



Comportamiento de dos variedades de cebolla (*Allium cepa*), en dos sistemas de producción y dos tipos de fertilización

Behavior of two onion varieties (*Allium cepa*) under two production systems and two types of fertilization

*Alejo Rellán. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Panamá.

alejo_rellan@yahoo.com

<https://orcid.org/0009-0003-5874-5988>

Elizabeth Morales. Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Panamá.

moralesely06@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-9229-1671>

Rubén Collantes. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Panamá.

rdcg31@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6094-5458>

Javier Pitti. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Panamá.

pittjavier28@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0776-8795>

Luis Vinda. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Panamá.

lvindarivera@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-7978-3977>

*Autor de Correspondencia: alejo_rellan@yahoo.com

Recibido: 15/04/2026

Aceptado: 28/05/2026

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v8n2.a10106>

RESUMEN. Se evaluó el efecto de dos sistemas de cultivo (casa de vegetación y campo abierto), dos variedades de cebolla (Alvara y Gladalan Brown) y dos métodos de fertilización (fertirriego y fertilización edáfica) sobre la producción y calidad del cultivo de cebolla en Tierras Altas de Chiriquí, Panamá. El estudio se realizó en la Estación Experimental del IDIAP, en Cerro Punta, mediante un diseño factorial $2 \times 2 \times 2$ en franjas divididas, con tres repeticiones. Se analizaron variables relacionadas con la cantidad y peso de bulbos clasificados por calibre (jumbo, grande, mediano, chico y deforme). Debido a la falta de normalidad de los datos, se aplicaron las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis, prueba post hoc de Dunn y ANOVA de Scheirer-Ray-Hare para el análisis estadístico. Los resultados evidenciaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre sistemas de cultivo, tratamientos y variedades. La casa de vegetación presentó un desempeño superior al campo abierto, reflejado en mayor rendimiento y mejor calidad comercial de los bulbos. La combinación CVT₁V₁ (casa de vegetación, fertirriego y variedad Alvara) destacó como la más eficiente, al producir mayor proporción de bulbos, peso y menor incidencia de no comerciales. En contraste, las combinaciones CAT₁V₂, CAT₂V₂ y CVT₂V₂ mostraron los resultados menos favorables en cantidad, peso y calidad. Se concluye que la interacción entre sistema de cultivo, fertilización y variedad influye significativamente en el rendimiento, por lo que la agricultura protegida con la variedad Alvara es una alternativa agronómica eficiente y sostenible para la producción de cebolla.

PALABRAS CLAVE: calidad comercial, cebolla, fertilización, rendimiento, sistemas de siembra, variedades.

ABSTRACT. The effect of two cultivation systems (greenhouse and open field), two onion varieties (Alvara and Gladalan Brown), and two fertilization methods (fertigation and soil fertilization) on onion crop production and quality was evaluated in the Highlands of Chiriquí, Panama. The study was conducted at the IDIAP Experimental Station in Cerro Punta using a $2 \times 2 \times 2$ factorial design in split-strip plots with three replications. Variables related to bulb quantity and weight were analyzed according to bulb size classification (jumbo, large, medium, small, and deformed). Due to the lack of normality in the data, the non-parametric Kruskal-Wallis test, Dunn's post hoc test, and the Scheirer-Ray-Hare ANOVA were applied for statistical analysis. The results showed significant differences ($p < 0.05$) among cultivation systems, treatments, and varieties. The greenhouse system showed superior performance compared to open-field conditions, reflected in higher yield and better commercial bulb quality. The CVT₁V₁ combination (greenhouse, fertigation, and Alvara variety) was identified as the most efficient treatment, producing a



greater proportion of commercial-grade bulbs and a lower incidence of deformed bulbs. In contrast, the CAT₁V₂, CAT₂V₂, and CVT₂V₂ combinations showed the least favorable results in terms of quantity, weight, and quality. It was concluded that the interaction among cultivation system, fertilization methods, and variety significantly influences crop performance, with protected agriculture using the Alvara variety representing an efficient and sustainable agronomic alternative for onion production.

KEYWORDS: commercial quality, cultivation systems, fertilization, onion, varieties, yield.

INTRODUCCIÓN

La dependencia histórica de la humanidad de los recursos naturales ha evolucionado hacia una explotación más intensiva debido al crecimiento social y la búsqueda de bienestar, generando tensiones entre desarrollo económico y conservación ambiental (Morera, 2000; Badii, 2004). En este contexto, la sustentabilidad de los agroecosistemas se entiende como la capacidad de mantener niveles productivos sin degradar irreversiblemente los recursos, aunque su implementación práctica presenta dificultades (Sarandón, 2002; Álvarez, 2015). El crecimiento demográfico intensifica la presión sobre la producción alimentaria, cuestionando su capacidad para satisfacer la demanda futura (Zamudio et al., 2008; FAO, 2018).

Para garantizar la seguridad alimentaria, es necesario incrementar la producción bajo criterios sostenibles, especialmente ante la presión demográfica proyectada hasta mediados del siglo XXI (Fígoli & Rodríguez, 2003). En este escenario, la agricultura protegida surge como una alternativa estratégica al permitir el control ambiental, reducir riesgos climáticos y optimizar recursos (Juárez et al., 2011). Este enfoque, aplicado particularmente en hortalizas, mejora la eficiencia productiva, reduce el consumo de agua hasta en un 20% y permite producir fuera de temporada, integrando además avances en genética y genómica para maximizar el rendimiento (Padilla et al., 2008; Vargas et al., 2015; Aurelio & Escobar, 2016; Henry, 2019).

El cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.), de gran relevancia alimentaria a nivel global, se ha adaptado eficazmente a sistemas protegidos, mejorando su rendimiento y la estabilidad productiva frente a las variaciones climáticas (Aurelio & Escobar, 2016; Teshika et al., 2019). En Panamá, la producción ha mostrado un crecimiento significativo, alcanzando 55,822.20 toneladas en el ciclo 2022–2023 (MIDA, 2023). Sin embargo, en el ciclo 2023–2024 se registraron 28,652.27 toneladas en 992 hectáreas, con un rendimiento promedio de 63.54 t/ha (MIDA, 2025), evidenciando variabilidad influenciada por el cambio climático y fenómenos como El Niño (Arteaga & Burbano, 2018).

MATERIALES Y MÉTODO

La investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), ubicada en Cerro Punta, distrito de Tierras Altas, provincia de Chiriquí, República de Panamá. Esta estación está situada en las coordenadas geográficas 327112.00E, 979099.00N y tiene una extensión aproximada de 3 hectáreas, que incluye áreas cultivadas y vegetación silvestre (Collantes et al., 2024).

La región presenta un clima tropical de montaña, caracterizado por temperaturas que oscilan entre los 7 y 18 °C, alta nubosidad y una precipitación anual promedio de 2,000 mm. Los suelos son variados y la topografía es predominantemente ondulada.

Las condiciones climáticas de la zona, propias de la altitud, mantienen temperaturas que la convierten en un entorno propicio para estudios agrícolas en clima fresco (Collantes et al., 2024). Se evaluaron dos variedades de cebolla en dos sistemas de producción.

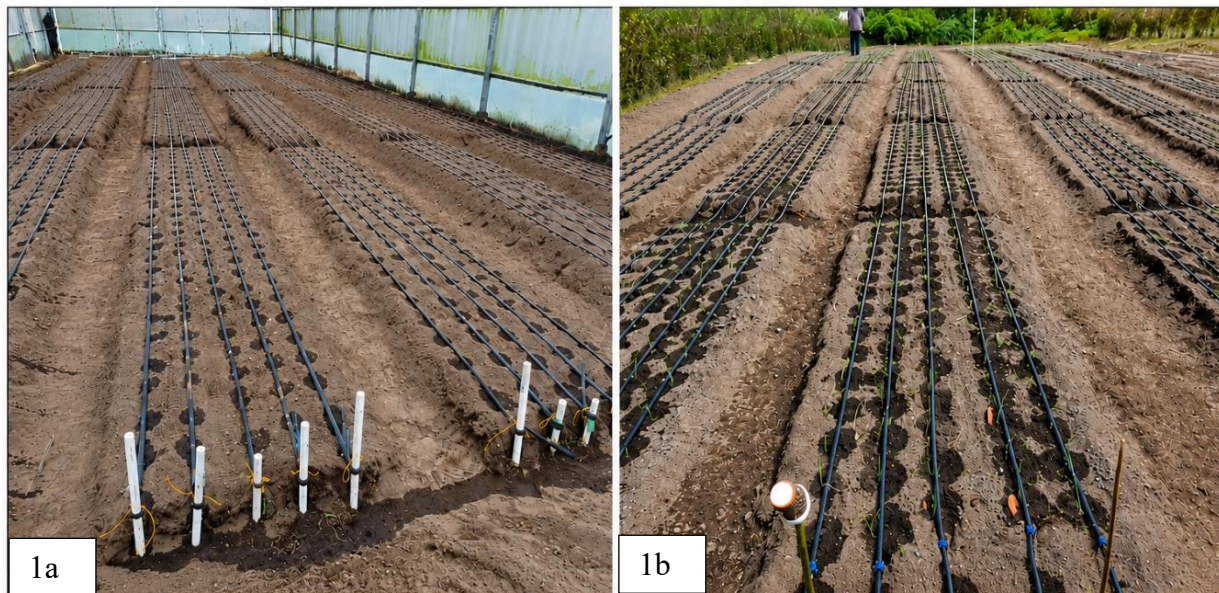
En casa de vegetación:

De dimensiones 12.0 m x 50.0 m x 6.0 m, con mallas antiáfidos y plástico transparente, con una transmisividad de radiación solar entre las primeras y últimas horas del día de un 40 % y en las horas de máximo cenit de un 70 % y transmisión de calor de entre 5.5-6.1 W m² °C⁻¹, similar a las descritas por Serrano (2005); Castilla & Prados (2007) (Figura.1a)

A campo abierto

En campo abierto, replicando las prácticas de los productores de la zona, quienes se ven directamente afectados por las condiciones climáticas (Figura 1b).

Figura 1. a: *Sistemas de producción en casa de vegetación.* b: *Sistema de producción a campo abierto.*



Siguiendo el método propuesto por Peña (2015), se confeccionaron parcelas individuales de 6 m² (1.2 m x 5.0 m) en cada sistema de producción. Se emplearon las variedades de cebolla Alvara y Gladalan Brown, que son las que usan productores del sector. La siembra se llevó a cabo con una densidad de 500,000 plantas por hectárea, colocadas en hileras y separadas entre sí por 20 cm. Dentro de cada hilera, las plantas están separadas por 10 cm. Con el objetivo de reducir el impacto de los bordes laterales, que podrían modificar los resultados, se analizaron únicamente las tres



hileras centrales de cada parcela. De acuerdo con González et al. (2018), esta estrategia posibilita la obtención de datos más exactos y fiables.

Se realizó un análisis exhaustivo de las características físicas de los suelos pertenecientes a cada sistema de producción. Siguiendo las metodologías de Blake & Hartge (1986) y Gee & Bauder (1986), se establecieron la densidad aparente, la densidad real y el porcentaje de poros en muestras de suelo extraídas a una profundidad entre 0 cm y 20 cm. Para determinar la capacidad de aireación y retención de agua, estas propiedades son fundamentales. La técnica de doble anillo, que fue expuesta por Ibáñez et al. (2010), se utilizó para medir la conductividad hidráulica; este método implica saturar dos anillos concéntricos con agua y monitorear el ritmo de infiltración. Simultáneamente, se tomarán muestras de tierra para definir la textura y la fertilidad, conforme al protocolo que Roberts & Henry (2000) describieron.

Con el objetivo de aplicar agua y realizar fertiirrigación, se pusieron en marcha sistemas de riego por goteo localizados en cada una de las unidades productivas, de acuerdo con la perspectiva planteada por Incrocci et al. (2017) y Mata (2011). El propósito de esta estrategia es maximizar la utilización eficiente del agua. Cada terreno tuvo cinco cintas de riego, distanciadas entre sí 20 cm y con goteros que tenían una descarga máxima de 1.5 L/h. La programación del riego se realizó a partir de la evapotranspiración del cultivo, calculada conforme al método de Allen et al. (1998), y teniendo en cuenta las circunstancias climáticas locales. Este sistema aseguró un suministro de agua eficaz y exacto para el crecimiento ideal de las plantas.

El agua de riego se obtuvo mediante el bombeo de un pozo ubicado en la Estación Experimental del IDIAP en Cerro Punta. Para garantizar la aptitud del recurso hídrico, se recolectaron muestras analizadas posteriormente en el Laboratorio de Calidad del Agua de la UNACHI. El protocolo de evaluación incluyó la determinación de parámetros críticos como el pH y la conductividad eléctrica, indicador esencial de la carga salina total (Zhou et al., 2024), así como la cuantificación de los iones principales, factores determinantes en el desarrollo y productividad de los cultivos (Márchese et al., 2008; Zaman et al., 2018).

Condiciones experimentales

Se utilizó un diseño experimental de franjas divididas, con tres repeticiones, donde (Tabla 1):

- Franja Horizontal (Factor Principal 1): Sistema de siembra. Se colocan 2 franjas horizontales, una para cada nivel de sistema de siembra (A_1 , A_2)
- Franja Vertical (Factor Principal 2): Tratamientos, dos tipos de fertilización (T_1 , T_2). Dentro de cada franja de sistema de siembra, se colocan 2 franjas verticales perpendiculares, una para cada nivel de tratamiento.
- Parcelas Internas (Factor Subdividido): Variedad de cebolla. Dentro de cada combinación de sistema de siembra y tratamiento, se subdividen las parcelas para las 2 variedades de cebolla (V_1 , V_2).

A_1 : Casa de Vegetación

A_2 : Campo Abierto.

T_1 : fertiirrigación.



T₂: fertilización edáfica.

V₁: variedad Alvara

V₂: variedad Gladalan Brown

Tabla 1

Diseño de franjas divididas.

Sistema de siembra	Tratamiento (tipo de fertilización)	Variedades	
		V ₁	V ₂
A ₁	T ₁	A ₁ T ₁ V ₁	A ₁ T ₁ V ₂
	T ₂		A ₁ T ₂ V ₁ A ₁ T ₂ V ₂
A ₂	T ₁		A ₂ T ₁ V ₁ A ₂ T ₁ V ₂
	T ₂	A ₂ T ₂ V ₁	A ₂ T ₂ V ₂

Fertilización

Se establecieron dos tratamientos para la fertilización. Fertilización edáfica o directa al suelo y fertirriego (Tabla 2).

Tabla 2

Tratamientos

Tratamiento	Fertilizante	Cantidad en kg ha ⁻¹
T ₁ : fertirrigación*	P ₂ O ₅	300.0
	N (Urea)	200.0
	Boro	1.0
	Zinc	3.0
	K ₂ O	277.0
	Mg	13.0
T ₂ : Fertilización Edáfica**	12-24-12	907.2
	N (urea)	453.6
	N (urea)	453.6

T₁ fertirrigación*: El proceso se realizó semanalmente, distribuido en 24 ciclos de riego

T₂ fertilización edáfica** o directa al suelo, a los 8 ddt, a los 30 ddt y a los 60 ddt.

Durante las fases vegetativas iniciales, los fertilizantes mediante fertirriego se aplicaron utilizando una lámina de agua de 2 mm por metro cuadrado. Posteriormente, el volumen de riego se incrementó de forma progresiva hasta alcanzar los 7 mm diarios, manteniéndose esta cantidad



hasta los 90 días después del trasplante (ddt). La irrigación se suspendió cuando, en promedio, el 70 % de las plantas inició el proceso de doblado de hojas.

Una vez doblada el 90 % de las plantas de cebollas en las parcelas de ensayo tanto en casa de vegetación como a campo abierto, se procedió a la cosecha.

RESULTADOS

Con el propósito de generar información técnica que contribuya a la toma de decisiones de los productores en la selección de la variedad y del sistema de cultivo más apropiado según las condiciones de producción, el objeto de esta investigación fue determinar cuál de dos variedades de cebolla presentaba el mejor desempeño agronómico, rendimiento y calidad comercial bajo dos diferentes sistemas de producción.

Los datos que se analizaron para determinar su desempeño incluyeron:

- Rendimiento total por parcela: Cantidad total de cebolla cosechada.
- Tamaño de los bulbos: La clasificación de los bulbos según su calibre.
- Peso de los bulbos: El peso promedio y total de los bulbos en cada categoría.
- Cantidad de bulbos: El número de bulbos cosechados en cada categoría de tamaño.

Para verificar el supuesto de normalidad en los rendimientos de cosecha (casa de vegetación y campo abierto), se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk. Se seleccionó esta prueba por su alta sensibilidad en muestras de tamaño moderado. El procedimiento calcula un estadístico W que mide la correlación entre los datos de la muestra y los puntajes normales ideales (Razali & Wah, 2011; Ghasemi & Saleh, 2012).

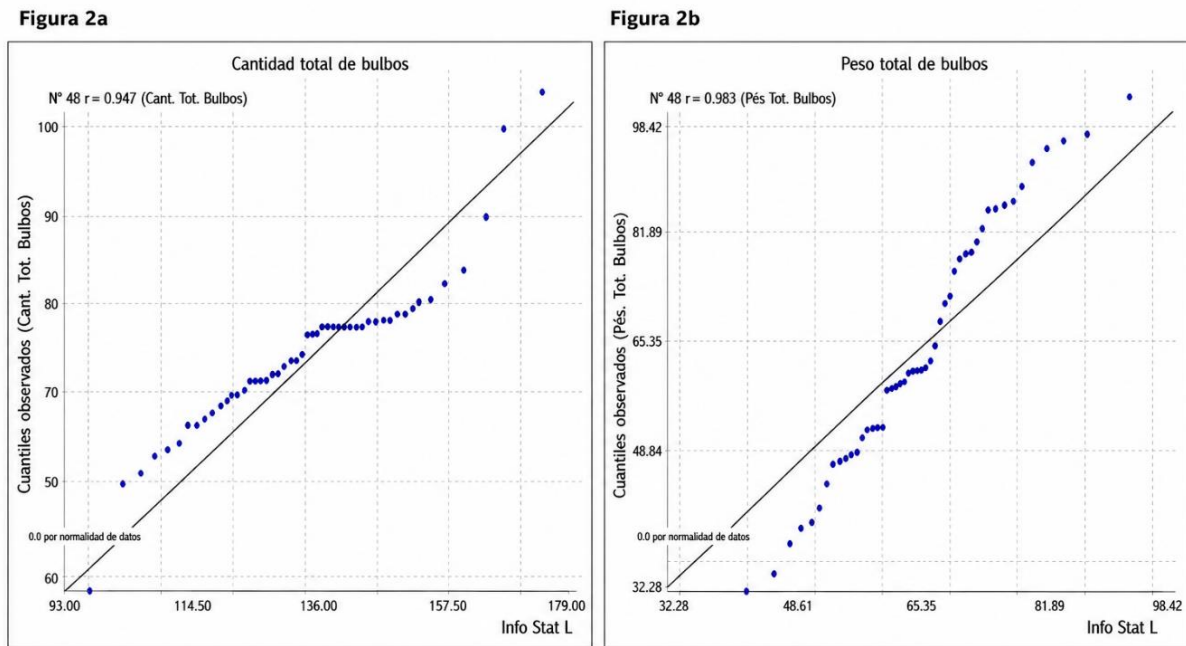
El resultado de esta prueba es concluyente. Se rechaza categóricamente la hipótesis de normalidad, para la cantidad total de bulbos, dado que el p -value es prácticamente cero (0.00008).

En el peso total de bulbos, el valor (0.027) es menor que el nivel de significancia; se rechaza la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal.

Con los gráficos Q-Q (quantile-quantile), empleados para evaluar visualmente si un conjunto de datos sigue una distribución normal (Ghasemi & Saleh, 2012), se comprobó que, al comparar los cuantiles observados de la muestra con los cuantiles teóricos de una distribución normal, no existía normalidad en la cantidad y el peso total de bulbos (Figura 2). Este patrón sugiere que los datos presentan asimetría positiva o una distribución con colas más pesadas que la normal. La concentración de puntos alejados de la línea en los extremos indica que el supuesto de normalidad podría no cumplirse completamente para esta variable, lo cual es relevante al momento de seleccionar pruebas estadísticas apropiadas para el análisis inferencial (Razali & Wah, 2011).



Figura 2. a. Gráficos Q–Q (quantile–quantile) de la cantidad total de bulbos. b. Gráficos Q–Q (quantile–quantile) del peso total de los bulbos.



Se realizó entonces la prueba de KRUSKAL-WALLIS a los valores obtenidos dando los siguientes resultados (Tabla 3).

Tabla 3

Prueba de Kruskal-Wallis (cantidad y peso total de bulbos).

Cantidad total de bulbos	H (estadístico de Kruskal-Wallis)	Valor p	Decisión (a $\alpha=0.05$)	Conclusión
Jumbo	31.71	<0.0001	Rechazar H_0	Hay diferencia significativa en la mediana de la cantidad tamaño Jumbo entre al menos dos grupos.
Grande	31.29	0.0001	Rechazar H_0	Hay una diferencia significativa en la mediana de la Cantidad Tamaño Grande entre al menos dos grupos.
Mediana	13.76	0.0554	Aceptar H_0	No hay diferencia significativa en la mediana del tamaño mediano.
Chica	26.92	0.0003	Rechazar H_0	Hay una diferencia significativa en la mediana de la cantidad tamaño-chica entre al menos dos grupos.
No comercial	26.33	0.0004	Rechazar H_0	Hay una diferencia significativa en la mediana de la cantidad de bulbos deformes entre al menos dos grupos.



Peso total de bulbos	H (estadístico de Kruskal-Wallis)	Valor p	Decisión (a $\alpha=0.05$)	Conclusión
Jumbo	32.56	<0.0001	Rechazar H_0	Existe diferencia significativa en la mediana del peso Jumbo entre al menos dos grupos.
Grande	33.63	<0.0001	Rechazar H_0	Existe diferencia significativa en la mediana del peso grande entre al menos dos grupos.
Mediana	15.24	0.0328	Rechazar H_0	Existe diferencia significativa en la mediana del peso mediano entre al menos dos grupos.
Chica	31.08	0.0001	Rechazar H_0	Existe diferencia significativa en la mediana del peso Chico entre al menos dos grupos.
No comercial	31.17	0.0001	Rechazar H_0	Existe diferencia significativa en la mediana del peso deforme entre al menos dos grupos.

Al determinarse qué combinaciones de tamaños de bulbos, peso de bulbos y sistemas de siembra presentaban diferencias estadísticamente significativas. Se aplicó la prueba post hoc de Dunn (Tablas 4 y 5), un procedimiento estadístico no paramétrico que permite realizar comparaciones múltiples por pares (pairwise comparisons) entre grupos independientes (Dinno, 2015). Esta prueba se utiliza de manera complementaria tras el rechazo de la hipótesis nula, en la prueba de Kruskal–Wallis, con el objetivo de identificar específicamente entre cuáles de los k grupos independientes se encuentran las diferencias significativas.

Tabla 4

Prueba post hoc de Dunn para cantidad de bulbos.

Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	Combinación	Mediana
Jumbo	CVT₁V₁	40.50a	Grande	CVT₂V₁	45.50a	Mediana	CAT₂V₁	65.50a
	CVT ₂ V ₁	27.00b		CVT ₁ V ₁	30.50ab		CAT ₁ V ₁	63.00a
	CVT ₁ V ₂	18.00c		CAT ₁ V ₁	28.00ab		CAT ₂ V ₂	50.50a
	CVT ₂ V ₂	12.00c		CVT ₁ V ₂	24.50b		CVT ₁ V ₂	48.50a
	CVT ₁ V ₁	7.50d		CAT ₂ V ₁	23.50b		CVT ₂ V ₁	49.00a
	CAT ₂ V ₁	6.50d		CVT ₂ V ₂	26.00b		CVT ₁ V ₁	47.50a
	CAT ₂ V ₂	2.00d		CAT ₂ V ₂	12.00c		CAT ₁ V ₂	47.00ab
	CAT₁V₁	0.01d		CAT₁V₂	7.50c		CVT₂V₁	37.50ab
Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	p-valor	
Chica	CAT₁V₂	30.00a	No comercial	CVT₂V₂	44.00a	Jumbo	< 0.0001	
	CAT ₂ V ₂	24.50a		CAT ₁ V ₂	34.50ab	Grande	0.0001	
	CAT ₂ V ₁	19.00b		CAT ₂ V ₂	34.00ab	Mediana	0.0554	
	CAT ₁ V ₁	13.50bc		CVT ₁ V ₂	31.00ab	Chica	0.0003	
	CVT ₁ V ₂	10.00c		CAT ₂ V ₁	14.00bc	No Comercial	0.0004	
	CVT ₂ V ₂	10.00c		CAT ₁ V ₁	11.00c			
	CVT ₁ V ₁	8.50c		CVT ₁ V ₁	9.00c			
	CVT₂V₁	7.00c		CVT₂V₁	8.00c			

CV= Casa de vegetación, CA= Campo abierto, T₁= Fertirriego, T₂= Fertilización edáfica, V₁= variedad Alvara, V₂= variedad Gladalan Brown.



Grupos que comparten una letra se consideran no significativamente diferentes entre sí. Grupos que NO comparten una letra difieren significativamente (según el valor p ajustado de Dunn).

Tabla 5

Prueba post hoc de Dunn para peso de bulbos.

Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	Combinación	Mediana
Jumbo	CVT₁V₁	21.30a	Grande	CVT ₁ V ₂	12.90a	Mediana	CAT₂V₂	12.10a
	CVT ₁ V ₂	12.05b		CVT ₁ V ₁	12.40ab		CAT ₂ V ₁	10.60ab
	CAT ₁ V ₁	7.00bc		CAT ₂ V ₁	8.60ab		CAT ₁ V ₁	9.70abc
	CVT ₂ V ₁	2.65c		CVT ₁ V ₂	7.35b		CVT ₁ V ₂	9.10bc
	CVT ₂ V ₂	2.20c		CAT ₁ V ₁	6.75b		CVT ₁ V ₁	9.05bc
	CAT ₁ V ₂	4.60bc		CVT ₂ V ₂	4.90c		CVT ₂ V ₂	8.55cd
	CAT ₂ V ₂	1.15c		CAT ₂ V ₂	3.25c		CAT ₂ V ₁	7.95d
	CAT₂V₁	0.01c		CAT₂V₁	2.00c		CVT₁V₂	37.50d
Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	p-valor	
Chica	CAT₂V₁	2.60a	No comercial	CVT₁V₂	11.80a	Jumbo	< 0.0001	
	CAT ₂ V ₂	2.10ab		CAT ₁ V ₁	7.55b	Grande	< 0.0001	
	CVT ₂ V ₂	2.10ab		CAT ₂ V ₂	6.65b	Mediana	0.0328	
	CVT ₂ V ₁	1.20b		CVT ₂ V ₁	5.15b	Chica	0.0001	
	CAT ₁ V ₂	0.85bc		CAT ₁ V ₁	2.40c	No Comercial	0.0001	
	CAT ₁ V ₁	0.75c		CAT ₁ V ₂	2.20c			
	CVT ₁ V ₁	0.65c		CVT ₂ V ₁	1.80c			
	CVT₁V₂	0.55c		CVT₂V₂	1.75c			

CV= Casa de vegetación, CA= Campo abierto, T₁= Fertirriego, T₂= Fertilización edáfica, V₁= variedad Alvares, V₂= variedad Gladalan Brown.

Grupos que comparten una letra se consideran no significativamente diferentes entre sí. Grupos que NO comparten una letra difieren significativamente (según el valor p ajustado de Dunn).

De igual manera, se determinó que los sistemas de cultivo ejercieron una influencia significativa en los resultados previamente obtenidos. Para ello, se realizó un análisis de varianza de Scheirer-Ray-Hare (Tabla 6), prueba no paramétrica empleada para evaluar el efecto de dos variables independientes (factores) sobre una variable dependiente. Este método se basa en los rangos de los datos, en lugar de los valores originales (Zar, 1999; Balderas et al., 2022).

Tabla 6

ANOVA de Scheirer-Ray-Hare (SRH) para la cantidad y el peso total de bulbos.

Cantidad total de bulbos	Estadístico H (aprox.)	Valor p	Conclusión (α=0.05)
Sistema (CV vs CA)	25.84	<0.0001	Significativo
Tratamiento (T ₁ vs T ₂)	3.47	0.0625	No significativo
Variedad (V ₁ vs V ₂)	3.00	0.0833	No significativo
Sist x Trat	0.05	0.8258	No significativo
Sist x Var	0.08	0.7816	No significativo
Trat x Var	0.36	0.5485	No significativo
Sist x Trat x Var	0.47	0.4927	No significativo
Peso total de bulbos	Estadístico H (aprox.)	Valor p	Conclusión (α=0.05)
Sistema (CV vs CA)	32.83	<0.0001	Significativo
Tratamiento (T ₁ vs T ₂)	2.31	0.1285	No significativo
Variedad (V ₁ vs V ₂)	1.99	0.1581	No significativo
Sist x Trat	0.01	0.9204	No significativo
Sist x Var	0.18	0.6698	No significativo
Trat x Var	0.57	0.4503	No significativo
Sist x Trat x Var	0.23	0.6314	No significativo



El análisis, ANOVA de Scheirer-Ray-Hare, reveló que, para la variable cantidad de bulbos, la variabilidad significativa observada en los datos ($p < 0.0001$) estuvo asociada principalmente al sistema de cultivo. De igual manera, el peso total del bulbo fue significativamente influenciado por este factor ($p < 0.0001$), destacándose la Casa de Vegetación (CV) como el sistema con mayor efecto positivo sobre ambas variables. Estos resultados permiten concluir que el sistema de cultivo CV constituyó el factor de mayor influencia dentro del modelo, al presentar los efectos más marcados sobre las variables evaluadas.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian que el rendimiento de la cebolla, expresado tanto en la cantidad como en el peso total de bulbos, no dependió de factores aislados, sino de la interacción sinérgica entre el manejo nutricional, el potencial genético de las variedades y las condiciones ambientales de cultivo (TRA \times VAR \times LOC). Esta interacción influyó directamente no solo sobre el rendimiento bruto, sino también sobre la calidad comercial de los bulbos, particularmente en la distribución de calibres y en la incidencia de deformidades.

El sistema de Casa de Vegetación (CV) se consolidó como el ambiente de mayor eficiencia agronómica, favoreciendo una respuesta fisiológica superior del cultivo. Bajo estas condiciones, el microclima más estable permitió una mejor absorción y redistribución de nutrientes, reflejándose en una mayor producción de bulbos Jumbo y Grandes. Estos resultados coinciden con lo reportado por Russo & Shrefler (2012), quienes señalaron que los sistemas protegidos, combinados con estrategias eficientes de fertirriego, incrementan significativamente la uniformidad del crecimiento, la expansión foliar y el tamaño comercial de los bulbos debido a una mayor disponibilidad hídrica y nutricional en la rizósfera.

De igual manera, Brewster (2008) indicó en resultados obtenidos, que la cebolla presenta una elevada sensibilidad a las fluctuaciones ambientales durante las etapas de bulbificación, por lo que ambientes protegidos favorecen una mayor estabilidad fisiológica y reducen pérdidas asociadas al estrés térmico e hídrico. En este mismo contexto, Leskovar et al. (2012), encontraron que el manejo preciso del agua y los nutrientes en sistemas intensivos mejora significativamente el peso fresco y seco de los bulbos, favoreciendo una mayor eficiencia fisiológica del cultivo.

La combinación CVT₁ V₁ (Casa de Vegetación, fertirriego, variedad Alvara) representó el tratamiento de mayor desempeño productivo, minimizando la incidencia de bulbos deformes y optimizando el peso seco por unidad experimental. Este comportamiento sugiere que la variedad Alvara posee una mayor capacidad de adaptación al suministro continuo de nutrientes y una mayor eficiencia en el uso de recursos bajo condiciones de manejo intensivo. Resultados similares fueron descritos por Khosa et al. (2018) y Boyhan et al. (2007), quienes señalaron que ciertas variedades de cebolla presentan una mayor estabilidad agronómica y plasticidad fenotípica bajo ambientes protegidos y sistemas de fertilización tecnificada.

Por el contrario, la variedad Gladalan (V₂) mostró una respuesta menos favorable bajo cubierta cuando se combinó con fertilización edáfica (T₂), observándose un incremento de bulbos deformes y calibres no comerciales. Estas diferencias varietales podrían estar asociadas a la capacidad



diferencial de cada genotipo para responder a condiciones de alta disponibilidad nutricional y ambientes de crecimiento intensivo. En este sentido, Galmarini et al. (2016) y Schwartz & Mohan (2016) señalaron en sus resultados que el comportamiento agronómico de la cebolla depende en gran medida de la interacción genotipo por ambiente, especialmente en variables relacionadas con calidad comercial y formación de bulbos.

Aunque el sistema de campo abierto (CA) presentó mayores limitaciones ambientales asociadas a fluctuaciones térmicas, variabilidad hídrica y estrés ambiental, las combinaciones CAT₂V₁ y CAT₂V₂ evidenciaron una importante capacidad adaptativa, desplazando la producción hacia calibres medianos. Este comportamiento sugiere la activación de mecanismos de resiliencia fisiológica en condiciones menos controladas. Según Lescay (2003), las variedades de cebolla pueden expresar respuestas fisiológicas diferenciadas bajo ambientes restrictivos, modificando la partición de fotoasimilados y la estructura final del bulbo como mecanismo de adaptación al estrés.

Asimismo, la variedad Alvara mostró una mayor estabilidad fenotípica y un comportamiento agronómico más consistente tanto bajo fertirriego como fertilización edáfica, mientras que Gladalan presentó una reducción considerable del rendimiento comercial bajo fertirriego en campo abierto. Estos resultados guardan relación con lo descrito por Shock et al. (2011), quienes indicaron que la respuesta varietal de la cebolla frente al manejo hídrico y nutricional puede variar significativamente dependiendo de la adaptación genética de cada cultivar y de las condiciones agroecológicas del sistema de producción.

En términos generales, los hallazgos de esta investigación demuestran que la adecuada selección varietal, combinada con sistemas de cultivo protegidos y estrategias eficientes de fertilización, puede incrementar significativamente el rendimiento y la calidad comercial de la cebolla. Estos resultados aportan evidencia relevante para optimizar la sostenibilidad y competitividad del cultivo bajo las condiciones agroecológicas de Tierras Altas de Chiriquí, Panamá, coincidiendo con lo señalado por Collantes et al. (2024), quienes destacan que la integración de tecnologías de manejo intensivo constituye una alternativa viable para mejorar la productividad hortícola en ambientes tropicales de montaña.

CONCLUSIONES

Al contrastar los sistemas, se ratifica que la protección física de la Casa de Vegetación actúa como un multiplicador del rendimiento, independientemente de la estrategia nutricional. El análisis final identifica a CVT₁V₁ como la combinación de máxima eficiencia agronómica, mientras que CAT₁V₂ se ubica en el extremo opuesto como la menos rentable en términos comerciales.

Estos hallazgos subrayan que, para alcanzar competitividad en el mercado de la producción de cebolla, es imperativo abandonar los esquemas de manejo genéricos. La selección estratégica de la variedad como la Alvara bajo sistemas protegidos y con una nutrición equilibrada (fertirriego) no solo maximiza el peso total, sino que asegura que la producción cumpla con los estándares de calidad exigidos por el consumidor, reduciendo las pérdidas por bulbos pequeños o deformes.



AGRADECIMIENTO

Agradecemos al Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) por brindar la oportunidad de desarrollar esta investigación en la sede del Subcentro de Investigaciones de Cerro Punta, así como por el valioso apoyo logístico, técnico y el suministro de insumos necesarios para la ejecución del estudio.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. Irrigation and Drainage Paper, 56.
- Arteaga, L., & Burbano, J. (2018). Efectos del cambio climático: Una mirada al Campo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 79-91.
- Aurelio, B., & Escobar, G. (2016). Tecnologías y estructuras de la agricultura protegida mexicana. II Congreso nacional de riego y drenaje.
- Álvarez, Y. (2015). Evaluación de indicadores de sustentabilidad agroecológica en sistemas de producción agrícola de Baja California Sur, México.
- Badii, M. (2004). Desarrollo sustentable: fundamentos, perspectivas y limitaciones. *Innovaciones de Negocios* 1(2): 199–227, 2004. UANI, Ap.391, San Nicolás, N. L., 66450, México.
- Balderas, J., Roque, R., Salazar, R., & Monsivais, C. (2022). The importance of learning resources for university students during emergency remote learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 17(14), 221-234.
- Blake, G., & Hartge, K. (1986). Bulk density. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 363-375.
- Brewster, J. (2008). *Onions and Other Vegetable Alliums* (2nd ed.). CAB International.
- Boyhan, G., Torrance, R., & Hill, C. (2007). Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium rates and fertilizer sources on yield and leaf nutrient status of short-day onions. *HortScience*, 42(3), 653–660
- Castilla, N., & Prados, N. (2007). *Invernaderos de plástico, Tecnología y manejo*. Mundi-Prensa Libros.



- Collantes, R., Pittí, J., Del Cid, R., Santos-Murgas, A., Atencio, R., & Lezcano, J. (2024). Comunidad de Hymenoptera asociados a agroecosistemas hortícolas en Cerro Punta, Chiriquí, Panamá. *Ciencia Agropecuaria* (39), 29-44.
- Dinno, A. (2015). Dunn's test of multiple comparisons using rank sums. *Stata Journal*, 15(1), 292–300
- FAO. (2018). Informe anual 2018 América Latina y el Caribe.
- Fígoli, M., & Rodríguez, L. (2003). El camino hacia la estabilización demográfica y el proceso de envejecimiento en América Latina: una ilustración a partir de algunos países seleccionados. *Papeles de población*, 9(35), 29-43.
- Galmarini, C., Goldman, I., & Havey, M. (2016). Variation for health-enhancing compounds and traits in onion (*Allium cepa* L.). *Food and Nutrition Sciences*, 7, 577–591.
- Ghasemi, A., & Saleh, Z. (2012). Normality tests for statistical analysis: A guide for non-statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 10(2), 486–489
- Gee, G., & Bauder, J. (1986). Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 383-411.
- González, G., Morais, A., Caballero Mendoza, C., Bortolini, J., & Rodríguez, G. (2018). Estimación del tamaño óptimo de la parcela en experimentos con batata dulce. *Agrociencia (Uruguay)*, 22(2), 7-12.
- Henry, R. (2019). Genomics and gene editing technologies accelerate grain product innovation. *Cereals Foods World*, 64:6.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2010). Características del infiltrómetro de doble anillo.
- Incrocci, L., Massa, D., & Pardossi, A. (2017). New trends in the fertigation management of irrigated vegetable crops. *Horticulturae*, 3(2), 37.
- Juárez, P., Bugarín, R., Castro, R., Sánchez, A., Cruz, E., Juárez, C. & Balois, R. (2011). Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. CONACYT.
- Khosa, J., Lee, R., Joshi, S., Shaw, M., McCallum, J., & Macknight, R. (2018). Una guía para el cultivo de cebolla en condiciones de ambiente controlado. *HortScience*, 53(12), 1746-1749.
- Lescay, E. (2003). Interacción genotipo/ambiente y estabilidad del rendimiento de bulbos en cuatro variedades de cebolla (*Allium cepa* L.). ITEA (Información Técnica Económica Agraria). Producción Vegetal (España).



- Leskovar, D., Agehara, S., Yoo, K., & Pascual, N. (2012). Crop coefficient-based deficit irrigation and planting density for onion: Growth, yield, and bulb quality. *HortScience*, 47(1), 31–37.
- Márchese, M., Tuttobene, R., Restuccia, A., Longo, A., Mauromicale, G., & Restuccia, G. (2008). Effects of electrical conductivity of irrigation water on the growth and production of *Solanum lycopersicum* L. var. cerasiforme grown in greenhouse. *Irrigation in Mediterranean agriculture: Challenges and innovation for the next decades*, 84, 311-315.
- Mata, H. (2011). Fertiirrigación del cultivo de cebolla con riego por goteo en el sur de Tamaulipas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina Delegación Coyoacán C.P. 04010 México, D.
- MIDA. (2023). Serie histórica del rubro Cebolla. Dirección de Agricultura. Recuperado el 21 sep., de https://mida.gob.pa/rinden-informes-sobre-siembra_y-cosecha-de-cebolla-y-papa-en-Panamá/
- MIDA. (2025). Serie histórica del rubro Cebolla. Dirección de Agricultura. Recuperado de <https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2025/07/CIERRE-AGRICOLA-2024-2025.pdf>
- Morera, J. (2000). Agricultura, recursos naturales, medio ambiente y desarrollo sostenible en Costa Rica. *Agronomía mesoamericana*, 11(1), 179-185.
- Padilla, L., Rumayor, A., & Pérez, O. (2008). La competitividad sistémica de la industria del tomate de agricultura protegida en Zacatecas. *Mercados y Negocios*, (18), 38-59.
- Peña, F. (2015). Efecto de la densidad de siembra y del aporque en la producción y calidad de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* L. var. porrum J. Gay). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 101-108.
- Razali, N., & Wah, Y. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21–33
- Roberts, T., & Henry, J. (2000). El muestreo de suelos: los beneficios de un buen trabajo. *Informaciones agronómicas del cono sur. INPOFOS*, 8, 7-10.
- Rodríguez, M. (La estrella de Panamá, 24 de enero de 2022). Producción de cebolla nacional superó los 480 mil quintales, pero por debajo, de la demanda actual. https://www.laestrella.com.pa/economia/produccion-cebolla-nacional-supera_480-mil-quintales-anuales-debajo-demanda-acual-ILLE463586
- Russo, V., & Shrefler, J. (2012). Cultivo de cebolla de manojo en invernadero y túnel de cultivo. *HortScience*, 47 (11), 1564-1568.



- Teshika, J., Zakariyyah, A., Zaynab, T., Zengin, G., Rengasamy, K., Pandian, S., & Fawzi, M. (2019). Traditional and modern uses of onion bulbs (*Allium cepa* L.): a systematic review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(sup1), S39-S70.
- Vargas, J., Palacios, M., Camacho, J., Aguilar, J., & Ocampo, J. (2015). Factores de innovación en agricultura protegida en la región de Tulancingo, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(4), 827-840.
- Sarandón, S. (2002). El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable*, 20, 393-414.
- Serrano, Z. (2005). *Construcción de invernaderos*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Shock, C., Feibert, E., Jensen, L., & Klauzer, J. (2010). *Successful onion irrigation scheduling*. Oregon State University Extension Service.
- Schwartz, H., & Mohan, S. (2016). *Compendium of Onion and Garlic Diseases and Pests* (2nd ed.). APS Press
- Zaman, M., Shahid, S., Heng, L., Zaman, M., Shahid, S., & Heng, L. (2018). Irrigation water quality. *Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques*, 113-131.
- Zamudio, F., Romo, J., & Espinosa, N. (2008). Índice de sustentabilidad alimentaria global: Tasa de crecimiento alimentaria contra tasa decrecimiento poblacional. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 14(2), 141-146, 2008.
- Zar, J. (1999). *Biostatistical análisis*. <https://es.scribd.com/document/995680750/Biostatistical-Analysis-5th-Edition-Jerrold-H-Zar-2026-full-ebook-version>.
- Zhou, Q., Blean, W., & Soldat, D. (2024). An Alternative Approach for Estimating the Sodium Adsorption Ratio of Irrigation Water. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 150(6), 04024031.