Apthapi 11(1): 2789-2797. Enero-Abril, 2025. ISSN: 2519-9382

Artículo

Producción de microgreens como un super alimento

Microgreens production as a superfood

Medardo Wilfredo Blanco Villacorta, Gladys Jhovanna Challco Challco

RESUMEN: A nivel mundial, se está promoviendo la agricultura inteligente como una solución para alimentar a la creciente población. Con más de 8 mil millones de personas en el planeta y un constante flujo migratorio hacia las ciudades, los recursos alimentarios se están agotando. Por lo tanto, es crucial que las ciudades aprendan a sostener poblaciones más grandes y a promover la seguridad alimentaria en espacios urbanos limitados. Una gran parte de nuestra población sufre desnutrición, afectando tanto a adultos como a jóvenes debido a la falta de micro y macronutrientes. Una de las principales causas de la inseguridad alimentaria nutricional en los hogares es el limitado acceso económico a los alimentos, resultado de los bajos ingresos y los altos costos en los mercados. Para erradicar la desnutrición, es esencial proporcionar una cantidad adecuada de diferentes nutrientes. Los microgreens, pequeñas plantas repletas de nutrientes, ofrecen numerosos beneficios para la salud de la población urbana y son considerados como la próxima generación de "superalimentos". Estos vegetales contienen varios fitonutrientes que promueven la salud, como antioxidantes, vitaminas, minerales y compuestos fenólicos, convirtiéndose en una alternativa viable para la producción urbana. Adoptar los microgreens en la agricultura urbana permite a las ciudades mejorar la seguridad alimentaria, promover hábitos alimentarios saludables, reducir las emisiones del transporte y contribuir a un futuro urbano más sostenible y resiliente.

PALABRAS CLAVE: microgreens, agricultura sostenible, súper alimentos, seguridad alimentaria.

ABSTRACT: Globally, smart agriculture is being promoted as a solution to feed the growing population. With more than 8 billion people on the planet and a constant migration flow to cities, food resources are being depleted. Therefore, it is crucial that cities learn to sustain larger populations and promote food security in limited urban spaces. A large portion of our population suffers from malnutrition, affecting both adults and youth due to a lack of micro- and macronutrients. One of the main causes of household food insecurity is limited economic access to food, resulting from low incomes and high market costs. To eradicate malnutrition, it is essential to provide an adequate amount of different nutrients. Microgreens, tiny plants packed with nutrients, offer numerous health benefits for the urban population and are considered the next generation of "superfoods." These vegetables contain several health-promoting phytonutrients, such as antioxidants, vitamins, minerals, and phenolic compounds, making them a viable alternative for urban production. Adopting microgreens in urban agriculture allows cities to improve food security, promote healthy eating habits, reduce transportation emissions, and contribute to a more sustainable and resilient urban future.

KEYWORDS: microgreens, sustainable agriculture, superfoods, food security.

AUTORES: **Medardo Wilfredo Blanco Villacorta:** Docente Investigador. Estación Experimental Patacamaya. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. mwblanco1@umsa.bo https://orcid.org/0000-0001-9266-9972
Gladys Jhovanna Challco Challco: Investigadora. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. gjchallco@gmail.com https://orcid.org/0009-0008-9105-9310

DOI: https://doi.org/10.53287/bnxt760cu77i

Recibido: 09/02/2025. **Aprobado: 28/04/2025.**

INTRODUCCIÓN

La producción de microgreens ha emergido como una práctica agrícola innovadora que ofrece una solución eficiente y sostenible para la creciente demanda de alimentos frescos y nutritivos (Milica et al., 2023). Estos pequeños brotes de plantas comestibles, cosechados en una etapa temprana de desarrollo, generalmente entre 7 y 21 días después de la germinación, se han ganado un lugar destacado en la gastronomía y la nutrición moderna debido a su alta concentración de nutrientes, colores vibrantes y sabores intensos (Sharma et al., 2023).

En un contexto global donde la inseguridad alimentaria sigue siendo una preocupación urgente, los microgreens representan una posible solución gracias a su capacidad de producir alimentos altamente nutritivos en un corto período de tiempo y con recursos mínimos (Giordano et al., 2023). Diversos estudios han demostrado que estos pequeños vegetales pueden contener hasta 40 veces más nutrientes que sus versiones adultas, incluyendo vitaminas, minerales y antioxidantes (Rajan et al., 2019). Este alto valor nutricional puede ayudar a combatir la desnutrición y mejorar la salud en comunidades vulnerables (Bouranis et al., 2023) .

La agricultura urbana, en particular, se beneficia enormemente de la producción de microgreens (Gupta et al., 2023). La capacidad de cultivar estos vegetales en entornos urbanos densamente poblados, utilizando espacios no convencionales como tejados, balcones y huertos verticales, permite una producción local de alimentos frescos y saludables (Moraru & Rusu, 2022). Esto no solo reduce la huella de carbono asociada con el

transporte de alimentos, sino que también promueve la autosuficiencia alimentaria en las ciudades (Kyriacou et al., 2020). Además, la producción de microgreens en entornos controlados minimiza el uso de pesticidas y optimiza el uso del agua, haciendo que esta práctica sea ambientalmente sostenible (Mirela et al., 2021).

La presente investigación tiene como objetivo evaluar las variables agronómicas, fenológicas y de rendimiento de 6 especies hortícolas Rabanito (*Raphanus sativus*), Acelga (*Beta vulgaris L. var. cicla L.)*, Remolacha (*Beta vulgaris L.),* Nabo (*Brassica rapa subsp. rapa)*, Zanahoria (*Daucus carota*) y Espinaca morada (*Atriplex hortensis L.*) potenciales para desarrollar microgreens. Al comprender mejor estos aspectos, se busca optimizar las prácticas de cultivo y maximizar los beneficios de estos pequeños pero poderosos vegetales, proporcionando una herramienta viable para mitigar la inseguridad alimentaria y promover una alimentación más saludable y sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se realizó en la Localidad de Patacamaya de la Provincia Aroma, Estación Experimental de Patacamaya, Ex IBTA (Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria) perteneciente a la facultad de Agronomía de la UMSA, geográficamente está ubicada a una altura pro medio de 3789 msnm, en las coordenadas 67º 55´ Longitud Oeste y 17º 14´ Latitud Sur, a una distancia de 101 km desde la ciudad de La Paz. La zona se caracteriza por presentar dos tipos de épocas climáticas, la época seca que comprende los meses de abril a septiembre, y la época húmeda que comprende los meses de octubre hasta marzo (Blanco, 2019). De acuerdo a la Estación Meteorológica de Patacamaya, la temperatura media se sitúa en torno a los 9,4°C, misma que oscila entre los 12,1°C en diciembre y los 5,7°C en junio, entre la media de las máximas registradas, la más elevada alcanza los 20,3°C en noviembre, mientras que el valor mínimo de la media de mínimas llega a ser de - 6,1°C en junio. La precipitación media anual es de 392,2 mm; registrándose las mayores precipitaciones desde diciembre a febrero, por encima de los 60 mm; presentando enero una máxima de 99,4±43,9 mm; durante mayo a agosto se presentan precipitaciones por debajo de 10 mm (Guillermo, 2016).

Los materiales utilizados fueron: Semillas de Rabanito (*Raphanus sativus*), Acelga (*Beta vulgaris L. var. cicla L.)*, Remolacha (*Beta vulgaris L.),* Nabo (*Brassica rapa subsp. rapa)*, Zanahoria (*Daucus carota*) y Espinaca morada (*Atriplex hortensis L.*), cinta métrica, cuerda, palitos, computadora, balanza, cámara fotográfica, chuntillo, cernidor, brocha. El trabajo de investigación se realizó de enero a marzo de 2024. Iniciándose con la preparación del sustrato y la siembra, concluyendo con la cosecha de los microgreens.

Los cultivos se establecieron en un ambiente atemperado tipo túnel, pared de adobe, con una ventana, soportes de fierro, cubierta de agrofilm y una puerta de 20 m. de largo, 6 m. de ancho y 3.5 m. de altura en el centro. La preparación de las parcelas se inició dos semanas previas a la siembra, se procedió con la preparación del terreno iniciando con la limpieza del terreno, retirando los residuos vegetales existentes en el área de estudio, posterior a ellos se realizó la remoción del sustrato con picota. Se adiciono estiércol de ovino 20 Tn/ Ha. Las dimensiones fueron pequeñas de 27 cm x 35 cm. Para el registro de la temperatura dentro del invernadero se utilizó un termómetro de máxima y mínima, instalado al centro del área del cultivo a una altura de 60 cm lo que permitió registrar datos de temperatura sin ser afectado con la temperatura del suelo. La ventilación permitió reducir la subida de la temperatura en días soleados, para mantener una temperatura estable que favorezca el buen desarrollo de las plantas y evitar humedad alta que favorezca la incidencia de enfermedades y plagas; se procedió a la apertura de puertas y ventanas en horas de la mañana y el cierre en horas de la tarde. Para el riego se utilizó una regadera, se rego los cultivos 2 veces por día utilizándose alrededor de 3 litros de agua por riego por parcela.

Labores culturales

Los microgreens fueron establecidos en el invernadero bajo ambiente protegido, con la ayuda de un chuntillo se realizó la remoción y el nivelado del sustrato. Para delimitar el área con la ayuda de una cinta métrica realizamos las medidas, las cuales fueron de 27cm x 35cm, con ayuda de palitos, cuerda delimitamos nuestra área para poder distinguir cada cultivo. Posteriormente, se realizó el pesaje de semilla para cada cultivo, se obtuvo el peso inicial de semilla con la ayuda de un vaso, luego se realizó la siembra al voleo de las semillas, se volvió a pesar el vaso, así obtuvimos la cantidad en peso de semilla que ocuparía en el área determinada. Finalmente, se tapó las semillas con el mismo sustrato con ayuda de un cernidor. Se colocó marbetes con sus respectivos nombres para poder distinguir los cultivos y se rego con bastante agua para que tenga una buena humedad. Para la cosecha se observó el tamaño, los cotiledones, también el número de hojas verdaderas, para realizar la cosecha se tomó un manojo del cultivo y lo desprendemos del suelo desde la raíz, con ayuda de la brocha limpiamos las raíces con tierra, cortamos las raíces y colocamos los microgreen en un recipiente para luego poder pesarlas y obtener el peso total.

Variables de Respuesta

Variables climáticas

Se tomaron los registros de temperatura, dentro del ambiente durante todo el ciclo, esto se realizó con un termómetro digital que registra temperaturas máximas y mínimas.

Variables Agronómicas

Porcentaje de Germinación: Para determinar esta variable, las semillas se colocaron en un envase con papel filtro humedecidos en agua, luego se registró los datos de germinación en un tiempo de 10 días para obtener el porcentaje de germinación.

NÚmero de semillas por gramo. Se contaron el número de semillas en 1 g.

Variables fenológicas

Días a la cosecha después de la siembra: Se tomó en cuenta los días transcurridos desde la siembra hasta la cosecha.

Variables de Rendimiento

Rendimiento de materia verde: Al momento de la cosecha se realizó el pesaje de los microgreens determinándose la cantidad en peso producida de cada especie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura

Dentro el ambiente protegido se registró una temperatura máxima promedio de 37,6 °C, mínima promedio de 6,28 °C y una media promedio de 21,94 °C. La temperatura máxima para hortalizas de fruto no debería superar 35 °C y no ser inferior a -1 °C. (Coxca, 2020). La amplitud térmica promedio fue de 31,33 ºC, este parámetro es definido como la diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura mínima. Esta variación en la temperatura, llamada también oscilación térmica, tiene un efecto marcado en el crecimiento y rendimiento de varias especies sobre todo en las hortalizas de fruto. (Cruz, 2020).

Variables agronomicas

Tabla 1. Porcentaje de germinación.

Cultivo	% Germinación
Zanahoria	90%
Rabanito	95%
Remolacha	85%
Acelga	88%
Nabo	90%
Espinaca	80%

Los valores de germinación presentados en la tabla son bastante adecuados y favorables para el cultivo de hortalizas. Aquí está la discusión detallada para cada cultivo: Zanahoria (90%): Una tasa de germinación del 90% es excelente. Esto indica que la mayoría de las semillas plantadas se convertirán en plántulas, lo cual es ideal para un cultivo eficiente. Rabanito (95%): Esta es la tasa de germinación más alta de la lista, lo que es muy positivo. Los rabanitos son conocidos por su rápida germinación y crecimiento, y una tasa del 95% asegura una alta eficiencia en el uso de semillas. Remolacha (85%): Una tasa del 85% sigue siendo muy buena. La remolacha es una hortaliza que puede ser un poco más difícil de germinar comparada con otras, pero esta tasa indica un buen éxito en la germinación. Acelga (88%): La acelga con un 88% de germinación es también bastante confiable. Esto asegura que la mayoría de las semillas plantadas prosperarán, lo que es positivo para el cultivo. Nabo (90%): Al igual que la zanahoria, una tasa de germinación del 90% es excelente para los nabos. Esto garantiza un alto rendimiento de plántulas a partir de las semillas sembradas. Espinaca (80%): Aunque la espinaca tiene la tasa de germinación más baja de la tabla, un 80% sigue siendo un valor adecuado. La espinaca puede ser un poco más exigente en términos de condiciones de germinación, por lo que una tasa del 80% es bastante aceptable.

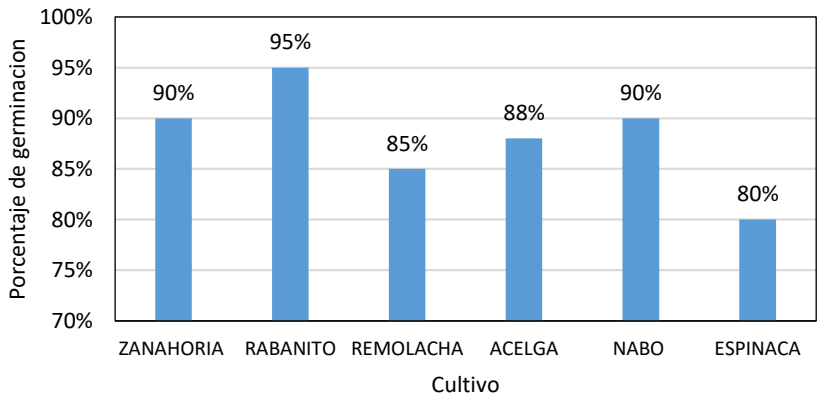

Figura 1. Porcentaje de germinación

Los valores de germinación presentados son todos bastante altos, lo cual es adecuado y favorable para el cultivo de hortalizas. En general, una tasa de germinación superior al 80% se considera buena en la agricultura, ya que garantiza un uso eficiente de las semillas y una buena producción de plántulas. Estos altos porcentajes de germinación sugieren que las condiciones de cultivo, como el suelo, la humedad y la temperatura, son apropiadas y que las semillas son de buena calidad. Por lo tanto, los valores de la tabla son muy adecuados para el cultivo de microgreens.

Tabla 2. Numero de semillas por gramo.

Cultivo	N° de semillas/gramo
Zanahoria	923
Rabanito	139
Remolacha	75
Acelga	76
Nabo	235
Espinaca	345

La tabla muestra el número de semillas por gramo para diferentes cultivos de hortalizas. Este valor es importante para entender la densidad de siembra y planificar la cantidad de semillas necesarias para cubrir un área determinada.

Zanahoria (923 semillas/gramo): Las semillas de zanahoria son muy pequeñas y ligeras. Un gramo contiene 923 semillas, lo que significa que se pueden sembrar muchas plantas con una pequeña cantidad de semillas. Esto es beneficioso para maximizar el uso del espacio y reducir los costos de semillas.

Rabanito (139 semillas/gramo): Las semillas de rabanito son más grandes en comparación con las de zanahoria, con 139 semillas por gramo. Aun así, es un número considerable, lo que permite una buena densidad de siembra.

Remolacha (75 semillas/gramo): Las semillas de remolacha son relativamente grandes, con 75 semillas por gramo. Esto implica que se necesitará más peso de semillas para sembrar una misma área en comparación con cultivos de semillas más pequeñas.

Acelga (76 semillas/gramo): Similar a la remolacha, la acelga tiene semillas grandes con 76 semillas por gramo. La planificación de siembra debe considerar este menor número de semillas por gramo.

Nabo (235 semillas/gramo): Las semillas de nabo son de tamaño intermedio, con 235 semillas por gramo. Esto proporciona una buena densidad de siembra y facilita la distribución uniforme de las semillas.

Espinaca (345 semillas/gramo): Las semillas de espinaca son relativamente pequeñas, con 345 semillas por gramo. Esto permite sembrar muchas plantas con una pequeña cantidad de semillas, similar a las zanahorias.

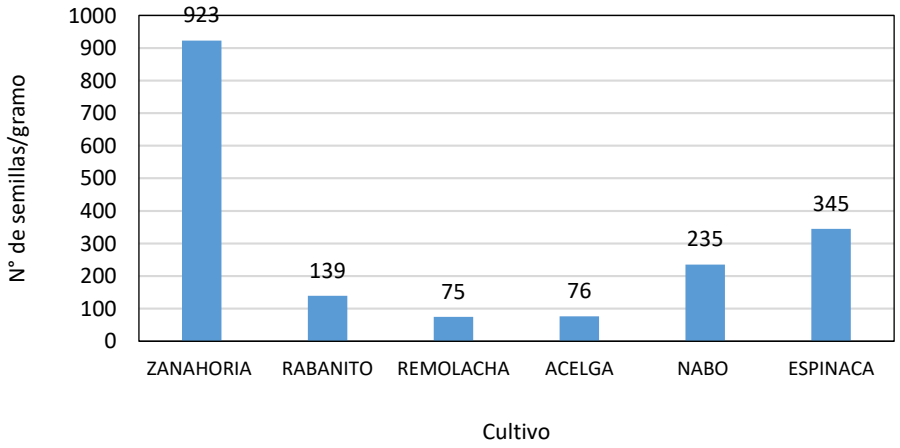

Figura 2. Numero de semillas por gramo.

Los cultivos con más semillas por gramo (como zanahoria y espinaca) permiten una siembra más densa, útil para maximizar el uso del espacio. Por otro lado, cultivos con menos semillas por gramo (como remolacha y acelga) requieren una planificación más cuidadosa para asegurar una distribución adecuada y evitar desperdicios. Semillas más pequeñas y numerosas (zanahoria, espinaca) son más económicas por unidad de área, mientras que semillas más grandes (remolacha, acelga) pueden requerir una inversión mayor en semillas. Los agricultores deben considerar estos factores al comprar semillas y planificar sus cultivos. Las semillas pequeñas pueden ser más difíciles de manejar y sembrar de manera uniforme sin equipos adecuados, mientras que las semillas más grandes son más fáciles de manejar manualmente. La tabla proporciona información crucial para la planificación agrícola. Conocer el número de semillas por gramo ayuda a los agricultores a calcular la cantidad de semillas necesarias para una superficie dada, planificar la densidad de siembra adecuada y gestionar los costos de semillas de manera eficiente, para el cultivo de microgreens.

Tabla 3. Densidad de siembra.

Cultivo	Densidad de siembra g/m^2
Zanahoria	32 g
Rabanito	138 g
Remolacha	127 g
Acelga	106 g
Nabo	180 g
Espinaca	106 g

La tabla proporciona información sobre la densidad de siembra recomendada para diferentes cultivos de microgreens, medida en gramos por metro cuadrado (g/m²). Esta información es crucial para determinar la cantidad de semillas necesarias para cubrir una superficie determinada de manera eficiente y para maximizar el rendimiento de los microgreens. Zanahoria (32 g/m²): las zanahorias tienen una densidad de siembra de 32 gramos por metro cuadrado. Esta es una densidad relativamente baja, lo que indica que las semillas de zanahoria son pequeñas y que no se necesita una gran cantidad de semillas para cubrir el área de siembra. Rabanito (138 g/m²): los rabanitos tienen una densidad de siembra de 138 gramos por metro cuadrado. Esta es una densidad alta, lo que sugiere que las semillas de rabanito son más grandes o que necesitan una siembra más densa para optimizar la producción de microgreens. Remolacha (127 g/m²): la remolacha tiene una densidad de siembra de 127 gramos por metro cuadrado. Este valor es alto, indicando la necesidad de una cantidad considerable de semillas para asegurar una buena cobertura y producción. Acelga (106 g/m²): la acelga tiene una densidad de siembra de 106 gramos por metro cuadrado. Esta es una densidad moderada-alta, que refleja el tamaño de las semillas y la necesidad de una buena cobertura para un óptimo rendimiento de microgreens. Nabo (180 g/m²): los nabos tienen la densidad de siembra más alta en la lista, con 180 gramos por metro cuadrado. Esto indica que se requieren muchas semillas para cubrir el área, posiblemente debido al tamaño de las semillas o a la necesidad de una siembra densa para un rendimiento óptimo. Espinaca (106 g/m²): la espinaca tiene una densidad de siembra de 106 gramos por metro cuadrado, igual que la acelga. Esta densidad es moderada-alta, lo que es adecuado para asegurar una buena cobertura y un rendimiento óptimo de microgreens.

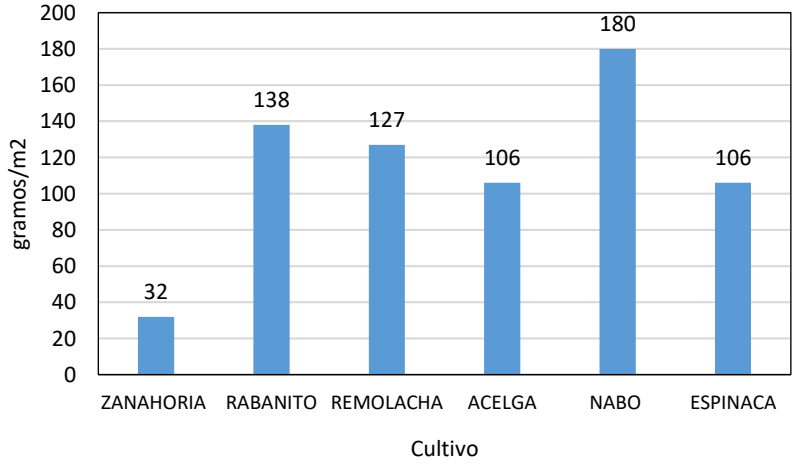

Figura 3. Densidad de siembra

La densidad de siembra está relacionada con el rendimiento esperado. Cultivos como el nabo, que requieren una densidad de siembra alta (180 g/m²), tienen también rendimientos altos (1535 g/m²). Esto sugiere que una siembra densa es crucial para maximizar la producción. Conocer la densidad de siembra adecuada permite a los agricultores optimizar el uso de semillas, evitando el desperdicio y asegurando una cobertura uniforme. Por ejemplo, aunque la zanahoria tiene una densidad de siembra baja (32 g/m²), sigue produciendo un rendimiento significativo (995 g/m²). Planificación del Cultivo: La planificación de la cantidad de semillas necesarias para cada metro cuadrado de área cultivada es esencial para la gestión eficiente de recursos. Cultivos con densidades de siembra más altas (rabanito, remolacha, nabo) requerirán una mayor inversión en semillas, pero pueden proporcionar mayores rendimientos. Las densidades de siembra también afectan la gestión del espacio. Los cultivos con densidades más bajas (zanahoria) permiten una plantación más dispersa, mientras que los cultivos con densidades altas (nabo) requieren una plantación más compacta y densa. La tabla proporciona información crucial para la planificación y gestión del cultivo de microgreens, destacando la variabilidad en las densidades de siembra de diferentes hortalizas. Ajustar la densidad de siembra de acuerdo con las recomendaciones puede ayudar a maximizar el rendimiento y la eficiencia del cultivo, asegurando una producción óptima de microgreens frescos y de alta calidad.

Variables fenologicas

Tabla 4. Días a la cosecha.

Cultivo	Días a la cosecha
Zanahoria	21
Rabanito	7
Remolacha	12
Acelga	10
Nabo	17
Espinaca	10

La tabla proporciona información sobre el tiempo necesario para cosechar diferentes cultivos de microgreens, medido en días desde la siembra hasta que están listos para ser recolectados. Los microgreens son plantas jóvenes cosechadas en una etapa temprana de crecimiento, generalmente cuando han desarrollado sus primeras hojas verdaderas. Zanahoria (21 días): las zanahorias requieren 21 días para ser cosechadas como microgreens. Este es un tiempo relativamente largo para microgreens, indicando que las zanahorias toman más tiempo en alcanzar la etapa adecuada para la cosecha. Rabanito (7 días): los rabanitos tienen el ciclo de crecimiento más corto de la lista, con solo 7 días necesarios para la cosecha. Esto los convierte en una opción ideal para microgreens de rápido retorno, permitiendo múltiples cosechas en poco tiempo. Remolacha (12 días): la remolacha necesita 12 días para ser cosechada como microgreens, lo cual es un tiempo moderado. Estos microgreens aportan un color vibrante y un sabor único a las mezclas de microgreens. Acelga (10 días): la acelga requiere 10 días para llegar a la cosecha como microgreens. Este tiempo es relativamente corto y las hojas jóvenes de acelga son apreciadas por su color y sabor. Nabo (17 días): los nabos necesitan 17 días para ser cosechados como microgreens, un tiempo más largo comparado con otros cultivos en la tabla, pero aún dentro de un rango razonable para la producción de microgreens. Espinaca (10 días): la espinaca también necesita 10 días para la cosecha como microgreens, similar a la acelga, proporcionando hojas tiernas y sabrosas rápidamente.

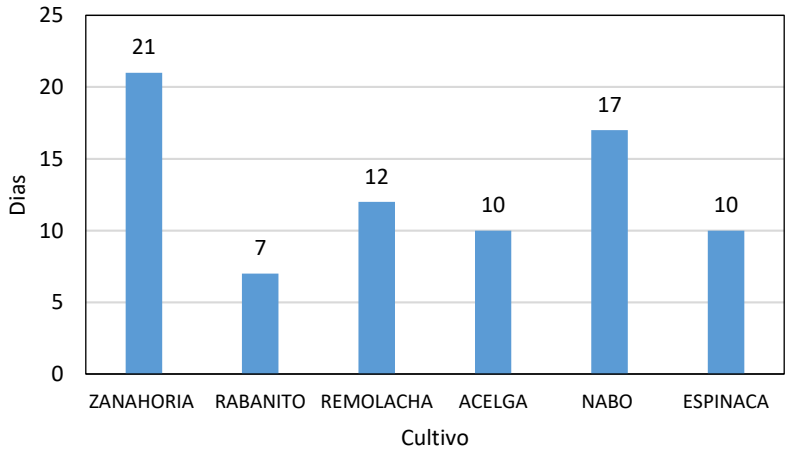

Figura 4. Días a la cosecha.

Los cultivos con tiempos de cosecha más cortos (rabanito, espinaca, acelga) permiten una rápida rotación y pueden ser utilizados para maximizar la producción en áreas pequeñas o durante temporadas de cultivo cortas.

Cada tipo de microgreen aporta diferentes sabores, colores y texturas. Por ejemplo, los rabanitos ofrecen un sabor picante y crujiente, mientras que la remolacha y la acelga añaden colores vibrantes a las mezclas.

Los tiempos de cosecha varían, lo que permite una planificación escalonada para tener microgreens frescos disponibles continuamente. Se puede sembrar en diferentes momentos para escalonar las cosechas.

Los cultivos con tiempos de cosecha más cortos liberan espacio rápidamente, permitiendo la siembra de nuevos microgreens y aumentando la eficiencia del espacio de cultivo.

La tabla proporciona información esencial para la planificación del cultivo de microgreens, destacando la variabilidad en los tiempos de cosecha de diferentes hortalizas. Entender estos tiempos permite a los productores de microgreens optimizar la rotación de cultivos, gestionar mejor sus recursos y maximizar la producción de microgreens frescos y de alta calidad a lo largo del año.

Variables de rendimiento

Tabla 5. Rendimiento

Cultivo	Rendimiento g/m^2
Zanahoria	995 g
Rabanito	1408 g
Remolacha	529 g
Acelga	423 g
Nabo	1535 g
Espinaca	423 g

La tabla proporciona información sobre el rendimiento de diferentes cultivos de microgreens, medido en gramos por metro cuadrado (g/m²). Este valor

es crucial para entender cuánta producción se puede esperar de una superficie cultivada determinada.

Zanahoria (995 g/m²): las zanahorias tienen un rendimiento de 995 gramos por metro cuadrado. Este es un rendimiento relativamente alto para microgreens, indicando una buena producción en una superficie cultivada.

Rabanito (1408 g/m²): los rabanitos tienen el segundo rendimiento más alto de la lista, con 1408 gramos por metro cuadrado. Esto los hace una opción muy eficiente y rentable para el cultivo de microgreens, proporcionando una gran cantidad de producto por área cultivada.

Remolacha (529 g/m²): la remolacha tiene un rendimiento de 529 gramos por metro cuadrado. Este es un rendimiento más bajo en comparación con otros cultivos en la lista, pero sigue siendo significativo, especialmente considerando el valor añadido de su color y sabor únicos.

Acelga (423 g/m²): la acelga tiene un rendimiento de 423 gramos por metro cuadrado. Este es uno de los rendimientos más bajos en la lista, pero la acelga es apreciada por su color y textura, lo que puede justificar su cultivo a pesar de un rendimiento menor.

Nabo (1535 g/m²): los nabos tienen el rendimiento más alto de la lista, con 1535 gramos por metro cuadrado. Esto los hace extremadamente eficientes para el cultivo de microgreens, ofreciendo una gran cantidad de producto por unidad de área.

Espinaca (423 g/m²): la espinaca tiene un rendimiento de 423 gramos por metro cuadrado, igual que la acelga. Aunque el rendimiento es relativamente bajo, la espinaca es popular por sus beneficios nutricionales y su versatilidad en la cocina.

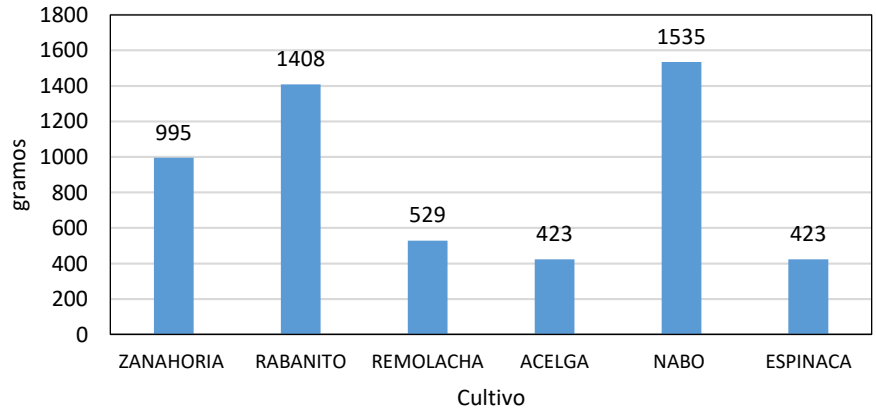

Figura 5. Rendimiento en materia verde

Los cultivos con rendimientos más altos (rabanito, nabo) son muy eficientes en términos de producción por unidad de área, lo que es ideal para maximizar el uso del espacio y obtener el mayor retorno de la inversión.

Aunque algunos cultivos tienen rendimientos más bajos (remolacha, acelga, espinaca), su cultivo puede estar justificado por sus características únicas en sabor, color y textura, lo que añade valor a las mezclas de microgreens y atrae a diferentes mercados.

Los agricultores pueden planificar el uso del espacio basado en los rendimientos esperados. Por ejemplo, podrían dedicar más espacio al cultivo de rabanitos y nabos para obtener mayores rendimientos totales, mientras mantienen áreas más pequeñas para cultivos como la remolacha y la acelga para diversificación.

Conocer los rendimientos permite a los productores ajustar la densidad de siembra y las prácticas de manejo para optimizar la producción y la calidad de los microgreens.

Los resultados de la densidad de siembra en relación con el rendimiento en el cultivo de microgreens puede proporcionar valiosa información sobre la eficiencia y productividad de cada cultivo. Zanahoria: con una densidad de siembra relativamente baja, las zanahorias ofrecen un buen rendimiento. Esto sugiere que las semillas de zanahoria son eficientes en convertir una baja cantidad de semillas en una producción significativa de microgreens. Rabanito: los rabanitos tienen una densidad de siembra alta y proporcionan el segundo mayor rendimiento. Esto muestra que una siembra densa es efectiva para maximizar la producción, siendo uno de los cultivos más eficientes en términos de rendimiento por cantidad de semillas. Remolacha: aunque la remolacha tiene una densidad de siembra alta, su rendimiento es relativamente bajo en comparación con otros cultivos. Esto indica que la remolacha puede no ser tan eficiente en términos de producción de microgreens, aunque aporta valor por sus colores y sabores únicos. Acelga: La acelga tiene una densidad de siembra moderada-alta y un rendimiento bajo. Similar a la remolacha, su valor puede radicar más en sus características organolépticas que en la eficiencia de producción. Nabo: los nabos tienen la mayor densidad de siembra y el mayor rendimiento. Esto sugiere una alta eficiencia en términos de producción de microgreens, siendo el cultivo más productivo por área

sembrada. Espinaca: la espinaca, con la misma densidad de siembra que la acelga, muestra un rendimiento similar. Al igual que la acelga, la espinaca puede ser valiosa por su sabor y valor nutricional más que por su eficiencia de producción.

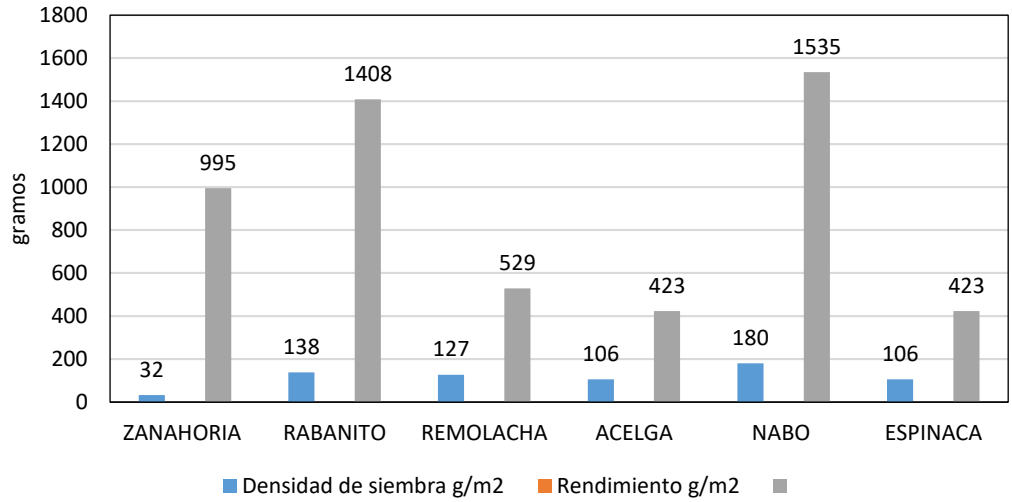

Figura 6. Densidad de siembra Vs. Rendimiento.

Los cultivos de nabo y rabanito son los más eficientes en términos de conversión de la densidad de siembra en rendimiento. Estos cultivos proporcionan altos rendimientos incluso con densidades de siembra altas.

A pesar de tener densidades de siembra más bajas, la zanahoria ofrece un buen rendimiento, lo que sugiere una alta eficiencia en la producción de microgreens.

Aunque la remolacha, acelga y espinaca tienen rendimientos más bajos, su valor puede estar en la diversidad que aportan a las mezclas de microgreens y en sus características de sabor, color y nutrientes.

Los agricultores pueden utilizar esta información para planificar y optimizar su producción de microgreens, eligiendo cultivos de alto rendimiento para maximizar la producción y complementándolos con cultivos de valor agregado para diversificación.

La relación entre la densidad de siembra y el rendimiento varía entre los cultivos de microgreens. Los nabos y rabanitos destacan por su alta eficiencia y productividad, mientras que la zanahoria muestra un buen equilibrio entre baja densidad de siembra y alto rendimiento. La remolacha, acelga y espinaca, aunque menos eficientes en términos de producción, ofrecen beneficios adicionales en términos de diversificación y características organolépticas. Esta información es crucial para la planificación estratégica de la producción de microgreens, permitiendo a los productores maximizar tanto la cantidad como la calidad de su cosecha.

CONCLUSIONES

Los microgreens son plantas jóvenes cosechadas temprano en su ciclo de crecimiento, ideales para una rotación rápida, que puede ser una alternativa para productores urbanos.

El rabanito destaca con un ciclo de 7 días, mientras que la zanahoria necesita 21 días. Estos tiempos permiten una producción continua y eficiente. Los valores de germinación superan el 80%, asegurando una producción consistente.

La cantidad de semillas por gramo varía entre cultivos, influenciando la densidad de siembra y minimizando desperdicios. Cultivos como el nabo y el rabanito, con alta densidad y rendimientos superiores, destacan por su eficiencia. Esto permite a los agricultores optimizar recursos y asegurar una producción óptima de microgreens.

BIBLIOGRAFÍA

Blanco, V. M. W. (2019). (*Eruca sativa* Mill.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL PATACAMAYA Determination of the effect of earthworm humus on arugula (Eruca sativa Mill .) at Patacamaya Experimental Station. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, *6*, 60–65.

Bouranis, J. A., Wong, C. P., Beaver, L. M., Uesugi, S. L., Papenhausen, E. M., Choi, J., Davis, E. W., Nunes, A., Silva, D., Kalengamaliro, N., Chaudhary, R., Kharofa, J., Takiar, V., Herzog, T. J., Barrett, W., & Ho, E. (2023). Sulforaphane Bioavailability in Healthy Subjects Fed a Single Serving of Fresh Broccoli Microgreens. *Foods*, *12*, 1–11. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods12203784

Chilon, E. C. (2018). *El Paradigma "Suelo Vivo " The " Living Soil " Paradigm*. *4*(2), 1188–1211.

Coxca, M. M. (2020). Caracterización tecnológica de las unidades de producción de tomate bajo invernadero en Puebla

Resumen Introducción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *11*(5), 979–992.

Cruz, A. (2020). *DESARROLLO DE UN MODELO NUMÉRICO PARA EVALUAR EL AMBIENTE DE INVERNADEROS DEDICADOS A LA PRODUCCIÓN INTENSIVA DE TOMATE Doctor en Ciencias y Tecnología del Agua*. Instituto Mexicano de Tecnología de Agua.

Giordano, M., Ciriello, M., Formisano, L., El-nakhel, C., Pannico, A., Graziani, G., Ritieni, A., Kyriacou, M. C., Rouphael, Y., & Pascale, S. De. (2023). Iodine-Biofortified Microgreens as High Nutraceutical Value Component of Space Mission Crew Diets and Candidate for Extraterrestrial Cultivation. *Plants*, *12*(2628), 1–22. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants12142628

Guillermo, A. C. E. (2016). *DISTRIBUCION POBLACIONAL DE MICORRIZAS EN LOS CULTIVOS DE PAPA (Solanum tuberosum) Y QUINUA (Chenopodium quinoa Willd.) AFECTADOS POR EL CAMBIO CLIMATICO EN EL MUNICIPIO DE PATACAMAYA*. Universidad Mayor de San Andres.

Gupta, A., Sharma, T., & Singh, S. P. (2023). Prospects of microgreens as budding living functional food : Breeding and bioforti fi cation through OMICS and other approaches for nutritional security. *Frontiers in Genetics*, *January*, 1–22. https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1053810

Kyriacou, M. C., El-nakhel, C., Pannico, A., Graziani, G., Soteriou, G. A., Giordano, M., Palladino, M., Ritieni, A., Pascale, S. De, & Rouphael, Y. (2020). Phenolic Constitution, Phytochemical and Macronutrient Content in Three Species of Microgreens as Modulated by Natural Fiber and Synthetic Substrates. *Antioxidants*, *9*(252), 1–23. https://doi.org/doi:10.3390/antiox9030252

Milica, Acimovic - Nataša, Samardžić - Olja, Šovljanski - Biljana, Lončar - Lato, P. (2023). The potential of hydrolates for use in the production of alfalfa micro sprouts : sanitizers and flavour enhancers. *Research Square*, 1–16. https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3676886/v1

Miranda, R.; Yujra, E. (2019). *Evaluación de la metodología Bray-Kurtz y Olsen para la determinación de fósforo disponible en suelos Evaluation of the Bray-Kurtz and Olsen methodology for the determination of available phosphorus in soils*. *5*(1), 1407–1414.

Mirela PARASCHIVU, Otilia COTUNA, V. S., & Carmen Claudia DURĂU, R. A. P. (2021). MICROGREENS - CURRENT STATUS, GLOBAL MARKET TRENDS AND FORWARD STATEMENTS. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, *21*(3), 633–640.

Moraru, P. I., & Rusu, T. (2022). Trial Protocol for Evaluating Platforms for Growing Microgreens in Hydroponic Conditions. *Foods*, *11*(1327), 1–16. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods11091327

Rajan, P., Lada, R. R., & Macdonald, M. T. (2019). Advancement in Indoor Vertical Farming for Microgreen Production. *American Journal of Plant Sciences*, *10*, 1397–1408. https://doi.org/10.4236/ajps.2019.108100

Sharma, A., Hazarika, M., Heisnam, P., Pandey, H., Devadas, V. S., Singh, D., Wangsu, M., & Kartha, B. D. (2023). Influence of storage conditions, packaging, post-harvest technology, nanotechnology and molecular approaches on shelf life of microgreens. *Journal of Agriculture and Food Research*, *14*(August), 100835. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100835