

Comportamiento agronómico de cinco variedades de zanahoria bajo condiciones de ambiente protegido y campo abierto en verano

Agronomic performance of five carrot varieties under protected environment and open field conditions in summer

Lourdes Mabel Sostoa Alegre^{1*}, Cipriano Ramón Enciso Garay¹, Victoria Rossmayr Santacruz Oviedo¹,
Nadia Carolina Sanabria Verón¹ y Fanni Petrona Ruíz¹

¹ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Maestría en Producción Vegetal. San Lorenzo, Paraguay.

*Autor para correspondencia:
lmsostoa@gmail.com

Conflictos de interés:

No existe ningún tipo de conflicto a declarar

Contribución de autores:

Todos los autores realizaron contribuciones sustanciales a la concepción y diseño de este estudio, al análisis e interpretación de los datos, revisión del manuscrito y aprobación de la versión final. Todos los autores asumen la responsabilidad del contenido del manuscrito.

Financiamiento:

Ninguno

Historial:

Recibido: 28-10-2024;

Aceptado: 28-03-2025;

Publicado: 29-04-2025

Disponibilidad de datos: Todo el conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio está disponible mediante solicitud al autor de correspondencia. El conjunto de datos no está públicamente disponible dada su confidencialidad.

Responsible Editor:

Arnaldo Esquivel-Fariña
Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, Paraguay.

License:

Article published in open access under a Creative Commons CC-BY 4.0 license.

RESUMEN

Este experimento fue conducido entre los meses de enero a abril de 2023, y tuvo como objetivo evaluar el comportamiento agronómico de raíces de cinco variedades de zanahoria en condiciones de campo y ambiente protegido. Las variables evaluadas fueron: temperatura de los ambientes, stand de plantas, número de hojas, longitud y masa fresca de hojas, masa fresca, longitud y diámetro de raíz, rendimiento total, comercial y no comercial. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y, en caso de diferencias significativas, las medias fueron comparadas por la prueba de Scott-Knott al 5% de probabilidad de error. Los resultados obtenidos de los análisis estadísticos indican que no hubo interacción para las variables evaluadas, a excepción del rendimiento total. Se encontraron diferencias significativas para los ambientes en todas las variables, con excepción del rendimiento total de raíz. En campo abierto fueron superiores las medias de la masa fresca y longitud de la raíz. Las variedades Nativa y Brasilia Irecê obtuvieron mayor masa y longitud de raíces con medias de 116,13 g y 98,37 g; 12,53 cm y 12,32 cm, respectivamente. La variedad Nativa fue la que presentó mejor desempeño para las características agronómicas en verano.

Palabras clave: *Daucus carota*, horticultura, malla de sombre, productividad

Abstract

This experiment was conducted from January to April 2023, with the objective of evaluating the agronomic performance of five carrot varieties under both field and protected environment conditions. Variables assessed included: ambient temperature, plant stand, leaf count, leaf length and fresh weight, root fresh weight, length and diameter, as well as total, commercial, and non-commercial yields. Data underwent analysis of variance, and when significant differences were detected, means were compared using the Scott-Knott test at 5% probability error. Statistical analyses revealed no interaction among the evaluated variables, except for total yield. Significant differences between growing environments were found for all variables except total root yield. In open field conditions, superior means were observed for fresh weight and root length. The Nativa and Brasilia Irecê varieties achieved greater root mass and length, with means of 116.13 g and 98.37 g; 12.53 cm and 12.32 cm, respectively. Overall, the Nativa variety demonstrated superior performance in agronomic characteristics during summer conditions.

Key words: *Daucus carota*, horticulture, productivity, shading mesh

INTRODUCCIÓN

La zanahoria, perteneciente a la antigua familia Umbelliferae (actualmente clasificada como Apiaceae), es originaria del centro asiático y del mediterráneo. Se encuentra entre los cultivos más extensamente cultivados a nivel mundial y posee un importante valor económico (Saavedra y Kehr, 2019; Filgueira, 2008). Consumida globalmente, esta hortaliza ofrece significativos beneficios nutricionales debido a su rico contenido de beta-caroteno, precursor de la vitamina A, así como valiosas sales minerales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2022).

En Paraguay, la superficie sembrada durante el año agrícola 2018/19 fue de 1.100 hectáreas, con un volumen de producción de 13.200 toneladas y un rendimiento promedio de 12.000 kg/ha (Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 2019). De acuerdo con datos de la Dirección de Abastecimiento de la Municipalidad de Asunción (DAMA) (2023), la producción nacional de zanahoria no satisface la demanda local entre los meses de febrero y mayo, lo que hace necesaria la importación desde Brasil y Argentina.

Esta deficiencia productiva se deriva de condiciones climáticas adversas, particularmente las elevadas

temperaturas características de este período (Enciso-Garay y Zaracho Aguilar, 2011). Muchos productores no han adoptado variedades adaptadas a condiciones de alta temperatura debido a la insuficiente información científica sobre el comportamiento varietal durante esta temporada desafiante. Uno de los factores críticos que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas es la temperatura; tanto temperaturas insuficientes como excesivas afectan la actividad metabólica, impactando consecuentemente la capacidad de la planta para competir por asimilados (Leandro, 2018).

Los ambientes protegidos consisten en un espacio estructurado que utiliza coberturas de protección como mallas de sombreo que reducen la penetración de luz y protegen a las plantas contra condiciones climáticas adversas, plagas y enfermedades. Este enfoque es ampliamente adoptado y aceptado en las regiones de producción hortícola (Pratt y Ortega, 2019). Adoptar innovaciones tecnológicas como el cultivo en ambiente protegido es esencial, ya que estos métodos pueden aumentar significativamente los rendimientos durante los meses de verano.

La identificación de variedades superiores de zanahoria que se desempeñen bien durante períodos de temperaturas elevadas permitiría la producción durante todo el año de este cultivo hortícola, tanto en condiciones de campo abierto como bajo coberturas protectoras.

Por las razones mencionadas, el objetivo general de esta investigación fue evaluar el comportamiento agronómico y la calidad de raíces de cinco variedades de zanahoria durante la temporada de verano, tanto en condiciones de campo abierto como en cultivo de ambiente protegido.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en el Centro Hortifrutícola de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, ubicado en la ciudad de San Lorenzo, Departamento Central, Paraguay.

Se utilizaron cinco variedades de zanahoria: Brasilia, Brasilia Irecê, Shin Kuroda, Rubí y Nativa. El diseño experimental utilizado fue en bloques completos al azar, con arreglo en parcelas divididas 2x5, donde la parcela principal estuvo representada por los ambientes: uno a campo abierto y otro bajo malla de sombreo color negro con 35% de retención de luz, y como parcela secundaria las cinco variedades de zanahoria, con un total de 10 tratamientos, con cuatro repeticiones (Tabla 1).

Cada unidad experimental estuvo constituida por un tablón de 1,50 m de largo y 1,20 m de ancho, con una altura de 15 cm, separados por camineros de 0,5 m. Cada tablón contenía cuatro hileras con separación de 0,3 m entre hileras. La superficie total del experimento fue de 128,52 m², divididos equitativamente entre el ambiente con malla de sombreo (64,26 m²) y las condiciones de campo abierto (64,26 m²).

De acuerdo a las características edáficas, el suelo de la región está clasificado como Rhodic Paleudult, con un considerable horizonte argílico, coloración rojiza y un régimen údico de humedad, categorizado dentro del orden Ultisol (López, González y De Llamas, 1995). Según el análisis de suelo y las recomendaciones del Laboratorio de Suelos, se aplicó cal agrícola dolomítica (500 kg ha⁻¹). La fertilización de base consistió en estiércol descompuesto (30 t ha⁻¹) y una aplicación de 40-00-70 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, administrada diez días antes de la siembra. La fertilización de cobertura se realizó 15 días después de la germinación, con nitrógeno aplicado a razón de 30 kg ha⁻¹.

Para los tratamientos en ambiente protegido, se instalaron mallas de sombreo color negro con 35% de retención de luz a una altura de 2,5 m, cubriendo completamente el área experimental designada. Para monitorear las condiciones de temperatura, se colocaron dos termómetros a una altura de 1,20 m en ambas áreas experimentales (parcela de campo abierto y parcela bajo malla de sombreo). Estos fueron monitoreados diariamente, con lecturas tomadas entre las 13:00 y 14:00 horas.

Tabla 1. Tratamientos del experimento con variedades de zanahoria en ambiente protegido y campo abierto. San Lorenzo, 2023.

Tratamientos	Variedades	Ambientes
T1	V1 Brasilia	BMS ¹
T2	V1 Brasilia	CA ²
T3	V2 Brasilia Irecê	BMS
T4	V2 Brasilia Irecê	CA
T5	V3 Shin Kuroda	BMS
T6	V3 Shin Kuroda	CA
T7	V4 Rubí	BMS
T8	V4 Rubí	CA
T9	V5 Nativa	BMS
T10	V5 Nativa	CA

¹ BMS: Bajo Malla de Sombreo

² CA: Campo Abierto

La siembra se realizó manualmente en hileras continuas, y las plantas fueron irrigadas mediante un sistema de goteo. Tras la emergencia, se realizó un raleo para mantener una densidad de 20 plantas por metro lineal.

La cosecha se efectuó a los 100 días después de la siembra. Todas las evaluaciones se realizaron en plantas de las hileras centrales de cada tratamiento y repetición para minimizar los efectos de borde.

Se evaluaron las siguientes variables:

1. Stand de plantas: Se consideraron las hileras centrales de cada tratamiento. Los resultados fueron expresados en número por plantas por metro lineal (m^{-1}). Se mantuvieron 20 plantas por metro lineal y la evaluación se realizó una semana antes de la cosecha.
2. Número de hojas: Se contó individualmente para cada planta muestreada. Los resultados se expresaron como número de hojas por planta.
3. Longitud de hojas: Se midió con una regla centimetrada desde el ápice hasta el hombro de la raíz. Los resultados se expresaron en centímetros (cm).
4. Masa fresca de raíz: Se determinó usando una balanza de precisión. Los resultados de cada tratamiento fueron expresados en gramos (g).
5. Longitud de raíz: Se midió con una regla centimetrada desde la punta de la raíz hasta el hombro o cuello de la planta. Los resultados fueron expresados en centímetros (cm).
6. Diámetro de la raíz: Se midió en el hombro de la raíz utilizando un calibrador Vernier. Los resultados se expresaron en centímetros (cm).
7. Rendimiento total de raíz: Se calculó sumando la masa de raíz por unidad experimental. Los resultados se expresaron en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$).
8. Rendimiento comercial de raíz: La clasificación de calidad se realizó de acuerdo con las normativas establecidas por el Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas (Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas (SENAVE), 2014). Los resultados se expresaron en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$).
9. Rendimiento no comercial de raíz: Incluyó raíces descartadas (bifurcadas, agrietadas o con longitud inferior a 10 cm). Los resultados se expresaron en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$).

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y, en caso de diferencias significativas, las medias fueron comparadas mediante la prueba de Scott-Knott al 5% de probabilidad de error. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software Infostat, versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el transcurso del experimento, se registró una temperatura promedio de 34°C tanto en condiciones de campo abierto (CA) como en ambiente protegido (AP). La temperatura más alta se observó durante la segunda semana, alcanzando 39,5°C en campo abierto y 39°C en ambiente protegido. Estas mediciones indican que no hubo diferencias sustanciales de temperatura entre los dos ambientes de cultivo.

Aunque la zanahoria se considera tradicionalmente un cultivo de estación fresca, se han desarrollado variedades modernas con adaptaciones a condiciones tropicales y subtropicales, capaces de crecer en temperaturas que van desde 4 hasta 40°C (Guimarães, 2019). Para climas cálidos, el rango óptimo de temperatura para el desarrollo de la zanahoria está entre 20 y 30°C (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, (EMBRAPA), 2021). Como se ilustra en la Figura 1, los valores de temperatura registrados durante esta investigación excedieron este rango óptimo para el desarrollo del cultivo de zanahoria.

El análisis estadístico (ANOVA) reveló que no hubo interacción significativa entre ambientes y variedades para las variables stand de plantas, masa fresca de raíz, longitud de raíz, diámetro de raíz y número de hojas por planta. Sin embargo, se detectaron diferencias significativas para el factor ambiente en todas las variables mencionadas anteriormente, mientras que el factor variedad mostró diferencias significativas específicamente para stand de plantas, masa fresca de raíz y longitud de raíz (Tabla 2).

El ambiente protegido obtuvo la mayor media con 18,89 plantas m^{-1} , difiriendo significativamente de lo registrado en condiciones de campo abierto donde se observó una pérdida de aproximadamente 50%, debido principalmente a la mala germinación de las semillas, a pesar de haber utilizado la misma densidad de siembra en ambos ambientes (Tabla 2). El stand de plantas está directamente correlacionado con el éxito de la germinación, y según Pereira, Nascimento y Vieira (2008), la temperatura es uno de los factores abióticos más críticos que afectan la germinación de semillas. Su investigación demostró porcentajes de germinación variables entre diferentes variedades en condiciones de campo abierto, con germinación óptima entre 20-32°C, mientras que temperaturas entre 35-40°C inhiben la germinación de semillas y comprometen el establecimiento en campo. De manera similar, Saavedra y Kehr (2019) enfatizan que la temperatura y la humedad son fundamentales para una germinación exitosa, identificando 26°C como la temperatura óptima con un umbral superior de 35°C.

Con respecto a la masa fresca de raíz, las plantas cultivadas en condiciones de campo abierto exhibieron valores significativamente más altos, con un promedio de 131,11 g por raíz, en comparación con aquellas en ambiente protegido, que produjeron valores sustancialmente más bajos, promediando 51,95 g por raíz.

Oliveira (2019), en una investigación que estudió los efectos de mallas de sombreo en el cultivo de zanahoria,

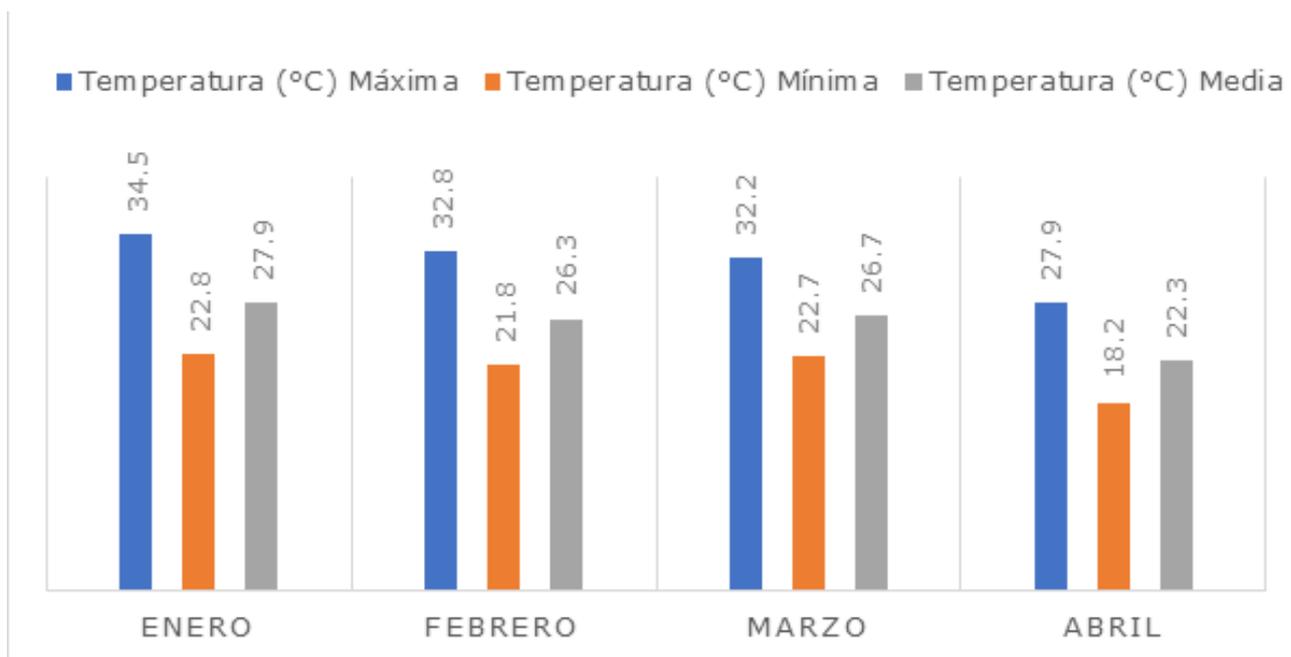


Figura 1. Registro de las temperaturas registradas en el periodo del experimento, San Lorenzo, Paraguay. 2023.

Tabla 2. Valores medios de stand de plantas (StP), masa fresca de la raíz (MFR), longitud de raíz (LR), diámetro de la raíz (DR) y número de hojas (NH) de cinco variedades de zanahoria sembradas en diferentes ambientes en verano. FCA/UNA, San Lorenzo, Paraguay, 2023.

Ambientes (Factor principal)	StP (plantas m ⁻¹)	MFR (g)	LR (cm)	DR (cm)	NH (n° p ⁻¹)
Media sombra	18,98 A	51,95 B	9,42 B	3,01 B	9,34 B
Campo abierto	9,41 B	131,11 A	14,02 A	4,10 A	11,83 A
Variedades (Factor secundario)					
Brasilia	15,71 ^{ns}	69,06 b	10,84 b	3,24 ^{ns}	9,85 ^{ns}
Brasilia Irecê	14,13	98,37 a	12,32 a	3,31	10,94
Shin Kuroda	13,81	90,97 b	11,38 b	3,62	10,85
Rubí	14,44	83,12 b	11,52 b	3,39	11,28
Nativa	12,88	116,13 a	12,54 a	4,2	9,99
Media general	14,19	91,53	11,72	3,55	10,58
CV	24,05	29,94	10,46	11,13	17,86

Letras mayúsculas en común para las columnas y letras minúsculas en relación a las variedades, no difieren entre sí por la prueba de Scott-Knott al 5% de probabilidad de error.

ns: no significativo

reportó valores más altos de masa fresca de raíz (114,45 g) en condiciones de campo (testigo) en comparación con malla de sombreo negra (50%), que produjo solo 77,51 g. El investigador concluyó que las mallas de sombreo reducen la disponibilidad de radiación independientemente del color de la malla, disminuyendo consecuentemente la masa fresca de raíces. Queiroga, Bezerra Neto, Negreiros, Oliveira y Azevedo (2001) señalaron que la actividad fotosintética aumenta cuando las plantas están expuestas a condiciones de luz más favorables, respaldando la

observación de que la reducción de radiación puede impactar negativamente el desarrollo de la raíz.

Entre las variedades evaluadas en este estudio, Nativa exhibió la mayor masa fresca de raíz con 116,13 g por raíz, superando significativamente a las variedades Brasilia, Shin Kuroda y Rubí. Sin embargo, no se observó diferencia estadística entre las variedades Nativa y Brasilia Irecê (Tabla 2). En un estudio comparable, Resende, Yuri, Costa y Mota (2016) evaluaron 12 variedades de zanahoria en

condiciones de campo abierto durante el verano y reportaron valores medios de 77,6 g y 70,1 g para las variedades Brasilia y Shin Kuroda, respectivamente. De manera similar, Zaracho Aguilar (2010), en una evaluación de cinco variedades, documentó que Brasilia y Brasilia Irecê produjeron masas frescas de raíz de 91,10 g y 86,90 g, respectivamente—valores más altos que los observados para estas mismas variedades en nuestra investigación actual.

Como se ilustra en la Tabla 2, la longitud de raíz fue significativamente mayor en condiciones de campo abierto, con un promedio de 14,02 cm, en comparación con el tratamiento con malla de sombreo. Oliveira (2019) atribuye el mayor alargamiento de raíz en cultivo a pleno sol a una mayor capacidad fotosintética, ya que la luz solar sin filtrar proporciona un espectro de radiación más amplio con proporciones más altas de longitudes de onda roja y rojo lejano. Estas cualidades específicas de luz optimizan la intensidad y eficiencia de utilización de la radiación fotosintéticamente activa. Es importante señalar que la longitud de raíz en zanahoria resulta de interacciones complejas entre rasgos genotípicos específicos del cultivar, condiciones ambientales prevalecientes y tecnologías de cultivo aplicadas (Szczepanek, Wilczewski, Pobereźny, Wszelaczyńska, y Ochmian, 2017).

Entre los cultivares evaluados, Brasilia Irecê y Nativa demostraron un desarrollo superior de longitud de raíz, con medias de 12,32 cm y 12,54 cm respectivamente, superando significativamente a todas las demás variedades en el ensayo. Estos resultados coinciden con los hallazgos reportados por Enciso-Garay y Zaracho (2011), quienes documentaron longitudes de raíz comparables de 12,52 cm y 12,28 cm para las variedades Brasilia Irecê y Brasilia durante el cultivo de verano-otoño. La longitud de raíz representa un parámetro comercial crítico sujeto a estándares de calidad específicos; según la clasificación establecida por el Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas (SENAVE, 2014), las longitudes medias observadas en este experimento se clasifican dentro de la categoría "corta".

El diámetro del hombro de la raíz exhibió diferencias significativas entre ambientes de cultivo, con plantas cultivadas en condiciones de campo abierto desarrollando diámetros sustancialmente mayores (4,10 cm) en comparación con aquellas en el ambiente protegido (3,01 cm). Entre las variedades, los diámetros medios oscilaron entre 4,20 cm para Nativa y 3,24 cm para Brasilia Irecê; sin embargo, estas diferencias varietales no fueron estadísticamente significativas.

Estos resultados pueden atribuirse a múltiples factores, incluyendo el tipo de suelo, el espaciamiento de plantas que afecta la competencia intraespecífica y las condiciones locales de temperatura (Barros Junior et al., 2005). En una investigación comparable, Zaracho Aguilar (2010) documentó mediciones similares de diámetro de raíz en condiciones de campo abierto para las variedades Brasilia y Brasilia Irecê, reportando medias de 3,4 cm y 3,3 cm respectivamente. Como señala Díaz González (2021), existe naturalmente una variabilidad significativa en la forma y tamaño de raíz entre las variedades de zanahoria,

representando características genotípicas inherentes que influyen en el desarrollo morfológico.

Sin embargo, es destacable que la longitud de hojas, el rendimiento total y el rendimiento no comercial fueron superiores en condiciones de ambiente protegido, mientras que el número de hojas por planta y el rendimiento comercial mostraron mejor desempeño en condiciones de campo abierto (Tabla 3). Entre las variedades evaluadas, Nativa y Shin Kuroda exhibieron un desarrollo foliar significativamente mayor y un mayor número de hojas en comparación con los otros cultivares evaluados.

El número de hojas por planta varió entre las variedades evaluadas, oscilando entre 9,85 (Brasilia) y 11,28 (Rubi). Estos valores coinciden estrechamente con los hallazgos reportados por Enciso-Garay y Zaracho Aguilar (2011), quienes documentaron medias entre 8 y 10 hojas por planta al evaluar cinco variedades de zanahoria en condiciones de campo abierto. Según Goneim, Ibrahim y El-Shehawey (2011), el número de hojas y los índices relacionados con el área foliar son de los indicadores más confiables del rendimiento potencial del cultivo. Respaldo esta correlación, Gomes (2019) reportó resultados similares al evaluar 10 variedades de zanahoria, específicamente observando aproximadamente 10 hojas por planta para la variedad Brasilia.

En relación a las variables longitud de hojas, masa fresca de hojas, rendimiento comercial y no comercial de raíz, el análisis estadístico (ANOVA) demostró que hubo diferencias significativas atribuibles a factores ambientales para todos estos parámetros. Adicionalmente, el factor variedad mostró diferencias significativas específicamente para las mediciones de longitud de hojas y masa fresca de hojas (Tabla 3).

Para la longitud de hojas, el ambiente protegido produjo hojas significativamente más largas, con un promedio de 60,27 cm, en comparación con las condiciones de campo abierto que promediaron 52,11 cm. Estos hallazgos coinciden con Oliveira (2019), quien documentó mayor elongación foliar bajo malla de sombreo negra con 50% de retención de luz en investigación de cultivo de zanahoria. El investigador observó que las plantas sometidas a diferentes intensidades de luz exhiben cambios medibles en sus características fisiológicas, morfológicas y de crecimiento.

Estudios en ambientes protegidos (invernaderos) han demostrado consistentemente un desarrollo vegetativo mejorado, particularmente en cuanto a altura del follaje (Nina Alejo, 2020). Las plantas no naturalmente adaptadas a condiciones de baja radiación poseen mecanismos fisiológicos que aceleran el crecimiento vertical, respondiendo al sombreado mediante la elongación del tallo mientras buscan mayor exposición a la luz (Schuster, Kawakami, Broetto, Szycsak y Ramalho, 2012)

Entre las variedades evaluadas, Nativa y Shin Kuroda exhibieron un desarrollo foliar superior, con longitudes

Tabla 3. Valores medios de longitud de hojas (LH), masa fresca de hojas (MFH), rendimiento total de la raíz, rendimiento comercial de raíz (RCR) y rendimiento no comercial de raíz (RNCR) de cinco variedades de zanahoria sembradas en diferentes ambientes en verano. FCA/UNA, San Lorenzo, Paraguay, 2023.

Ambientes (Factor principal)	LH (cm)	MFH (g)	RT (t h ⁻¹)	RCR (t h ⁻¹)	RNCR (t h ⁻¹)
Media sombra	60,17 A	52,25 B	44,10 A	25,98 B	18,14 A
Campo abierto	52,11 B	99,28 A	46,14 A	39,23 A	6,90 B
Variedades (Factor secundario)					
Brasilia	52,91 b	54,61 b	36,68 ns	25,92 ns	10,86 ns
Brasilia Irecê	54,64 b	79,61 a	53,33	39,79	13,54
New Kuroda	60,20 a	86,86 a	42,91	31,74	11,17
Rubí	52,46 b	61,98 b	45,21	31,68	13,53
Nativa	60,49 a	95,76 a	47,48	33,87	13,49
Media General	56,14	75,76	42,12	32,6	12,52
CV	8,15	41,88	25,55	35,86	40,94

Letras mayúsculas en común para las columnas y letras minúsculas en columnas en relación a las variedades, no difieren entre sí por la prueba de Scott-Knott al 5% de probabilidad de error.

*ns: No significativo.

medias de 60,49 cm y 60,20 cm respectivamente, superando significativamente a todas las otras variedades evaluadas en el ensayo. Estos hallazgos son consistentes con las observaciones reportadas por Meza y Daboín-León (2023). En contraste, Resende, Yuri, Costa y Mota (2016), en su evaluación exhaustiva de 12 variedades de zanahoria, documentaron una longitud media de hojas de 48,65 cm para Shin Kuroda, considerablemente menor que los valores registrados en nuestro estudio actual. De manera similar, Gomes (2019), quien evaluó diez variedades de zanahoria en condiciones de campo, reportó longitudes foliares más modestas para las variedades Nativa y Brasilia (50,68 cm y 46,38 cm respectivamente), valores significativamente inferiores a los observados en nuestro experimento.

Los datos de masa fresca de hojas revelaron diferencias significativas tanto entre ambientes de cultivo como entre variedades. Respecto a los efectos ambientales, las condiciones de campo abierto produjeron sustancialmente mayor biomasa foliar, con plantas promediando 99,28 g planta⁻¹, mientras que aquellas cultivadas en el ambiente protegido (bajo malla de sombreo) desarrollaron significativamente menos masa foliar, promediando solo 52,25 g planta⁻¹.

Entre las variedades evaluadas, Nativa (95,76 g), Shin Kuroda (86,86 g) y Brasilia Irecê (79,61 g) demostraron masa fresca de hojas significativamente superior en comparación con Rubí y Brasilia, que produjeron solo 61,98 g y 54,61 g respectivamente (Tabla 3). La productividad y el rendimiento del cultivo de zanahoria están determinados por la compleja interacción de condiciones ambientales, características genéticas de la variedad seleccionada y prácticas de cultivo aplicadas. Esta interacción multifacética facilita el desarrollo óptimo de la raíz y permite la expresión completa del potencial genotípico específico para cada ambiente de producción (Gaviola, 2013).

La investigación indica que la incorporación de fertilizantes

orgánicos mejora la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes, mejorando consecuentemente la producción general (Megueni, Tchuenteu, Noubissie, Maimouna y Bachirou, 2017). En un estudio comparativo que examinó el desempeño agronómico de cinco variedades de zanahoria (*Daucus carota* L.) durante el cultivo de verano-otoño, Zaracho Aguilar (2010) documentó rendimientos más bajos en condiciones de campo abierto para las variedades Brasilia y Brasilia Irecê, reportando medias de 26,3 t ha⁻¹ y 25,1 t ha⁻¹ respectivamente—valores considerablemente inferiores a los obtenidos en la presente investigación.

En investigaciones comparativas, Gomes (2019) realizó un ensayo de campo abierto evaluando diez variedades de zanahoria y documentó rendimientos más bajos para las variedades Nativa y Brasilia (31,84 t ha⁻¹ y 24,11 t ha⁻¹ respectivamente) que los observados en nuestro estudio. De manera similar, Zaracho Aguilar (2010) reportó un desempeño de rendimiento aún más modesto en condiciones de campo abierto para las variedades Brasilia Irecê y Brasilia, con medias de solo 20,30 t ha⁻¹ y 19,28 t ha⁻¹ respectivamente.

Respecto al rendimiento no comercial, nuestros resultados revelaron que el ambiente protegido generó una proporción sustancialmente mayor de raíces no comercializables (18,14 t ha⁻¹) en comparación con las condiciones de campo abierto, que produjeron significativamente menos raíces no comerciales (6,90 t ha⁻¹). Entre las variedades evaluadas, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas, Brasilia Irecê exhibió el mayor rendimiento no comercial (13,54 t ha⁻¹), seguida muy de cerca por Rubí y Nativa con valores casi idénticos (13,53 t ha⁻¹ y 13,49 t ha⁻¹ respectivamente). Las variedades Shin Kuroda y Brasilia demostraron marginalmente mejor calidad comercial, produciendo los rendimientos no comerciales más bajos con medias de 11,17 t ha⁻¹ y 10,86 t ha⁻¹ respectivamente (Tabla 3).

CONCLUSIONES

Las variedades evaluadas no demostraron interacción significativa con los ambientes de cultivo; sin embargo, las variedades Nativa y Brasília Irecê exhibieron un desempeño agronómico superior en múltiples parámetros incluyendo masa fresca de raíz, longitud de raíz, longitud de hojas y masa fresca de hojas. Adicionalmente, la variedad Nativa alcanzó el mayor diámetro de raíz entre todos los cultivares evaluados.

Respecto a los efectos ambientales, las condiciones de campo abierto produjeron consistentemente mejores resultados para características comerciales críticas incluyendo masa fresca de raíz, longitud de raíz, diámetro de raíz y número de hojas por planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Barros Junior, A. P., Bezerra Neto, F., Silva, E. O., Negreiros, M. Z., Oliveira, E. Q., Da Silveira, L. M., Lima, J. S. S. y Freitas, K. K. C. (2005). Qualidade de raízes de cenoura em sistemas consorciados com alface sob diferentes densidades populacionais. *Horticultura Brasileira, Brasília*, 23(2), 290-293. Disponible em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000200025>
- DAMA (Dirección de Abastecimiento de la Municipalidad de Asunción, Dpto. de Estadísticas). (2023). *Cultivo de zanahoria nacional y extranjera 2023*. Asunción. DAMA.
- Díaz González, C. A. (2021). *Manejo del cultivo de Zanahoria (Daucus carota) cv. Japonesa en el valle de Cañete*. (Tesis Ing. Agr.). Lima: UNALM. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5062>
- Di Rienzo, S. L., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2020). *InfoStat versión actualizada 2020*. Grupo InfoStat. Córdoba: FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Disponible en: <https://www.infostat.com.ar>
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). (2021). *Sistema de produção de cenoura*. Disponible em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/cenoura/clima2>
- Enciso Garay, C. R. y Zaracho Aguilar, C. M. (2011). Evaluación de variedades de zanahoria sem bradas en verano. *Revista Investigación Agraria*, 13 (2), 75-79. Disponible en: <https://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/218/211>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2022). *Cantidades de producción por país promedio*. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QLC>.
- Filgueira, F. A. R. (2008). *Novo manual de olericultura: agrotecnología moderna na produção de hortaliças*. 3 ed. Viçosa: Editora UFV. 418 p.
- Gaviola, J. C. (2013). *Manual de producción de zanahoria*. Disponible en: <https://inta.gov.ar/documentos/manual-de-produccion-de-zanahoria>
- Gomes, V. E. (2019). Desempenho agronômico de cultivares de cenoura em função da época de plantio. (Tesis de Maestría en Agronomía: Fitotecnia). Mossoró, Río Grande del Norte: UFERSA. Disponible en: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/3738>
- Goneim, G., Ibrahim, F., y El-Shehawy, S. (2011). Carrot Leaves: Antioxidative and Nutritive Values. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 2 (4), 201-211. doi: 10.21608/jfds.2011.81946
- Guimarães, C. M. (2019). Irrigação de cultivares de alface e cenoura em ambiente protegido. (Tesis de Doctorado). Madrid: UFV. Disponible en: <https://locus.ufv.br//handle/123456789/27406>
- Leandro, F. (2018). *Adaptación y rendimiento de cinco variedades de Zanahoria (Daucus carota L.) en condiciones de Yanahuanca -Pasco*. (Tesis In. Agr.) Yanahuanca : UNDAC. Disponible en: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/609>
- López, G. O., González, E. E. y De Llamas, G. (1995). *República de Paraguay: Mapa de reconocimiento de suelos de la Región Oriental*. Asunción, Paraguay. 260 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2019). *Síntesis estadística. Informe*. San Lorenzo. Disponible en: https://www.mag.gov.py/Censo/SINTESIS%202018_2019_vers._final_04.12.2019%20mod.pdf
- Megueni, C., Tchuenteu, L., Noubissie, E., Maimouna, A. y Bachirou, H. (2017). Field Productivity of Carrot (DaucuscarotaL.) in Adamawa Cameroonand Chemical Properties of Roots According ToChicken Manure Pretreatments and Vivianite Powder. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 10(5), 16-23. doi: 10.9790/2380-1005011623
- Meza, N. M. y Daboín-León, B. M. (2023). Comportamiento agronómico del híbrido de zanahoria Candela bajo dos densidades de siembra en condiciones de Cubiro, Estado Lara-Venezuela. *Revista Científica Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 1 (20), 81-90. Disponible en: <http://doi.org/10.5281/zenodo.8194646>
- Nina Alejo, D. (2020). *Evaluación de tres variedades de zanahoria (daucus carota l.) en invernadero y a campo abierto en el municipio de la ciudad de la Paz*. (Tesis Lic. Agr.). La Paz, Bolivia: UMSA. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/25659>
- Oliveira, L. G. (2019). *Malhas de sombreamento e concentrações de ácido salicílico no cultivo de cenoura em sistema orgânico de Produção*. (Tesis Agr.). Laranjeiras do Sul: UFFS. Disponible en: <https://>

rd.uffs.edu.br/handle/prefix/3766

- Pereira, R. S., Nascimento, W. M. y Vieira, J. V. (2008). *Germinação e vigor de sementes de cenoura em resposta a temperatura e ordens de umbela*. *Revista Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.)*, 65 (2), 145-150. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000200006>
- Pratt, L., y Ortega, J. M. (2019). *Agricultura protegida em México: Elaboración de la metodología para el primer bono verde agrícola certificado*. BID, 73 p. <https://doi.org/10.18235/0001705>
- Queiroga, R. C. F., Bezerra Neto, F., Negreiros, M. Z., Oliveira, A. P. y Azevedo, C.M.S.B. (2001). Produção de alface em função de cultivares e tipos de tela de sombreamento nas condições de Mossoró. *Horticultura Brasileira, Brasília*, 19 (3), 192-196. Disponible em: <http://www.scielo.br/pdf/hb/v19n3/v19n3a06>
- Resende, G. M., Yuri, J. E., Costa, N. D. y Mota, J. H. (2016). Desempenho de cultivares de cenoura em sistema orgânico de cultivo em condições de temperaturas elevadas. *Horticultura Brasileira* 34, (1): 121-125. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620160000100018>
- Saavedra, G. y Kehr, E. (2019). Zanahoria. In Saavedra, G; Jana, C; Kehr, E. (eds) *Hortalizas para procesamiento industrial*. *Boletín INIA* 411:71-119. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6818>
- SENAVE (Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas). (2014). *Reglamento técnico para la fijación de identidad y calidad de la zanahoria*. Resolución de 2014. Asunción: SENAVE, 11 p.
- Schuster, M. Z., Kawakami, J., Broetto, D., Szycsak, L. y Ramalho, K.R. (2012). Influência do fotoperíodo e da intensidade de radiação solar no crescimento e produção de tubérculos de rabanete. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias. Guarapuava-PR*, 5 (2), 73-86. Disponible en: <https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/1617/1754>
- Szczepanek, M., Wilczewski, E., Pobereźny, J., Wszelaczyńska, E. y Ochmian, I. (2017). Carrot root size distribution in response to biostimulant application. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, 67(4), 334-339. Recuperado de: <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1278783>
- Zaracho Aguilar, C. M. (2010). *Comportamiento agronómico de cinco variedades de zanahoria (Daucus carota L.) en verano-otoño*. (Tesis Ing. Agr.) San Lorenzo: UNA. 34 p.