

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Respuestas fisiológicas y de crecimiento de patrones de
rosa (*Rosa* sp. var. *Natal Brier*) a tres niveles de
oxigenación en hidroponía Kratky.**

María Paz Moncayo Ruiz

Ingeniería en Agronomía

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Agrónomo

Quito, 20 de mayo de 2023

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Respuestas fisiológicas y de crecimiento de patrones de rosa (*Rosa*
sp. var. Natal Brier) a tres niveles de oxigenación en hidroponía
Kratky.**

María Paz Moncayo Ruiz

Nombre del profesor, Título académico

Antonio León-Reyes, PhD

Quito, 20 de mayo de 2024

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos:	María Paz Moncayo Ruiz
Código:	00206601
Cédula de identidad:	1727032276
Lugar y fecha:	Quito, 20 de mayo de 2024

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por impulsarme siempre a seguir mis metas y jamás abandonarlas frente a las adversidades. Especialmente, a mi mamá por brindarme su apoyo incondicional para poder cumplir mis objetivos tanto personales como académicos. A mi mejor amiga Alejandra Yerovi, por estar siempre presente y ser un soporte en cada etapa.

A mi tutor Antonio León por su tiempo, dedicación y guía. Su apoyo fue fundamental para poder culminar con éxito esta investigación.

A todos los profesores de Ingeniería en Agronomía, por trasmitirme sus conocimientos y experiencias a lo largo de mi carrera. Principalmente a Mario Caviedes, por haber confiado en mí, ser mi mentor, aconsejarme y apoyarme incondicionalmente durante todos estos años. Su dirección fue un pilar fundamental para poder culminar con éxito mis estudios.

Finalmente, a Emilio Burneo, Ricardo Reinoso y Alejandro Lisintuña por su ayuda y compromiso durante la fase de experimentación del proyecto.

RESUMEN

El suministro adecuado de agua es esencial para el desarrollo de todas las plantas superiores y cultivos. Sin embargo, el agua también puede representar un obstáculo para el intercambio de gases, como el oxígeno, el cual es un elemento fundamental para varios procesos metabólicos de las plantas. El déficit de oxígeno constituye una problemática recurrente, derivada por una inadecuada aireación del sustrato como consecuencia del encharcamiento. El objetivo de esta investigación fue evaluar respuestas fisiológicas y de crecimiento entre diferentes niveles de oxigenación en patrones de rosa (*Rosa* sp. var. *Natal Brier*) en hidroponía Kratky. La experimentación se realizó en el invernadero de la Universidad San Francisco de Quito, en el período marzo-mayo del 2024. Se probaron 3 tratamientos: suelo (testigo), 100% de solución hidropónica (SH), y 25% de SH. Se determinó la respuesta del cultivo mediante la evaluación del índice y fluorescencia de clorofila, conductancia estomática, volumen absorbido, número de brotes, porcentaje de crecimiento de tirasabia, y peso fresco y seco. Como consecuencia del encharcamiento, el tratamiento 100% SH presentó una reducción en el índice y fluorescencia de clorofila, clorosis, alta conductancia estomática y volumen absorbido, peso mayor número de brotes, mayor porcentaje de crecimiento de tirasabia y peso fresco y seco total menor al de los otros tratamientos. Los resultados indican que las plantas expuestas a déficit de oxígeno presentan síntomas de estrés e intolerancia.

Palabras clave: Encharcamiento, déficit de oxígeno, índice y fluorescencia de clorofila, conductancia estomática, volumen absorbido, crecimiento.

ABSTRACT

Adequate water supply is essential for the development of all higher plants and crops. However, water can also represent an obstacle to gas exchange, such as oxygen, which is an indispensable element for several metabolic processes in plants. Oxygen deficit constitutes a recurring problem, resulting from inadequate substrate aeration as a consequence of waterlogging. The aim of this research was to evaluate physiological and growth responses among different levels of oxygenation in rose rootstocks (*Rosa* sp. var. *Natal Brier*) in Kratky hydroponics. The experimentation was carried out in the greenhouse of Universidad San Francisco de Quito, during the period March-May 2024. Three treatments were tested: soil (control), 100% of hydroponic solution, and 25% of HS. The crop response was determined by evaluating chlorophyll index and fluorescence, stomatal conductance, solution absorbed volume, number of shoots, *tirasabia* growth percentage, and fresh and dry weight. As a consequence of waterlogging, the 100% HS treatment showed a reduction in chlorophyll index and fluorescence, chlorosis, high stomatal conductance and solution absorbed volume, a greater number of shoots, a greater percentage of *tirasabia* growth, and a lower total fresh and dry weight compared to the other treatments. The results indicate that plants exposed to oxygen deficit exhibit stress and intolerance symptoms.

Key words: Waterlogging, oxygen deficit, chlorophyll index and fluorescence, stomatal conductance, absorbed volume, growth.

TABLA DE CONTENIDO

<i>I. Introducción</i> _____	10
<i>II. Objetivos</i> _____	13
2.1. Objetivo General: _____	13
2.2. Objetivos Específicos: _____	13
2.3 Hipótesis: _____	13
<i>III. Materiales y Métodos</i> _____	14
3.1 Métodos de manejo del ensayo _____	14
3.2 Métodos estadísticos _____	15
<i>IV. Resultados y Discusión</i> _____	17
Efecto de la Oxigenación en el Crecimiento _____	17
Efecto de la oxigenación en las Respuestas Fisiológicas _____	24
<i>V. Conclusión</i> _____	36
<i>VI. Recomendaciones</i> _____	38
<i>Anexos</i> _____	39
<i>Anexo 1. Tratamientos con 25% y 100% de SH</i> _____	39
<i>VII. Referencias</i> _____	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje Promedio de Crecimiento de Tirasabia por Planta _____	17
Figura 2. Número Promedio de Brotes por Planta _____	18
Figura 3. Peso Fresco Promedio Parte Aérea por Tratamiento _____	20
Figura 4. Peso Seco Promedio Parte Aérea por Tratamiento _____	21
Figura 5. Peso Fresco Promedio Raíces por Tratamiento _____	22
Figura 6. Peso Seco Promedio Raíces por Tratamiento _____	23
Figura 7. Volumen Promedio de Solución Absorbido por Día _____	24
Figura 8. Volumen Promedio de Solución Absorbido por Planta _____	25
Figura 9. Conductancia Estomática Promedio por Día _____	26
Figura 10. Conductancia Estomática Promedio por Planta _____	27
Figura 11. Fluorescencia Promedio de Clorofila por Día _____	28
Figura 12. Fluorescencia Promedio de Clorofila por Tratamiento _____	29
Figura 13. Contenido Promedio de Clorofila por Día _____	30
Figura 14. Contenido Promedio de Clorofila día 29 _____	31
Figura 15. Hojas tratamiento 100%SH _____	32

I. Introducción

En Ecuador, la producción de flores para exportación comenzó a finales de los años 70 (Naranjo & Burgos, 2010). Desde esa fecha, la actividad florícola fue creciendo hasta actualmente convertir al país en el tercer proveedor mundial de flores, después de Países Bajos y Colombia (Expoflores, 2023). Las flores representan un rubro significativo dentro del sector exportador no tradicional (Morán, 2021). Según Expoflores (2023), estas son el quinto producto de exportación no petrolero en el país, siendo el 74% de las flores exportadas, rosas. Representando \$733 millones de dólares de ingreso para el país anualmente.

La rosa (*Rosa* sp.) es un arbusto leñoso, perteneciente a la familia de las Rosáceas. Posee una raíz pivotante, profunda y vigorosa. Presenta ramas lignificadas de color verde, que exhiben colores rojizos o marrones cuando jóvenes, con espinas en diversas cantidades y formas dependiendo de la variedad. Además, cuenta con hojas compuestas de cinco a siete folíolos. Es una especie ornamental de origen asiático de día neutro, que necesita altos niveles de iluminación para su rendimiento y calidad de flor. La temperatura óptima para su crecimiento oscila de 17 a 25°C, con una humedad relativa del 60 a 70%. También, requiere de un sustrato suelto, rico en materia orgánica, con buena aireación y drenaje, ya que sus raíces son extremadamente sensibles al encharcamiento. El pH de este debe encontrarse dentro de un rango de 6 a 7. Finalmente, el dióxido de carbono es un factor importante, su presencia en cantidades justas aumenta la producción y contribuye a la calidad de la rosa. Incluso, confiriéndole resistencia a los niveles altos de salinidad (Yong, 2004).

El suministro adecuado de agua es esencial para el establecimiento y la supervivencia de todas las plantas superiores. Sin embargo, el agua puede ser una barrera muy eficaz para el intercambio gaseoso (Casierra-Posada & Cutler, 2017). El oxígeno es un elemento esencial para diversos procesos metabólicos prioritarios de las plantas. La reducción de nitratos, la fijación simbiótica de nitrógeno, la absorción eficiente de nutrientes a través de las raíces, y la renovación de proteínas son algunos de los procesos donde este elemento participa, haciéndolo fundamental para el desarrollo de las plantas (Moreno, Pineda, Colinas, & Sahagún, 2020). Por consiguiente, las deficiencias de oxígeno en la rizosfera constituyen una problemática recurrente, derivada por una inadecuada aireación del sustrato como consecuencia de una saturación hídrica.

La disminución en la disponibilidad del oxígeno radicular por encharcamiento impacta significativamente la anatomía, la morfología y la fisiología de las plantas (Arbona y otros, 2009). Las respuestas de estas a inundaciones representan una amplia gama de procesos metabólicos, hormonales, y de crecimiento, que dependerán de diversos factores como la especie, su estado de desarrollo, y tiempo de anegación. No obstante, entre los efectos principales causados por déficit de oxígeno se encuentran la alteración del metabolismo de la planta, cambiando la respiración mitocondrial por respiración anaeróbica y el aumento en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS). Además, puede causar acumulación de etileno, cierre estomático, disminución de la transpiración, crecimiento reducido y la formación adventicia de raíces (Jiménez, Moreno, & Magnitskiy, 2012).

Para hacer frente a este desafío, se han desarrollado diversas prácticas de oxigenación del medio radical, entre las que destaca oxifertirrigación, con el objetivo de

minimizar el riesgo de hipoxia en el sustrato. Sin embargo, se requieren de estudios específicos sobre el efecto de la aplicación de oxígeno en cada especie, así como la medición de las respuestas para identificar los requerimientos de oxígeno que maximicen el rendimiento y la calidad (Moreno, Pineda, Colinas, & Sahagún, 2020). La comprensión detallada de estos procesos estresantes resulta fundamental en un contexto agrícola donde la eficiencia y sostenibilidad son objetivos primordiales.

II. Objetivos

2.1. Objetivo General:

Comparar respuestas fisiológicas y de crecimiento entre diferentes niveles de oxigenación en patrones de rosa var. *Natal Brier* en hidroponia Kratky.

2.2. Objetivos Específicos:

- Determinar la longitud del tirasabia y su porcentaje de crecimiento, el número de brotes promedio por tratamiento, y el peso fresco y seco total de la parte aérea y radicular.
- Cuantificar los valores de conductancia estomática, contenido de clorofila, fluorescencia de clorofila, y volumen absorbido de solución de los patrones de rosa var. *Natal Brier* a diferentes niveles de oxigenación.
- Comparar las diferentes respuestas fisiológicas y de crecimiento de los diferentes niveles de oxigenación con el testigo.

2.3 Hipótesis:

Existen diferencias en las respuestas fisiológicas y de crecimiento entre los diferentes niveles de oxigenación.

III. Materiales y Métodos

La experimentación se realizó en el invernadero de la Universidad San Francisco de Quito, durante 2 meses, en el período marzo-mayo del 2024. Los parámetros como temperatura y humedad relativa fueron registrados una vez por semana. Se utilizó una fuente de luz externa, activada con un “timer” cada 12 horas, para obtener la cantidad de luz requerida para el crecimiento óptimo de la planta, por ser de día neutro.

3.1 Métodos de manejo del ensayo

Se utilizaron 30 patrones de rosa variedad *Natal Brier*, se enjuagó las raíces y se las sumergió en un recipiente con agua por 24 horas para retirar los residuos del sustrato sin dañar el sistema radicular. Posteriormente, se ubicó los patrones en frascos de vidrio de 1 litro, numerados del 1 al 30. Se preparó una solución hidropónica con 1 mL/L del producto Newponia con una conductividad eléctrica de 1,7 dS/m y un pH de 6,2. Se colocó en cada frasco hasta cubrir el 75% de la raíz de cada patrón. Se revisó pasando un día el nivel de la solución y se rellenó los frascos que tenían un nivel menor al mencionado anteriormente. Este proceso se mantuvo por 3 semanas para aclimatar los patrones de rosa al sistema hidropónico usado.

Se utilizaron 3 tratamientos: suelo (testigo), 100%, y 25% de solución hidropónica (SH) (Ver Anexo 1). Después de 3 semanas de aclimatación, con ayuda de un “software online” para realizar aleatorización de números, se designó cada patrón a un tratamiento y se estableció el orden de los tratamientos por repetición. Se llenaron los frascos de cada patrón según el tratamiento correspondiente; cubriendo el 100% o 25% de la raíz. Para el testigo, se preparó un sustrato con 50% de tierra negra, 25% de

cascarilla de arroz y 25% de arena. Se colocó en macetas con capacidad para 1 litro y se sembraron los patrones asignados.

Por otra parte, se preparó una solución con 0,33 mL/L de abamectina y se roció en los patrones, con énfasis en el envés de las hojas, para el control de ácaros. Adicionalmente, se colocaron 3 gotas de amonio cuaternario, en cada frasco 1 vez a la semana, para el crecimiento de algas.

Se utilizaron los equipos: SC-1 Leaf Porometer, SPAD 502 Plus Chlorophyll Meter y OS30P+OPTI-SCIENCES INC, para medir la conductancia estomática, el contenido de clorofila y la fluorescencia de clorofila, respectivamente. Estas variables se midieron en el tercio alto de la planta, en la tercera hoja con foliolos expandidos, pasando un día. También, se midió con una probeta el volumen de solución hidropónica consumido por cada patrón al momento de aforar los frascos al tratamiento correspondiente. Se midió largo de tirasabia y se contabilizó el número de brotes por planta, una vez a la semana. Adicionalmente, se realizaron 2 mediciones de oxígeno disuelto en la solución hidropónica estancada 3 semanas de 10 frascos al azar, y de la solución hidropónica recién preparada. Finalmente, se pesó la parte aérea total y las raíces de cada tratamiento en fresco y seco, al finalizar los dos meses. El peso seco, se midió después de haberse deshidratado las plantas por 24 horas en un horno de esterilización y secado a 60°C por 24 horas.

3.2 Métodos estadísticos

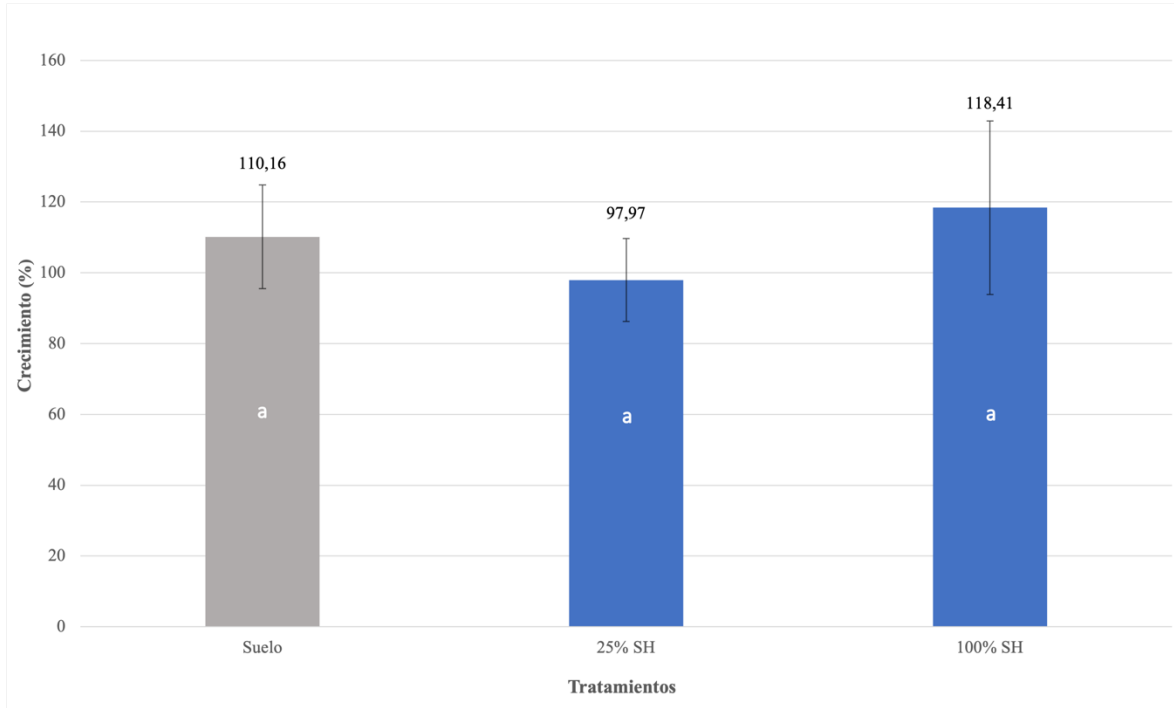
Se usó un Diseño Completamente al Azar (DCA) evaluando 3 tratamientos y 10 repeticiones por cada uno. Se realizó un Análisis de la Varianza (ANOVA) para cada

variable registrada y se utilizó las pruebas de Tukey y T-Student, ambas con un nivel de significancia ($P \leq 0,05$).

IV. Resultados y Discusión

Efecto de la Oxigenación en el Crecimiento

Figura 1. Porcentaje Promedio de Crecimiento de Tirasabia por Planta

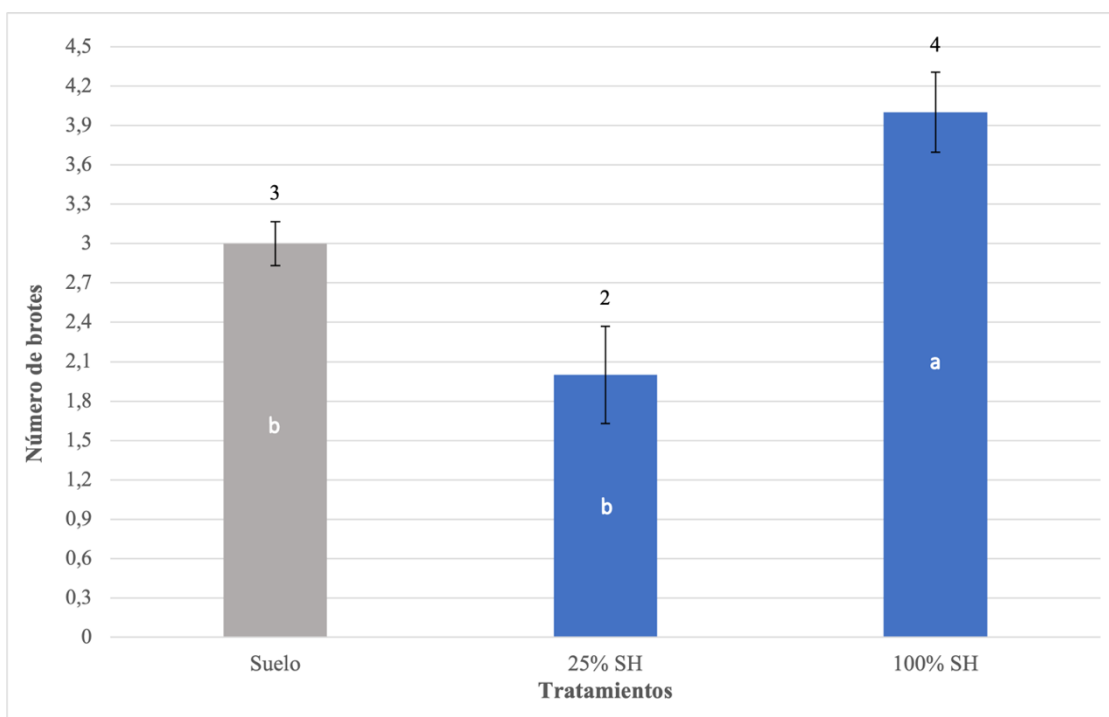


Porcentaje promedio de crecimiento de tirasabia por planta y por nivel de oxigenación en patrones de rosa (*Rosa* sp. var. *Natal Brier*). Los datos son valores medios (n=10); las barras de error muestran errores estándar y las diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

No existió una diferencia significativa ($P \leq 0,05$) en el porcentaje promedio de crecimiento de tirasabia por planta entre los tratamientos (Figura 1). No obstante, el tratamiento 100% SH presentó mayor porcentaje de crecimiento promedio de tirasabia. Contrario a lo que se esperaría, ya que las plantas anegadas reducen notablemente sus tasas de difusión de oxígeno y dióxido de carbono en tallos y raíces, inhibiendo la fotosíntesis y la respiración (Pan, Sharif, Xu, & Chen, 2021). Sin embargo, existen cambios morfológicos, entre los que se encuentra la rápida elongación del tejido apical meristemático, como

adaptación a la inundación. La elongación del meristema apical de la planta facilita el escape de las condiciones de anoxia mediante el contacto con el aire para permitir la respiración normal. Esta respuesta puede ser presenciada en los cultivares de arroz, en los que el anegamiento induce la acumulación de etileno y promueve la síntesis de giberelinas, impulsando el alargamiento de los entrenudos (Kuroha, y otros, 2018). Respuesta que puede ser tomada como referencia para lo ocurrido en esta investigación con la *Rosa* sp.

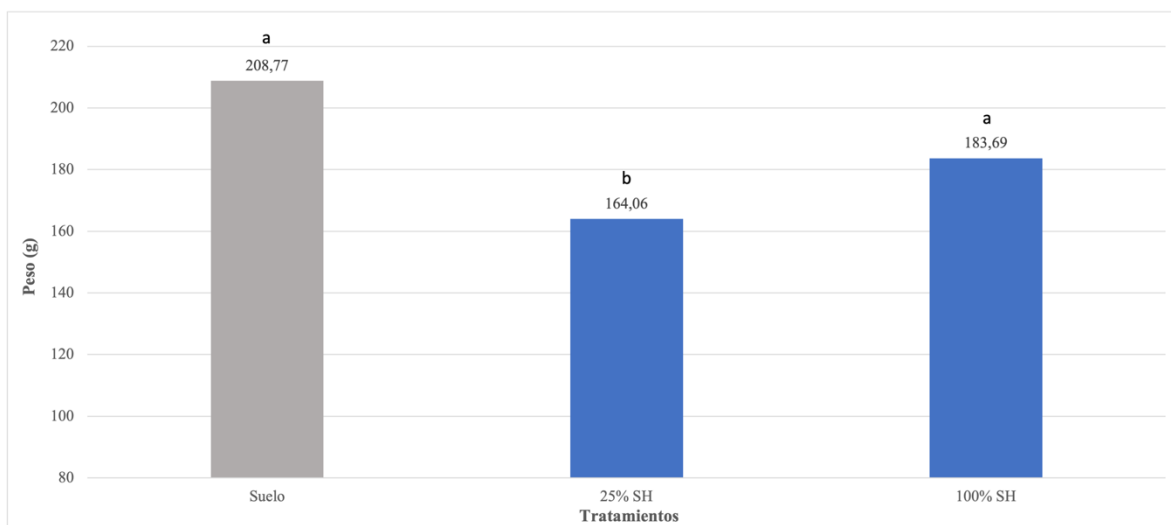
Figura 2. Número Promedio de Brotes por Planta



Número promedio de brotes por planta y por nivel de oxigenación en patrones de rosa (*Rosa* sp. var. *Natal Brier*). Los datos son valores medios (n=10); las barras de error muestran errores estándar y las diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

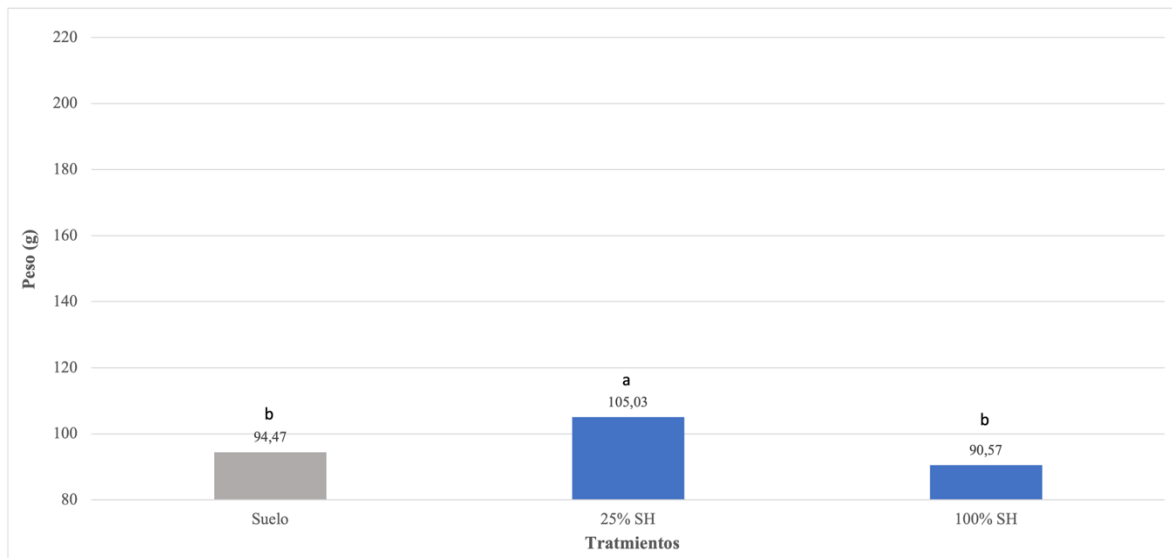
Existió una diferencia significativa ($P \leq 0,05$) en el número de brotes promedio entre los tratamientos utilizados en la experimentación (Figura 2). El 100% SH fue el tratamiento con mayor número de brotes por planta (4). En una investigación realizada por Núñez-Elisea et al. (1999) con diferentes especies de *Anonas* bajo invernadero, se encontró que a diferencia de otras especies del mismo género, la *A. glabra* inundada tuvo un aumento en el porcentaje de brotación. Lo que coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación con *Rosa sp.*, en la que las plantas con 100% de solución presentaron el mayor número de brotes. No obstante, según Ezín et al. (2010) cuando las raíces se encuentran sumergidas o parcialmente sumergidas, las condiciones de anoxia o hipoxia, respectivamente, previenen el crecimiento de las raíces las cuales mandan una señal al resto de la planta para reducir el crecimiento de brotes y su productividad. Por lo que, se podría atribuir una mayor brotación en plantas inundadas como una adaptación a la falta de oxigenación puntual de ciertas especies como la *Rosa sp.* o la *Anona glabra*. En las cuales los brotes son esenciales para suministrar oxígeno a la raíces cuando la zona radicular está saturada con agua. Además, de ayudar con el escape de gases como el dióxido de carbono y el etileno (Armstrong & Drew, 2002).

Figura 3. Peso Fresco Promedio Parte Aérea por Tratamiento



Peso fresco promedio de la parte aérea de la planta por tratamiento en patrones de rosa (*Rosa* sp. var. *Natal Brier*). Las diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

La Figura 3, muestra el peso fresco promedio de la parte aérea obtenido por tratamiento. En esta se puede observar que existió una diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre el tratamiento 25% SH y los dos tratamientos restantes (Figura 3). El suelo fue el tratamiento que presentó mayor peso fresco promedio de todos. Sin embargo, su peso no tiene diferencia significativa con el peso del tratamiento 100% SH. Lo que concuerda con lo expuesto por Basso et al. (2019), que explica que las plantas bajo condiciones de inundación tendrán mayor contenido de agua acumulada en sus tejidos, entre los que se encuentran las hojas.

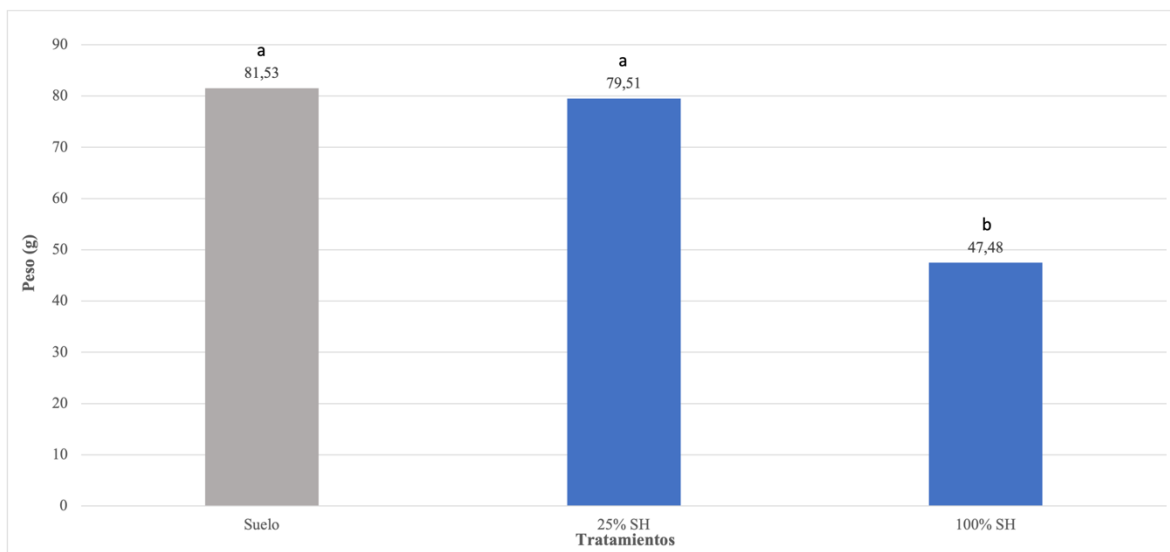
Figura 4. Peso Seco Promedio Parte Aérea por Tratamiento

Peso seco promedio de la parte aérea de la planta por tratamiento en patrones de rosa (*Rosa* sp. var. *Natal Brier*). Las diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

Por otro lado, en la Figura 4 se puede observar que, tras haber sometido a las plantas a un proceso de deshidratación, los resultados se invirtieron. El tratamiento con mayor peso seco fue el tratamiento 25% SH. Teniendo una diferencia significativa ($P \leq 0,05$) con los tratamientos restantes, los cuales entre sí no presentan ninguna. El tratamiento con mayor oxigenación presentó una diferencia en el peso seco del 13,77% y 10,31%, al tratamiento 100% SH y al grupo control, respectivamente. Lo que concuerda con los resultados de Basso et al. (2019), los cuales presentaban menores valores de biomasa seca en el tratamiento con inundación. Según Bhattarai et al. (2004), el peso seco de las plantas de soya, zucchini, y frutales incrementan conforme la zona radicular es enriquecida con aire. Obteniendo resultados similares en este estudio en los patrones de rosa con 25% SH y 75% de aire. Finalmente, el gráfico muestra que el tratamiento 100% SH presenta el menor peso seco, lo que se puede atribuir a la disminución de la absorción de nutrientes que afecta la cantidad de

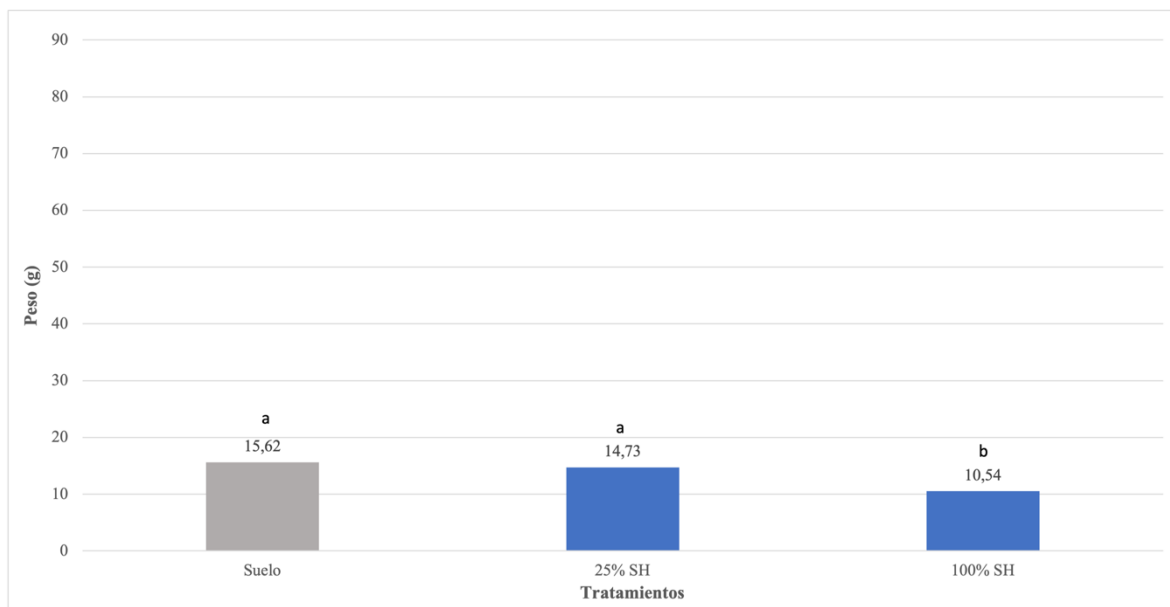
materia seca en los tejidos, que en condiciones normales de crecimiento se acumula primordialmente en las hojas (Thani, Vargas, & Schaffer, 2016).

Figura 5. Peso Fresco Promedio Raíces por Tratamiento



Peso fresco promedio de la parte radicular de la planta por tratamiento en patrones de rosa (*Rosa* sp. var. *Natal Brier*). Las diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

Existió una diferencia significativa ($P \leq 0,05$) en el peso fresco promedio obtenido entre el tratamiento 100% SH y los dos tratamientos restantes (Figura 5). El tratamiento 100% SH presentó el menor peso fresco promedio de raíces. Lo que concuerda con lo expuesto por Basso et al. (2019) en su investigación en *Passiflora edulis*, donde menciona que el último tejido dónde acumulan agua las plantas anegadas es en la raíz.

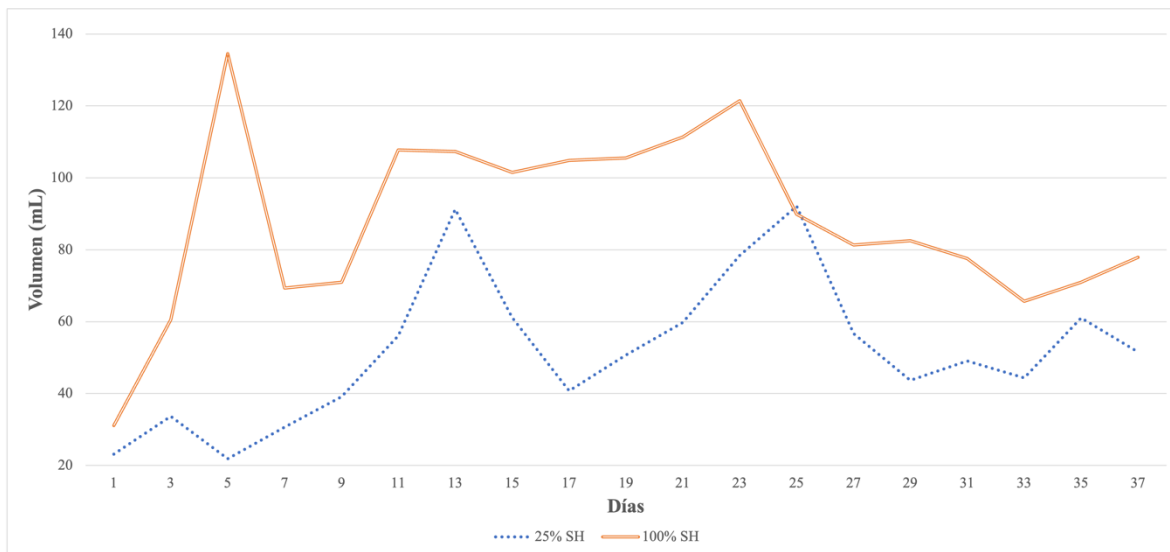
Figura 6. Peso Seco Promedio Raíces por Tratamiento

Peso seco promedio de la parte radicular de la planta por tratamiento en patrones de rosa (*Rosa* sp. var. *Natal Brier*). Las diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

En la Figura 6, se puede observar que al igual que en el peso fresco promedio, el tratamiento con menor peso seco promedio de raíz es el de 100% SH. Obteniendo resultados similares a los de Thani et al. (2016), en los que el peso seco de la raíz fue significativamente menor en el tratamiento con la raíz sumergida al 100% que en el control. Asimismo, Basso et al. (2019), exhiben resultados en los que la condición de inundación afectó la acumulación de biomasa tanto en tallo como en raíz. Según estos mismos autores, se puede suponer que este efecto sobre la raíz se origina por las reacciones que ocurren en un medio con hipoxia, donde la fermentación y la producción de especies reactivas de oxígeno dañan los tejidos (Basso, y otros, 2019).

Efecto de la Oxigenación en las Respuestas Fisiológicas

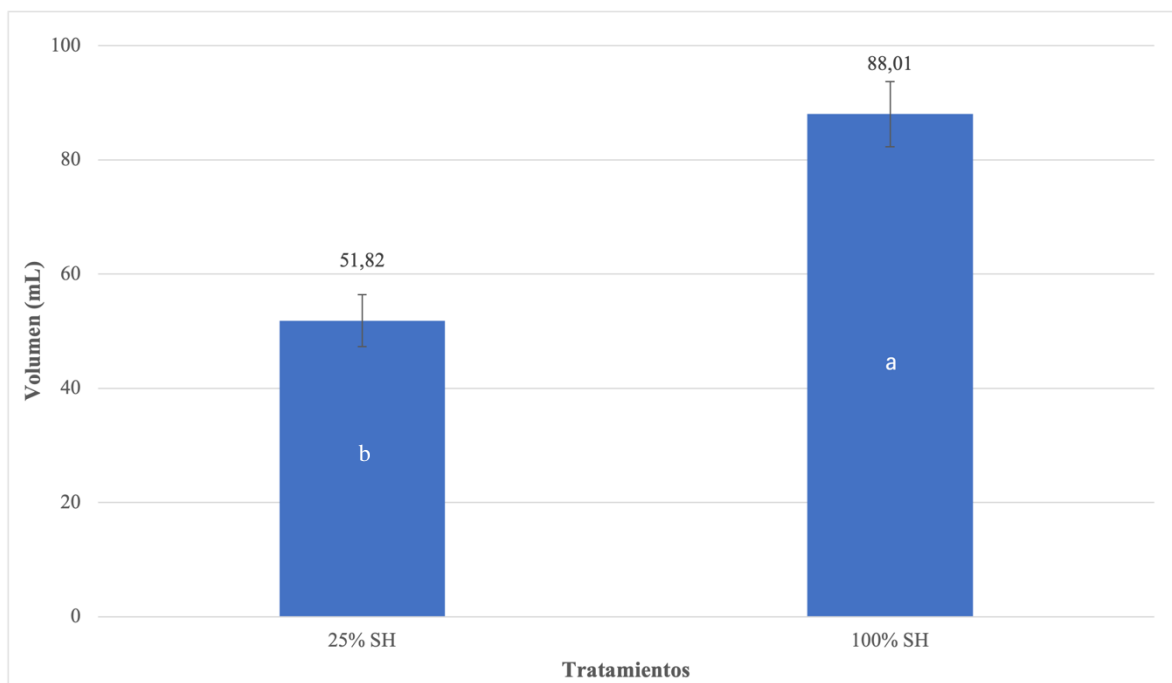
Figura 7. Volumen Promedio de Solución Absorbido por Día



Volumen promedio de solución absorbido por los diferentes tratamientos a lo largo del período experimental.

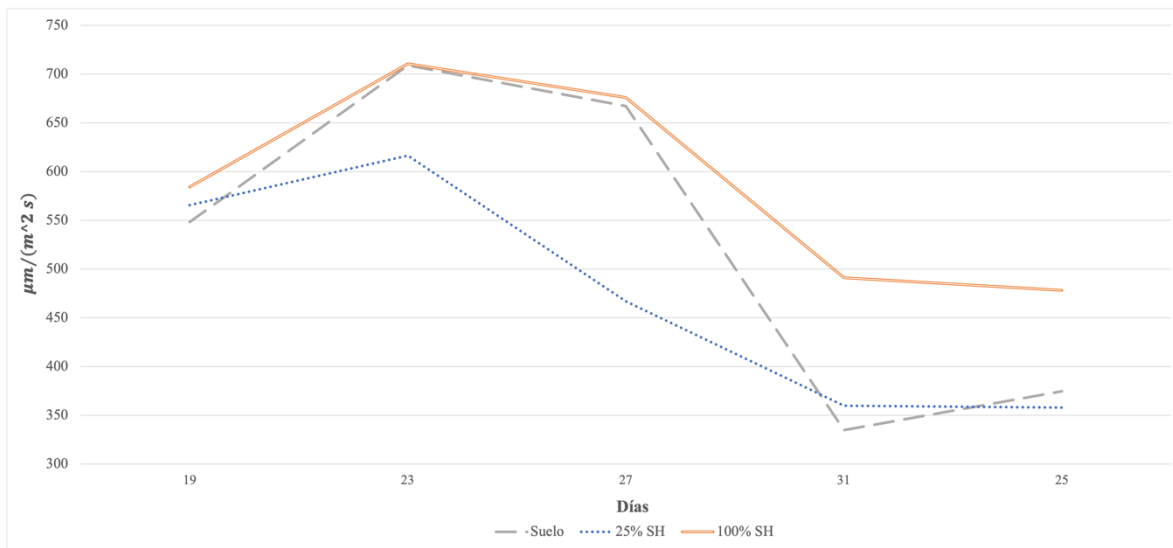
Los datos son valores medios (n=10).

Durante el período experimental, se observó una diferencia en el volumen promedio de solución absorbido entre los diferentes tratamientos (Figura 7). El tratamiento 25% SH mantuvo un volumen promedio absorbido constantemente inferior al del tratamiento 100% SH. Según Arbona et al. (2009) uno de los efectos principales del encharcamiento en los cítricos es la reducción de la conductividad hidráulica de las raíces, lo que lleva a la disminución de la absorción de agua y, por ende, del crecimiento. Si tomamos esto como referencia para la *Rosa* sp., los resultados obtenidos en la presente investigación no concuerdan con lo expuesto por los autores mencionados, pues el tratamiento 100% SH absorbió mayor cantidad de solución que el tratamiento 25% SH, y parece seguir esta tendencia.

Figura 8. Volumen Promedio de Solución Absorbido por Planta

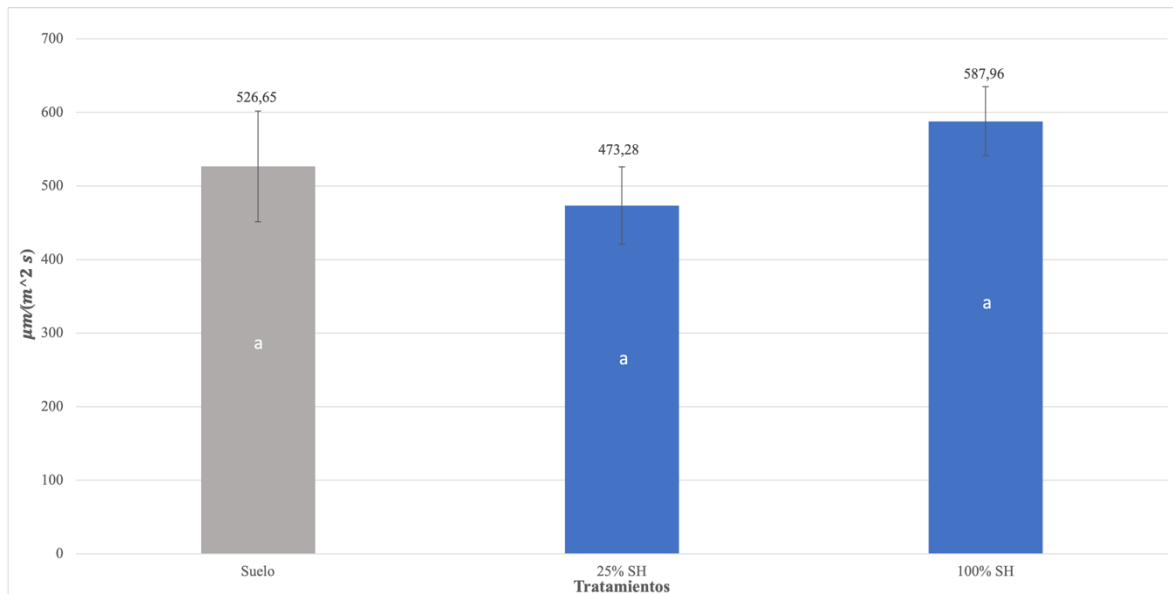
Volumen promedio de solución absorbido por planta y por tratamiento en patrones de rosa (*Rosa* sp. var. *Natal Brier*). Las barras de error muestran errores estándar y las diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

Existió una diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre el volumen promedio de solución absorbido entre los tratamientos (Figura 8). El tratamiento 100% SH presentó un mayor volumen promedio absorbido por planta (88,01 mL) que el tratamiento 25% SH (51,82 mL). De acuerdo con Schaffer et al. (2006) la primera respuesta a daños por inundación es el cierre estomático, el cual desencadena la absorción activa de agua por falta de oxígeno y disminuye la absorción pasiva o flujo masal. No obstante, esto no ocurre en la *Rosa* sp., pues se observa una absorción de acuerdo a un gradiente de concentración (de mayor a menor). Adicionalmente, el tratamiento con encharcamiento no parece tener limitaciones en la absorción de agua, como lo expone Ashraf (2012).

Figura 9. Conductancia Estomática Promedio por Día

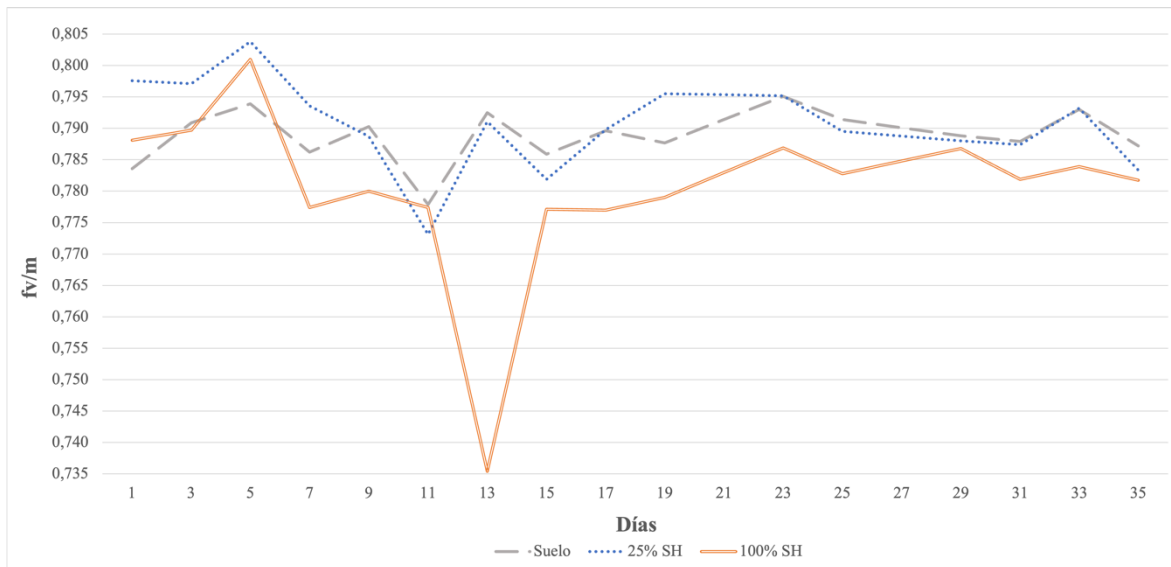
Conductancia estomática promedio por días de los diferentes tratamientos a lo largo del período experimental. Los datos son valores medios (n=10).

La conductancia estomática promedio mostró fluctuaciones durante el período experimental tanto en los tratamientos con diferentes niveles de oxigenación como en el testigo (Figura 9). Se puede observar que existe una reducción progresiva en los valores de conductancia estomática en cada tratamiento. Resultados que coinciden con los obtenidos por Domingo et al. (2002), los cuales presentaron fluctuaciones tanto en las plantas inundadas como en el grupo control, junto con una disminución en los valores medidos.

Figura 10. Conductancia Estomática Promedio por Planta

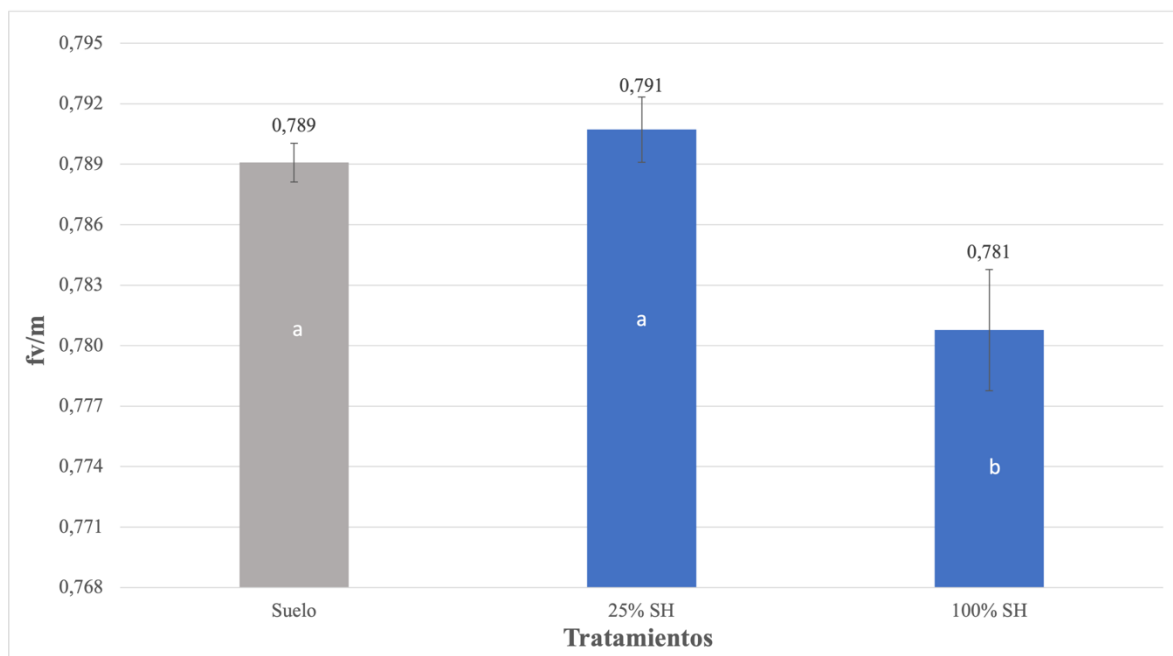
Conductancia estomática promedio por planta y por tratamiento en patrones de rosa (*Rosa* sp. var. *Natal Brier*). Las barras de error muestran errores estándar y las diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

No existió una diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre la conductancia estomática promedio de los diferentes tratamientos (Figura 10). Sin embargo, se puede observar que el tratamiento con mayor conductancia estomática promedio fue el de 100% SH. Lo que difiere con los resultados adquiridos por Domingo et al. (2002), los cuales presentaban valores de conductancia estomática ligeramente mayores en el grupo control. Adicionalmente, los resultados obtenidos en esta investigación con *Rosa* sp. no coinciden con los resultados usualmente obtenidos por varios autores que reportan la reducción de la conductancia estomática como una consecuencia al estrés por encharcamiento (Ahmed, Nawata, Hosokawa, Domae, & Sakuratani, 2002). Según Ashraf et al. (2012) el cierre estomático es atribuido al transporte del ácido abscísico de las hojas viejas a las nuevas, siendo la síntesis de esta hormona una respuesta al anegamiento de las plantas.

Figura 11. Fluorescencia Promedio de Clorofila por Día

Fluorescencia promedio de clorofila por día en los diferentes tratamientos a lo largo del período experimental. Los datos son valores medios (n=10).

La Figura 11, presenta diferencias entre la fluoroscencia promedio de clorofila registrada por tratamiento, cada dos días. Se puede observar que en el día 13, el tratamiento 100% SH presentó un descenso drástico transitorio, similar a lo ocurrido en la investigación de Arbona et al. (2009) en cítricos. En dicha investigación, las plantas inundadas mostraron una caída en sus valores fv/m a los días 22 y 30, que posteriormente se recuperaron hasta ser similares a los del control. Una respuesta similar fue encontrada en los patrones de rosa de esta investigación. A pesar de que se han presentado variaciones en los valores fv/m de todos los tratamientos, especialmente en los del 100% SH, estos no han ido disminuyendo progresivamente. Lo que contrasta con los resultados obtenidos por Mielke & Schaffer (2009) en *Eugenia uniflora*, los cuales decrecían conforme aumentaba el tiempo de anegación.

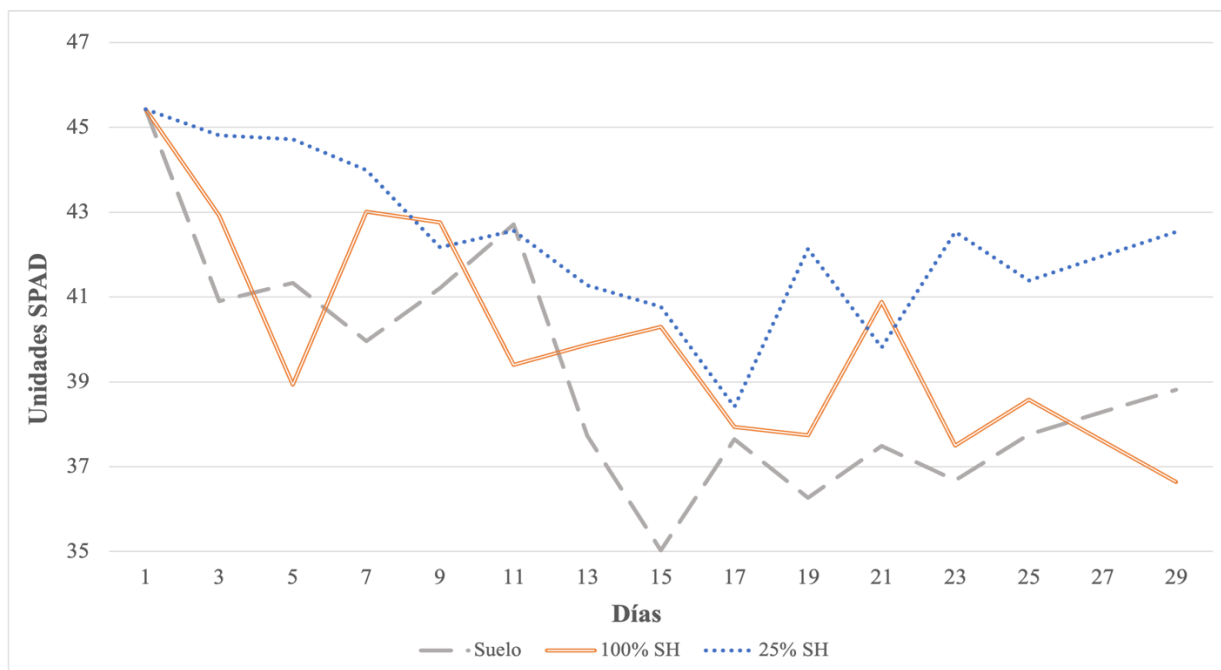
Figura 12. Fluorescencia Promedio de Clorofila por Tratamiento

Fluorescencia promedio por planta y por tratamiento en patrones de rosa (*Rosa* sp. var. *Natal Brier*). Las barras de error muestran errores estándar y las diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

Se encontró una diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre el tratamiento 100% SH y los tratamientos restantes. El tratamiento 100% SH presentó un valor promedio fv/m inferior con respecto al del 25% SH y al del grupo control, similar a lo ocurrido en el estudio de Arbona et al. (2009) con el genotipo citrumelo Swingle. Según Mohammed et al. (2003) el valor de esta variable en plantas sanas debe encontrarse entre 0,830 y 0,760. Por consiguiente, los valores medidos en este estudio todavía se encuentran dentro del rango esperado. Según Baker (2008) la disminución en el valor fv/m de las plantas es una consecuencia de su exposición a cualquier tipo de estrés, que afecta la eficiencia fotosintética de las hojas. Es un indicador de la sensibilidad del aparato fotosintético al estrés abiótico (Mohammed et al.,

2003). Por lo que, este parámetro es usado ampliamente como un indicador de la fotoinhibición de la fotosíntesis (Ashraf, 2012).

Figura 13. Contenido Promedio de Clorofila por Día



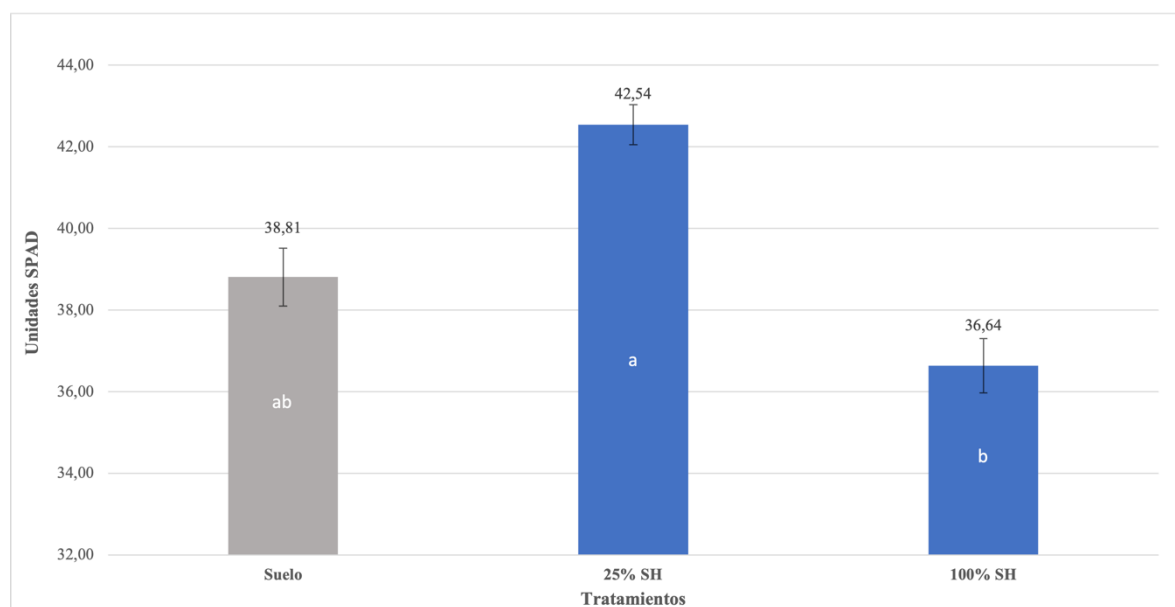
Contenido promedio de clorofila por día en los diferentes tratamientos a lo largo del período experimental.

Los datos son valores medios (n=10).

Existió una diferencia en el contenido de clorofila entre los tratamientos a lo largo de los días de experimentación (Figura 13). El contenido de clorofila, expresado en unidades SPAD, en el tratamiento 100% SH se mantuvo consistentemente más bajo que en el tratamiento 25% SH. Se puede observar que la tendencia del testigo y del tratamiento 25% SH es creciente, proyectando valores de unidades SPAD ascendentes. Mientras que la tendencia del tratamiento 100% SH es decreciente. Lo que concuerda con los resultados obtenidos por

Basso et al. (2019) en *Passiflora edulis*, dónde se observó que el contenido de clorofila disminuye progresivamente a medida que aumenta el período de anegación en las plantas. Según Castro et al. (2011) esta reducción en los niveles de unidades SPAD se produce por la descomposición de los pigmentos, desencadenada por diversos escenarios, incluido el estrés por encharcamiento.

Figura 14. Contenido Promedio de Clorofila día 29



Contenido promedio de clorofila por tratamiento al día 29 de experimentación en patrones de rosa (*Rosa* sp. var. *Natal Brier*). Las barras de error muestran errores estándar y las diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

Hubo una diferencia significativa ($P \leq 0,05$) en el contenido promedio de clorofila entre los tratamientos 25% SH y 100% SH, en el día 29 de la experimentación (Figura 14). Da Silva et al. (2013) indican que los valores óptimos para el índice de clorofila en *Passiflora*

edulis se encuentran entre 40 a 50 unidades SPAD, las cuales pueden disminuir gradualmente por estrés en la planta. Si se toman estos mismos valores como referencia para la *Rosa* sp., se puede ver que el tratamiento 100% SH presenta un valor de 36,64, por lo que se puede asumir que las plantas de este tratamiento presentan un valor menor al óptimo a causa del estrés posiblemente provocado por la ausencia de oxigenación en la zona radicular. Asimismo, se puede observar que el grupo control también presenta un valor menor al óptimo, lo que podría atribuirse a una compactación del suelo.

Figura 15. Hojas tratamiento 100%SH



Figura 16. Hojas tratamiento 25% SH



Según Rajendran et al. (2012) las hojas de los frutales presentan clorosis por dificultades en la absorción y traslado adecuado de agua y nutrientes, como consecuencia de encharcamiento en su zona radicular. Si tomamos lo ocurrido en frutales como referencia para la *Rosa* sp., podemos observar que manifiestan la misma respuesta. Sin embargo, si se

considera que las deficiencias de Mg y N presentan como síntoma clorosis en hojas viejas, no se podría atribuir lo ocurrido en el tratamiento 100% SH a una inhibición en el transporte de nutrientes, pues en este caso, la clorosis se presenta en hojas jóvenes (Figura 15).

Los efectos morfológicos, fisiológicos y metabólicos del anegamiento en las plantas se derivan principalmente del colapso de la respiración aeróbica mitocondrial de las raíces y la subsecuente privación del oxígeno. Las respuestas iniciales reportadas con frecuencia en la literatura incluyen reducciones en el flujo de agua desde las raíces, seguidas de alteraciones en el uso del agua, la absorción de nutrientes y la distribución del peso seco. La disminución de la conductancia estomática para evitar la pérdida de agua junto con la disminución de la actividad fotosintética y cambios en el tráfico de metabolitos (Martínez-Alcántara, y otros, 2012). No obstante, estas respuestas van a depender del genotipo, edad de la planta, condiciones de anegamiento y período de inundación (Casierra-Posada & Cutler, 2017).

En el caso de la *Rosa* sp., la ausencia de oxígeno en el tratamiento 100% SH no condujo a una disminución en la apertura de los estomas. De hecho, fue este tratamiento el que presentó mayor apertura estomática a lo largo del período experimental. Lo puede deberse a que esta respuesta fisiológica no siempre es inmediata (Casierra-Posada & Gómez, 2008). Adicionalmente, se observó que los patrones de rosa sometidos a inundación fueron los que en promedio absorbieron mayor volumen de solución. Lo que esta vinculado con la conductancia estomática medida, pues a mayor apertura de los estomas, mayor toma de agua por parte de la planta. La absorción de agua en las plantas se encuentra estrechamente relacionada con el potencial hídrico y la pérdida de agua de las plantas a través de la transpiración (Tuzet, Perrier, & Leuning, 2003). Además, el agua promueve el crecimiento, por ende, un mayor crecimiento implica un mayor volumen absorbido. Respuesta que también se pudo presenciar en esta investigación, donde el tratamiento 100% SH mostró un mayor número de brotes y un mayor porcentaje de crecimiento de tirasabia.

Por otro lado, en esta investigación se presentan resultados que también nos permiten establecer una relación entre el contenido de clorofila, la fluorescencia de esta y la clorosis

presentada en las hojas jóvenes del tratamiento 100% SH. La falta de oxigenación produjo una disminución en el grado de verdor de las hojas, lo cual corresponde a un menor índice de clorofila por degradación de los pigmentos (Basso, y otros, 2019). Los patrones de rosa sometidos a inundación presentaron índice de clorofila menor al óptimo (36,64) y una disminución en el valor f_v/m , manifestando un estrés en el fotosistema II afectando la eficiencia fotosintética de las hojas (Mohammed et al., 2003). Por consiguiente, tanto el contenido de clorofila como su fluorescencia pueden ser buenos indicadores para distinguir plantas tolerantes a deficiencia de oxígeno (Ezin, De la Pena, & Ahanchede, 2010).

V. Conclusión

- El tratamiento 100% SH presentó mayor porcentaje de crecimiento y mayor número de brotes en comparación a los otros tratamientos. Siendo esto un resultado de una mayor apertura estomática y una mayor absorción de volumen de la solución nutritiva (SH) utilizada. Adicionalmente, el peso fresco y seco promedio de la parte aérea presentaron resultados diferentes. El testigo (suelo) y el tratamiento 100% SH no presentaron una diferencia significativa en el peso fresco promedio de la parte aérea. Siendo ambos superiores al peso fresco del tratamiento 25% SH. Lo que está relacionado con una mayor acumulación de agua en las hojas de plantas que se encuentran bajo condiciones de inundación. Mientras que el tratamiento 25% SH fue el que presentó el mayor peso seco de la parte aérea, atribuido a la disminución de absorción de nutrientes y cantidad de materia seca en los tejidos de plantas anegadas. Por otro lado, el peso fresco y seco promedio de las raíces fue menor en el tratamiento de 100%. Lo que puede atribuirse a que el último tejido donde acumulan agua las plantas inundadas es en la raíz y al daño de los tejidos de la misma por la producción de especies reactivas de oxígeno.
- Hubo una reducción en la fluorescencia y en el contenido de la clorofila, además de clorosis en las hojas jóvenes del tratamiento 100% SH. Indicando un estrés por inundación y falta de oxígeno.
- A pesar de que los patrones de rosa del tratamiento 100% SH no presentaron una reducción en la conductancia estomática o la paralización en su crecimiento, presentaron una clorosis ligada a una disminución en la fluorescencia y en el contenido de clorofila, así como un menor peso fresco y seco total, indicando un

estrés por inundación. Sin embargo, se puede decir que los patrones de rosa son medianamente tolerantes a condiciones de hipoxia o anoxia ya que en el tiempo de experimentación no hubo índice de mortalidad y se mantuvieron procesos de transpiración, conductancia estomática y absorción de solución nutritiva.

VI. Recomendaciones

- Realizar un estudio con un mayor tiempo de experimentación para poder observar respuestas fisiológicas y de crecimiento en un período prolongado, y observar con mayor claridad las respuestas adaptativas de la *Rosa sp.* a la ausencia de oxígeno.
- Realizar un estudio morfológico, no solo de crecimiento, para verificar el desarrollo de lenticelas, aerénquima, raíces adventicias u otras estructuras que induzcan la resistencia a hipoxia o anoxia. Para explicar la supervivencia de las plantas con 100% SH.
- Realizar una investigación a nivel bioquímico, sobre todo a nivel hormonal y enzimático, para entender los cambios metabólicos de la planta y cómo estos se ven reflejados morfológicamente y en su crecimiento.

Anexos

Anexo 1. Tratamientos con 25% y 100% de SH



VII. Referencias

- Ahmed, S., Nawata, E., Hosokawa, M., Domae, Y., & Sakuratani, T. (2002). Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mungbean subjected to waterlogging. *Plant Science*, 163.
- Arbona, V., López-Climent, M., Pérez-Clemente, R., & Gómez-Cadenas, A. (2009). Maintenance of a high photosynthetic performance is linked to flooding tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 66, 135–142
- Armstrong, W., & Drew, M. (2002). Root Growth and Metabolism Under Oxygen Deficiency. *Plant Roots*, 729–761.
- Ashraf, M. A. (2012). Waterlogging stress in plants: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 7(13), 1976-1981.
- Baker, N. (2008). Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. *Plant Biol.*, 89-113.
- Basso, C., Rodríguez, G., Rivero, G., León, R., Barrios, M., & Díaz, G. (2019). RESPUESTA DEL CULTIVO DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis* Sims) A CONDICIONES DE ESTRÉS POR INUNDACIÓN. *Bioagro*, 31(3), 185-192.
- Casierra-Posada, F., & Cutler, J. (2017). PHOTOSYSTEM II FLUORESCENCE AND GROWTH IN CABBAGE PLANTS (*Brassica oleracea* var. *capitata*) GROWN UNDER WATERLOGGING STRESS. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(2), 321-328.
- Castro, F., Campostrini, E., Torres, A., & Hespanhol, L. (2011). Relationship between photochemical efficiency (JIP-Test Parameters) and portable chlorophyll meter readings in papaya plants. *Brazilian Society of Plant Physiology*, 295-304.

- Da Silva, G., I. Lucena, F. Albano y J. Antiveli. 2013. Estado nutricional e clorofila foliar do maracujazeiro amarelo em função de biofertilizantes, calagem e adubação com N e K. *Rev. de Ciências Agrárias* 36(2): 163-173.
- Domingo, R., Pérez-Pastor, A., & Ruiz-Sánchez, C. (2002). Physiological responses of apricot plants grafted on two different rootstocks to flooding conditions. *Journal of Plant Physiology*, 725-732.
- Expoflores. (2023). *Reporte Estadístico Anual 2023*. Obtenido de <https://expoflores.com/wp-content/uploads/2024/03/Anual-Expoflores-2023.pdf>
- Ezin, V., De la Pena, R., & Ahanchede, A. (2010). Flooding tolerance of tomato genotypes during vegetative and reproductive stages. *Brazilian Society of Plant Physiology*, 22(1), 131-142.
- Jiménez, J., Moreno, L., & Magnitskiy, S. (2012). Respuesta de las plantas a estrés por inundación. Una revisión. *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS*, 6(1), 96-109.
- Kuroha, T., Nagai, K., Gamuyao, R., Wang, D., Furuta, T., Nakamori, M., . . . Mi. (2018). Ethylene-gibberellin signaling underlies adaptation of rice to periodic flooding. *Plant Science*, 361, 181-186.
- Martínez-Alcántara, B., Jover, S., Quiñones, A., Forner-Giner, M., Rodríguez-Gamir, J., Legaz, F., . . . Iglesias, D. (2012). Flooding affects uptake and distribution of carbon and nitrogen in citrus seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 169, 1150– 1157.
- Mielke, M., & Schaffer, B. (2009). Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and pigment indexes of *Eugenia uniflora* L. in response to changes in light intensity and soil flooding. *Tree Physiology*, 45-55.

- Mohammed, G.H.; Zarco-Tejada, P.; Miller, J.R. 2003. Applications of Chlorophyll Fluorescence in Forestry and Ecophysiology. In: DeEll, J.R.; Toivonen, P.M.A. (eds), Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology. Kluwer Academic Publishers. Norwell, USA. p.79-124.
- Morán, L. (2021). Sector florícola ecuatoriano y afectación en mercado internacional a causa del covid19. *South Florida Journal of Development*, 2(3), 4609-462.
- Moreno, M., Pineda, J., Colinas, M., & Sahagún, J. (2020). El oxígeno en la zona radical y su efecto en las plantas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 931-943.
- Naranjo, M., & Burgos, S. (2010). *Boletín Mensual de Análisis Sectorial de MIPYMES. Sector Florícola*. FLACSO – MIPRO Centro de Investigaciones Económicas y de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa.
- Pan, J., Sharif, R., Xu, X., & Chen, X. (2021). Mechanisms of Waterlogging Tolerance in Plants: Research Progress and Prospects. *Frontiers in Plant Science*, 11.
- Rajendran, C., K. Ramamoorthy y S. Hepziba. 2012. Nutritional and physiological disorders in crop plants. Scientific Publishers, Jodhpur, India. 116 p.
- Schaffer, B., Davies, F., & Craen, J. (2006). Responses of Subtropical and Tropical Fruit Trees to Flooding in Calcareous Soil. *HorScience*, 41(3), 549-555.
- Thani, Q., Vargas, A., & Schaffer, B. (2016). Responses of Papaya Plants in a Potting Medium in Containers to Flooding and Solid Oxygen Fertilization. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 129, 27-34.
- Tuzet, A., Perrier, A., & Leuning, R. (2003). A coupled model of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration. *Plant, Cell and Environment*, 26(7), 1097–1116.
- Yong, A. (2004). *Revisión bibliográfica EL CULTIVO DEL ROSAL Y SU PROPAGACIÓN*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193217832008.pdf>

