



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE POSTGRADO

**PRODUCCIÓN DE AMARANTO (*Amaranthus* spp.) BAJO DIFERENTES
CONDICIONES DE MANEJO EN CAMPO Y POSTCOSECHA**

Tesis para optar al Grado de Magíster en Producción Agrícola

JUAN SALVADOR MÁRQUEZ GUILARDES

SANTIAGO – CHILE

2023

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

PRODUCCIÓN DE AMARANTO (*Amaranthus* spp.) BAJO DIFERENTES
CONDICIONES DE MANEJO EN CAMPO Y POSTCOSECHA

Tesis/AFE presentada como parte de los requisitos para optar al Grado de Magíster en
Ciencias Agropecuarias

JUAN SALVADOR MÁRQUEZ GUILARDES

	Calificaciones
GUIA DE TESIS/AFE	
Cecilia Baginsky G.	6,0
Ingeniera Agrónoma, MS, Ph.D.	
Víctor Escalona C.	6,3
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.	
PROFESORES/AS CONSEJEROS/AS	
Rodrigo Callejas R.	6,5
Ingeniero Agrónomo, Ph.D	
Reinaldo Campos V.	7,0
Ingeniero Agrónomo, Ph.D	

Santiago, Chile
2023

ÍNDICE

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
Introducción	7
Hipótesis	9
Objetivos generales	9
Objetivos específicos	9
MATERIALES Y MÉTODOS	10
OBJETIVO GENERAL 1	10
Ubicación del estudio.....	10
Material vegetal.....	10
Tratamientos y diseño experimental.....	10
Manejo del experimento.....	11
Riego y demanda hídrica.....	11
Variables a medir.....	12
Mediciones de fenología.....	12
Mediciones de biomasa.....	12
Mediciones de rendimiento.....	12
Eficiencia del agua de riego.....	12
Coeficiente de reparto.....	13
Índice de cosecha.....	13
OBJETIVO GENERAL 2	13
Ubicación del estudio.....	13
Material vegetal.....	13
Manejo del experimento.....	14
Tratamientos y diseño experimental.....	14
Variables a medir.....	15
Manejo de los microgreens previo al almacenamiento.....	16
Almacenamiento.....	16
Variables a medir.....	16
Análisis estadístico	18
RESULTADOS	19
OBJETIVO GENERAL 1	19
Condiciones ambientales durante el cultivo.....	19
Desarrollo del cultivo.....	19
Componentes del rendimiento.....	20
Coeficiente de reparto.....	24
Eficiencia de uso del agua.....	25
OBJETIVO GENERAL 2	26
Condiciones ambientales durante el cultivo.....	26
Parámetros físicos.....	26
Características de las variedades a cosecha.....	26
Materia seca.....	26
Color.....	27
Variación de la concentración de gases (Benito).....	27
Pérdida de peso para la variedad Benito.....	28
Pérdida de peso para la variedad PQ2.....	29
Color para la variedad Benito.....	30
Color para la variedad PQ2.....	31

Fuerza máxima var. Benito	32
Fuerza máxima var. PQ2.....	33
Recuentos microbiológicos	33
DISCUSIÓN	35
CONCLUSIONES	40
LITERATURA CITADA	41
APÉNDICE	50
ANEXOS	51

RESUMEN

El cambio climático está teniendo un grave impacto en el país, especialmente en las zonas agrícolas que sufren de escasez de agua. Esto plantea un problema para la producción de alimentos, por lo que es necesario buscar nuevas tecnologías y cultivos que se adapten a esta situación. El Amaranto (*Amaranthus spp.*) es un cultivo C4 muy prometedor para regiones con déficit hídrico, debido a su alto valor nutricional y su capacidad de adaptación a diferentes ambientes. Se llevaron a cabo dos ensayos para evaluar la viabilidad productiva del amaranto en diferentes formatos: granos y microgreens, con el objetivo de reducir el consumo de agua. En el ensayo de producción de granos, se sometieron las plantas de amaranto (*Amaranthus cruentus* L., variedad Benito) a tres niveles de riego: 0%, 30%, 60% y 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) a partir del inicio de la emisión de panoja. Los resultados mostraron que los ensayos con reposición del 100% de la ETc presentaron el mayor rendimiento (3,3 toneladas por hectárea), mientras que los tratamientos con reposición del 60% y 30% no mostraron diferencias significativas, con un rendimiento promedio de 1,6 toneladas por hectárea. El tratamiento sin reposición de agua fue el más afectado, con un rendimiento de 787 kg por hectárea. En el estudio de los microgreens, se evaluaron las variedades Benito y PQ2, cosechadas entre 3 y 5 cm de altura. Se midió el rendimiento en fresco y se sometieron a tres temperaturas (5, 10 y 15°C) y dos tipos de bolsas (sin perforar y perforada) durante 14 días. Los parámetros de calidad física evaluados durante el almacenamiento mostraron que la combinación de una temperatura de 5°C y bolsas sin perforar presentó la menor pérdida de peso y firmeza, con una pérdida de peso promedio de entre 1% y 3% para ambas variedades. El recuento de bacterias mesófilas aerobias varió entre 6,88 y 7,85 log UFC g⁻¹ para las diferentes temperaturas y condiciones atmosféricas. Se logró aumentar la vida útil en postcosecha de los microgreens de amaranto hasta 5 días, siempre y cuando se mantuvieran las condiciones de almacenamiento a una temperatura de 5°C y en bolsas sin perforar.

Palabras claves: rendimiento de granos, microgreens, EUAr, almacenamiento

ABSTRACT

Climate change is having a severe impact on the country, particularly in agricultural areas facing water scarcity. This poses a problem for food production, necessitating the search for new technologies and crops that can adapt to this situation. Amaranth (*Amaranthus spp.*) is a highly promising C4 crop for regions with water deficits due to its high nutritional value and adaptability to diverse environments. Two trials were conducted to assess the productive feasibility of amaranth in different formats: grains and microgreens, with the aim of reducing water consumption. In the grain production trial, amaranth plants (*Amaranthus cruentus L.*, var. Benito) were subjected to three irrigation levels: 0%, 30%, 60%, and 100% of crop evapotranspiration (ETc) from the beginning of panicle emergence. The results showed that the trials with 100% ETc replenishment had the highest yield (3.3 tons per hectare), while the treatments with 60% and 30% replenishment did not show significant differences, averaging 1.6 tons per hectare. The treatment without water replenishment was the most affected, with a yield of 787 kg per hectare. In the microgreens study, the Benito and PQ2 varieties were evaluated. The microgreens were harvested at heights between 3 and 5 cm. Fresh yield was measured, and they were subjected to three temperatures (5, 10, and 15°C) and two types of bags (non-perforated and perforated) for 14 days. Physical quality parameters evaluated during storage showed that the combination of a temperature of 5°C and non-perforated bags resulted in the lowest weight and firmness loss, with an average weight loss of 1% to 3% for both varieties. The count of mesophilic aerobic bacteria ranged from 6.88 to 7.85 log CFU g⁻¹ for different temperatures and atmospheric conditions. The postharvest shelf life of amaranth microgreens was extended up to 5 days, provided that the storage conditions were maintained at a temperature of 5°C and in non-perforated bags.

Keywords: grain yield, microgreens, WUEy, storage

Introducción

El amaranto (*Amaranthus* spp.) es considerado un cultivo ancestral originario de América cuya data se remonta a más de siete mil años (Stetter y Schmid, 2017), existiendo más de 70 especies reconocidas dentro de este género. El principal uso que se le ha dado al amaranto es la producción de granos para la fabricación de harinas, granolas, entre otros. La importancia del grano radica en su alto aporte de proteínas y un perfil aminoacídico completo (Rocío *et al.*, 2007). Además, los granos poseen un alto contenido de fibras y compuestos funcionales (Castelvi, 2010). Otra forma de consumo del amaranto son sus hojas, las cuales pueden ser utilizadas como hortalizas frescas y/o deshidratadas siendo los países africanos y de Oceanía los que lideran esta forma de consumo. Estas hojas también poseen un alto valor nutritivo y mineral (Makus y Davis, 1984; Huerta *et al.* 2012). Las especies de mayor importancia para la producción tanto de hoja como de grano incluyen a *A. cruentus* y *A. hypochondriacus*, entre otras (Matías *et al.* 2018; Stallknecht y Schulz-Schaeffer, 1993).

La introducción del amaranto en la agricultura mundial ha sido muy compleja, sobre todo en países menos desarrollados debido a una producción bajo el sistema de agricultura familiar campesina, con poco acceso a los mercados y a la tecnología (Juárez, 2019). Esta situación ha hecho que el manejo, tecnificación y criterios de riego estén poco desarrollados, en particular porque a nivel mundial, gran parte de la producción es en condiciones de secano (INAP, 2011).

Chile posee un clima Mediterráneo, en donde las lluvias se concentran durante el invierno (Di Castri y Hajek, 1976; Leubert y Piscoff, 2006), y el amaranto es una especie que, debido a su origen, presenta sensibilidad a las bajas temperaturas durante su desarrollo y crecimiento (Wright *et al.* 1999) por lo que debe cultivarse en primavera-verano en donde el suministro de agua es a través del riego. Sin embargo, y producto del cambio climático junto con la fuerte presión antrópica, los acuíferos no han logrado recuperarse por completo y las cuencas del centro-norte del país se ven cada día más vulnerables a estos efectos, existiendo zonas donde incluso el riego ya es deficitario para muchos de los cultivos tradicionales del país (Marquet, 2019). Esta situación ha generado la necesidad de buscar nuevas alternativas productivas y/o hacer un uso mucho más eficiente del agua existente. Bajo este contexto, el amaranto podría ser una excelente alternativa dadas sus características de tolerancia a la sequía y uso eficiente del agua para la producción de granos (Dinssa *et al.*, 2018). Adicionalmente dadas sus características de rápido crecimiento y alta producción de biomasa, frente a una condición de estrés (Omami y Hammes, 2006), también podría ser una opción para la producción de sus hojas debido a su corto período de crecimiento que reduciría el consumo de agua respecto a otras hortalizas de hoja.

En términos de producción de hojas de amaranto y frente al estrés hídrico, una alternativa, sería su obtención bajo microgreens o micro-hortalizas que ocuparían muy poca agua. Esta forma de producción corresponde a plantas en estado juvenil cosechadas con su primer par de hojas verdaderas donde el principal atractivo del amaranto son los colores rojo brillantes presentes en hojas y/o tallos, los que atraen a consumidores como cualidad principal (Meas *et al.*, 2020; Ahmad *et al.*, 2016; Ebert *et al.*, 2015); además de ser una buena fuente de minerales, vitaminas y antioxidantes (Treadwell, 2010). Según Ebert *et al.* (2015), el contenido de vitamina C, junto con otros antioxidantes en microgreens de amaranto es significativamente mayor en los brotes respecto a la planta completamente desarrollada.

El cultivo de microgreens es muy sencillo ya que requiere poca mano de obra, un casi nulo uso de pesticidas, fertilizantes y escaso uso del agua (Ahmad *et al.* 2016; Ebert *et al.* 2015). No

obstante, una vez cosechadas las plantas su vida postcosecha es muy corta ya que al ser una planta en estado juvenil y en pleno crecimiento presenta una alta tasa respiratoria (Ahmad *et al.*, 2016).

Manejo del amaranto y su tolerancia al estrés hídrico.

El amaranto es una especie C₄, por lo que es muy eficiente en la carboxilación o fijación de carbono de la fotosíntesis lo que se traduce en una mayor producción de biomasa en comparación a plantas C₃ (Martínez *et al.*, 2016; Stallknecht y Schulz-Schaeffer, 1993), requiriendo, además, 3/5 partes del agua respecto a una especie C₃ para producir la misma cantidad de biomasa (Hauptli, 1977). Sus características fisiológicas le permiten hacer frente a la sequía, a través de su capacidad de ajuste osmótico o la reducción de la transpiración mediante la disminución de la tasa de expansión foliar (Liu y Stützel, 2002a y b). Existen algunos estudios en amaranto que apuntan a evaluar el efecto del estrés hídrico sobre la producción de biomasa y rendimiento de grano; así Johnson y Henderson (2002) al evaluar distintas variedades y especies de amaranto (*A. cruentus*) destacó que es posible alcanzar la mayor producción de grano bajo condiciones de sequía, con un rendimiento 66% mayor al resto en condiciones de riego. Dentro de este mismo estudio las dos variedades mejor evaluadas fueron MT-3 y K283 con una eficiencia en el uso del agua promedio de 30,3 kg de biomasa total por ha por mm de agua y de 6,0 kg/ha por mm de agua, obteniéndose un rendimiento promedio de 1,4 ton/ha y los índices de cosecha promedio de 12,4% para ambas variedades. Dentro de esta investigación se alcanzó una EUA para producción de biomasa aérea total (EUAb) para estas variedades de hasta 34,7 kg/ha/mm con un uso total de agua de 365 mm, destacándose valores de 38,6 kg/ha/mm al utilizar cantidades tan bajas como 162 mm, y concluyéndose que a menor disponibilidad de agua la eficiencia de uso del agua aumentó. También se destaca la investigación de Ojo (2013) quien en *A. cruentus* encontró cambios en la EUAb con distintas concentraciones de P (Fósforo) y disponibilidad de agua. Este autor concluyó que, con una cantidad adecuada de agua y P, el amaranto alcanza una EUAb de 3,22 g de materia seca por litro de agua mientras que en condiciones de estrés hídrico la EUAb fue de 8,26 g de materia seca por litro de agua, independientemente de la disponibilidad de P.

Condiciones de conservación postcosecha de microgreens

Los microgreens siguen un patrón de estrés inducido como consecuencia del corte al momento de la cosecha, favorecido por inadecuadas condiciones de almacenamiento y embalaje a temperaturas incorrectas que favorecen la deshidratación y la pérdida de calidad, limitando su vida útil (Hodges y Toivonen, 2008; Kou *et al.* 2014b). En este sentido, uno de los aspectos más relevantes en el manejo postcosecha de los microgreens es el empleo adecuado de la refrigeración para reducir el metabolismo de estas plántulas (Meas *et al.*, 2020; Ahmad, *et al.*, 2016; Ebert *et al.*, 2015). Existe un impacto directo que provoca la reducción de la temperatura sobre el aumento del número de días de almacenamiento de los microgreens al reducir la tasa respiratoria y las actividades metabólicas relacionadas a los procesos de senescencia (Xiao *et al.*, 2014). La limitada vida útil de los microgreens, que bordea de 2 a 4 días a temperatura ambiente, se podría extender de 10 hasta 15 días ajustando la temperatura y modificando la concentración de gases de la atmósfera que rodea los microgreens (Chandra *et al.*, 2012; Kou *et al.*, 2013; Kou *et al.*, 2014a; 2015). Por tanto, mantener siempre la cadena de frío en un rango de temperatura correcto es imperativo, ya que el mal uso de temperatura acelera la senescencia (Kou *et al.*, 2014b; Kou *et al.*, 2014a).

Hipótesis

1. Para la producción de granos de amaranto es factible lograr un manejo del riego que permita un aumento en la eficiencia en el uso del agua manteniendo un rendimiento estable.
2. Para la vida en postcosecha, en formato de microgreens, es factible un aumento de 5 días en su vida útil, ajustando la temperatura y la concentración de gases bajo la técnica de atmósfera modificada.

Objetivos generales

- 1.- Producir granos de amaranto con una alta eficiencia en el uso del agua de riego.
- 2.- Producir microgreens de amaranto con una alta durabilidad en postcosecha.

Objetivos específicos

1. Analizar la producción de biomasa, rendimiento y reparto de materia seca en amaranto bajo distintas condiciones hídricas.
2. Determinar las condiciones de temperatura y atmósfera modificada en postcosecha que permitan alargar la vida de los microgreens.

MATERIALES Y MÉTODOS

OBJETIVO GENERAL 1: Producir granos de amaranto con una alta eficiencia en el uso del agua.

Ubicación del estudio

El ensayo se llevó a cabo en el predio particular “Chacra Dolores” ubicado en la Comuna de Isla de Maipo de la Provincia de Talagante ubicado en las coordenadas 33° 46’ 49” latitud sur y 70° 54’ 05” longitud oeste, Región Metropolitana de Santiago (Chile). Las características climáticas de la zona correspondieron a un clima templado del tipo Mediterráneo, con una larga estación seca y un corto período invernal lluvioso. La zona posee un período libre de heladas de 7 meses (CNR, 1987) y la temperatura media anual es de 14°C, siendo el mes más cálido enero con una temperatura media de 30,5°C y el mes más frío junio con una temperatura media de 3,5°C. Durante el cultivo la temperatura máxima se registró en los meses de diciembre y enero con 35,2 °C, mientras que la mínima se registró en el mes de octubre con una temperatura de 2,2 °C. Las características más notorias son lluvias de invierno, con promedios anuales en los últimos años de 153,7 mm. La serie de suelo corresponde a Isla de Huechún (Fluventic Haploxeroll), que corresponde a suelos de origen aluvial de clase textural areno francoso fino con una profundidad efectiva de 60 a 130 cm. Son suelos moderadamente bien drenados con una permeabilidad rápida y escurrimiento superficial lento (CNR, 1981).

Material vegetal

El germoplasma que se utilizó fue la variedad “Benito” perteneciente a la especie *Amaranthus cruentus* L., procedente del INIFAP (Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) de México. Esta variedad ha presentado un buen comportamiento en ensayos previos realizados en la zona Central de Chile (Cubillos, 2020).

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos consistieron en cuatro niveles de agua de riego a aplicar, los que consistieron en la reposición del 100, 60, 30 y 0% de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) (Cuadro 1). Los tratamientos hídricos comenzaron a aplicarse en estado de inicio de emisión de panoja, condición que se produjo a los 37 días después del trasplante (DDT).

Cuadro 1. Tratamientos del ensayo de amaranto en Isla de Maipo.

Tratamiento	Nivel de riego (% ET_c)
T1	100
T2	60
T3	30
T4	0

Se estableció un diseño en bloques completamente aleatorizado donde cada bloque representó una repetición y contempló los cuatro tratamientos, el factor de bloqueo correspondió a las líneas de riego. La unidad experimental fue constituida por una parcela de 10 m de largo por 3,5 m de ancho. Cada parcela constó de 5 hileras separadas a 70 cm cada una. El ensayo en su totalidad abarcó una superficie de 722,4 m², correspondiente a un largo de 43 m por 16,8 m de ancho. Cada bloque estuvo separado por pasillos de 1 m de ancho (Apéndice I, Figura 1).

Manejo del experimento

El cultivo se estableció mediante el sistema almácigo-trasplante y se dispuso de 90 bandejas almacigueras de poliestireno expandido con 104 alvéolos cada una. El sustrato consistió en una mezcla de turba con perlita en una relación 3:1 respectivamente. En cada uno de los alveolos se sembró al voleo localizado, de modo que se estimaron aproximadamente entre 8 y 10 semillas por alveolo. Luego de la emergencia de las semillas a los 7 días desde la siembra, se procedió a ralea cada alveolo, para así dejar entre 4 a 5 plántulas.

Previo al trasplante, se preparó el suelo con un arado de vertedera el cual permitió incorporar el rastrojo de avena del cultivo anterior; posteriormente, se empleó una rastra para dejar el suelo mullido. Una vez preparado el suelo se llevó a cabo el trasplante al campo, 42 días después de emergencia de las plantas, cuando aproximadamente el 50% se encontraba con al menos 4 hojas verdaderas expandidas. Luego, 23 días después de trasplante, las plantas se ralearon en campo donde se dejaron 10 plantas por metro lineal.

Con base a un análisis químico de suelo, se determinó que la concentración de nitrógeno era de 39 mg kg⁻¹, 69 ppm de fósforo y 190 ppm de potasio y que de acuerdo con los requerimientos nutricionales del cultivo establecidos por Ramírez *et al.* (2011), se fertilizó con 80 kg de nitrógeno aplicado manualmente como urea depositándolo a una distancia de aproximada 5 cm de la hilera. Para el caso de fósforo y potasio no fue requerida la aplicación debido a los altos valores observados en el análisis (Anexo I). El control de malezas fue manual a lo largo del desarrollo de las plantas.

Riego y demanda hídrica

Durante todo el ciclo del cultivo se registraron los valores diarios de radiación solar global, temperatura, precipitación y humedad relativa, los cuales fueron obtenidos desde la estación meteorológica San Antonio de Naltahua, perteneciente a la Red Agrometeorológica de INIA (<http://agromet.inia.cl>).

El riego se aplicó mediante goteo con cintas en hilera simple con emisores ubicados a 20 cm con un caudal de 1 L h⁻¹. El riego se planificó a través de un programador electrónico serie RZXi Rain Bird y la humedad de suelo se evaluó de forma continua por un sistema Decagon EC-5, en contenido volumétrico de agua (%). La demanda hídrica del cultivo se determinó en base a la evapotranspiración del cultivo (ET_c), la que fue calculada a través de la multiplicación de la evapotranspiración de referencia (ET₀) y el coeficiente del cultivo (K_c) (ecuación 1). La ET₀ fue obtenida de la estación meteorológica San Antonio de Naltahua y se utilizó un valor de 1 como K_c al inicio de tratamientos, simulando un comportamiento similar al de la quínoa (García *et al.*, 2003) debido a que no existen datos de K_c para amaranto y por ser una especie perteneciente a la misma familia. Dado que el K_c depende de la cobertura del cultivo (FAO, 2006), a medida que las plantas se fueron desarrollando y diferenciándose los tratamientos, se

ajustó el valor de K_c mediante una estimación visual de la cobertura del cultivo. El valor mínimo fue de 0,8 para el tratamiento de 30% y de 0,9 en el tratamiento del 100%; la ET_c fue repuesta de forma diaria. Los montos de riego fueron cuantificados para cada tratamiento mediante caudalímetros.

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (1)$$

Variables a medir

Mediciones de fenología

Los estados fenológicos de la planta se evaluaron semanalmente, contando el número de hojas y ramificaciones que tenía la planta, y posteriormente el inicio de emisión de panoja (ápice de la inflorescencia visible en el extremo del tallo), anthesis (al menos una flor abierta mostrando los estambres separados y el estigma completamente visible) y madurez fisiológica (granos con un aspecto traslucido llamado “ojo de gato”). Además, se registró el momento de madurez de cosecha (cuando al mover las panojas se sueltan los granos fácilmente). Se consideró como momento de ocurrencia de cada estado fenológico cuando el 50% de las plantas de la unidad experimental presentaron dicho estado.

Mediciones de biomasa

Las mediciones se realizaron semanalmente, desde 4ª hoja hasta madurez fisiológica. La unidad de muestreo fue de 1 metro lineal obtenido de las hileras centrales de cada unidad experimental. Las plantas de cada metro lineal fueron cortadas a ras de suelo, separando posteriormente las distintas estructuras que las conforman tales como hojas, tallos e inflorescencias según fuera el caso. Estas estructuras se colocaron en estufa con aire forzado y se secaron durante 70°C por 48 horas hasta que tuvieran un peso constante. Esto se realizó con el objetivo de hacer comparable los resultados de biomasa

Mediciones de rendimiento

Para medir el rendimiento, una vez que las plantas llegaron a madurez fisiológica se cosecharon aquellas ubicadas en los 2 m de las hileras centrales de cada unidad experimental (4 m lineales en total). Éstas fueron secadas en estufa y pesadas para obtener la biomasa total siguiendo la metodología explicada anteriormente. Posteriormente las panojas fueron trilladas y el grano se limpió a través de harneros y ventiladores para finalmente determinar el peso de los granos limpios, el peso de 1.000 granos y con ello determinar el número de granos por unidad de superficie.

Eficiencia del uso del agua de riego

En este caso, los cálculos de EUA (ecuación 2) se realizaron concordantes a las mediciones de biomasa total aérea y el rendimiento total por tratamiento utilizando el monto total de agua aplicado en metro cúbicos (m^3), por lo que se obtuvo una EUA_B para la biomasa aérea total y una EUA_Y para el rendimiento.

$$EUA_B = B/m^3t \text{ y } EUA_Y = Y/m^3t \quad (2)$$

Coefficiente de reparto

Para medir el coeficiente de reparto de cada órgano de la planta, se utilizó la siguiente fórmula:

$$CR_i = \frac{\Delta B_i}{\Delta B}$$

En donde CR_i = coeficiente de reparto del órgano i , ΔB_i = variación de biomasa del órgano i ($g\ m^{-2}$) y ΔB = variación de biomasa de la planta completa ($g\ m^{-2}$) (Villalobos *et al.*, 2009). Esto se estimó en base a datos de biomasa simulados obtenidos de la siguiente función según Milthorpe y Moorby (1982):

$$B_i = \frac{a}{1 + b \cdot e^{-c \cdot t}}$$

Donde a , b y c son parámetros del modelo, B_i la biomasa del órgano i y t es el tiempo medido en días después de emergencia.

Índice de cosecha

Para el cálculo del índice de cosecha, se utilizó la siguiente fórmula:

$$IC = \text{Rendimiento} / \text{Biomasa}$$

OBJETIVO GENERAL 2: Producción de microgreens de amaranto y postcosecha.

Ubicación del estudio

El lugar de estudio para el cultivo y ensayo de microgreens se realizó en el Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, coordenadas $33^\circ 34' 10.9''$ latitud sur y $70^\circ 38' 05.9''$ longitud oeste, Región Metropolitana, Santiago (Chile).

Material vegetal

Los germoplasmas que se utilizaron fueron la variedad “Benito” perteneciente a la especie *Amaranthus cruentus* L., procedente del INIFAP (Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) de México y la variedad y “PQ2” perteneciente a la especie *Amaranthus hypochondriacus* L., generada en la Universidad Autónoma de Chapingo (UACh). Ambas variedades se caracterizan por presentar hojas con un gusto dulce, colores verdes y rojos, respectivamente (Díaz, 2020).

Tratamientos y diseño experimental

Para la evaluación del rendimiento de los microgreens de las variedades PQ2 y Benito se realizó un primer ensayo. Para cada variedad se establecieron tres repeticiones. La repetición o unidad experimental (UE) correspondió a una bandeja plástica ($27,5 \times 53,5 \times 6$ cm) con sustrato de

turba y perlita con una relación 2:1 respectivamente, en donde se sembraron las semillas de amaranto. El diseño estadístico fue totalmente aleatorizado.

Para la evaluación de la calidad y vida de postcosecha, se estableció un segundo ensayo el que contempló 6 tratamientos para 2 variedades (Cuadro 2) establecidos bajo un diseño completamente aleatorizado (DCA) con estructura factorial de 3 x 2, donde el primer factor correspondió a las temperaturas de almacenamiento (5, 10 y 15°C), y el segundo factor al tipo de atmósfera de conservación (bolsa perforada y bolsa sin perforar) (Cuadro 2). La repetición o unidad experimental correspondió a una bolsa con 20 g de “microgreens” y cada tratamiento contó con cinco repeticiones. Se consideró el día cero (cosecha) como el día con los parámetros de referencia donde los “microgreens” alcanzaron las máximas puntuaciones organolépticas.

Cuadro 2. Tratamientos del ensayo de microgreens compuestos por dos variedades, tres temperaturas (T°) y dos tipos de bolsa.

Variedad	Temperatura (°C)	Bolsa
Benito	15	Perforada
Benito	10	Perforada
Benito	5	Perforada
Benito	15	Sin perforar
Benito	10	Sin perforar
Benito	5	Sin perforar
PQ2	15	Perforada
PQ2	10	Perforada
PQ2	5	Perforada
PQ2	15	Sin perforar
PQ2	10	Sin perforar
PQ2	5	Sin perforar

Manejo del experimento

Las bandejas para los “microgreens” fueron rellenas con el sustrato antes indicado no sobrepasando más de 2 cm de altura, con una densidad de 8 plantas cm⁻², equivalentes a 4 g de semillas por bandeja y las semillas fueron dispuestas sobre la superficie del sustrato. Se instalaron 2 registradores de temperatura y humedad relativa (tipo Data Logger) al costado de las mesas en donde se situó el ensayo. El cultivo se realizó al interior de un invernadero tipo capilla cubierto de plástico y provisto con una pared húmeda que mantuvo una temperatura de 8 hasta 38°C.

El cultivo de los microgreens de amaranto se realizó durante los meses octubre a diciembre 2021. La fase de cultivo en invernadero fue de 13 días para cada variedad, donde luego se procedió a cosechar todas las bandejas y hacer las mediciones correspondientes, subsecuentemente la fase en cámara duró 14 días.

Durante los primeros dos días, las bandejas sembradas fueron cubiertas con otra bandeja con un peso de 1 kg aproximadamente, esto con el fin de separar el tegumento del germen de la semilla, mantener la humedad y asegurar uniformidad en la altura de los “microgreens”. El sustrato se mantuvo húmedo con la aplicación de agua por aspersión manual diariamente. Al

tercer día se removió el peso y la bandeja superior; se dejó que las plántulas se desarrollen normalmente y día por medio se aplicó riego por capilaridad utilizando una bandeja sellada por debajo como fuente, de tal manera que, al contener agua, esta subiera por los agujeros de la bandeja superior y mantuviera el sustrato húmedo.

Tras 14 días desde la siembra los “microgreens” se cosecharon con una altura de 3 a 5 cm, y cuando el 80% del cultivo presentó el estado de primera hoja verdadera, utilizando una tijera esterilizada con alcohol (75 mL/100mL), cortando desde la base de los tallos (1 cm sobre el sustrato) para evitar tomar sustrato con la plántula.

Se cosecharon los “microgreens” de cada UE eliminando aquellas plantas marchitas y con daños físicos. Cosechándose 350g de peso fresco en promedio por bandeja.

Variables a medir

Determinación de parámetros físicos de los “microgreens” una vez cosechados

Materia fresca Se midió la masa total de “microgreens” de amaranto cosechadas por bandeja a través de una balanza de precisión (Radwag, AS 100/C/2, Polonia). El resultado se expresó en gramos de materia fresca por bandeja y por m².

Porcentaje de materia seca (%): Se midió la materia seca de 5 g de microgreens frescos cosechados por bandeja, los cuales fueron dispuestos a secar en una estufa (LabTech, LFO-250F, Corea) a 80°C hasta que la muestra presentó un peso constante. Posteriormente se determinó el peso seco en una balanza semi-analítica (Kern, CMN3000-1, Alemania), se calculó la relación entre la materia seca y la materia fresca de la submuestra (5g). Los resultados se expresaron en porcentaje (%) de materia seca.

Altura (cm): Se midió el alto de los microgreens a través del uso imágenes digitales (fotografías). Se utilizaron 20 microgreens elegidos al azar de cada UE los cuales fueron dispuestos en un papel graduado en milímetros.

Color: Se midió el tono (h), saturación (C) y luminosidad (L) del cotiledón a través de un colorímetro compacto triestímulo (modelo: Minolta Chroma meter, CM – 2500d, Japón). Se utilizaron 20 microgreens elegidos al azar de cada repetición, los que fueron colocados sobre una cinta adhesiva y medidos sobre 5 puntos al azar (Lara, 2019). La luminosidad puede variar desde el negro (0) hasta el blanco (100); El valor de h corresponde al ángulo del tono, y se expresa en grados que van de 0° (inclusive) a 360° (excluido) dentro del espacio de color; y la saturación de un color describe el grado de pureza que presenta en relación con el gris neutral, lo cual determina la intensidad de un color.

Firmeza (N): Se midió la firmeza del hipocótilo del microgreen a través de un analizador de textura (Stable Micro Systems, TA.XT Express enhanced, Inglaterra), en el cual se adaptó una sonda cilíndrica P/2 de 2 mm de diámetro. La medición se ejecutó a una velocidad de 1 mm s⁻¹ hasta una profundidad de 0,5 mm. Se utilizaron 5 microgreens elegidos al azar de cada repetición. Los datos se analizaron mediante el Software Exponet Lite Express Versión 6.1 y los resultados se expresaron como la fuerza máxima (N) (Lara, 2019).

Se envasaron 20 g de microgreens por bolsa de polietileno (20 x 15 cm) sellada con calor para mantener una atmósfera interna <20% O₂ + >1% CO₂ y una humedad relativa del 95%. A otro

grupo de bolsas se le realizaron 8 perforaciones utilizando una aguja hipodérmica de 0,7 mm de diámetro para obtener un área de ventilación del 0,01%. El propósito de las perforaciones fue mantener en este grupo de bolsas una atmósfera interna similar al aire (20% O₂ + 0 a 1% CO₂) y alta humedad relativa de 95%. En promedio durante el ensayo, se obtuvo una concentración de O₂ de 20,6% y de CO₂ de 0,22% para las bolsas perforadas, mientras que, para las bolsas selladas se obtuvo una concentración de O₂ de 18% y de CO₂ de 0,74%. Se prepararon 30 bolsas por variedad, correspondientes a 10 bolsas por temperatura y 5 bolsas de distinto tipo de atmósfera.

Manejo de los microgreens previo al almacenamiento:

Lavado y centrifugado

Los microgreens cosechados se lavaron con una solución de 50 mg L⁻¹ de hipoclorito de sodio (NaClO) y con un pH de 7 a 5°C durante 2 min. Posteriormente se enjuagaron con agua potable por un minuto para eliminar restos de la solución sanitizante. Se eliminó el exceso de agua mediante una centrífuga manual durante 2 minutos. Seguidamente se colocaron los microgreens sobre mallas de acero inoxidable con papel absorbente por 3 min para eliminar el agua sobrante.

Almacenamiento

Las muestras se almacenaron a 5, 10 y 15°C durante 14 días, con evaluaciones en los días 0, 7 y 14 días.

Concentración de gases en el interior de las bolsas de microgreens

La medición de la concentración de gases dentro de cada bolsa de microgreens se realizó dos veces por semana utilizando un analizador de gases portátil (Dansensor, Check Point, Ringsted, Dinamarca). Los datos se expresaron en porcentaje de gases (O₂ y CO₂). El monitoreo de la concentración de gases se realizó para asegurar una atmósfera similar a la del aire en la bolsa perforada (>20% O₂ y < 1% CO₂).

Variables a medir

Determinación de parámetros físicos de los “microgreens” en almacenamiento

Pérdida de peso: Se midió el peso total de “microgreens” de amaranto a través de una balanza de precisión (Radwag, AS 100/C/2, Polonia) al inicio y luego de cada periodo de evolución. El resultado se expresó en porcentaje obtenido por diferencia de peso.

Color: Se midió el tono (h), saturación (C) y luminosidad (L) del cotiledón a través del uso de un colorímetro compacto triestímulo (modelo: Minolta Chroma meter, CM – 2500d, Japón). Se utilizaron 20 cotiledones de los “microgreens” elegidos al azar de cada repetición, los que fueron colocados sobre una cinta adhesiva con posición adaxial y medidos sobre 5 puntos al azar (Lara, 2019). La luminosidad puede variar desde el negro (0) hasta el blanco (100); El valor de h corresponde al ángulo del tono, y se expresa en grados que van de 0° (inclusive) a 360° (excluido) dentro del espacio de color; y la saturación de un color describe el grado de pureza que presenta en relación con el gris neutral, lo cual determina la intensidad de un color.

Firmeza (N): Se midió la firmeza del hipocótilo del microgreen a través de un analizador de textura (Stable Micro Systems, TA.XT Express enhanced, Inglaterra), en el cual se adaptó una sonda cilíndrica P/2 de 2 mm de diámetro. La medición se realizó a una velocidad de 1 mm s^{-1} hasta una profundidad de 0,5 mm. Se utilizaron 5 microgreens elegidos al azar de cada repetición. Los datos se analizaron mediante el Software Exponent Lite Express Versión 6.1 y los resultados se expresaron como la fuerza máxima (N) (Lara, 2019).

Evaluaciones microbiológicas

Se evaluaron las unidades formadoras de colonias de bacterias a través de la “siembra por inmersión” de 10 g de microgreens. Para el cual, se utilizó el medio “Plate count agar” (PC) para la siembra de bacterias mesófilas.

Se realizaron diluciones seriadas de -1 a -8 siendo la dilución -1 la correspondiente a una muestra de 10 g de “microgreens” macerados en 90 mL de agua peptonada mediante un homogeneizador (modelo: Masticator Classic, IUL, España) durante 60 s. En tanto, las diluciones siguientes se obtuvieron tomando 1 mL de la dilución que fue diluido en 9 mL de agua peptonada empleando un tubo falcón. Las diluciones se agitaron mecánicamente haciendo movimientos verticales por 30 s. Para la siembra por inmersión se tomó 1 mL de dilución y se agregó a una placa Petri estéril, repitiendo el procedimiento para cada muestra y dilución. Posteriormente en cada placa se agregó el medio de cultivo “Plate Count Agar” y se cubrió toda la superficie de la placa (10 a 15 mL aproximadamente) y luego se procedió a hacer movimientos circulares con las placas para asegurar la correcta dispersión de las colonias en el medio. Las placas con medio fueron conservadas a $37 \text{ }^{\circ}\text{C}$, para las muestras de bacterias mesófilas (Di Gioia et al., 2017). El recuento de colonias en las placas se realizó tras 48 h desde la inoculación para bacterias mesófilas empleando un contador de placas. Los recuentos totales, fueron expresados como el logaritmo de la unidad formadora de colonias por gramo ($\log \text{ UFC g}^{-1}$)

Análisis estadístico

En ambos ensayos de producción de granos, de microgreens y de postcosecha de estos, se comprobó que los datos cumplieran con los supuestos de normalidad y homogeneidad de los datos, con el fin de realizar un análisis de varianza (ANDEVA) y comparar las medias de los tratamientos a través de una prueba de comparación múltiple de Fisher ($p < 0,05$). Las interacciones detectadas entre los factores variedad, temperatura y tipo de bolsa se evaluaron a través de los modelos generales mixtos. Posteriormente se hizo una prueba de comparación múltiple LSD de Fisher ($P < 0,05$) entre los niveles de cada interacción. En los casos en que no se detectó interacción entre factores se procedió a evaluar cada factor por separado. Para el análisis estadístico se utilizó el programa estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2017).

RESULTADOS

OBJETIVO GENERAL 1

Condiciones ambientales durante el cultivo

La temporada 2017-2018 se caracterizó por presentar una primavera-verano seca y relativamente calurosa en Isla de Maipo, con temperaturas máximas de 35,2 °C en diciembre y enero, mientras que la mínima más baja se registró en el mes de octubre con una temperatura de 2,2 °C. Las variables meteorológicas durante el período de cultivo se detallan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Temperaturas máximas y mínimas, temperatura promedio mensual, humedad relativa y radiación solar registradas durante el periodo de desarrollo del cultivo.

Mes	T°máx	T°mín (°C)	T°prom	HR (%)	Rad. Solar (MJ m ⁻² día ⁻¹)
Octubre	28,3	2,2	14,1	69,7	20,1
Noviembre	33,2	5,1	17,1	68,5	23,8
Diciembre	35,2	6,6	19,4	66,1	27,7
Enero	35,2	7,1	19,7	68,3	26,0
Febrero	34,4	6,3	19,8	68,5	23,3

T°= temperatura, HR= humedad relativa.

Desarrollo del cultivo

El cultivo se extendió durante cuatro meses desde la siembra en almácigos hasta su cosecha para los cuatro tratamientos, siendo el tratamiento con 100% de la ETc (T1) el que se cosechó más tarde (86 DDT). La emergencia ocurrió el día 19 de octubre del 2017, a los siete días después de la siembra en tanto que el trasplante se hizo el día 29 de noviembre a los 42 días después de emergencia y el inicio de floración se produjo en promedio a los 45 días después de trasplante, el día 13 de enero del 2018. Los tratamientos de riego se iniciaron a los 37 días después de trasplante en tanto que las plantas llegaron a madurez fisiológica en distintos momentos por lo que las cosechas fueron desfasadas y los tratamientos con un 0 y 30% de la reposición de la evapotranspiración (ETc) adelantaron su madurez cosechándose en promedio 13 días antes (Cuadro 4). Previamente, el riego antes de los 37 días se determinó utilizando el 100% de la ETc para todos los tratamientos.

Cuadro 4. Días después del trasplante y sus respectivos estados de desarrollo para los diferentes tratamientos.

Nivel de riego (%ETc)	Inicio de panoja	Inicio de floración	Madurez fisiológica
	Días desde trasplante		
100%	31	46	85
60%	31	46	80
30%	31	44	73
0%	31	43	67

Componentes del rendimiento

Los parámetros acumulación de biomasa seca aérea total, el rendimiento de granos, índice de cosecha y número de granos por m², presentaron un comportamiento similar observándose una disminución significativa al disminuir el riego en las plantas (Cuadro 5). Para estos parámetros el tratamiento de 100% de reposición de la ETc, generó los mayores valores, siendo un 53%, 76,6%, 50% y 73% superior, respectivamente que el tratamiento 0% de reposición de la ETc. Hay que destacar que entre los tratamientos 60 y 30% de reposición, no se presentaron diferencias significativas en estos parámetros, observándose valores promedio de 9.142,8 kg ha⁻¹ para producción de biomasa; 1.613,4 kg ha⁻¹ para rendimiento; 0,16 para IC y de 214.477 granos por m².

Respecto del componente de rendimiento peso del grano, no hubo variaciones entre los tratamientos observándose un peso promedio de 0,75 g por 1.000 granos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Biomasa total, rendimiento, granos m⁻², peso de 1.000 granos e índice de cosecha obtenido por los tratamientos.

Nivel de riego (%ETc)	Biomasa seca aérea total (kg ha ⁻¹)	Rendimiento	Peso de 1.000 granos (g)	Índice de cosecha (%)	Granos m ⁻² (N°)
100	13.411 a	3.323 a	0,79 a	0,26 a	425.916 a
60	9.482 b	1.535 b	0,75 a	0,15 b	205.045 b
30	8.804 b	1.692 b	0,74 a	0,17 b	223.908 b
0	6.214 c	787 c	0,72 a	0,12 c	112.423 c
CV (%)	11,1	12,2	3,5	11,6	14,9

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$).

CV: Coeficiente de variación.

Respecto de la acumulación de biomasa a través del tiempo, se observó que en el tratamiento 100% de la ETc, el aumento de la biomasa se debió principalmente a la acumulación producida por la panoja (Figura 1a). En el tratamiento 60%, la tasa de acumulación de biomasa de la panoja fue menor llegando a estabilizarse luego de los 73 días después del transplante, lo que generó que la biomasa total también siguiera el mismo comportamiento (Figura 1b). Respecto al tratamiento 30% de la ETc, la tasa de acumulación de biomasa total tendió a estabilizarse hasta los 65 días, luego aumentó notoriamente, producto del aumento de la biomasa de las panojas (Figura 1c). Finalmente, el tratamiento con mayores restricciones hídricas (0% de la ETc) presentó una acumulación de biomasa de la panoja que no superó los 1.600 kg ha⁻¹ y tuvo una caída abrupta del peso de los tallos que generó una acumulación de biomasa total menor al final del ciclo (Figura 1d).

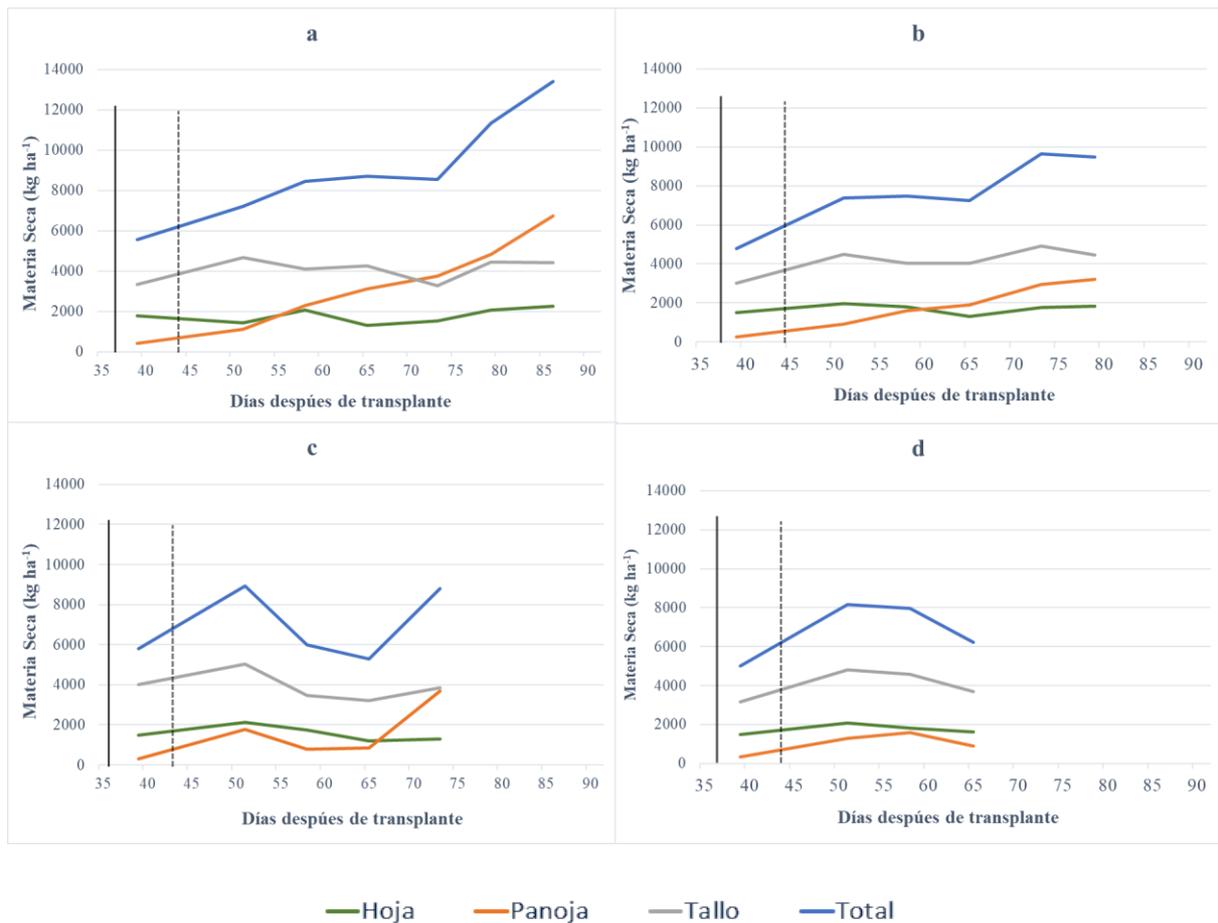


Figura 1. Acumulación de materia seca por cada una de las estructuras de la planta (hoja, tallo, panoja y materia seca total) evaluados en diferentes días después del trasplante. a, b, c y d corresponden a la reposición del 100; 60; 30 y 0% de la ET_c, respectivamente. Línea continua indicia el inicio de los tratamientos, mientras que la línea segmentada indica la antesis.

En el Cuadro 6, se presentan los datos de materia seca total obtenida a través del tiempo, en donde se comparan estadísticamente los valores entre los diferentes tratamientos. Se puede observar que desde el trasplante hasta el día 65 se presentaron diferencias significativas, principalmente en el nivel de tratamiento 100% de la ET_c, respecto del resto de los tratamientos entre los cuales no hay grandes diferencias. En relación con la acumulación de biomasa de hojas y tallos (Cuadros 7 y 8) se observan menos diferencias entre los tratamientos, es decir el efecto de la restricción hídrica fue menor marcado. Caso contrario ocurrió en la materia seca acumulada para las panojas (Cuadro 9), dónde las diferencias significativas se presentan desde los primeros estados de crecimiento de la panoja (5 días desde el trasplante), las cuales se acentúan a medida que avanza el crecimiento y desarrollo del cultivo. Así a los días 65 los tratamientos con menor reposición de la ET_c (0 y 30%) presentaron diferencias significativas respecto de los tratamientos con mayor disponibilidad de agua de riego.

Cuadro 6. Materia seca total (kg ha⁻¹) para los distintos tratamientos evaluados en diferentes días después de trasplante.

Nivel de riego (%ET _c)	Días después trasplante						
	39	51	58	65	73	79	86
	(kg ha ⁻¹)						
100	5.561 ab	7.230 a	8.437 a	8.714 a	8.553 a	11.339 a	13.410
60	4.800 b	7.370 a	7.470 a	7.250 b	9.632 a	9.482 a	-
30	5.803 a	8.935 a	6.007 b	5.285 c	8.803 a	-	-
0	5.000 ab	8.171 a	7.969 a	6.214 bc	-	-	-

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente (P≤0,05).

Cuadro 7. Materia seca de hojas (kg ha⁻¹) para los distintos tratamientos evaluados en diferentes días después de trasplante.

Nivel de riego (%ET _c)	Días después trasplante						
	39	51	58	65	73	79	86
	(kg ha ⁻¹)						
100	1.793 a	1.435 b	2.057 a	1.320 ab	1.535 ab	2.072 a	2.250
60	1.520 a	1.952 ab	1.807 a	1.302 b	1.755 a	1.820 a	-
30	1.485 a	2.117 a	1.750 a	1.215 b	1.285 b	-	-
0	1.500 a	2.072 a	1.810 a	1.627 a	-	-	-

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente (P≤0,05).

Cuadro 8. Materia seca de tallos (kg ha⁻¹) para los distintos tratamientos evaluados en diferentes días después de trasplante.

Nivel de riego (%ET _c)	Días después trasplante						
	39	51	58	65	73	79	86
	(kg ha ⁻¹)						
100	3.340 b	4.677 a	4.090 ab	4.260 a	3.267 b	4.447 a	4.430
60	3.017 b	4.500 a	4.047 ab	4.035 a	4.920 a	4.447 a	-
30	3.997 a	5.030 a	3.482 b	3.215 a	3.840 ab	-	-
0	3.162 b	4.822 a	4.565 a	3.675 a	-	-	-

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente (P≤0,05).

Cuadro 9. Materia seca de panojas (kg ha⁻¹) para los distintos tratamientos evaluados en diferentes días después de trasplante.

Nivel de riego (%ET _c)	Días después trasplante						
	39	51	58	65	73	79	86
	(kg ha ⁻¹)						
100	430 a	1.112 bc	2.290 a	3.125 a	3.750 a	4.820 a	6.730
60	270 b	9.170 c	1.617 b	1.910 b	2.950 b	3.215 b	-
30	322 ab	1.790 a	775 c	857 c	2.677 b	-	-
0	342 ab	1.272 b	1.595 b	910 c	-	-	-

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente (P≤0,05).

La acumulación de materia seca de hojas y tallos fue muy similar para los cuatro tratamientos, observándose que la mayor variación fue a nivel de la acumulación de biomasa de la panoja, la cual fue muy superior en el tratamiento de reposición del 100% de la ET_c, respecto de los demás tratamientos (Figura 2).

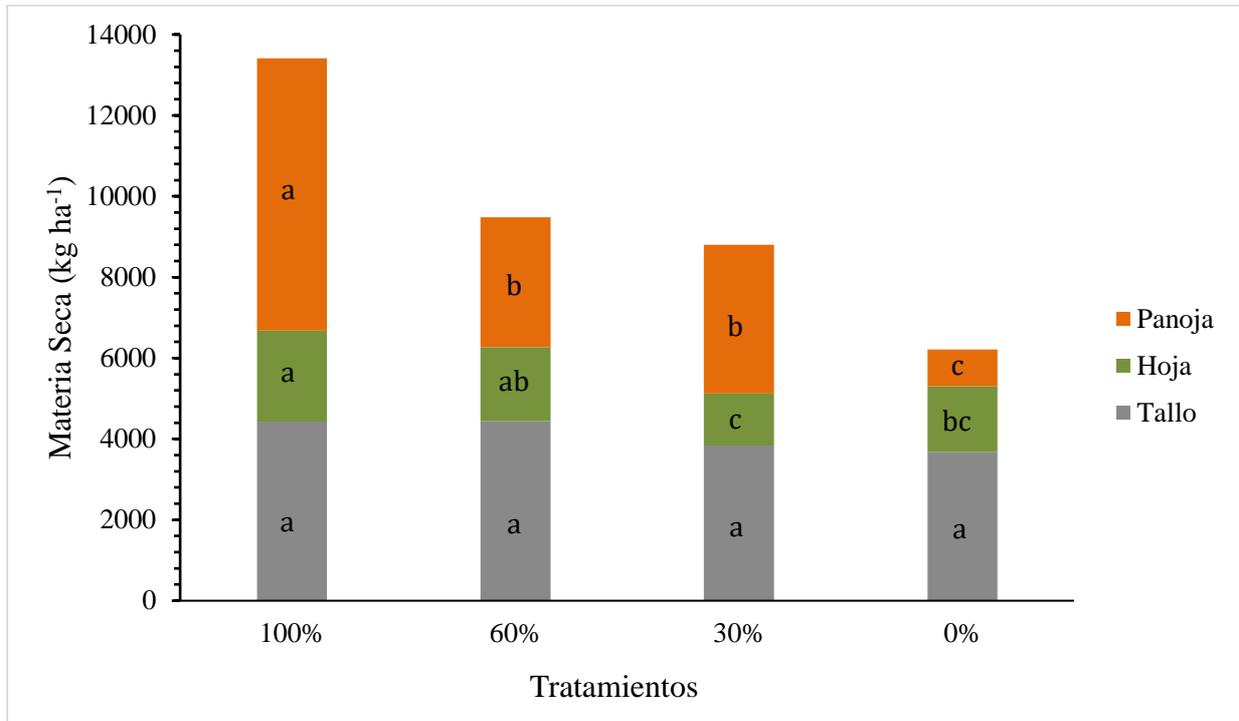


Figura 2. Acumulación de materia seca en kg ha⁻¹ para cada una de las estructuras de la planta (hoja, tallo, panoja y materia seca total) en cada tratamiento al momento de su cosecha. Valores con letras iguales en sentido horizontal, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$) dentro de cada órgano.

Respecto de algunos parámetros de crecimiento de las plantas, se observó que la altura fue afectada por la disponibilidad de agua, siendo en el tratamiento 100% donde se presentaron valores significativamente más altos en comparación con los tratamientos 30% y 0%, cuyas plantas fueron 76 cm más bajas que las del 100% (Cuadro 10). Una tendencia similar se presentó en el largo de panoja, donde el tratamiento 100%, casi triplicó el tamaño de panoja observado en 0%. Cabe destacar que entre los tratamientos T2 (60%) y T3 (30%) no se presentaron diferencias significativas en la altura de las plantas ni en el tamaño de las panojas.

Cuadro 10. Altura y largo de panoja de las plantas sometidas a los diferentes tratamientos de riego

Nivel de riego (%ET _c)	Altura de planta	Largo de panoja
	(cm)	
100	212,6 a	39,5 a
60	178,0 ab	27,2 b
30	157,7 bc	22,6 bc
0	135,9 c	14,6 c

Valores con letras iguales en sentido vertical no difieren significativamente ($P \leq 0,05$).

Coefficiente de reparto

Los resultados obtenidos respecto del coeficiente de reparto de tallos, hojas y panojas mostraron diferencias significativas entre los distintos tratamientos ($P \leq 0,05$), principalmente para las estructuras reproductivas.

Se evidencia que los tallos de todos los tratamientos disminuyeron su reparto aproximadamente a los 43 DDT, después del inicio de floración, sin embargo, el tratamiento 100% presentó una disminución significativa principalmente entre los 58 y 73 DDT (Cuadro 11), además es posible evidenciar que en los tratamientos con mayor estrés hídrico (30% y 60%), el CR de los tallos aumentó. Respecto del coeficiente de reparto de las hojas (Cuadro 12), el comportamiento fue distinto pues hubo una menor diferencia entre los tratamientos, en donde los de menor riego (30% y 0%) mantuvieron estable su repartición durante el ciclo, mientras que los tratamientos con mayor riego (100% y 60%) redujeron levemente su repartición a los 65 DDT en comparación con los otros dos tratamientos.

En el caso del CR para la panoja, se evidencia que todos los tratamientos parten sin ninguna diferencia significativa (Cuadro 13), pero a medida que avanza el tiempo, el tratamiento 100% tendió a presentar un mayor reparto hacia las panojas, al momento de llenado de granos entre los 58 y 65 días, contrastándose con el tratamiento 0%, que eleva su coeficiente de forma muy leve durante los primeros 19 días, pero luego disminuye al final de su ciclo presentando diferencias significativas con el tratamiento 100% en este momento.

Cuadro 11. Coeficiente de reparto del tallo para los distintos tratamientos evaluados en el tiempo.

Nivel de riego (%ET _c)	Días después transplante						
	39	51	58	65	73	79	86
	CR						
100	0,59 b	0,64 a	0,48 b	0,49 b	0,38 c	0,39 a	0,33
60	0,63 ab	0,61 ab	0,54 a	0,55 ab	0,51 a	0,47 a	-
30	0,69 a	0,56 c	0,58 a	0,61 a	0,44 bc	-	-
0	0,63 ab	0,59 bc	0,57 a	0,59 a	-	-	-

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$).

Cuadro 12. Coeficiente de reparto de hojas para los distintos tratamientos evaluados en el tiempo.

Nivel de riego (%ET _c)	Días después transplante						
	39	51	58	65	73	79	86
	CR						
100	0,33 a	0,20 a	0,25 ab	0,15 b	0,18 a	0,18 a	0,16
60	0,32 a	0,26 a	0,24 ab	0,18 b	0,18 a	0,19 a	-
30	0,26 b	0,24 a	0,29 a	0,23 a	0,15 b	-	-
0	0,30 ab	0,25 a	0,23 b	0,26 a	-	-	-

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$).

Cuadro 13. Coeficiente de reparto de la panoja para los distintos tratamientos evaluados en el tiempo.

Nivel de riego (%ET _c)	Días después transplante						
	39	51	58	65	73	79	86
	CR						
100	0,08 a	0,16 b	0,27 a	0,36 a	0,43 a	0,43 a	0,50
60	0,06 a	0,12 c	0,22 b	0,27 b	0,31 b	0,34 a	-
30	0,05 a	0,20 a	0,13 c	0,16 c	0,42 a	-	-
0	0,07 a	0,16 b	0,20 b	0,15 c	-	-	-

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$).

Eficiencia de Uso del Agua

Los montos de agua aplicados durante el período experimental fueron de 2.329, 1.501, 944 y 561 m³ para los tratamientos de 100, 60, 30 y 0% de la ET_c, respectivamente.

La EUA para el rendimiento (rendimiento de granos/cantidad total de agua aplicada) presentó diferencias significativas entre los tratamientos, en donde el tratamiento 0% obtuvo el mayor valor (Cuadro 14). Cabe destacar que este valor fue un 25% superior al obtenido por los tratamientos en los cuales se aplicaron mayores montos de agua (2.329 m³ para el tratamiento 100%). En el caso de la EUA de la biomasa aérea total, el tratamiento con mayores restricciones hídricas (0%), presentó una eficiencia casi el doble (Cuadro 14) respecto del tratamiento 100% que fue el tratamiento que no fue sometido al estrés hídrico.

Cuadro 14. Eficiencia de uso del agua para el rendimiento (EUAr) y biomasa (EUAb) para los diferentes tratamientos

Nivel de riego (%ET _c)	EUAr (kg MS m ⁻³)	EUAb (kg MS m ⁻³)
100	1,0 c	5,8 c
60	1,4 b	6,3 b
30	1,4 b	9,3 a
0	1,8 a	11,1 a

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$).

OBJETIVO GENERAL 2

Condiciones ambientales durante el cultivo

Los microgreens se establecieron bajo condiciones de invernadero, la temperatura media durante el crecimiento para ambas variedades fue de 20,8 °C y una humedad relativa media de 64% (Figura 3). Para ambas variedades se registró la mayor temperatura a los 7 DDS con 41,1°C que sólo duró 1 hora, mientras que la menor temperatura fue el primer día DDS con 6°C.

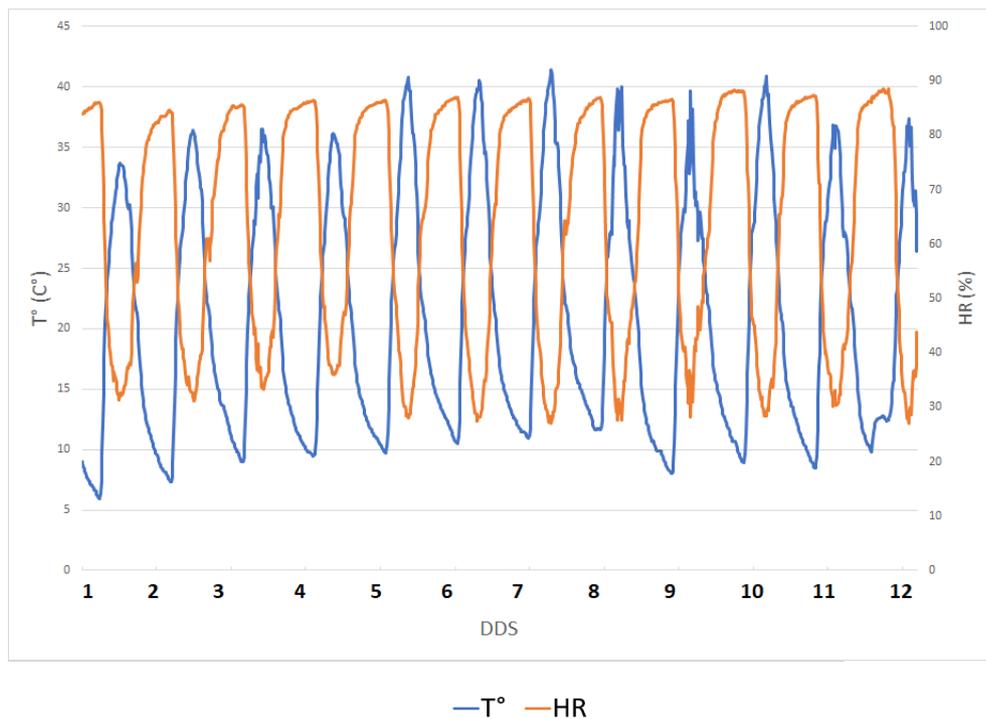


Figura 3. Temperatura (T°) y Humedad Relativa (HR) registrada por los Data Logger para los días después de la siembra (DDS) en microgreens de amaranto para ambas variedades.

Parámetros físicos

Características de las variedades a cosecha

Al comparar los parámetros físicos de los “microgreen” para ambas variedades de amaranto, no se observaron diferencias significativas en la producción materia fresca, altura de planta y firmeza del hipocótilo (Cuadro 15). Así, el promedio de peso fresco fue de 351,6 g m⁻², con una altura promedio de 3,5 cm y con una resistencia de 1,3 N.

Materia seca

En el caso de la materia seca, se aprecian diferencias significativas entre las variedades de amaranto, en donde PQ2 logró producir un 31,3% más materia seca en comparación a Benito a pesar de tener ambas variedades casi la misma altura (Cuadro 15).

Color

Luminosidad (L*). Para este parámetro se encontraron diferencias significativas, siendo la variedad Benito la que presenta mayor luminosidad, con un valor de 67,7 en relación con PQ2 que presentó colores más oscuros con un valor de 49,9 de luminosidad (Cuadro 15).

Tono (Hue). En este factor se encontraron diferencias significativas entre las variedades, en donde Benito presentó un tono significativamente mayor, indicando que su graduación apunta a colores más verdes mientras que en PQ2 indica tonos verde-violáceos (Cuadro 15).

Saturación (C). En este factor se encontraron diferencias significativas entre las variedades, en donde hubo colores más saturados en Benito, en comparación con PQ2 (Cuadro 15), es decir Benito presentó un color más intenso y puro mientras que PQ2 uno más tenue y grisáceo.

Cuadro 15. Promedios obtenidos para los parámetros físicos al momento de cosecha de las variedades.

Variedad	MF (g m ⁻²)	MS	PMS (%)	Altura (cm)	Firm (N)	h	Color C	L*
Benito	359,0 a	32,2 a	9,1 a	3,4 a	1,2 a	105,4 a	93,6 a	67,7 a
PQ2	344,3 a	42,3 b	12,3 a	3,6 a	1,4 a	30,0 b	73,1 b	49,9 b
CV (%)	6,2	5,8	10,4	16,3	14,3	3,4	12,3	3,5

PF: Materia fresca, MS: Materia seca, PMS: porcentaje materia seca, Firm: firmeza, h: tono del color, C: saturación del color, L: Luminosidad. Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$). CV: Coeficiente de variación.

Variación de la concentración de gases: variedad Benito

En el caso de la variedad Benito existió interacción entre los factores temperatura y tipo de bolsa, en donde las bolsas con perforaciones mantuvieron una concentración de oxígeno (O₂) sin ser afectadas por las temperaturas con un valor promedio de 20,47% de O₂ (Cuadro 16). Por otro lado, en el caso de las bolsas sin perforar, las temperaturas 15° y 5°C no presentaron diferencias significativas entre sí, con un valor promedio de 17,68%, y con una diferencia de un 1% para la temperatura 10°C.

En el caso de la concentración de dióxido de carbono (CO₂), se observó mayor variabilidad, en donde la bolsa sin perforar a 10°C obtuvo el mayor valor entre los tipos de bolsa; y las bolsas sin perforar a 5 y 15°C se obtuvieron un valor promedio de 0,60%. Entre las bolsas perforadas a 10° y 5°C se obtuvieron valores promedio de 0,28% y una diferencia de un 0,09% con la bolsa perforada a 15°.

Cuadro 16. Valores de la concentración de gases al término del ensayo dentro de las bolsas de microgreens de la variedad Benito a diferentes temperaturas y tipos de bolsa.

Temperatura (°C)	Bolsa	O ₂ (%)	CO ₂ (%)
15	BP	20,48 a	0,19 d
10	BP	20,34 a	0,29 c
5	BP	20,61 a	0,27 c
15	BS	17,68 b	0,60 b
10	BS	16,68 c	0,75 a
5	BS	17,68 b	0,61 b

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$).
BP: Bolsa perforada y BS: Bolsa sin perforar. O₂: Oxígeno y CO₂: Dióxido de carbono.

Respecto de la variedad PQ2 existió interacción entre los factores temperatura y tipo de bolsa, en donde las bolsas perforadas mantuvieron una concentración de oxígeno (O₂) promedio de 20,71% no siendo esta modificada por las temperaturas. Una situación similar ocurrió con las bolsas sin perforar donde no hubo efecto de la temperatura sobre la concentración de O₂ observándose un promedio de 18,61% (Cuadro 17).

En el caso del dióxido de carbono (CO₂), es posible evidenciar que la bolsa perforada a 5°C obtuvo el valor más alto de los tratamientos, con diferencias de hasta 0,60%, observándose a su vez, que las bolsas sin perforar obtuvieron mayores valores en comparación con las bolsas perforadas. Se observó una concentración promedio para las bolsas perforadas de 0,19% en todas las temperaturas sin diferencias significativas. En el caso de las bolsas sin perforar la concentración de CO₂ obtuvo el mayor valor a 5°C., siendo casi cinco veces mayor que el de las bolsas perforadas.

Cuadro 17. Valores de la concentración de gases al término del ensayo dentro de las bolsas de microgreens de la variedad PQ2 a diferentes temperaturas y tipos de bolsa.

Temperatura (°C)	Bolsa	O ₂ (%)	CO ₂ (%)
15	BP	20,62 a	0,19 c
10	BP	20,71 a	0,17 c
5	BP	20,80 a	0,22 c
15	BS	18,49 b	0,80 b
10	BS	18,67 b	0,77 ab
5	BS	18,69 b	0,93 a

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$).
BP: Bolsa perforada y BS: Bolsa sin perforar. O₂: Oxígeno y CO₂: Dióxido de carbono

Pérdida de peso para la variedad Benito

Con relación a la pérdida de peso para la variedad Benito, se presentó una interacción significativa entre los factores temperatura y tipo de bolsa en ambas fechas de medición (Cuadro 18). A los 7 días, el tratamiento a 15°C y con bolsa perforada presentó el mayor porcentaje de pérdida de peso, con diferencias significativas de hasta 3,5% con respecto de la bolsa sin perforar a la misma temperatura. A su vez, es posible evidenciar que las bolsas perforadas presentaron mayor pérdida de peso promedio que las bolsas selladas, sobre todo a temperaturas superiores a 10°C. Cabe destacar que cuando los microgreens son puestos en bolsas selladas a los 10°C ya no hay pérdida significativa de peso al cabo de una semana.

Cuadro 18. Efecto de la interacción entre la temperatura y el tipo de bolsa sobre la pérdida de peso en los microgreens de la variedad Benito a los 7 y 14 días después de iniciado el ensayo.

Temperatura (°C)	Bolsa	Pérdida de peso (%)	
		7 días	14 días
15	BP	5,29 a	10,0 a
10	BP	1,91 b	2,80 b
5	BP	1,01 c	1,26 c
15	BS	1,82 b	3,21 b
10	BS	0,70 c	1,01 c
5	BS	0,60 c	0,75 c

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$). BP: Bolsa perforada y BS: Bolsa sin perforar.

Respecto a lo ocurrido a los 14 días después de iniciado el ensayo, nuevamente se observa que los tratamientos en bolsa perforada presentaron mayor pérdida de peso promedio que los tratamientos en bolsa sin perforar (Cuadro 18). Así, por ejemplo, los tratamientos a 15°C presentaron diferencias significativas entre el tipo de bolsa, en donde la bolsa perforada presentó una pérdida de peso tres veces mayor que la bolsa sin perforar. De igual manera que lo ocurrido a los 7 días los tratamientos a 5°C no presentaron diferencias significativas después de 14 días de tratamientos, en donde ambos presentaron una pérdida de peso del 1% en promedio.

Pérdida de peso para la variedad PQ2

Se presentó una interacción significativa entre los factores temperatura y tipo de bolsa en ambas fechas de medición (Cuadro 19) para la variedad PQ2. Para esta variedad se puede observar que, a los 7 días de almacenaje, los tratamientos entre 10° y 15°C presentaron el mayor porcentaje de pérdida de peso, por lo que no hay efecto de la bolsa en contrarrestar la pérdida de peso cuando las T° son superiores a 10 °C. En cambio, en los tratamientos a 5°C a los 7 días hubo similitudes estadísticas entre el tipo de bolsa, con una diferencia en la pérdida de peso de un 0,71% entre ambas. En este caso es posible observar que dentro de un mismo tipo de bolsa no hubo diferencias significativas entre las temperaturas 10 y 15°C, en donde las bolsas perforadas presentaron un promedio de pérdida de peso de 3,6% y las bolsas sin perforar un promedio de 2,6%.

Cuadro 19. Efecto de la interacción entre la temperatura y el tipo de bolsa sobre la pérdida de peso en los microgreens de la variedad PQ2 a los 7 y 14 días después de iniciado el ensayo.

Temperatura (°C)	Bolsa	Pérdida de peso (%)	
		7 días	14 días
15	BP	3,59 a	11,2 a
10	BP	3,54 a	3,79 bc
5	BP	1,71 bc	1,64 c
15	BS	2,44 ab	4,53 b
10	BS	2,73 ab	1,63 c
5	BS	1,00 c	1,51 c

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$).

BP: Bolsa perforada y BS: Bolsa sin perforar

Al momento de evaluar los tratamientos a los 14 días después de tratamiento (Cuadro 19), se evidencia esta vez que los tratamientos a 15°C son los que mayor pérdida de peso presentan independientemente del tipo de bolsa, pero en comparación, el tratamiento a 15°C y en bolsa perforada es el que mayor pérdida de peso presenta de todos los tratamientos en donde se observa una pérdida de peso 2,5 veces superior que la bolsa sin perforar. Al analizar los tratamientos a 10°C, se identifican similitudes estadísticas entre el tipo de bolsa, en donde la bolsa perforada presentó una diferencia de pérdida de peso con la bolsa sin perforar de 2,16%. Los tratamientos a 5°C no presentaron diferencias significativas después de 14 días de tratamientos, en donde ambos presentaron una pérdida de peso del 1,6% en promedio.

Color para las variedades

En la Figura 4 se muestra el color de los microgreens variedad Benito y PQ2. Dentro de todas las variables relacionadas con color no existió interacción significativa entre los factores (tipo de bolsa y temperatura) por lo que se procedió a evaluar los efectos por separado para cada factor.



Figura 4. Muestra del color de cotiledones para ambas variedades.

Variedad Benito

En el Cuadro 20 se presentan los resultados de los parámetros de color para esta variedad.

Luminosidad (L*). A nivel de temperatura el tratamiento de 5°C presentó colores más oscuros con un L significativamente menor que el observado en los tratamientos a 15° y 10° cuyo valor promedio de luminosidad fue de 52,6 sin diferencias significativas ente ellos. Dentro de los factores del tipo de bolsa y tiempo no existió un efecto significativo, con un promedio de 51,38 de L* en ambos factores.

Tono (Hue). Para este componente, en el factor temperatura, se observó que los tratamientos a 15°C presentaron una diferencia significativa con el resto de los niveles, con 15° obteniendo un valor de 103,31° contrastando con 10°C y 5°C con un valor de 105,61° promedio, es decir, con tonos más cercanos al verde. El factor tipo de bolsa presentó diferencias estadísticamente significativas para los tratamientos, con una leve diferencia de 0,9° entre la bolsa perforada y la bolsa sellada. En el caso del factor tiempo, nuevamente existieron diferencias significativas para el tono, en donde los primeros 7 días presentaron un ángulo más cercano al verde que a los 14 días de tratamientos, acercándose al amarillo, con una diferencia de 2,58°.

Croma (C*). Este parámetro solo presentó diferencias significativas en el factor temperatura, en donde los tratamientos a 5°C presentaron una mayor saturación que los tratamientos a 15 y 10°C con una diferencia promedio de 5% y valores de 36,53 y 35,42 para 15° y 10° respectivamente, comparados con una C* de 40,90 para 5°. Para los factores tipo de bolsa y tiempo, no existieron diferencias significativas, con un promedio de saturación de 37,62% y 37,61%, respectivamente para cada factor.

Cuadro 20. Medias obtenidas de todos los factores para la variedad Benito de los parámetros de color: luminosidad (L*), saturación (C*) y tono (h).

Factor	L*	h	C*
Temperatura (°C)			
15	53,50 a	103,31 b	36,53 b
10	51,85 a	105,55 a	35,42 b
5	48,80 b	105,85 a	40,90 a
Tipo de bolsa			
BP	52,30 a	105,37 a	37,73 a
BS	50,47 a	104,48 b	37,51 a
Días desde tratamiento			
7	52,36 a	106,22 a	36,76 a
14	50,41 a	103,64 b	38,47 a

Valores con letras iguales en sentido vertical y dentro del mismo factor, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$). BP: Bolsa perforada y BS: Bolsa sin perforar

Variedad PQ2

En el Cuadro 21 se presentan los resultados para cada uno de los parámetros.

Luminosidad (L*). A nivel de temperatura se presentaron diferencias significativas en todos los niveles. La mayor diferencia se presentó entre los tratamientos a 10°C y 5°C con una diferencia de 2,11 para luminosidad, siendo 5°C más oscuro. Para los factores tipo de bolsa y tiempo no existieron diferencias significativas, con un promedio de luminosidad del 43,8 y 43,9 respectivamente para cada factor.

Tono (Hue). Para este componente, no existieron diferencias significativas entre ningún factor y nivel. Siendo el valor promedio para la temperatura, tipo de bolsa y tono de 91,7° en todos los casos. Es decir, el tono mantiene colores cercanos al amarillo independiente de los factores.

Croma (C*). Este parámetro presentó diferencias significativas en el factor temperatura, en donde la mayor temperatura obtuvo diferencias de hasta 4,1. Entre los diferentes tipos de bolsa no se presentaron diferencias significativas, con un promedio de 28,6 para ambos casos. El efecto del factor tiempo sí presentó diferencias significativas en donde los tratamientos luego de 7 días obtuvieron una diferencia de 4,8 respecto de los tratamientos luego de 14 días.

Cuadro 21. Medias obtenidas de todos los factores para la variedad PQ2 de los parámetros de color: luminosidad (L*), saturación (C*) y tono (h).

Factor	L*	h	C*
Temperatura (°C)			
15	44,16 ab	92,30 a	30,94 a
10	44,79 a	90,77 a	26,80 b
5	42,68 b	92,05 a	27,05 b
Tipo de bolsa			
BP	43,05 a	91,02 a	28,87 a
BS	44,70 a	92,39 a	27,66 a
Días desde tratamiento			
7	44,13 a	92,71 a	30,65 a
14	43,62 a	90,70 a	25,87 b

Valores con letras iguales en sentido vertical y dentro del mismo factor, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$). BP: Bolsa perforada y BS: Bolsa sin perforar

Firmeza

Fuerza máxima: Var. Benito. Para este parámetro de firmeza la interacción entre los factores temperatura y tipo de bolsa no fue significativa a los 7 días y tampoco hubo diferencias, en donde se obtuvo un valor promedio de 1,26 N (Cuadro 22). A los 14 días de almacenamiento se presentó interacción significativa entre los factores, observándose que la bolsa a 5°C y la bolsa sin perforar a 10°C presentaron los valores significativamente más altos con un promedio de 1,14 N.

Cuadro 22. Valores de firmeza en los microgreens para la variedad Benito conservadas en dos tipos de bolsa durante 7 y 14 días.

Temperatura (°C)	Bolsa	Fuerza máx. (N)	
		7 días	14 días
15	BP	1,25 a	0,85 b
10	BP	1,17 a	0,91 b
5	BP	1,18 a	1,10 a
15	BS	1,40 a	0,81 b
10	BS	1,28 a	1,18 a
5	BS	1,30 a	0,85 b

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$). BP: Bolsa perforada y BS: Bolsa sin perfora

Fuerza máxima: Var. PQ2. Para este parámetro, se encontró interacción estadísticamente significativa entre los factores temperatura y tipo de bolsa a los 7 y 14 días. A los 7 días se observó que cuando los microgreens se mantuvieron envasados en bolsa perforada y a 5°C presentaron la mayor firmeza siendo significativamente diferente respecto de los otros tratamientos (Cuadro 23). Cabe destacar que las más bajas firmezas se presentaron en general en bolsas sin perforar independientemente de la temperatura. A los 14 días de tratamiento esta situación cambió puesto que no se presentaron diferencias en la firmeza entre los tratamientos a excepción del tratamiento donde los microgreens se mantuvieron en bolsa sin perforar a 5°C en el cual la firmeza disminuyó en un 33% respecto del promedio de los otros tratamientos (Cuadro 23).

Cuadro 23. Valores de firmeza en los microgreens para la variedad PQ2 conservadas en dos tipos de bolsa durante 7 y 14 días.

Temperatura (°C)	Bolsa	Fuerza máx. (N)	
		7 días	14 días
15	BP	2,10 b	1,21 a
10	BP	1,35 c	1,40 a
5	BP	3,67 a	1,31 a
15	BS	1,18 c	1,27 a
10	BS	1,50 bc	1,18 a
5	BS	1,06 c	0,85 b

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$). BP: Bolsa perforada y BS: Bolsa sin perforar.

Recuentos microbiológicos

Bacterias mesófilas

Al momento de la cosecha (0 DDT), el recuento de microorganismos aerobios mesófilos presentó diferencias significativas entre las variedades (Cuadro 24), en donde PQ2 presentó 1,73 UFC g⁻¹ más que Benito; en tanto que al final del ensayo (14 DDT), Benito presentó 1,82 UFC g⁻¹ más que PQ2.

Al final del ensayo no se encontró interacción entre los factores (temperatura y tipo de bolsa), por lo que se procedió a evaluar los efectos por separado cada uno de ellos. Para el factor temperatura (Cuadro 25), los ensayos de la cámara de 15°C presentaron un 16% más de mesófilos que los ensayos dispuestos en las cámaras de 10 y 5°C, la cuales obtuvieron un recuento de 6,75 log UFC g⁻¹ en promedio. Respecto del factor de tipo de bolsa los ensayos no presentaron diferencias significativas entre sí, con un recuento de 7,11 log UFC g⁻¹ en promedio.

Cuadro 24. Medias del recuento de bacterias mesófilas en los microgreens al momento de la cosecha y al final de los tratamientos para el factor variedad.

Variedad	0 DDT	14 DDT
	log UFC g ⁻¹	
Benito	5,40 b	8,06 a
PQ2	7,13 a	6,18 b
CV (%)	5,54	4,56

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$). CV: Coeficiente de variación.

Cuadro 25. Medias del recuento de bacterias mesófilas en los microgreens para el factor temperatura y tipo de bolsa.

Factor	log UFC g ⁻¹
Temperatura (°C)	
15	7,85 a
10	6,62 b
5	6,88 b
Bolsa	
BP	7,25 a
BS	6,98 a

Valores con letras iguales en sentido vertical, no difieren significativamente ($P \leq 0,05$).

BP: Bolsa perforada y BS: Bolsa sellada

DISCUSIÓN

Los tratamientos impuestos sobre el cultivo de amaranto y que correspondieron a la reposición del 100%, 60%, 30% y 0% de la ETc, se iniciaron en un momento crítico en el desarrollo de las plantas y que correspondía al inicio de emisión de panoja, es decir, cuando comienza la etapa reproductiva (Martines *et al.*, 2019). Según Gelaw y Qureshi (2020) el estrés hídrico durante momentos como la anthesis o llenado de granos para un cultivo afecta de manera significativa disminuyendo el rendimiento final al reducir la traslocación de carbohidratos no estructurales desde la fuente al sumidero. La razón de iniciar los tratamientos en este estado se justifica en función de simular una situación real a nivel de campo, donde muchos agricultores no cuentan con agua de riego suficiente (incluso en algunos casos no hay agua) desde fines de diciembre, momento en el cual las plantas de amaranto estarían iniciando la etapa reproductiva en la zona central (Cubillos, 2018). Se observaron diferencias significativas en el rendimiento de los granos, donde el tratamiento en el cual se repuso el 100% de la ETc logró un rendimiento superior en un 51% respecto de los tratamientos intermedios (60 y 30%) y un 76% más respecto del tratamiento con restricción total de riego una vez iniciada la emisión de panoja (0% de la ETc) (Cuadro 5). Resultados similares fueron obtenidos por Zubillaga (2017) quien comparó los rendimientos de *Amaranthus cruentus* a diferentes frecuencias de riego, obteniendo diferencias estadísticamente significativas en los rendimientos en donde el riego óptimo generó en promedio 3.800 kg ha⁻¹, siendo comparable con los 3.323 kg ha⁻¹, obtenidos en el presente estudio. Cabe destacar que los tratamientos intermedios, es decir aquellos en los que repuso el 60% y el 30% de la ETc, no presentaron diferencias significativas, con un promedio de rendimiento de 1.615 kg ha⁻¹ pero con aportes de agua muy diferentes (1.501 y 944 m³ ha⁻¹, respectivamente), en donde la eficiencia de uso de agua para rendimientos de granos (EUAr) para cada uno fue 1,4 kg granos m⁻³ sin diferencias significativas nuevamente. Para estos mismos tratamientos tampoco se observaron diferencias en los componentes de rendimiento ni en el índice de cosecha; sin embargo, si se vio algo modificada la fenología del cultivo siendo más precoces las plantas sometidas a la reposición del tan solo el 30% de la ETc (Cuadro 4). Desde el punto de vista del rendimiento, existen estudios que indican que el cultivo es rentable a partir de los 1.500 kg ha⁻¹ (Chagaray, 2005; Carpio 2009), sin embargo hoy en día es de vital importancia conocer el costo, en términos hídricos de esta producción y en este sentido, producir los mismos 1.615 kg ha⁻¹, con un 35% menos de agua como ocurrió en el tratamiento 30% de la ETc, es un resultado relevante frente al cambio climático y deficiencias hídricas presentes en muchas zonas del país (ODEPA, 2017).

Con el latente cambio climático que amenaza el planeta, el interés por aumentar el rendimiento a un menor costo del recurso hídrico arrecia, y estudios como el de Ozeki *et al.* (2022) entregan nuevos antecedentes que diferencian especies C₄ de las C₃, evaluando cuatro especies C₃ y cinco especies C₄ de la familia *Poaceae*, se evidenció la diferencia de hasta 16% en la Eficiencia del Uso del Agua (EUA) de las plantas C₄ frente a las C₃. Lo cual significó que, a menor cantidad de agua, las especies C₄ fueron capaces de lograr la misma biomasa y rendimiento que las C₃.

En referencia a la EUAr, esta fue mayor a la reportada por Díaz-Ortega *et al.* (2004); incluso, es posible observar que los tratamientos con mayor estrés hídrico fueron los que presentaron mayor EUAr, con un valor de 1,8 kg MS m⁻³ en el T4 (0% de reposición de la ETc; Cuadro 14). Respecto de la EUA para la biomasa (EUAb), se observó un comportamiento similar, donde los tratamientos con menor riego (reposición del 30% y 0% de la ETc) fueron los más eficientes siendo estos valores superiores a los reportados por Díaz-Ortega *et al.* (2004). Al comparar la EUAr con la EUAb de los tratamientos, se puede argumentar que la generación de biomasa

seca antes del inicio de la etapa reproductiva fue muy alta, sin embargo, el estrés hídrico imposibilitó generar un rendimiento acorde a la biomasa registrada, lo cual se evidencia en menores índices de cosecha, disminuyendo la EUAr pero manteniendo una EUAb más alta. Cambios parecidos en la EUAb respecto de la EUAr se pueden observar en el estudio de Bhowmik et al 2020, en donde se registran declives en la EUAr luego de distintos tipos de estrés en *Vigna unguiculata*, sin embargo, una de las respuestas de la planta frente a este estrés fue el mantener una biomasa seca constante.

El estrés hídrico afectó fuertemente la producción de biomasa (Cuadro 5; Figura 1) tal como se ha documentado en otros estudios (Ahmad *et al.* 2017; Chauhan *et al.* 2013), así como el ciclo de desarrollo de las plantas en donde hubo 18 días de diferencia entre las plantas de los tratamientos extremos (100 y 0% de la ETc). En este sentido, Abdelaziz y Redaouane (2020) evidenciaron un acortamiento en los estados de desarrollo en quinoa (*Chenopodium quinoa*), lo cual se tradujo en menores índices de cosecha, peso del grano, peso de la panoja y rendimiento, pudiendo ser este un mecanismo de escape al déficit hídrico como reporta Vargas-Ortiz et al. (2021), en donde al evaluar *A. hypochondriacus* en condiciones de estrés hídrico, este aceleró su ciclo reproductivo. En este mismo sentido, Vara *et al.* (2017) trabajando con Arroz salvaje (*Oryza officinalis*) y “Pasto de cabra” (*Aegilops spp*), demostraron que cuando las plantas eran sometidas a estrés por calor ellas acortaban su ciclo de desarrollo como un mecanismo de escape a partir del cual no se veía tan afectado el rendimiento, tal como ocurrió en los tratamientos de 60 y 30% de la ETc. Lo anterior tiene un impacto directo en la altura de las plantas, en donde T3 (30%) y T4 (0%) presentan las menores alturas siendo significativamente diferentes a T1(100%; Cuadro 10), ajustándose el valor del tratamiento sin estrés a los obtenidos por Ortiz-Torres *et al.* (2018) en su estudio de 11 variedades de amaranto. En el caso de la acumulación de materia seca durante el período de cultivo, los resultados obtenidos (Figura 1) presentaron un comportamiento que se ajusta al estudio de Monroy-Pedroza *et al.* (2021), en donde se evaluó la repartición relativa de la biomasa por órgano para dos especies distintas de amaranto, *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* a través del tiempo. En el caso de *A. cruentus* se observó un comportamiento idéntico al de T1 (100%), el cual fue similar para 60% y 30%, sin embargo, para T4 podría haber ocurrido que debido al gran impacto del estrés hídrico, la planta continuó mayoritariamente repartiendo asimilados a las estructuras vegetativas principalmente cómo se observa en la especie salvaje de Amaranto en el estudio de Vargas-Ortiz et al. (2021) en donde este tipo de especies rústicas logran mantener un crecimiento vegetativo estable frente a condiciones adversas.

Debido a que existe una correlación positiva entre la producción de biomasa y el rendimiento (Zubillaga, 2017) se observó que ambos parámetros tuvieron un comportamiento similar (Cuadro 5), en donde T1 (100%) obtuvo $\sim 13 \text{ t ha}^{-1}$, en tanto que los tratamientos con estrés medio (60 y 30% de la ETc) presentaron un valor promedio de $9,1 \text{ t ha}^{-1}$ de biomasa aérea, siendo este último valor muy similar al obtenido por Illescas (2017), en el cual las plantas fueron regadas por surco sin ser sometidas a estrés y generaron una acumulación de biomasa fresca de 60 t ha^{-1} , lo que equivale a aproximadamente a $8,2 \text{ t ha}^{-1}$ de materia seca (un 13,7% de la biomasa fresca corresponde a materia seca; Gregoire, *et al.* (2000). Estas similitudes entre un tratamiento bien regado de estudio de Illanes (2017) y los tratamientos con estrés del presente estudio, pueden estar asociados al sistema de riego, dado que un riego por surco presenta una menor eficiencia que uno por cintas (INIA, 2010) y las plantas regadas por surco pueden haber estado sometidas a algún nivel de estrés. Se debe hacer notar además que la disminución en la producción de biomasa entre el tratamiento 100% regado y el de 0% fue de un 54%, en tanto que la disminución del rendimiento entre ambos fue de un 76%, debido principalmente a la pérdida en el número de granos por unidad de superficie más que por el peso de los granos que

se mantuvo constante (Cuadro 5), tal cual lo han documentado otros autores en diferentes cultivos (Hu *et al.* 2015, Dolferus *et al.* 2011, Royo *et al.* 2007).

La repartición de biomasa también se vio modificada con los tratamientos hídricos. Así, a pesar de que T2 (60%), T3 (30%) y T4 (0%), presentaron un mismo patrón de acumulación de biomasa de hojas y tallos que T1, su materia seca fue mermada por la acumulación en su panoja, resultado que puede compararse con el estudio de De La Cruz-Guzmán *et al.* (2010), en donde se evaluaron tres especies de amaranto bajo los efectos de la sequía, y se pudo concluir que *Amaranthus spp.* bajo condiciones de estrés hídrico reduce la repartición de materia seca a órganos críticos, como hojas y muy probablemente estructuras florales. Estos mismos autores demostraron que el amaranto es una especie que logra regular la producción de biomasa bajo condiciones de estrés para mantener una materia seca total similar a la de un cultivo con riego. Esta regulación podría estar asociada a la capacidad de ajuste osmótico que tiene el amaranto frente a condiciones de estrés hídrico que le permite mantener una alta fotosíntesis y producción de biomasa tal cual lo evidenciaron Liu y Stützel (2002a) en tres de los cuatro genotipos de amaranto que estudiaron.

Respecto de la producción de microgreens y pensando en buscar alternativas productivas y de manejo de amaranto que apunten a un menor uso del agua, este tipo de producción se podría adaptar a agricultores que cuenten con sistemas hidropónicos dado los bajos requerimientos hídricos que se requieren para su producción (Rajan *et al.* 2019).

Uno de los parámetros de calidad de los microgreens que afectan directamente la adquisición del producto, es un atributo de primer nivel, como el tamaño, forma y color (Youssef *et al.*, 2018). Teniendo esto en cuenta, la variedad PQ2 de Amaranto es la que presenta el atractivo visual mas destacable entre las dos por su color, sin embargo, ambas variedades demostraron ser adecuadas para la producción de microgreens y su almacenamiento de postcosecha.

Es posible evidenciar que los microgreens almacenaron a 5° y en bolsas sin perforar presentaron los mejores valores según lo que se discute en este estudio, sin existir gran diferencia entre las variedades.

Estudios llevados a cabo con las especies de kale (*Brassica oleracea*), trigo (*Triticum durum*) y espinaca (*Spinacia oleracea*) como microgreens sometidas a distintos tratamientos bajo postcosecha durante 7 días a 4°C, demostraron que los microgreens presentaron pequeñas diferencias de luminosidad después de pasar por la cámara de frío (Katsenios *et al.* 2021), lo cual es similar a lo que se encontró en el estudio actual. Esto sugiere que los microgreens podrían tener una buena respuesta a los tratamientos de almacenamiento a baja temperatura. Finalmente, se observó que hubo pequeñas diferencias en la luminosidad de los microgreens cuando se almacenaron a 5°C en comparación con las temperaturas de 10°C y 15°C, lo que podría indicar una respuesta subóptima a la temperatura de almacenamiento.

Los resultados de la pérdida de peso son consistentes con los anterior, quienes almacenaron microgreens de *Brassica oleracea*, *Triticum durum* y *Spinacia oleracea* durante 7 días a 4°C en envases de polietileno sellados. En ese estudio los rangos de pérdida de peso por deshidratación fluctuaron entre 1,5 a 2,5%, contrastados con los resultados del presente experimento los cuales presentaron pérdidas de entre 0,8 a 2,1% para las bolsas selladas, y de entre 1,3 a 4,5% para bolsas perforadas, en dónde la menor pérdida se presentó en las bolsas a menor temperatura (5°). Cabe destacar que la mayor pérdida observada en las bolsas perforadas a mayor temperatura (15°), pudo estar asociada a que ellas presentaban permeabilidad a los

gases, permitiendo una tasa respiratoria constante. Sin embargo, a los 14 días de almacenamiento los ensayos con bolsa sellada seguían el comportamiento del estudio de Katsenios *et al.* (2021), con pérdidas por deshidratación entre 1,1 a 1,3% para las bolsas a 5° y 10°; mientras que las bolsas perforadas presentaron rangos entre 1,4 a 10,6% siguiendo exactamente el mismo comportamiento de temperatura referido anteriormente. Esto va concorde a lo señalado por Berba y Uchanski (2012), quienes, al detallar la fisiología de postcosecha de los microgreens, afirman que tanto la temperatura como la humedad relativa serían factores de mayor importancia para la conservación de estas hortalizas, además en su estudio hacen la relación directa entre la tasa respiratoria y la calidad visual del producto, la cual disminuiría considerablemente a mayor temperatura. Probablemente y según lo descrito por Berba y Uchanski (2012) es posible indicar que, a mayor pérdida de peso por deshidratación, la calidad y vida en postcosecha disminuiría de igual manera.

Los niveles de temperatura y tipo de bolsa parecen actuar de manera consistente con los hallazgos de Xiao *et al.* (2014), quienes evaluaron microgreens de *Raphanus sativus* expuestos a diferentes fotoperíodos y almacenados en atmósfera modificada a 5°C durante 16 días. En ese estudio, al igual que en el presente, no se encontraron diferencias significativas en cuanto al tipo de bolsa utilizada. En cuanto a la saturación, se observaron diferencias entre las variedades en ambos estudios, indicando diferencias de color.

De acuerdo con los resultados de esta investigación, la firmeza fue afectada por todos los factores del ensayo, es decir, Temperatura, Tipo de bolsa y Tiempo de almacenamiento, en dónde la variedad PQ2 presentó la mayor resistencia luego de estar 7 días a 5° en bolsa perforada, la cual disminuyó a los 14 días, pero manteniéndose firme (Cuadro 22 y 23). Sin embargo, no existen otros estudios de amaranto que evalúen este parámetro con estos factores interactuando. La pérdida de firmeza en postcosecha se relaciona directamente con la pérdida de peso (Al-Dairi *et al.* 2021), en dónde los tratamientos a mayor temperatura y luego de 14 días fueron los que más pérdida de peso presentaron, conllevando una pérdida en la firmeza evidente. Existen estudios que asocian el color a una mejor resistencia, como Camejo *et al.* (2020) quienes indican que variedades de lechuga tipo baby cultivar verde (*Lactuca sativa* L. cv Batavia Lettony) y roja (*Lactuca sativa* L. cv Batavia Diablotin) presentan diferencias de hasta 44%, en favor de las rojas. Esto se argumentó indicando que la mayor concentración de minerales como Ca^{+2} , K^{+} y Na^{+} en los órganos del microgreen aumentan la firmeza tanto de las hojas como del hipocótilo, por lo que especies que naturalmente (o mediante inducción con diferentes tipos de luces) acumulen estos cationes tendrán mejores firmezas debido al efecto que tienen los presentes en la pared celular, lo que se traduciría en una mejor vida de postcosecha.

Los microgreens tienden a contaminarse con patógenos desde la semilla a la cosecha e incluso posterior a ésta; dentro de los posibles puntos de control durante el periodo de producción de los microgreens, se encuentran utilizar semillas descontaminadas, aguas sanitizadas, riegos tecnificados, el lavado postcosecha y la descontaminación del material (Riggio *et al.*, 2019). Además, dentro de los factores de la cosecha que pueden incidir en la acumulación microbiana sobre los microgreens, se encuentra la altura de estos relacionada con su proximidad al sustrato (Chandra *et al.*, 2012). En el estudio, no se observó ninguna relación entre la altura de los microgreens y los recuentos microbiológicos, probablemente debido a que ambas variedades fueron cosechadas a 1 cm sobre el sustrato con el fin de evitar su contaminación.

Según el Reglamento Sanitario de los Alimentos (RSA), los valores de recuentos microbiológicos de bacterias mesófilas bajo los cuales los alimentos listos para el consumo no

presentarían un riesgo para la salud corresponden a 6,69 log UFC g⁻¹ (MINSAL, 2016). Las bacterias mesófilas dan una estimación de las poblaciones viables totales, son indicativos de la microflora endógena y de la contaminación del material. Estudios hechos en hortalizas han mostrado que la presencia de bacterias mesófilas varía en función del tipo de hortaliza estudiada, los manejos en precosecha y las condiciones de cultivo, entre otras (Fernández *et al.*, 2017). En este ensayo, respecto de las bacterias mesófilas, después de 14 días la variedad Benito fue la menos propensa a contaminarse y mantenerse bajo el límite establecido por el RSA, pero en todos los demás factores, el recuento de bacterias se encontraba por encima o muy cercano a lo permitido, esto debido principalmente al tiempo que se encontraron en almacenamiento. Es posible observar que el recuento de RAM desde cosecha hasta el término del ensayo no aumentó mayormente. En un estudio realizado por Chandra *et al.* (2012), se obtuvieron recuentos de bacterias mesófilas de 7,1, 7,2 y 7,8 log UFC g⁻¹ en microgreens de rábano, trigo y repollo, respectivamente. Dentro de este mismo estudio se identificó como límite 9 días de almacenamiento para no sobrepasar lo establecido de RAM (Recuento de Mesófilas Aerobias), Chandra *et al.* (2012) menciona que más allá de esto, todos los valores eran muy altos independientemente del tipo de bolsa utilizada para el almacenamiento.

CONCLUSIONES

Es factible lograr un aumento en la eficiencia en el uso del agua manteniendo un rendimiento estable, cuando las plantas son sometidas a un estrés donde se repone el 60 y el 30% de la evapotranspiración del cultivo. Por sobre y bajo estos porcentajes, la eficiencia en el uso del agua disminuye significativamente.

Es posible justificar una reposición de sólo el 30% de la ET_c para cultivos de amaranto de grano en condiciones de sequía, este estudio demuestra que un cultivo con un riego de 100% de la ET_c presenta los mayores rendimientos, sin embargo, la reducción entre un 60% y 30% de la cantidad de agua logra un reparto de asimilados con un comportamiento similar entre los tratamientos, y con rendimientos estables al mantener el peso de granos, pero reduciendo el número de granos por metro cuadrado, lo que se traduce en panojas más pequeñas. Desde el punto de vista de la disponibilidad de agua, la reducción del riego es una opción viable.

Es posible aumentar la vida útil en postcosecha de microgreens de amaranto hasta 5 días. Para lograr una mayor vida de postcosecha el uso de temperaturas bajas y de alta humedad relativa favorece el tiempo de almacenamiento, en donde es preferible condiciones de temperatura de 5° con bolsas sin perforar para lograr mantener una firmeza alta y evitar deshidratación hasta los 7 días sin afectar la calidad. Respecto de las variedades, la mayor diferencia que existió entre estas fueron las diferencias de color predispuestas, las cuales serán un factor importante al momento de seleccionar el producto. Sin embargo, su comportamiento en postcosecha se comportó de manera similar. Y se recomienda el uso de sanitizantes posterior y anterior a la postcosecha para mantener una carga microbiológica baja.

LITERATURA CITADA

- Abdelaziz, H., C. Redouane. 2020. Phenotyping the Combined Effect of Heat and Water Stress on Quinoa. In: Hirich, A., Choukr-Allah, R., Ragab, R. (eds) Emerging Research in Alternative Crops. Environment & Policy, vol. 58. Springer, Cham.
- Argomedo, C. 2019. Crecimiento y reparto de materia seca en Amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) manejado en distintas densidades de plantas. Memoria de graduación en Ingeniería Agronómica. Santiago, Chile: Universidad de Chile. 71h.
- Ahmad, S., M. Ahmad, M. Maqbool. 2016. Microgreens: Production, shelf life and bioactive components. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, Volume 57 (12): 2730-2736
- Alemayehu, R., M. Bendevis, S.-E. Jacobsen. 2015. The Potential for Utilizing the Seed Crop Amaranth (*Amaranthus* spp.) in East Africa as an Alternative Crop to Support Food Security and Climate Change Mitigation. Journal of Agronomy and Crop Science.:201(5): 321-329.
- Al-Dairi M., P. Pathare, R. Al-Yahyai. 2021 Effect of Postharvest Transport and Storage on Color and Firmness Quality of Tomato. Horticulturae 7(7): 163
- Alves, D., H. de Souza, S. Ribeiro, J. Simplício. 2008. Crescimento e desenvolvimento do amaranto (*Amaranthus* spp.) sob estresse salino e cobertura morta. A Revista Brasileira de Ciência do Solo 32: 43-48
- Amarantum. 2006. Asociación Mexicana del Amaranto. México: San Miguel Proyectos Agropecuarios, México. Disponible en <http://amarantum.com/> (Consultado en mayo de 2020)
- Ayala, A., P. Rivas-Valencia, L. Cortes-Espinoza, M. de la O, D. Escobedo-López y E. Espitia-Rangel. 2013. La rentabilidad del cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp.) en la región centro de México. CIENCIA ergo-sum. 21-1: 47-54
- Baginsky, C. 2017. Producción agrícola. [Entrevista personal]. Santiago, Departamento de Producción agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.
- Barrow, C. 1999. Alternative irrigation: the promise of runoff agriculture. Earthscan from Routledge, Abingdon, Oxfordshire, USA. 172p
- Bavec, F., S. Mlakar. 2002. Effects of soil and climatic conditions on emergence of grain amaranths. European Journal of Agronomy. 17(2): 93-103
- Bernal, J. 2016. Cultivo de amaranto en México. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Berba, K., M. Uchanski. 2012. Post-harvest Physiology of Microgreens. Journal of Young Investigators, 24p
- Bessani, R. 1994. Composition and nutritional properties of amaranth. pp. 185-205. In: Amaranth: Biology, Chemistry and Technology, ed. O. Paredes-López. CRC Press, Boca Raton, Florida, United States of America. 223p

Bhowmik A., S. Khawas, G. Dutta, R. Ray, S. Patra. 2020. Response of Summer Cowpea to Growth, Yield and Water Use Efficiency under different Irrigation and Nutrient Management in Lower Indo-Gangetic Plains. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci* 9(8): 900-911

Brouwer, R. 1963. Some aspects of the equilibrium between overground and underground plant parts. *Jaarboek IBS, Mededelingen* 212-219: 31–39

Camejo, D., A. Frutos, T. C. Mestre, M. Piñero, R. Rivera and V. Martínez. 2020. Artificial light impacts the physical and nutritional quality of lettuce plants. *Horticulture, Environment and Biotechnology* 61: 69-82.

Carpio, J. 2009. Estudio de Factibilidad Técnica para la producción de harina de amaranto (*Amaranthus* spp.). Tesis de graduación en Ingeniería Química. San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador. 98h.

Castel, M. 2010. Estudio de las propiedades funcionales, tecnológicas y fisiológicas de las proteínas de amaranto. 152p. Tesis Magíster. Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química, Santa Fe, Argentina.

Cantwell, M., T. Suslow. 2002. Postharvest handling systems: Fresh-cut fruits and vegetables. p. 445-463. *In*: A. A. Kader (Ed.), Postharvest technology of horticultural crops. University of California, California, United States of America.

Chagaray, A. 2005. Estudio de Factibilidad del Cultivo del Amaranto. (Bol. Tec. N°1), Dirección Provincial de Programación del Desarrollo, Ministerio de Producción y Desarrollo Gobierno de la Provincia de Catamarca. Catamarca, Argentina: Universitaria. 28p.

Chahal, P., S. Irmak, M. Jugulam, A.J. Jhala. 2018. Fecundity of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) Using Soil Moisture Sensors. *Weed Science* 66:738-745

Chandra, D, J. Kim, Y. Kim. 2012. Changes in Microbial Population and Quality of Microgreens Treated with Different Sanitizers and Packaging Films. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 53(1): 32-40

Chauhan B. y S. Abugho. 2013. Effect of Water Stress on the Growth and Development of *Amaranthus spinosus*, *Leptochloa chinensis*, and Rice. *American Journal of Plant Sciences* 4(5): 989-998

CNR. 1981. Estudio de Suelos del Proyecto Maipo Tomo II. AgroLog Chile Ltda., Comisión Nacional de Riego, Santiago, Chile. Disponible en: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/9784> (Consultado en octubre del 2017)

CNR. 1987. Estudio Agroclimático Proyecto Maipo. Comisión Nacional de Riego y Universidad de Chile, Santiago, Chile. Disponible en: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/9300> (Consultado en octubre del 2017)

Cubillos, D. 2020. Adaptación de genotipos de amaranto (*Amaranthus cruentus* y *Amaranthus hypochondriacus*) para producción de granos en la zona central de Chile. Tesis de grado. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.

De la Cruz-Guzmán, G., A. Arriaga-Frías, M. Mandujano-Piña, S. González Moreno. 2010. Efecto de la sequía sobre algunas variables hídricas y morfométricas en cinco genotipos de *Amaranthus*. *Idesia (Arica)*, 28(3): 87-95

Díaz-Ortega, A., J. Escalante-Estrada, A. Trinidad-Santos, P. Sánchez-García, C. Mapes-Sánchez, D. Martínez-Moreno. 2004. Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia en el uso del agua en amaranto en función del manejo del cultivo. *Terra Latinoamericana*, 22(1): 109-116

Dinssa, F.F., R-Y. Yang, D. Ledesma, O. Mbwambo, P. Hanson. 2018. Effect of leaf harvest on grain yield and nutrient content of diverse amaranth entries. *Scientia Horticulturae* 236: 146–157

Di Castri, F., E. Hajek. 1976. *Bioclimatología de Chile*. Santiago, Chile: Universidad Católica de Chile. 163p

Di Gioia, F., P. De Bellis, C. Mininni, P. Santamaria, F. Serio. 2017. Physicochemical, agronomical and microbiological evaluation of alternative growing media for the production of rapini (*Brassica rapa* L.) microgreens. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97: 1212-1219.

Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. González, M. Tablada y C.W. Robledo. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Díaz, A. 2020. Caracterización física, química, funcional y sensorial de hojas de amaranto (*Amaranthus* spp.) para consumo hortícola. Memoria de Grado. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronomicas, Santiago, Chile.

Dolferus R., X. Ji, R. Richards, 2011. Abiotic stress and control of grain number in cereals, *Plant Science* 181(4): 331-341

Ebert, A. 2015. Potential of Underutilized Traditional Vegetables and Legume Crops to Contribute to Food and Nutritional Security, Income and More Sustainable Production Systems. *Sustainability* 6(1): 319–335

Emanuelli, P., F. Milla, E. Duarte, J. Torrealba, C. Garrido, M. Colmenares, O. Orellana y S. López. 2016, marzo. Diagnóstico de la desertificación en Chile y sus efectos en el desarrollo sustentable. (Doc. Tec.). Sud-Austral Consulting SpA, CONAF. 30p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2006. Evapotranspiración de cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. 323 pág.

García, M., D. Raes, S-E. Jacobsen. 2003. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. *Agricultural Water Management* 60: 119–134

García-Parra, M. A., H. De la Cruz., N. Plazas. 2019. Ciclo de vida y curvas en S aplicadas al cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp.). *TecnoLógicas* 22(46): 61-76

Garreaud, R. 2011. Cambio Climático: Bases Físicas e Impactos en Chile. Revista Tierra Adentro – INIA 93: 14p

Gelaw, A., A. Qureshi. 2020. Tef (*Eragrostis tef*): A Superfood Grain from Ethiopia with Great Potential as an Alternative Crop for Marginal Environments. In: Hirich, A., Choukr-Allah, R., Ragab, R. (eds) Emerging Research in Alternative Crops. Environment & Policy 58. Springer, Cham.

Gregoire, H., N. Reinaldi, O. Siliquini. 2000. Amaranto hortícola dos modalidades de siembra y su contraste con acelga. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 31(1): 1-6

Hauptli, H. 1977. Agronomic potential and breeding amaranth. pp 71-78. In: Proceedings of the first Amaranth Seminar, Rodale Press, Emmaus, Pennsylvania, United States of America. July 29, Rodale Press, Emmaus, Pennsylvania, United States of America. 130p

Hodges, D., P. Toivonen. 2008. Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress. Postharvest Biology and Technology 48: 155–162

Hu, C., M. Ding, C. Qu, V. Sadras, X. Yang, S. Zhang. 2015. Yield and water use efficiency of wheat in the Loess Plateau: Responses to root pruning and defoliation. Field Crops Research. 179p

Huanca, R. 2008. Evaluación de Diferentes Niveles de Abono Orgánico y Riego Deficitario sobre el Desarrollo y Rendimiento de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el Altiplano Central. 142p. Tesis Profesional. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, La Paz, Bolivia.

Huerta, J. Á.; E. Maldonado y A. P. Barba. 2012. Amaranto: propiedades benéficas para la salud. En: E. Espitia, Amaranto: Ciencia y Tecnología. Libro Científico 2:303-312. México: INIFAP/SINAREFI.

Illescas, J. 2017. Estudio Fenológico de dos variedades de Amaranto en las condiciones Agrometeorológicas de Querochaca. Tesis de graduación en Ingeniería Agronómica. Cevallos, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. 74h.

INIA. 2010. Eficiencia en sistemas de riego por goteo en el secano. INIA Tierra adentro (febrero): 40-43

InfoStat. 2008. InfoStat: manual del usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas, Argentina. 329p

Ramírez, M., E. Espitia, A. Carballo. R. Zepeda, H. Vaquera y L. Córdoba. 2011. Fertilización y densidad de plantas en variedades de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2: 855-866.

Red Agrometeorológica de INIA. [en línea]. Chile, INIA. Recuperado en: <https://agrometeorologia.cl/>. Consultado el 27 de abril del 2022.

- Jacobsen S-E., K. Iteno, A. Mujica. 2001. Amaranto como un cultivo nuevo en el norte de Europa. Universidad Nacional del Altiplano, Escuela de Postgrado. Proyecto Quinoa CIP-DANIDA, Puno. Perú. 8p
- Jamalluddin, N., F. Massawe, R. Symonds. 2019. Transpiration efficiency of Amaranth (*Amaranthus* sp.) in response to drought stress, *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 94(4): 448-459
- Johnson, B., y T. Henderson. 2002. Water Use Patterns of Grain Amaranth in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal* 94: 1437–1443
- Juárez, D., A. Coria, R. Tejeida. 2019. Impacto del capital social e innovación en la competitividad de productores de amaranto en México. *Mercados y Negocios* 1(40): 105-128
- Kader, A. 2002. Postharvest technology of horticultural crops. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Publication 3311. California, United States of America.
- Katsenios, N., M. Christopoulos, I. Kakabouki, D. Vlachakis, V. Kavvadias, A. Efthimiadou. 2021. Effect of Pulsed Electromagnetic Field on Growth, Physiology and Postharvest Quality of Kale (*Brassica oleracea*), Wheat (*Triticum durum*) and Spinach (*Spinacia oleracea*) Microgreens. *Agronomy* 11(1364): 13p
- Kou, L., T. Yang, Y. Luo, X. Liu, L. Huang, E. Codling. 2014a. Pre-harvest calcium application increases biomass and delays senescence of broccoli microgreens. *Postharvest Biology and Technology* 87: 70–78
- Kou, L., T. Yang, Y. Luo, X. Liu. 2015. Effects of Pre- and Postharvest Calcium Treatments on Shelf Life and Postharvest Quality of Broccoli Microgreens. *HORTSCIENCE* 50(12):1801–1808
- Kou, L., Y. Luo, E. Park, E. Turner, A. Barczak, W. Jurick II. 2014b. Temperature abuse timing affects the rate of quality deterioration of commercially packaged ready-to-eat baby spinach. Part I: Sensory analysis and selected quality attributes. *Postharvest Biology and Technology* 91: 96-103
- Kou, L., Y. Luo, T. Yang, Z. Xiao, E. Turner, G. Lester, Q. Wang, M. Camp. 2013. Postharvest biology, quality and shelf life of buckwheat microgreens. *LWT - Food Science and Technology* 51: 73-78
- Lara, O. 2019. Efecto de los filtros fotoselectivos en el rendimiento y calidad postcosecha de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) “baby” cv viroflay cultivada en hidroponía. 61 p. Tesis Magister. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronomicas, Santiago, Chile.
- Luebert, F., P. Plischoff. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria. 316p
- Liu, F., H. Stützel. 2002a. Leaf Expansion, Stomatal Conductance, and Transpiration of Vegetable Amaranth (*Amaranthus* sp.) in Response to Soil drying. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127(5): 878–883

Liu, F., H. Stützel. 2002b. Leaf water relations of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to soil drying. *European Journal of Agronomy* 16: 137-150

Liu, F., H. Stützel. 2004. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. *Scientia Horticulturae* 102: 15-27

Makus, D., D. Davis. 1984. A mid-summer crop for fresh greens or canning: vegetable amaranth. *Arkansas Farm Research* 33: 16p

Mamani, R. 2007. Partición de biomasa y evapotranspiración del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), sometidas a estrés hídrico en diferentes etapas de crecimiento. 107p. Tesis Profesional. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, La Paz, Bolivia.

Martínez, C., E. Mendoza y M.J Vargas. 2016. Respuesta de las plantas C3, C4 y CAM a estrés hídrico y lumínico en ITCR Sede San Carlos. Disponible en: https://www.academia.edu/31853158/Informe_C3C4CAM_Vargas_Martinez_y_Mendoza9300 (Consultado en enero del 2019)

Martínez, M., M. Ruiz, P. Vera, R. Bernal, S. Luna, F. Rosas. 2019. The phenological growth stages of different amaranth species grown in restricted spaces based in BBCH code. *South African Journal of Botany* 124: 436-443

Marquet P., A. Altamirano, M. Arroyo, M. Fernández, S. Gelcich, K. Górski, E. Habit, A. Lara, A. Maass, A. Pauchard, P. Pliscoff, H. Samaniego y C. Smith-Ramírez. 2019. Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones. Informe de la mesa de Biodiversidad. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación

Matías L., G. Hernández, V. Caballero, N. Torres, V. Espinoza, L. Ramírez. 2018. Usos actuales y potenciales del Amaranto (*Amaranthus* spp.). *JONNPR* 6: 423-436

Maynard, A. 2013. Vegetable Amaranth Trials 2008-2010. The Connecticut Agricultural Experiment Station, Bulletin N° 1038: 13p

Mbwambo, O., M. Abukutsa, F. Dinssa, C. Ojiewo. 2015. Performances of elite amaranth genotypes in grain and leaf yields in northern Tanzania. *Journal of Horticulture and Forestry* 7: 16-23

Mendoza, C. 2011. Análisis proteómico de la hoja de amaranto bajo condiciones de estrés salino. 29 p. Tesis Magister. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

Meza, F. 2017. Estimación de costos asociados a la seguridad hídrica en la agricultura como medida de adaptación al cambio climático en Chile: un estudio en el contexto del Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 57p.

- Milthorpe, F. y J. Moorby. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Primera edición en español. Buenos Aires, Argentina: Editorial Hemisferio Sur S.A. 272p.
- Mndzebele, B., B. Ncube, M. Nyathi, S. Kanu, M. Fessehazion, T. Mabhaudhi, S. Amoo, A. Modi. 2020. Nitrogen Fixation and Nutritional Yield of Cowpea-Amaranth Intercrop. *Agronomy* 10: 565
- Monroy-Pedroza, D., J. Martínez-Hernández, F. Gavi-Reyes, M. Torres-Aquino, I. Hernández-Ríos. 2021. Crecimiento, acumulación y distribución de materia seca en dos variedades de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* y *A. cruentus*) bajo fertigación. *Biotechnica*, 23(2): 14-21
- Mujica, A., J. Izquierdo, J.P. Marathee, C. Morón y S-E. Jacobsen (eds.). 1999. Prueba Americana de Cultivares de Amaranto (*Amaranthus caudatus* L., *Amaranthus hypochondriacus* L., *Amaranthus cruentus* L.). pp 47-53. In: Memorias: Reunión Técnica y Taller de Formulación de Proyecto Regional Sobre Producción y Nutrición Humana en Base a Cultivos Andinos, Arequipa, Arequipa, Perú. 20 – 24 de Julio de 1998. CIP y CONDESAN, Lima, Perú.
- Myers, R. 1996. Amaranth: New crop opportunity. P. 207-220 In: Janick, J. (ed.) Progress in new crops. ASHS Press, Alexandria, Virginia, United States of America.
- ODEPA. 2017. Región de Los Lagos: Información Regional 2017. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa) del Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Disponible en: http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1494447296LosLagosabril.pdf (Consultado en octubre de 2017)
- ODEPA. 2017. Región del Maule: Información Regional 2017. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa) del Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Disponible en: http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1489780011Maule.pdf (Consultado en octubre de 2017)
- ODEPA. 2017. Agricultura chilena. Reflexiones y desafíos al 2030. 1a. edición. Santiago, Chile: ODEPA. Disponible en: [ReflexDesaf_2030-1.pdf \(odepa.gob.cl\)](#) (Consultado en agosto 2022)
- Ojo, D. 2013. Phosphate (P) Sources and Irrigation Supply Influence Yield and Transpiration Water Use Efficiency in Grain Amaranth (*Amaranthus cruentus* L.). *Acta horticulturae* 1007(1007): 291-293
- Ortiz-Torres, E., A. Argumedo-Macías, H. García-Perea, R. Meza-Varela, R. Bernal-Muñoz, O. Taboada-Gaytán. 2018. Rendimiento y volumen de expansión de grano de variedades mejoradas de amaranto para valles altos de Puebla. *Revista fitotecnia mexicana*, 41(3): 291-300
- Ozeki K., Y. Miyazawa, D. Sugiura. 2022. Rapid stomatal closure contributes to higher water use efficiency in major C4 compared to C3 Poaceae crops. *Plant Physiology* 189 (1): 188–203
- Porr, M. 2012 Amarantho: planta latinoamericana con fuerzas colosales. *Revista Mexicana de semillas*. 11-3

Rajan, P., R. Lada, M. MacDonald. 2019. Advancement in Indoor Vertical Farming for Microgreen Production. *American Journal of Plant Sciences* 10, 1397-1408

Regional Symposium on Sustaining Small-Scale Vegetable Production and Marketing Systems for Food and Nutrition Security (SEAVEG2014) (February 25-27, 2014, Bangkok, Thailand). 2015. Amaranth sprouts and microgreens – a homestead vegetable production option to enhance food and nutrition security in the rural-urban continuum. Ebert, A., D. Wu., R-Y, Yang. 233-244

Riggio, G., Q. Wang, K. E. Kniel, and K. E. Gibson. 2019. Microgreens-A review of food safety considerations along the farm to fork continuum. *International Journal of Food Microbiology* 290:76-85.

Rocío, J., J. Pastor, M. Alaiz, C. Megías y J. Vioque. 2007. Caracterización proteica de las semillas de once especies de amaranto. *Grasas y Aceites*, 58 (1): 49-55

Royo, C., F. Álvaro, V. Martos. 2007. Genetic changes in durum wheat yield components and associated traits in Italian and Spanish varieties during the 20th century. *Euphytica* 155: 259-270

Rubio N. (2016). Efecto del empaque y temperatura en la vida útil de brotes de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) para consumo humano (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas, Quito.

Sarricolea, P. y O. Meseguer-Ruiz. 2015. Sequías en Chile central a partir de diferentes índices en el período 1981-2010. *Investigaciones Geográficas* 50: 19-32

Sauer, J.D. 1950. The grain amaranths: a survey of their history and classification. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 37: 561–632

Sauer, J.D. 1967. The grain amaranths and their relatives: a revised taxonomic and geographic survey. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 54: 103–137

Sinclair, T., C. Tanner and J. Bennett. 1983. Water-Use Efficiency in Crop Production. *BioScience* 34 No. 1: 36-40

Stallknecht, G. y J. Schulz-Schaeffer. 1993. Amaranth rediscovered. p. 211-218. In: Janick, J. and Simon, J.E. (eds.) *New crops*. Wiley, New York, New York, Unites States of America.

Stetter, M. G., & Schmid, K. J. (2017). Analysis of phylogenetic relationships and genome size evolution of the *Amaranthus* genus using GBS indicates the ancestors of an ancient crop. *Molecular phylogenetics and evolution*, 109, 80-92.

Treadwell D.D., Hochmuth R., Landrum L., Laughlin W. 2010. Microgreens: A new specialty crop. University of Florida, IFAS, EDIS publ. HS1164. Disponible en: <https://edis.ifas.ufl.edu/hs1164> (Consultado en noviembre 2022)

Urbano, G., P. Aranda, A. Vílchez, C. Aranda, L. Cabrera, J. Porres, M. López-Jurado. 2005. Effects of germination on the composition and nutritive value of proteins in *Pisum sativum*, L. *Food Chemistry* 93: 671–679

- Vara P., R. Bheemanahalli, S. Krishna. 2017. Field crops and the fear of heat stress— Opportunities, challenges and future directions, *Field Crops Research* 200: 114-121
- Vargas-Ortiz E., H. Magdaleno, J. González, A. Gutiérrez, E. Bojórquez, E. Espitia, A. Paulina. 2021. Biomass, chlorophyll fluorescence, and osmoregulation traits let differentiation of wild and cultivated *Amaranthus* under water stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 220: 10p
- Verbist, K., F. Santibañez, D. Gabriels y G. Soto. 2010. Atlas de zonas áridas de américa latina y el Caribe. PHI-VII, Documento Técnico 25: 48p
- Verslues PE, Agarwal S, Zhu J, Zhu JK. 2006. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing abiotic stress that affect plant water status. *Plant J.* 45(4):523-539
- Villalobos, F.; L. Mateos; F. Orgaz y E. Fereres. 2009. *Fitotecnia: Bases y tecnologías de la producción agrícola.* 2ª Ed. México: Mundi-Prensa. 496p
- Wright, R., D. Coble, D. Raper, W. Rufty. 1999. Comparative responses of soybean (*Glycine max*), sicklepod (*Senna obtusifolia*), and Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) to root zone and aerial temperatures. *Weed Science*, 47(2): 167–174.
- Youssef, R., M. Kyriacou, S. Petropoulos, S. De Pascale, and G. Colla. 2018. Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae* 234:275-289.
- Xarvier, J., D. Souza, L. Souza, T. Guerra, L. Resende, J. Pereira. 2018. Nutritive potential of amaranth weed grains. *African Journal of Agricultural Research* 13(22): 1140–1147
- Xiao, Z., Y. Luo, G. Lester, L. Kou, T. Yang, Q. Wang. 2014. Postharvest quality and shelf life of radish microgreens as impacted by storage temperature, packaging film, and chlorine wash treatment. *LWT - Food Science and Technology* 55(2): 551–558.
- Xiao, Z., G. Lester, E. Park, R. Saftner, Y. Luo, Q. Wang. 2015. Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens. *Postharvest Biology and Technology* 110: 140–148
- Zubillaga, M. 2017. Comportamiento del cultivo de amaranto en el Valle Inferior del Río Negro, Argentina. Optimización de las condiciones del cultivo. Tesis Doctoral en Ciencias Agrarias. Bahía Blanca, Argentina: Universidad Nacional del Sur. 294h

APÉNDICE

Apéndice I.

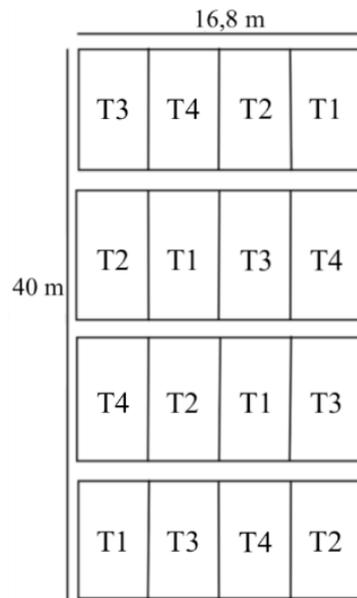


Figura 1. Distribución espacial de los tratamientos en un diseño en bloques completos al azar.

ANEXOS

Cuadro 1. Análisis del suelo del ensayo en Isla de Maipo por Agrolab, en los primeros 20 cm de suelo.

pH	Conductividad eléctrica	Materia Orgánica	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
-	dS/m	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg
8,0	0,66	3,3	46	121	186

Figura 1. Diagrama del espacio de color CIE L*C*h.

