tierra con un riego cada 2 días y otra a base de tierra con hidrogel con un riego cada 6 días; en este estudio se observó que la presencia de hidrogel favorece el crecimiento de la planta en sus aspectos de altura, número de hojas y área de la hoja en comparación con la muestra control [27].

Mentha spicata es una especie de planta que se usa frecuentemente en la cocina, como aromatizante en los alimentos, y también en la industria farmacéutica debido a sus

propiedades antioxidantes y antiinflamatorias entre otras [28, 29]. En un estudio realizando en células cancerígenas de seno humano (MCF7) y de células de cáncer de próstata humano (PC3) mostraron el efecto anti proliferativo debido a la presencia de aceite de *Mentha spicata*. Cabe resaltar que este aceite es obtenido de las hojas de la planta [30]. En Estados Unidos, el cultivo de *Mentha spicata* logró alcanzar 1,36 millones de lb en el 2024 [31]. Adicionalmente, en el proceso de cultivo de plantas es importante la disponibilidad de nutrientes presentes como por ejemplo nitrógeno, carbono, oxido de calcio, y ácido fosfórico para aumentar el tamaño de la planta; en ese contexto, el guano de cuy presenta estas características ideales para mejorar los suelos de cultivo [32]. El guano de cuy en su estado fresco muestra una composición de 0.6% de nitrógeno, 0.55% de CaO, y 0.03% de P₂O₅ [33]. Por otro lado, en su etapa madura presenta 3.92% de nitrógeno [34]. Ref. [35] realizaron un estudio del efecto del guano de cuy para la recuperación del suelo degradado; se observaron resultados favorables con incremento de porcentaje de nitrógeno conforme incrementaban la cantidad de guano de cuy. Para enfatizar, el contenido de nitrógeno está relacionado con el crecimiento de la planta y puede ser absorbido del suelo en forma de nitrato [36, 37].

Pocos estudios han sido realizados mediante el uso de hidrogel en *Mentha spicata*; Ref. [1] realizó un estudio del efecto del hidrogel usando la combinación de sustratos perlita y fibra de coco en *Mentha spicata*, así mismo en este trabajo se evidenció un crecimiento significativo en el tamaño de la

planta y la longitud de las hojas. El incremento en sus dimensiones fue asociado a la presencia de hidrogel en las muestras con los sustratos de perlita y fibra de coco [1]. En otro estudio realizado en los suelos de Marte usando hidrogel en el cultivo de *Mentha spicata* también se logró observar un comportamiento similar en el aumento del tamaño de la planta a los 13 días de su germinación en comparación con la muestra que no contenía hidrogel [38].

En base a lo anteriormente mencionado, es necesario realizar estudios en rutas alternativas de cultivo de plantas con alto potencial en uso industrial y beneficio de la salud en ambientes donde la disponibilidad al consumo de agua es limitada. En este estudio, nosotros mostramos el uso idóneo del hidrogel y el efecto del guano de cuy en el cultivo de *Mentha spicata* logrando un crecimiento en tamaño en los sistemas caulinar y radicular en un ambiente protegido de precipitaciones.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Área de estudio

La investigación se realizó en el vivero del Instituto Superior Pampas-Tayacaja, Perú, ubicado a 3600 m.s.n.m, durante un periodo de un mes (Fig. 1). Durante este tiempo, la supervisión y toma de datos fue determinada semanalmente.

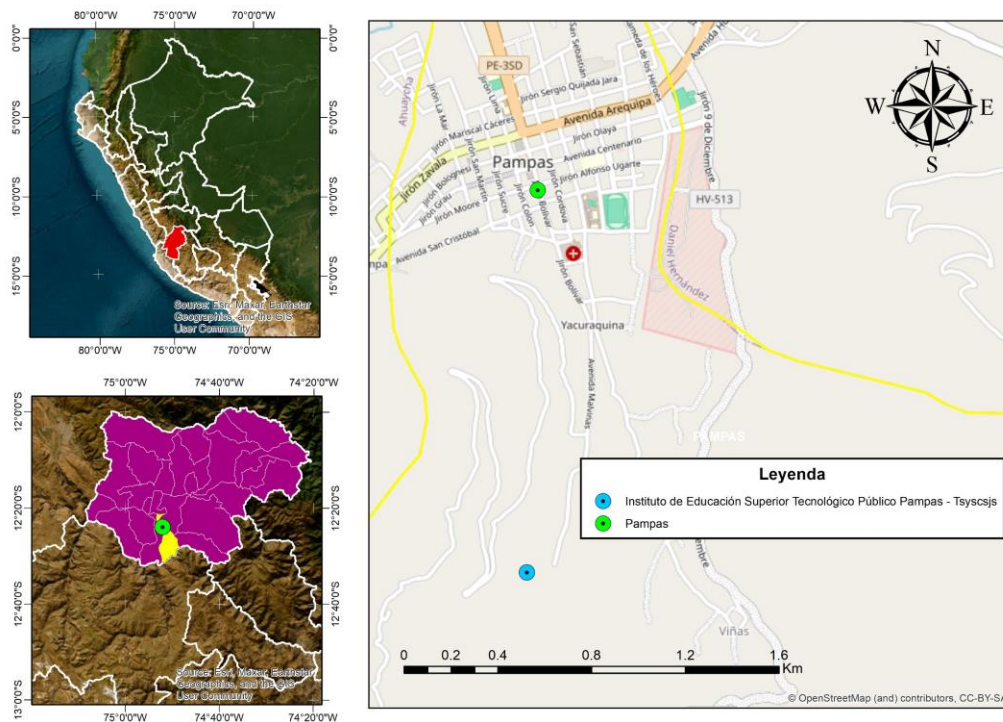


Fig. 1. Ubicación del lugar de estudio del cultivo de *Mentha spicata*.

B. Diseño experimental

Se trabajó con el cultivo de *Mentha spicata* en maceteros de vidrio (50 cm de altura, 20 cm de largo y 20 cm de ancho) como se muestra en la Fig. 2a. Se establecieron 3 tratamientos para cada muestra que se puede visualizar en la Tabla I y cuatro replicas para cada tratamiento; los tratamientos fueron: a) Tierra agrícola (muestra control), b) Tierra agrícola + hidrogel (5000 g/m³), y c) guano de cuy + hidrogel (5000 g/m³). El hidrogel empleado fue de tipo comercial de la marca Hidrogel a base de poliacrilato de potasio cuyas características se muestran en la Tabla II. La medición de la masa de hidrogel usada se realizó mediante el análisis gravimétrico en cada replica con cada tipo de muestra a través de una balanza analítica Sartorius Quintix 224-1S. Se usó agua potable para mezclar el hidrogel y riego de los cultivos (Fig. 2b). La preparación del hidrogel se realizó en un balde de plástico con capacidad de 15 L, se usó una espátula de madera para remover el hidrogel y que la absorción de agua se haga de manera uniforme (Fig. 2c). Cuando el hidrogel logró absorber todo el líquido disponible de forma homogénea, fue colocado en los maceteros correspondientes (Fig. 2d).

TABLA I
CONTENIDO DE HIDROGEL INCORPORADO EN CADA TIPO DE MUESTRA

| Tipo de muestra | % de Hidrogel | Frecuencia de riego de agua |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| A | 0% Hidrogel 100% tierra agrícola | Cada 3 días (Control) |
| B | 50% Hidrogel 50% tierra agrícola | |
| C | 67% Hidrogel 33% guano de cuy | |

Se usó una malla Raschel para la protección de las muestras ante agentes externos, así como para proveer de sombra en los días con alta radiación solar y para monitorear la estabilidad térmica de las muestras se utilizó un sensor de temperatura (Modelo: YH-Soil4in1, marca: YHEQUIPMENT, China), las mediciones se realizaron cada semana (Fig. 2e y Fig. 2f). Las dimensiones de las partes de la plata fueron medidas al finalizar la cuarta, se usó una cinta métrica.

TABLA II
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL HIDROGEL

| Color Húmedo | Color seco | Apariencia | Forma Física | Absorción de agua |
|--------------|------------|------------------------|--------------|-------------------|
| Blanco | Blanco | Cristales blanquesinos | gránulos | 300 L/kg |

C. Análisis estadístico

Minitab 19 fue usado para realizar el análisis estadístico y los gráficos de los datos recolectados.

III. RESULTADOS

A. Efecto de la temperatura en el proceso de cultivo de *Mentha spicata*

En la Tabla III se observa el comportamiento del hidrogel en los diferentes tipos de muestra durante las cuatro semanas de que se realizó el estudio y su efecto en la temperatura de las muestras. Los resultados de la Tabla III sugieren que el hidrogel reduce la temperatura debido a la humedad presente que fue absorbido por el agua.

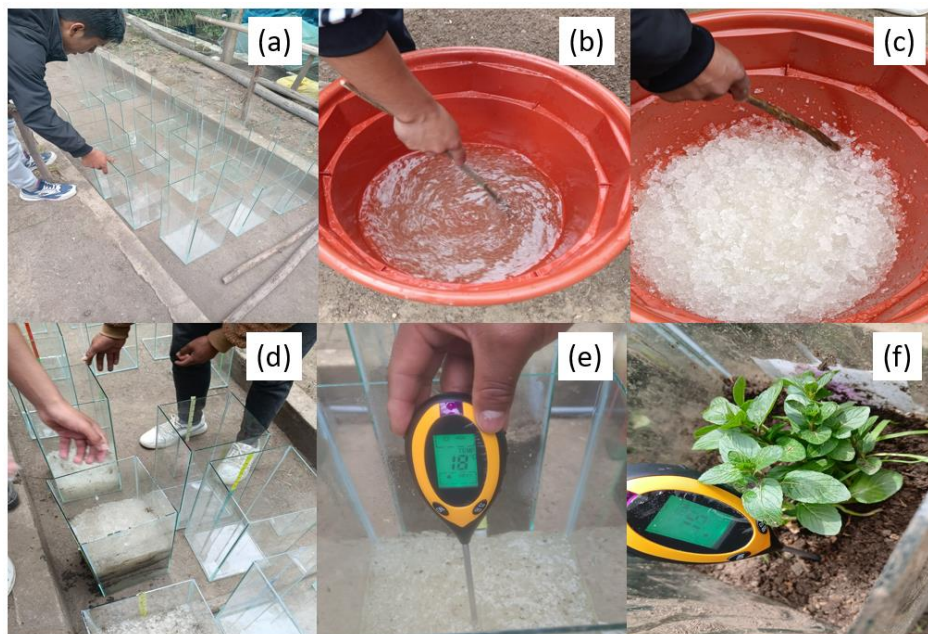


Fig. 2. (a) Maceteros de vidrios, (b) hidrogel en presencia de agua, (c) el hidrogel absorbió la cantidad de agua de forma uniforme, (d) incorporación de hidrogel en los maceteros asociados, (e) medición de la temperatura en la semana 1, y (f) medición de la temperatura en la semana 4.

TABLA III
VALORES DE TEMPERATURA EN GRADOS CELSIUS (°C) EN LAS
MUESTRAS MEDIDOS A DIFERENTES SEMANAS

| Tipo de muestra | Número Replica (A _x , B _x , C _x), \bar{m} , SD | Número de semana S _y | | | |
|-----------------|--|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ |
| A | A ₁ | 18 | 19 | 20 | 18 |
| | A ₂ | 18 | 20 | 20 | 18 |
| | A ₃ | 19 | 19 | 21 | 19 |
| | A ₄ | 19 | 20 | 20 | 19 |
| | \bar{m} | 18.5 | 19.5 | 20.25 | 18.5 |
| | SD | 0.577 | 0.577 | 0.5 | 0.577 |
| B | B ₁ | 16 | 18 | 15 | 17 |
| | B ₂ | 16 | 17 | 14 | 17 |
| | B ₃ | 15 | 17 | 14 | 17 |
| | B ₄ | 14 | 17 | 15 | 16 |
| | \bar{m} | 15.25 | 17.25 | 14.5 | 16.75 |
| | SD | 0.957 | 0.5 | 0.577 | 0.5 |
| C | C ₁ | 17 | 18 | 16 | 16 |
| | C ₂ | 17 | 18 | 16 | 16 |
| | C ₃ | 16 | 17 | 17 | 17 |
| | C ₄ | 17 | 18 | 16 | 16 |
| | \bar{m} | 16.75 | 17.75 | 16.25 | 16.25 |
| | SD | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |

* x: representa el número de la réplica del tipo de muestra, y: representa el número de la semana, \bar{m} : representa el promedio de cada tipo de muestra por semana asociada, SD: desviación estándar

Los datos mostrados en la Tabla III fueron representados gráficamente en la Fig. 3. La incorporación de hidrogel en la muestra B se encontró en el rango de 15.25 °C hasta 17.25 °C durante las cuatro semanas. Por otro lado, la muestra A tuvo un rango de temperatura superior entre 18.5 °C hasta 20.25 °C.

B. Crecimiento en el Sistema Radicular

La muestra C presentó mayor incremento en el tamaño de longitud de la raíz como se muestra en la Fig. 4 y Tabla IV. Durante las cuatro semanas el tamaño promedio de raíz de la muestra C aumentó en 36% y 50% en comparación a las muestras A y B, respectivamente.

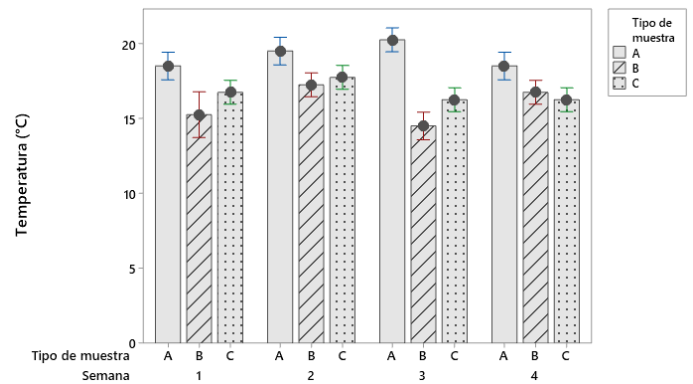


Fig. 3 Gráfico de intervalos de la temperatura en función del tipo de muestra y número de semana.

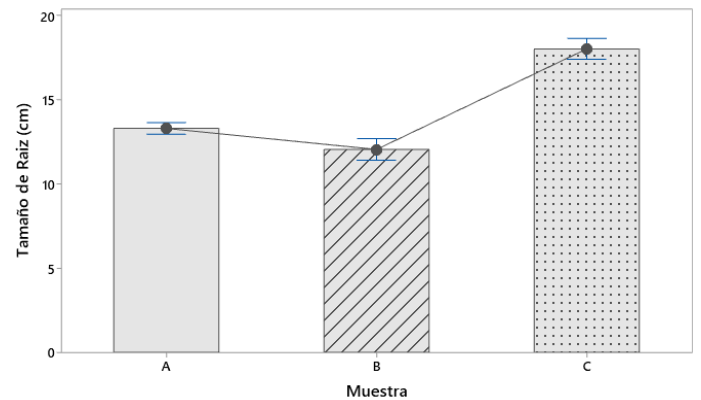


Fig. 4 Crecimiento del Sistema Radicular en la zona de la raíz de las muestras A, B, y C.

C. Crecimiento en el Sistema Caulinar

En la Fig. 5 se observa que la muestra B alcanzó un valor superior en tamaño promedio de tallo de 21.400 cm en comparación con el resto de muestras, seguido de la muestra A, con un tamaño promedio de 18.225 cm y finalmente la muestra C, con un valor promedio en tallo de 16.1 cm. En la Tabla IV podemos observar que la muestra B fue superior en tamaño promedio de tallo aproximadamente 17% y 33% en comparación de la muestra A y C, respectivamente. Así mismo, las muestras que contienen hidrogel muestran menor dispersión en los valores del tamaño de tallo (Fig. 5).

En la Fig. 6 se observó una tendencia similar respecto a la Fig. 5 en función al crecimiento, y el aumento del crecimiento de la hoja fue en el siguiente orden: muestra B, muestra A y muestra C. La diferencia en tamaño promedio de hoja fue más notoria entre las muestras B y C, y esta diferencia fue de 1.2 cm que su equivalente en porcentaje a 38 % como se puede también visualizar en la Tabla IV.

En la Tabla V, Fig. 7, Fig. 8 y Fig. 9 muestran los resultados obtenidos usando la prueba ANOVA de un solo factor con para evidenciar los cambios en los tamaños de la raíz, tallo y hoja con $\alpha = 0.05$.

Según los datos obtenidos previamente podemos visualizar que no existe una tendencia de una línea recta con pendiente positiva o negativa de forma completa entonces, buscamos la mejor curva que se ajuste a los datos en donde la Muestra A (0% de hidrogel), Muestra B (50% de hidrogel), y Muestra C (67% de hidrogel). Las Fig. 10, Fig. 11 y Fig. 12 representan la mejor curva de ajuste para tamaño de raíces en función del porcentaje de hidrogel en la muestra, Tamaño del tallo en función del porcentaje de hidrogel en la muestra y Tamaño de la hoja en función del porcentaje de hidrogel en la muestra, respectivamente.

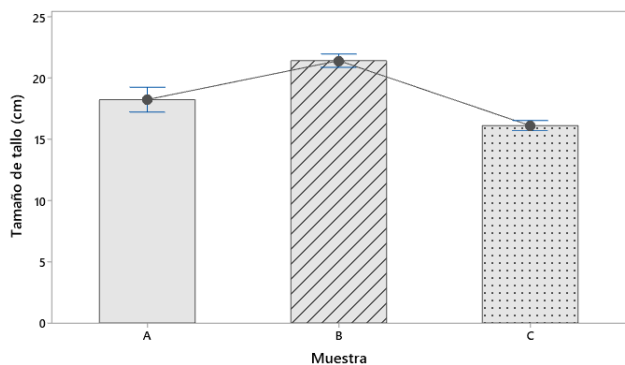


Fig. 5. Crecimiento del Sistema Caulinar en la zona del tallo de las muestras A, B, y C.

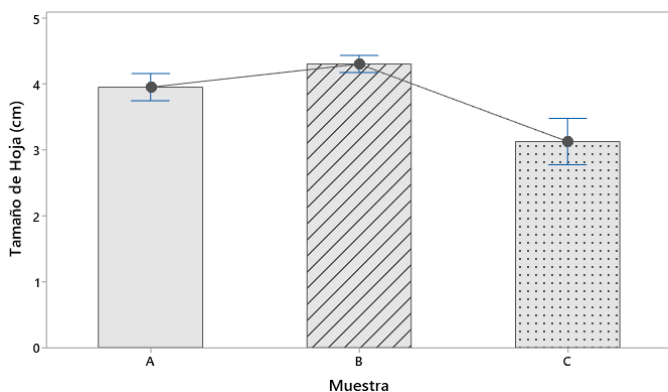


Fig. 6. Crecimiento del Sistema Caulinar en la zona de la hoja de las muestras A, B, y C.

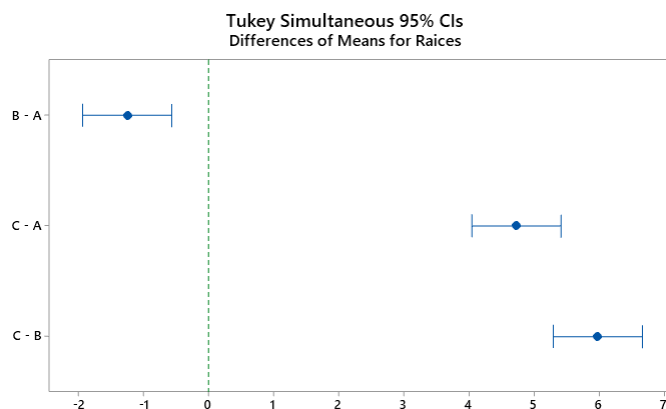
TABLA IV
VALORES DE TAMAÑO PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN CENTÍMETROS EN LAS MUESTRAS MEDIDAS A DIFERENTES ZONAS DE LA PLANTA

| Variable | Muestra | N | Promedio | SD | Mínimo | Máximo |
|----------|---------|---|----------|--------|--------|--------|
| Raíz | A | 4 | 13.300 | 0.216 | 13.000 | 13.500 |
| | B | 4 | 12.050 | 0.404 | 11.500 | 12.400 |
| | C | 4 | 18.025 | 0.386 | 17.500 | 18.400 |
| Tallo | A | 4 | 18.225 | 0.634 | 17.500 | 19.000 |
| | B | 4 | 21.400 | 0.337 | 21.000 | 21.800 |
| | C | 4 | 16.100 | 0.258 | 15.800 | 16.400 |
| Hoja | A | 4 | 3.9500 | 0.1291 | 3.8000 | 4.1000 |
| | B | 4 | 4.3000 | 0.0816 | 4.2000 | 4.4000 |
| | C | 4 | 3.125 | 0.222 | 2.900 | 3.400 |

* N: número de replicas por cada tipo de muestra

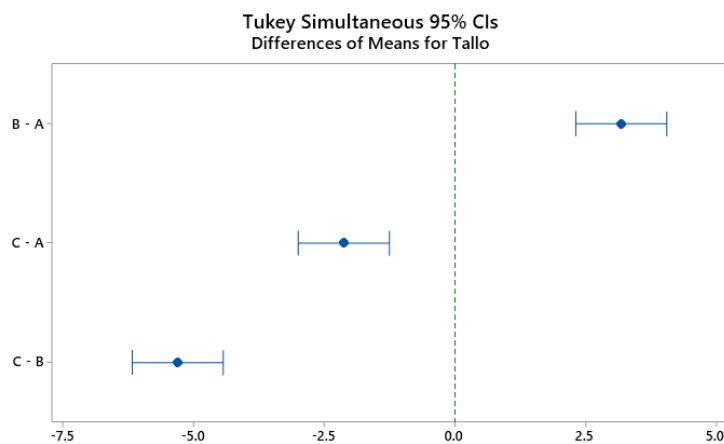
TABLA V
VALORES DE TAMAÑO PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN CENTÍMETROS EN LAS MUESTRAS MEDIDAS A DIFERENTES ZONAS DE LA PLANTA

| Característica | Muestra "A" | Muestra "B" | Muestra "C" | ANOVA P-value |
|---------------------------------|---------------|---------------|--------------|------------------|
| Tamaño de raíz (Promedio ± SD) | 13.3 ± 0.216 | 12.05 ± 0.404 | 18.025±0.386 | 0.000 |
| Tamaño de tallo (Promedio ± SD) | 18.225± 0.634 | 21.4± 0.337 | 16.1±0.258 | 0.000 |
| Tamaño de hoja (Promedio ± SD) | 3.95±0.1291 | 4.3±0.0816 | 3.125±0.222 | 0.000 |



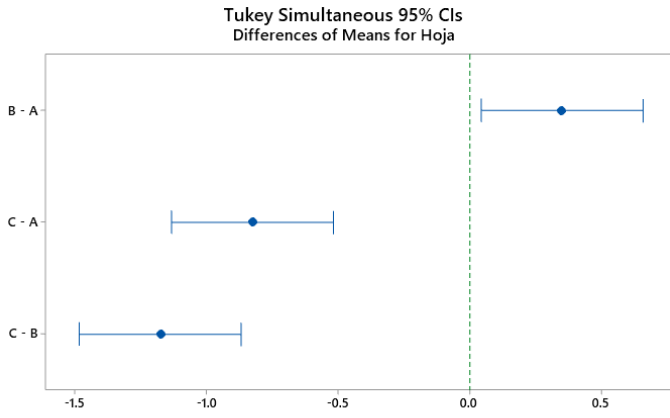
If an interval does not contain zero, the corresponding means are significantly different.

Fig. 7. Diferencias del promedio del tamaño de las raíces entre las muestras B-A, C-A, y C-B con intervalo de confianza al 95%.



If an interval does not contain zero, the corresponding means are significantly different.

Fig. 8. Diferencias del promedio del tamaño de los tallos entre las muestras B-A, C-A, y C-B con intervalo de confianza al 95%.



If an interval does not contain zero, the corresponding means are significantly different.

Fig. 9. Diferencias del promedio del tamaño de las hojas entre las muestras B-A, C-A, y C-B con intervalo de confianza al 95%.

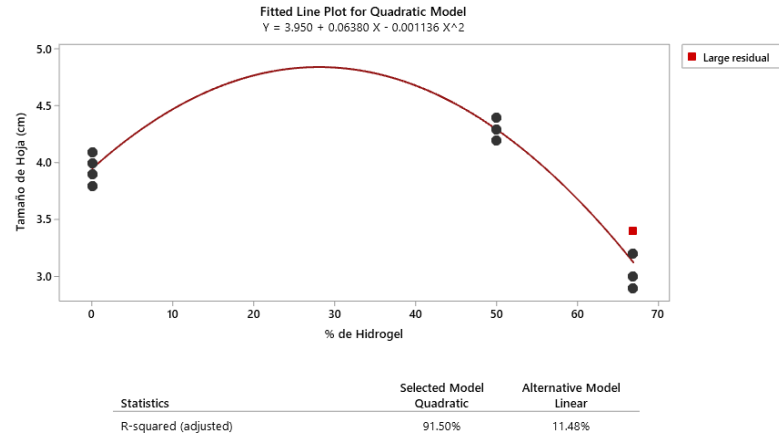


Fig. 12. Curva de mejor ajuste para los datos de tamaño de la hoja vs. Porcentaje de hidrogel.

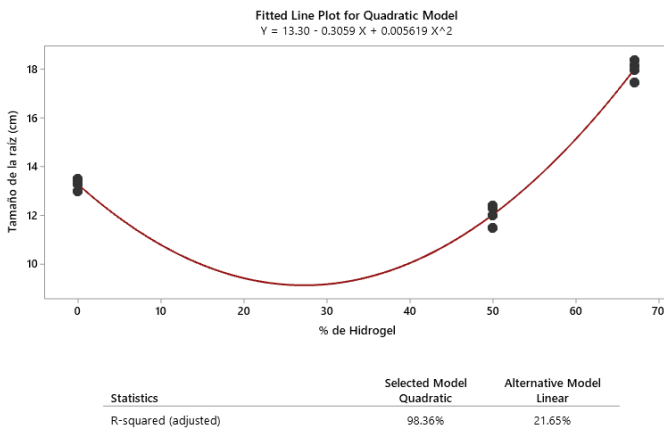


Fig. 10. Curva de mejor ajuste para los datos de tamaño de la raíz vs. Porcentaje de hidrogel.

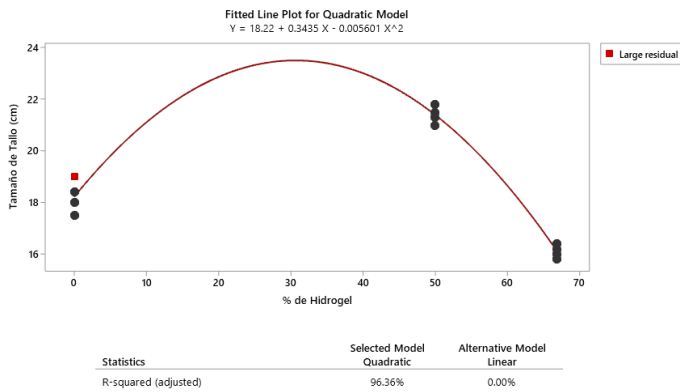


Fig. 11. Curva de mejor ajuste para los datos de tamaño del tallo vs. Porcentaje de hidrogel.

IV. DISCUSIÓN

A. Crecimiento en el Sistema Radicular

En la Fig. 4 podemos observar que la muestra C tiene mayor tamaño en raíz y esto podría estar relacionado a las propiedades del sustrato (guano de cuy) ya que tiene mayor nivel de aireación, el cual permite que las raíces crezcan libremente en comparación a las muestras A y B [39]. Por otro lado, en la muestra A la tierra está más compacta y no permite que crezcan libremente las raíces. Adicionalmente, el tipo de tierra en la muestra A podría tener un adecuado porcentaje de nitrógeno. La muestra B en la Fig. 4 presenta menor tamaño en raíz y es debido a que tiene menor porcentaje de tierra o quizás la relación entre tierra e hidrogel no han tenido los parámetros óptimos de mezcla. En la muestra C el aumento en tamaño de raíz también podría estar asociado a la composición química del sustrato en función del ácido fosfórico, óxido de calcio y el contenido adicional de N [40]. Un factor importante podría ser el fósforo generado en el guano de cuy que estuvieron en contacto directo con el hidrogel y este nutriente es esencial para el crecimiento de las raíces [36]. Adicionalmente, debido a que la proporción de hidrogel con sustrato (guano de cuy) fue de 2/1 en la muestra C como se indica en la Tabla I, es considerado un sistema hidropónico, el cual favoreció el crecimiento radicular debido a que los nutrientes del guano de cuy están en contacto directo con la zona de la raíz; este comportamiento sugiere que la muestra C podría haber creado un ambiente favorable para que las raíces crezcan en mayor proporción [41].

B. Crecimiento en el Sistema Caulinar

El mayor valor de tamaño de tallo en la muestra B que se observa en la Fig. 5 podría estar asociado a la cantidad de N absorbido presente en la tierra agrícola y el K presente en el hidrogel. El K cumple un rol importante en el proceso relacionado al crecimiento de la planta y su deficiencia limita el crecimiento de la planta [36]. Uno de los posibles

mecanismos del K es que promueve la apertura estomática, es decir mantiene abierto las estomas de la planta y eso facilita la absorción del agua y los nutrientes [36]. Los resultados obtenidos en la muestra B mostrados en la Fig. 6 sugieren que el K promovió una mejor absorción del agua y es corroborado con estudios realizados en cultivos de quinua y maíz en la cual se evidencia que los niveles de K favorecen la absorción del agua en los trabajos realizados por Ref. [42, 43].

Adicionalmente, debido a la presencia del hidrogel ha permitido que la humedad favorezca el crecimiento del tallo de la muestra B como se logra visualizar en la Fig. 5. En un estudio realizado por Ref. [44] también observó que la altura de la planta se incrementó con la presencia de hidrogel en cultivo de *M. scabrella*, logrando así corroborar nuestros resultados. Cabe resaltar que en nuestro estudio, el valor de tamaño promedio de tallo es superior por 2 cm respecto al encontrado en el estudio realizado por Ref. [1], lo que nos sugiere que el hidrogel está promoviendo el crecimiento del tallo.

Uno de los roles del hidrogel fue el de controlar la temperatura del suelo en presencia de la tierra (Fig. 3), este comportamiento a su vez favoreció el crecimiento tanto del tallo como el de la hoja en la muestra B (Fig. 6), evidenciando así su rol termorregulador bajo esta proporción entre tierra e hidrogel. Además, la longitud del tamaño de la hoja obtenida en nuestro estudio de 4.3 cm es muy similar en dimensión obtenida en el estudio realizado por Ref.[1]. La Fig. 6 podría sugerir que el tallo de la muestra B absorbió mejor los nutrientes presentes en la tierra agrícola debido a la presencia de la humedad del hidrogel y la presencia de K así podría haber favorecido el crecimiento del tamaño de la hoja de la muestra B respecto a la muestra A; estos resultados son similares a los mostrados en el trabajo realizado por Ref. [43], en donde la presencia de potasio está asociado al crecimiento del área foliar en el cultivo de maíz. Como se mencionó en la subsección A de esta discusión, la muestra C es considerado un sistema hidropónico, el cual favoreció principalmente el crecimiento radicular y podría explicar el bajo contenido de nutrientes absorbidos por la planta en el sustrato (guano de cuy) hacia la parte superior de la planta y que no logró contribuir al crecimiento del tamaño de tallo y hojas; la solución nutriente en la cual se encuentra la planta afecta su crecimiento en un sistema hidropónico [45]. Otro posible factor asociado al crecimiento de la hoja en la muestra C podría ser que el guano de cuy no estuvo bien descompuesto para que los nutrientes presentes en la materia orgánica se encuentren disponibles y favorezcan la tasa de crecimiento de las partes de la planta en la zona caulinar [32–34].

Los resultados de la prueba de ANOVA correspondiente a *P*-value en la tabla indican la presencia de una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios respecto a los tamaños de raíz, tallo y hoja según indica la Tabla V. Así mismo, esto es corroborado por el método de Tukey a un nivel de confianza de 95% (como se muestra en las Fig. 7, Fig. 8 y Fig. 9).

Podemos visualizar en las Fig. 10, Fig. 11 y Fig. 12 que las relaciones entre las variables siguen una tendencia no lineal, siendo el modelo polinómico de segundo grado el mejor ajuste al modelo. Así mismo, los modelos de ajuste obtenidos muestran valores de R^2 mayores a 91% indicando que los modelos pueden ser explicados más del 91% de la variabilidad en los datos. Estos valores altos de R^2 son un buen indicador de la capacidad de los modelos para predecir los tamaños de la raíz, tallo y hoja en función del porcentaje de hidrogel.

V. CONCLUSIONES

El cultivo de *Mentha spicata* con presencia de hojas libre de lesiones foliares fue realizado en el tiempo de un mes y se encuentra acorde con el periodo de cultivo reportados. En el presente estudio, la muestra de hidrogel con guano de cuy exhibió mayor crecimiento en la raíz y esto podría estar asociado al nivel de aireación del guano de cuy, así como los nutrientes presentes en la materia orgánica. Por otro lado, la incorporación de hidrogel en la muestra que contenía tierra agrícola experimentó un mayor crecimiento en el sistema caulinar en las partes del tallo y hojas. La muestra de hidrogel con tierra agrícola logro alcanzar un tamaño promedio en tallo y hojas de 21.400 ± 0.337 cm y 4.300 ± 0.0816 , respectivamente. Además, por la textura y color de las hojas se observaron saludables, libres de alguna posible plaga o enfermedad. Esto evidencia el uso beneficioso del hidrogel en el cultivo de *Mentha spicata*, reduciendo así los costos de mantenimiento de riego y logrando usar el recurso hídrico de forma diligente en ciudades en donde, en determinadas temporadas, el acceso al agua es limitado. Así mismo, desde el punto de vista de aplicación estos resultados obtenidos son muy prometedores ya que para los procesos industriales de manufactura se usan las partes del tallo y la hoja de *Mentha spicata*.

Para futuros trabajos de investigación debería evaluarse el crecimiento en la zona superior e inferior de la planta usando la muestra que contenga tierra, hidrogel y guano de cuy para poder observar el efecto de la parte aérea como en la parte radicular de la planta, así como las medidas de humedad en las muestras. Adicionalmente, se recomienda medir el nivel de descomposición del guano de cuy para observar su efecto en el desarrollo del tamaño de la hoja.

AGRADECIMIENTO

Especial agradecimiento al Instituto Superior Pampas-Tayacaja por brindarnos la facilidad para ocupar sus espacios en el vivero y recursos para poder realizar este experimento.

REFERENCIAS

- [1] J. H. Ju, Y. H. Yoon, and S. Y. Ju, "Influence of Substrates and Hydrogels on Spearmint (*Mentha spicata*) Growth and Flowering in a Rooftop Garden," *HortScience*, vol. 56, no. 6, pp. 629–633, Jun. 2021.

- [2] K. L. Getter and D. B. Rowe, "The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development," *HortScience*, vol. 41, no. 5, pp. 1276–1285, Aug. 2006.
- [3] D. B. Rowe, M. A. Monterusso, and C. L. Rugh, "Assessment of Heat-expanded Slate and Fertility Requirements in Green Roof Substrates," *HortTechnology*, vol. 16, no. 3, pp. 471–477, Jan. 2006.
- [4] Y. Teng *et al.*, "Identifying prioritized afforestation types in ecologically vulnerable zones of Northern China considering reducing water consumption and increasing carbon sequestration," *Ecol. Indic.*, vol. 145, p. 109734, Dec. 2022.
- [5] L. An *et al.*, "Divergent Causes of Terrestrial Water Storage Decline Between Drylands and Humid Regions Globally," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 48, no. 23, p. e2021GL095035, Dec. 2021.
- [6] M. Arfanuzzaman and A. Atiq Rahman, "Sustainable water demand management in the face of rapid urbanization and ground water depletion for social–ecological resilience building," *Glob. Ecol. Conserv.*, vol. 10, pp. 9–22, Apr. 2017.
- [7] C. M. E. Yeime, M. L. C. Huamaní, L. L. H. Astocaza, F. M. T. Román, E. O. B. Ccahuana, and J. D. G. Cuadros, "Determinación de la calidad del agua de consumo humano mediante parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la ciudad de Pampas - Tayacaja, 2023," *TAYACAJA*, vol. 7, no. 1, pp. 45–52, Apr. 2024.
- [8] I. Inayah, B. Agustirandi, M. Budiman, M. Djamal, and A. Faizal, "Experimental design: Implementation of IoT-based drip irrigation to enhance the productivity of Cilembu sweet potato (*Ipomoea batatas*) cultivation," *Results Eng.*, vol. 25, p. 103600, Mar. 2025.
- [9] M. García-Mollá, R. P. Medina, V. Vega-Carrero, and C. Sanchis-Ibor, "Economic efficiency of drip and flood irrigation. Comparative analysis at farm scale using DEA," *Agric. Water Manag.*, vol. 309, p. 109314, Mar. 2025.
- [10] S. Dhandapani, V. S. Philip, S. A. A. Nabeela Nasreen, and B. S. Park, "Advanced growth device boosts hydroponic efficiency: Enhancing yield and quality while reducing crop production cost and algae contamination," *Environ. Technol. Innov.*, vol. 37, p. 104051, Feb. 2025.
- [11] L. Ma, C. Chai, W. Wu, P. Qi, X. Liu, and J. Hao, "Hydrogels as the plant culture substrates: A review," *Carbohydr. Polym.*, vol. 305, p. 120544, Apr. 2023.
- [12] Y. Xing, M. Chen, and X. Wang, "Enhancing water use efficiency and fruit quality in jujube cultivation: A review of advanced irrigation techniques and precision management strategies," *Agric. Water Manag.*, vol. 307, p. 109243, Feb. 2025.
- [13] T. Ngo Thuy Diem, D. Konnerup, and H. Brix, "Effects of recirculation rates on water quality and *Oreochromis niloticus* growth in aquaponic systems," *Aquac. Eng.*, vol. 78, pp. 95–104, Aug. 2017.
- [14] C. M. Wilmot, M. O. Jimoh, and C. P. Laubscher, "Regulated root zone water temperatures and soilless media improve bulb yield and offset production of hydroponically cultivated *Amaryllis belladonna* L.," *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 338, p. 113823, Dec. 2024.
- [15] X. Tian *et al.*, "Recent advances in smart hydrogels derived from polysaccharides and their applications for wound dressing and healing," *Biomaterials*, p. 123134, Jan. 2025.
- [16] R. Yang, C. Xia, C. Mei, and J. Li, "Integration of Biopolymers in Polyacrylic Acid Hydrogels: Innovations and Applications in Bioresources and Bioproducts," *J. Bioresour. Bioprod.*, Jan. 2025.
- [17] Y. Zhang, Y. Tan, J. Lao, H. Gao, and J. Yu, "Hydrogels for Flexible Electronics," *ACS Nano*, vol. 17, no. 11, pp. 9681–9693, Jun. 2023.
- [18] G. Chen, "Thermodynamics of hydrogels for applications in atmospheric water harvesting, evaporation, and desalination," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 24, no. 20, pp. 12329–12345, May 2022.
- [19] P. J. Flory and J. Rehner, "Statistical Mechanics of Cross-Linked Polymer Networks I. Rubberlike Elasticity," *J. Chem. Phys.*, vol. 11, no. 11, pp. 512–520, Nov. 1943.
- [20] P. J. Flory, "Principles of Polymer Chemistry. Paul J. Flory.," *Cornell Univ. Press*, p. 687, 1953.
- [21] Sarifuddin, A. Rauf, and Y. Dewantari, "The application of Hydrogel (Super Absorbent Polymer) and chicken manure fertilizer to increase pH, N-total, C-organic and soil water content in Entisol," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 782, no. 4, Jun. 2021.
- [22] I. Piccoli *et al.*, "Hydrogels for agronomical application: from soil characteristics to crop growth: a review," *Agron. Sustain. Dev.* 2024 442, vol. 44, no. 2, pp. 1–23, Apr. 2024.
- [23] S. K. Patra *et al.*, "Prospects of Hydrogels in Agriculture for Enhancing Crop and Water Productivity under Water Deficit Condition," *Int. J. Polym. Sci.*, vol. 2022, no. 1, p. 4914836, Jan. 2022.
- [24] S. Li and G. Chen, "Agricultural waste-derived superabsorbent hydrogels: Preparation, performance, and socioeconomic impacts," *J. Clean. Prod.*, vol. 251, p. 119669, Apr. 2020.
- [25] K. ; Ali *et al.*, "Progress and Innovations in Hydrogels for Sustainable Agriculture," *Agron. 2024, Vol. 14, Page 2815*, vol. 14, no. 12, p. 2815, Nov. 2024.
- [26] J. RJ, D. A. MA, D. K. GG, D. T. MN, and D. A. NN, "Influence of hydrogel on growth, yield and soil properties at varied moisture regimes under drip fertigation of tomato (*Solanum lycopersicum* L.)," *Pharma Innov. J.*, vol. 12, no. 2, pp. 1483–1488, 2023.
- [27] K. Hafiz-Afham, N. A. Hasan, M. Y. Rafii, and N. J. Sidik, "The growth impact of *Capsicum annum* crops in hydrogel incorporated media," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1155, no. 1, p. 012031, Mar. 2023.
- [28] G. Mahendran, S. K. Verma, and L. U. Rahman, "The traditional uses, phytochemistry and pharmacology of spearmint (*Mentha spicata* L.): A review," *J. Ethnopharmacol.*, vol. 278, p. 114266, Oct. 2021.
- [29] M. Consuelo *et al.*, "Influence of drying on the flavor quality of spearmint (*Mentha spicata* L.)," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 51, no. 5, pp. 1265–1269, Feb. 2003.
- [30] S. N. Biletekin, A. E. Karadağ, F. Demirci, and B. Demirci, "In Vitro Anti-Inflammatory and Anticancer Evaluation of *Mentha spicata* L. and *Matricaria chamomilla* L. Essential Oils," *ACS Omega*, vol. 8, no. 19, pp. 17143–17150, May 2023.
- [31] "USDA - National Agricultural Statistics Service - Charts and Maps - Spearmint: Production by Year, US." https://www.nass.usda.gov/Charts_and_Maps/Specialty_Crops/mint.php (accessed Feb. 10, 2025).
- [32] J. Córdova Procel *et al.*, "OBTENCIÓN DE COMPOST A PARTIR DE HOJAS DE MORA Y ESTIÉRCOL DE CUY," *Perfiles*, vol. 1, no. 28, pp. 29–35, Aug. 2022.
- [33] A. M. Gomez Huanca, "Solucion nutritiva de Biol a base de estiércol de cuy (*Cavia porcellus* L.) ovino (*Ovis aries*) y vacuno (*Bos taurus*) en la produccion de forraje verde hidroponico de cebada (*Hordeum vulgare*) en Puno," *Univ. Nac. del Altiplano*, 2019.
- [34] M. I. Pascal Castillo, "Uso de microorganismos del estiércol de *Cavia porcellus* L. (cuy) con potencial de biodegradación del petróleo biodiesel a nivel de laboratorio de la UNAS-Tingo María." Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2020.
- [35] S. S. E. Huerta *et al.*, "Biofertilizer of guinea pig manure for the recovery of a degraded loam soil," *Chem. Eng. Trans.*, vol. 86, p. 2021, 2021.
- [36] T. Eichert and V. Fernández, *Marschner's Mineral Nutrition of Plants, Fourth Edition*. Academic Press, 2022.
- [37] A. V. . Barker and D. J. . Pilbeam, "Handbook of plant nutrition," p. 743, 2015.
- [38] F. Peyrusson, "Hydrogels Improve Plant Growth in Mars Analog Conditions," *Front. Astron. Sp. Sci.*, vol. 8, p. 729278, Nov. 2021.
- [39] M. E. Abuarab, M. M. El-Mogy, A. M. Hassan, E. A. Abdeldaym, N. H. Abdelkader, and M. B. I. El-Sawy, "The Effects of Root Aeration and Different Soil Conditioners on the Nutritional Values, Yield, and Water Productivity of Potato in Clay Loam Soil," *Agron. 2019, Vol. 9, Page 418*, vol. 9, no. 8, p. 418, Jul. 2019.
- [40] G. A. Picchioni, M. Valenzuela-Vazquez, and S. Armenta-Sanchez, "Calcium-activated Root Growth and Mineral Nutrient Accumulation of *Lupinus hvardii*: Ecophysiological and Horticultural Significance," *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, vol. 126, no. 5, pp. 631–637, Sep. 2001.
- [41] B. Baiyin *et al.*, "Nutrient flow environment as a eustress that promotes root growth by regulating phytohormone synthesis and signal transduction in hydroponics," *Plant Stress*, vol. 12, p. 100428, Jun. 2024.
- [42] A. E. Turcios, J. Papenbrock, and M. Tränkner, "Potassium, an important element to improve water use efficiency and growth parameters in quinoa (*Chenopodium quinoa*) under saline conditions," *J. Agron. Crop Sci.*, vol. 207, no. 4, pp. 618–630, Aug. 2021.
- [43] E. Martineau *et al.*, "The effects of potassium nutrition on water use in field-grown maize (*Zea mays* L.)," *Environ. Exp. Bot.*, vol. 134, pp. 62–71, Feb. 2017.
- [44] E. R. Konzen, M. C. Navroski, G. Friederichs, L. H. Ferrari, M. de O.

Pereira, and D. Felipe, "The use of hydrogel combined with appropriate substrate and fertilizer improve quality and growth performance of *Mimosa scabrella* Benth. seedlings," *Cerne*, vol. 23, no. 4, pp. 473–482, Oct. 2017.

[45] B. Baiyin *et al.*, "Effect of substrate flow rate on nutrient uptake and use efficiency in hydroponically grown swiss chard (*Beta vulgaris* L. ssp. *cicla* 'seiyu shirokuki')," *Agronomy*, vol. 11, no. 10, p. 2050, Oct. 2021.