



Cultivares de cebolla ocañera (*Allium cepa* L.) bajo condiciones protegidas y de campo abierto*

Cultivars of Ocañera onion (*Allium cepa* L.) under protected and open-field conditions

María Gladis Rosero-Alpala¹, Jaime Lozano Fernández¹, Carlos Enrique Velásquez-Arroyo¹

* Recepción: 11 de agosto, 2023. Aceptación: 13 de noviembre, 2023. Este trabajo de investigación fue parte del proyecto: “Caracterización y evaluación del recurso genético conservado”, ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de investigación La Selva. Km. 7, Vía Las Palmas, Llano Grande, Rionegro, Antioquia, Colombia. mroseroa@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0003-0541-5021>); jflozano@agrosavia.co (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0001-8251-9604>); cvelasquez@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0003-0032-602X>).

Resumen

Introducción. La evaluación de cultivares de cebolla (*Allium cepa* L.) en diferentes ambientes para conocer su adaptación es importante debido a la relevancia del cultivo en la alimentación en diferentes países, la reducción de su diversidad genética, la pérdida de sus rasgos benéficos y la resistencia a enfermedades y plagas. **Objetivo.** Evaluar el comportamiento agronómico de cultivares de cebolla bajo diferentes ambientes, para identificar los mejores en adaptación, rendimiento e interacción. **Materiales y métodos.** De noviembre 2017 a agosto de 2018, en el Centro de Investigación La Selva de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Rionegro, Antioquia, Colombia, se evaluaron veintún cultivares más dos testigos de cebolla: Peruana del grupo *Aggregatum* y Yellow Granex del Cepa, bajo condiciones de campo abierto y protegido con techo plástico, con ensayos multilocacionales en un diseño de bloques completos al azar y cuatro repeticiones. Se evaluó por categorías: peso, número, longitud y diámetro de los bulbos; junto con la interacción de los cultivares y los ambientes. **Resultados.** En campo abierto, por presentar temperaturas menores a las registradas en las condiciones protegidas, se obtuvieron los mayores rendimientos de peso y número de bulbos. En ambientes protegidos, los cultivares del grupo *Aggregatum*, se comportaron como si fueran del grupo Cepa, al producir pocos bulbos de gran tamaño. La adaptación de los cultivares fue diferente en los ambientes: en campo abierto los cultivares L55 y L63 presentaron los mejores rendimientos, mientras que bajo condiciones protegidas, RPT20 y RPT11 fueron los que mejor se adaptaron. **Conclusión.** Los ambientes influyeron significativamente en el comportamiento de los cultivares del grupo *Aggregatum* con una mayor producción de bulbos extragrandes. Los contrastes de temperaturas que se presentaron en los ambientes protegidos con techo plástico, afectaron los rendimientos de los cultivares, mientras que las condiciones ambientales a campo abierto fueron favorables.

Palabras clave: líneas avanzadas, bulbos agregados, interacción, germoplasma.



Abstract

Introduction. Evaluating onion cultivars (*Allium cepa* L.) in different environments to understand their adaptation is important due to the crop's relevance in food supply across various countries, the reduction in its genetic diversity, the loss of beneficial traits, and resistance to diseases and pests. **Objective.** To assess the agronomic performance of onion cultivars under different environments to identify the best ones in terms of adaptation, yield, and interaction. **Materials and methods.** From November 2017 to August 2018, at the La Selva Research Center of the Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Rionegro, Antioquia, Colombia, twenty-one onion cultivars plus two controls were evaluated: Peruana of the *Aggregatum* group and Yellow Granex of the *Cepa*, under open-field and protected conditions with plastic roofing, using multilocation trials in a randomized complete block design and four replications. Evaluations were conducted on categories such as bulb weight, number, length, and diameter, along with the interaction of cultivars and environments. **Results.** In the open field, due to lower temperatures compared to those recorded under protected conditions resulted in higher yields of weight and number of bulbs. Under protected environments, *Aggregatum* group cultivars behaved as if they were from the *Cepa* group, producing fewer large-size bulbs. The adaptation of cultivars varied by environment: in the open field, L55 and L63 cultivars exhibited the best yields, while under protected conditions, RPT20 and RPT11 showed the best adaptation. **Conclusion.** Environments significantly influenced the behavior of *Aggregatum* group cultivars, with higher production of extra-large bulbs. Temperature contrasts in protected environments with plastic roofing affected cultivars yields, while open-field conditions were more favorable.

Keywords: advanced lines, bulb aggregates, interaction, germplasm.

Introducción

La cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) pertenece a la familia Amaryllidaceae del orden Asparagales (Alzate et al., 2019), es originaria de Asia Central, importante en la dieta humana, sus bulbos y hojas se utilizan crudos, cocidos, en ensaladas, como condimento fresco, deshidratado y en encurtidos. Tiene diversos usos medicinales y se emplea para el control de insectos en la agricultura (Acosta Rodrigues et al., 2010; Cheraghypour et al., 2020; Habeeb et al., 2009; Petropoulos et al., 2020).

El proceso de selección y cruces de las doce especies que constituyen el género *Allium*, generaron tres grupos: a) la cebolla común o cepa (*Allium cepa* L. var. *cepa*), con bulbos grandes e individuales y reproducción por semilla; b) *Aggregatum* (*Allium cepa* var. *aggregatum* G. Don), con bulbos pequeños, agregados en racimos, de formas estrechas y ovoides, con piel de color marrón rojizo y reproducción vegetativa, aunque, algunas líneas, se han obtenido por inducción de floración; y c) *Proliferum* (*Allium cepa* L. var. *proliferum* (Moench) Regel), con bulbos subterráneos, poco desarrollados, no produce semilla y con reproducción vegetativa (Fritsch & Friesen, 2002; Hanelt, 2018; Puizina, 2013).

La cebolla ocañera colombiana, posicionada a nivel internacional como una marca que identifica la región de Ocaña (Verjel Sánchez, 2017), y los chalotes, antes clasificada como una especie distinta *A. ascalonicum* y con otros sinónimos, pero que es una variedad específica de *A. cepa* var. *Aggregatum*, son los subgrupos más importantes de *Aggregatum* cultivados a nivel comercial. Sus bulbos presentan coloraciones desde el rojo al rosado claro, de menor tamaño que los del grupo *cepa* (Mejía López & Jaramillo Henao, 1983; Puizina, 2013). La Ocañera, presenta un mayor contenido de sólidos totales, valor gastronómico y nutracéutico que la cebolla común. Se caracteriza por su pungencia y uso en la elaboración de encurtidos de cebollitas ocañeras (Verjel Sánchez, 2017).

El mejoramiento de los cultivos, enfocado en el rendimiento, ha ocasionado una reducción de su diversidad genética, la pérdida de rasgos benéficos de las especies silvestres como la resistencia a enfermedades y la tolerancia a diferentes tipos de estreses abióticos, unido a una disminución de su valor nutricional y del sabor (Zsögön et al., 2018). Por eso la importancia de conservar y evaluar los genotipos heredados por su diversidad única e irremplazable, que han sido seleccionados y acumulados durante muchos años por sus cualidades culinarias, nutraceuticas, rasgos agronómicos, fisiológicos y de adaptación a las condiciones locales (Rabinowitch, 2021).

La propagación clonal resulta eficiente para la reproducción a gran escala de cultivares que poseen combinaciones ventajosas de genes y que se habrían perdido si se hubiera utilizado la reproducción sexual con su etapa de recombinación (McKey et al., 2010). En muchos países pobres, los cultivos de propagación vegetativa desempeñan un papel importante en la agricultura de subsistencia y ofrecen beneficios significativos a pequeños agricultores. El uso de propágulos vegetativos permite preservar la homogeneidad, los rasgos agronómicos y de calidad de las plantas heterocigotas (Rabinowitch, 2021).

Factores ambientales como el fotoperiodo, temperatura, humedad, calidad del suelo, régimen de luz y la disponibilidad de nutrientes, condicionan la adaptación de la cebolla en determinadas regiones y limitan el uso de un mismo cultivar en diferentes zonas (Coolong & Randle, 2003; Mettananda, 2003). Durante su desarrollo temprano, las cebollas requieren temperaturas frescas (de 6 a 20 °C), pero durante el inicio y el desarrollo del bulbo se requieren temperaturas más cálidas que oscilan entre los 25 a 27 °C (Ansari, 2007).

Si las condiciones del fotoperiodo y la temperatura, óptima entre los 20 y 25 °C, no se ajustan a las exigencias del cultivo, se constituyen en factores críticos para el crecimiento y rendimiento de la cebolla (López-Urquidez et al., 2021). Las variaciones según la época del año, pueden ocasionar pérdidas en la producción, reducción de la bulbificación, aparición temprana del tallo floral, graves deficiencias en su crecimiento, incidencia de plantas improductivas llamadas “puros” y producción de bulbos pequeños (Lescay & Moya, 2006; Quartiero et al., 2014).

Para la producción y el rendimiento de la cebolla ocañera en Colombia, no se dispone de estudios sobre los efectos de la interacción cultivar por ambiente. Las investigaciones se han enfocado en el efecto de prácticas agronómicas aplicadas como la evaluación de fuentes de fósforo en la producción del bulbo en el departamento de Boyacá (Pinzón-Sandoval et al., 2019) y la influencia del régimen de riego en su crecimiento y rendimiento (Alvarez-Herrera et al., 2017). También se ha evaluado, en el departamento de Cundinamarca, el efecto del NaCl en su crecimiento, rendimiento y calidad (Coca et al., 2012), junto con los factores asociados a su producción con cuatro fórmulas de abono en la provincia de Ocaña (Vergel et al., 2016).

Estos estudios señalan la importancia de evaluar el comportamiento agronómico de cultivares de cebolla bajo diferentes ambientes, para identificar los que mejor se adaptan, de acuerdo con su rendimiento e interacción genotipo por ambiente, que permitan identificar los mejores cultivares adaptados a las distintas regiones productoras del país.

Uno de los ambientes a evaluar es bajo condiciones protegidas con techo plástico y ventilación natural, dado que la región se caracteriza por presentar sistemas productivos de flores y de algunas hortalizas bajo estas estructuras y los agricultores buscan alternativas para la rotación de cultivos. Para ello, se desarrollan trabajos, bajo estas condiciones, con el fin de conocer el comportamiento y la interacción de otros cultivos, que permitan brindar alternativas sustentables y rentables de diversificación (Lozano-Fernández et al., 2022; Orozco-Orozco & Lozano-Fernandez, 2022). Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el comportamiento agronómico de cultivares de cebolla bajo diferentes ambientes para identificar los mejores en adaptación, rendimiento e interacción.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Centro de Investigación La Selva, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), localizado en el municipio de Rionegro, Antioquia, Colombia, a 06°

07' 52,7" de latitud N y a 75° 24' 51,9" de longitud O, a una altitud de 2120 m s. n. m., con promedios anuales de 16 °C de temperatura, 78 % de humedad relativa, 1917 mm de precipitación, 1726 h/año de brillo solar y 1202 mm de evapotranspiración. Se encuentra en una zona de vida correspondiente a bosque húmedo montano -bh-MB- (Holdridge, 1982) y con suelo de unidad cartográfica Asociación Rionegro, de taxonomía Typic Fulvudans (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2007).

Material vegetal

Se emplearon cultivares de cebolla ocañera (*Allium cepa* L.), pertenecientes al grupo *Aggregatum*, obtenidos del Banco de Germoplasma para la Alimentación y la Agricultura (BGAA) de Colombia. Estos fueron establecidos en condiciones protegidas, con techo plástico y ventilación natural durante dos ciclos (Protegido-C1: ciclo 1, de noviembre 2017 a marzo 2018 y Protegido-C2: ciclo 2, de abril - agosto 2018) y a campo abierto en el primer ciclo (Abierto-C1), para un total de tres ambientes. Las características del plástico fueron: flexible de polietileno térmico de larga duración (PE LDT), multi-capas, con difusor de luz y distribución uniforme durante el día, con ingredientes IR que evita el escape de calor por la noche y estabilizadores UV (Orozco-Orozco & Lozano-Fernández, 2022).

Los cultivares se desarrollaron en Palmira, entre 1981 y 1989, en el Programa Nacional de Hortalizas del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), a partir de la evaluación de líneas de cebolla ocañera. Las líneas seleccionadas se cruzaron con el cultivar comercial Texas Grano 502 PRR del grupo Cepa, con base en la floración inducida. En el año 1989, a partir de la F1 generada por polinización abierta no controlada, junto con los progenitores, se obtuvieron líneas clonales élites, multiplicadas por bulbos.

Para este experimento se emplearon, del grupo *Aggregatum*, veintiún cultivares élites más el primer testigo (Peruana), identificados como: L3 (91500001), L6 (91500002), L12 (91500003), L17 (91500004), L26 (91500005), L31 (91500006), L32 (91500007), L37 (91500008), L41 (91500009), L48 (91500010), L52 (91500011), L55 (91500012), L63 (91500013), L74 (91500014), L75 (91500015), L86 (91500016), RPT5 (91500017), RPT9 (91500018), RPT11 (91500019), RPT19 (91500020) y RPT20 (91500021). Peruana se caracteriza por presentar variación en la forma de sus bulbos, desde plana esférica hasta romboidal, con catáfilas de color púrpura. Este material es procedente de una finca productora del municipio de Ocaña y se cultiva desde los 1200 a los 1900 m s. n. m.

El segundo testigo, del grupo Cepa, fue Yellow Granex, con bulbos de forma plana esférica, catáfilas de color amarillo claro y cuello cerrado. Se adapta a altitudes desde los 1600 hasta los 2900 m s. n. m, con temperaturas óptimas de 12 a 24 °C y con un ciclo de vida entre los 140-180 días después del trasplante (Agroactivo, n.d.).

Multiplicación del material vegetal

Los 21 cultivares y el testigo Peruana, se multiplicaron por bulbos de forma asexual, bajo condiciones protegidas y riego por goteo. La semilla del híbrido Yellow Granex se sembró en bandejas con suelo de textura franca, desinfectado, en oscuridad durante tres días y a una temperatura de 16 °C. Luego fueron trasladadas al área de propagación, a 24 °C promedio, con riego por nebulización. A los 30 días después de la siembra (dds) alcanzaron un porcentaje de germinación del 76 % y a los 45 dds se obtuvieron plántulas óptimas para el trasplante.

Manejo agronómico del cultivo

Se aplicó un fertilizante edáfico compuesto (10-30-10), en dosis de 430 kg ha⁻¹, fraccionado en un 30 % al momento de la siembra (ms), 40 % y 30 % a los 20 y 40 dds, respectivamente. En los ambientes protegidos se realizaron dos aplicaciones semanales de agua, durante una hora y se suspendió quince días antes de la cosecha. En campo abierto, la aplicación dependió de las condiciones climáticas: en épocas de baja precipitación se realizó una

aspersión semanal por 45 min y se suspendió durante los períodos de lluvias. El manejo de arvenses fue manual cada quince días, durante todo el ciclo del cultivo.

El manejo del trozador (*Agrotis ipsilon*) se realizó con dos aplicaciones de Clorpirifos en dosis de 6,5 cc L⁻¹ al momento de la siembra. Para los *Thrips* sp., con una incidencia del 30 % en los dos últimos meses, se realizaron dos aplicaciones mensuales con 0,5 cc L⁻¹ de Imidacloprid y Abamectina. Para el manejo de patógenos como *Alternaria* sp, *Cladosporium* sp. y *Peronospora* sp., se aplicaron en rotación, cada ocho días, los fungicidas Tebuconazole (1,5 cc L⁻¹), Cymoxanil + Mancozeb (5 g L⁻¹), Propineb (3 g L⁻¹) y 40 Metalaxil-M + 640 Mancozeb (2,5 g L⁻¹).

Se evaluaron las variables agronómicas del peso fresco, oreado o seco al medio ambiente (g m⁻²) y el número total de bulbos por m²; clasificados, según su diámetro ecuatorial, en las categorías: descarte (<13 mm), pequeño (13 – 24,9 mm), mediano (25 – 28,9 mm), grande (29 – 32,9 mm) y extragrande (mayores a 33 mm) (Escaff, 1988).

Diseño experimental

La investigación se estableció mediante ensayos experimentales múltiples o multilocacionales, que se desarrollaron en diferentes espacios y épocas (Gomez & Gomez, 1984). Los tres ambientes del factor “localidad”, se formaron por: el ambiente a campo abierto del ciclo 2017 y los protegidos con techo plástico de los ciclos 2017 y 2018 (Moore & Dixon, 2015; Romaina, 2012), bajo un diseño de bloques completos al azar, donde el criterio de bloqueo fueron los gradientes de temperatura y humedad encontrados, presentados a lo largo de la cubierta plástica y en el sentido de las cintas de goteo.

En las condiciones protegidas (Protegido-C1 y Protegido-C2) se evaluaron los veintiún cultivares y los dos testigos, en unidades experimentales (UE) conformadas por materos disponibles y con una adecuada capacidad de 0,0048 m² de área superficial, con un bulbo sembrado y cuatro repeticiones por cultivar. Por falta de bulbos como semilla, en Abierto-C1 se evaluaron solo catorce cultivares más los dos testigos en parcelas de 2,4 m de ancho por 0,8 m de largo, como UE, donde se sembraron dieciséis bulbos en cuatro surcos, con una distancia de 20 cm entre bulbo y 60 cm entre surco, con cuatro repeticiones y una parcela útil formada por las cuatro plantas centrales.

Análisis de datos

El comportamiento de los cultivares se observó por separado en los tres ambientes. Se evaluaron los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk), homocedasticidad (Levene) y la independencia de los residuos (D de Durbin-Watson), con niveles de significancia de $\alpha=0,05$. Las variables que cumplieron con estos supuestos fueron analizadas mediante pruebas paramétricas. Para los dieciséis cultivares comunes en los ambientes (L17, L26, L31, L32, L37, L48, L55, L63, L74, L75, L86, RPT11, RPT20, RPT5, Yellow Granex y Peruana), se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) combinado, para estudiar la interacción ambiente por cultivar, que luego se verificó con el método de los efectos aditivos principales e interacciones multiplicativas (AMMI, por sus siglas en inglés).

El ANDEVA combinado cuantifica la interacción y los efectos principales, pero no explica la interacción ambiente x cultivar (Kaya et al., 2002). El método AMMI permite determinar la contribución de cada componente en la variación total, mediante la partición de la varianza de la interacción ambiente x cultivar (Valencia & Ligarreto, 2010). Su gráfico de dos dimensiones (biplot) muestra las diferencias entre los ambientes, el grado de interacción de los cultivares con los ambientes, la estabilidad y la adaptabilidad específica de los cultivares a determinado ambiente (Jiménez Contreras & Ruiz Barzola, 2009).

El componente del AMMI que explica la mayor cantidad de la variación de la suma de cuadrados (SS) de las fuentes que intervienen y presenten correlación con la variable principal, se constituye en el componente que mejor representa el rendimiento de los cultivares en el biplot y permite identificar aquellos superiores (Crossa et al., 2002).

Con base en la metodología descrita por Yan et al. (2000), se logró: a) comparar los cultivares con los ambientes, para definir su grado de adaptación y estabilidad; b) determinar los mejores ambientes para un cultivar, donde dada su ubicación se puede medir su adaptabilidad; y c) realizar comparaciones de pares de cultivares con los ambientes, para determinar su grado de interacción.

Se empleó la prueba Tukey para realizar las comparaciones entre las medias. Para las variables que no cumplieron con los supuestos, se emplearon métodos no paramétricos como la prueba de Kruskal Wallis. Se aplicaron las pruebas de separación de medias T3-Dunnett para las variables que cumplieron con la normalidad, pero no con la homogeneidad de varianzas y para aquellas que no cumplieron ninguno de los supuestos se utilizó Kruskal Wallis con subconjuntos homogéneos basados en significaciones asintóticas y Bonferroni. Para los análisis estadísticos se empleó el programa SAS v. 9.4.

Resultados

Caracterización climática

Comparado con campo abierto del primer ciclo, el ambiente Protegido-C1 fue más cálido en el día con diferencias de temperaturas máximas y medias de 17,7 y 2,2 °C, respectivamente y más frío en la noche con 1,8 °C menos. Sus valores máximos, promedios y mínimos oscilaron entre los 39,6, 19,8 y 11,6 °C, respectivamente. Desde las semanas 51 y 52 de 2017, hasta la primera de 2018, se registraron temperaturas máximas superiores a 40 °C. Entre enero y febrero del 2018, en la semana 5, se presentaron humedades relativas altas con temperaturas bajas, sobre todo en las primeras horas del día, producto de cielos despejados con poca nubosidad, neblina y heladas que se presentaron en esta época del año (Figura 1).

En Abierto las temperaturas y humedades relativas promedios máximas, medias y mínimas, estuvieron en 21,9, 17,6 y 13,4 °C, respectivamente, con humedades de 98, 83 y 48 %, respectivamente, en donde la condición Protegido-C1 fue un poco más seca. Abierto-C1 fue el menos lluvioso con 528 mm promedio, por coincidir con la segunda época con menos lluvias del año de la región, entre diciembre y marzo, excepto las dos semanas iniciales del ciclo, semanas 50 y 51, que presentaron pluviosidades superiores a 65 mm.

Para el segundo ciclo cayeron 925 mm de agua aproximadamente y el número de semanas con precipitaciones superiores a 30 mm fue mayor, lo que disminuyó la temperatura en el interior de la condición protegida y aumentó la humedad relativa (Figura 1).

En Protegido-C2, las temperaturas y humedades relativas, promedios máximos, medios y mínimos, no presentaron cambios bruscos y continuó, a partir de la semana seis, con una tendencia semejante a Protegido-C1, con temperaturas de 36,1, 19,7 y 10,1 °C, respectivamente; mientras que en el exterior fue de 22,7, 17,8 y 13,0, respectivamente.

Igual que en el primer ciclo, con respecto a las condiciones climáticas presentadas a campo abierto, el ambiente Protegido-C2 fue 13,4 y 1,9 °C más caliente en el día cuando alcanzó la máxima y la media, con 2,9 °C más frío en la noche. Fue 4 °C menos caliente y 1,1 °C más frío en la noche que en Protegido-C1. Las humedades externas en el segundo ciclo, fueron de 99, 82 y 54 % y en el interior fueron de 96, 74 y 31, respectivamente, un poco más seco (Figura 1).

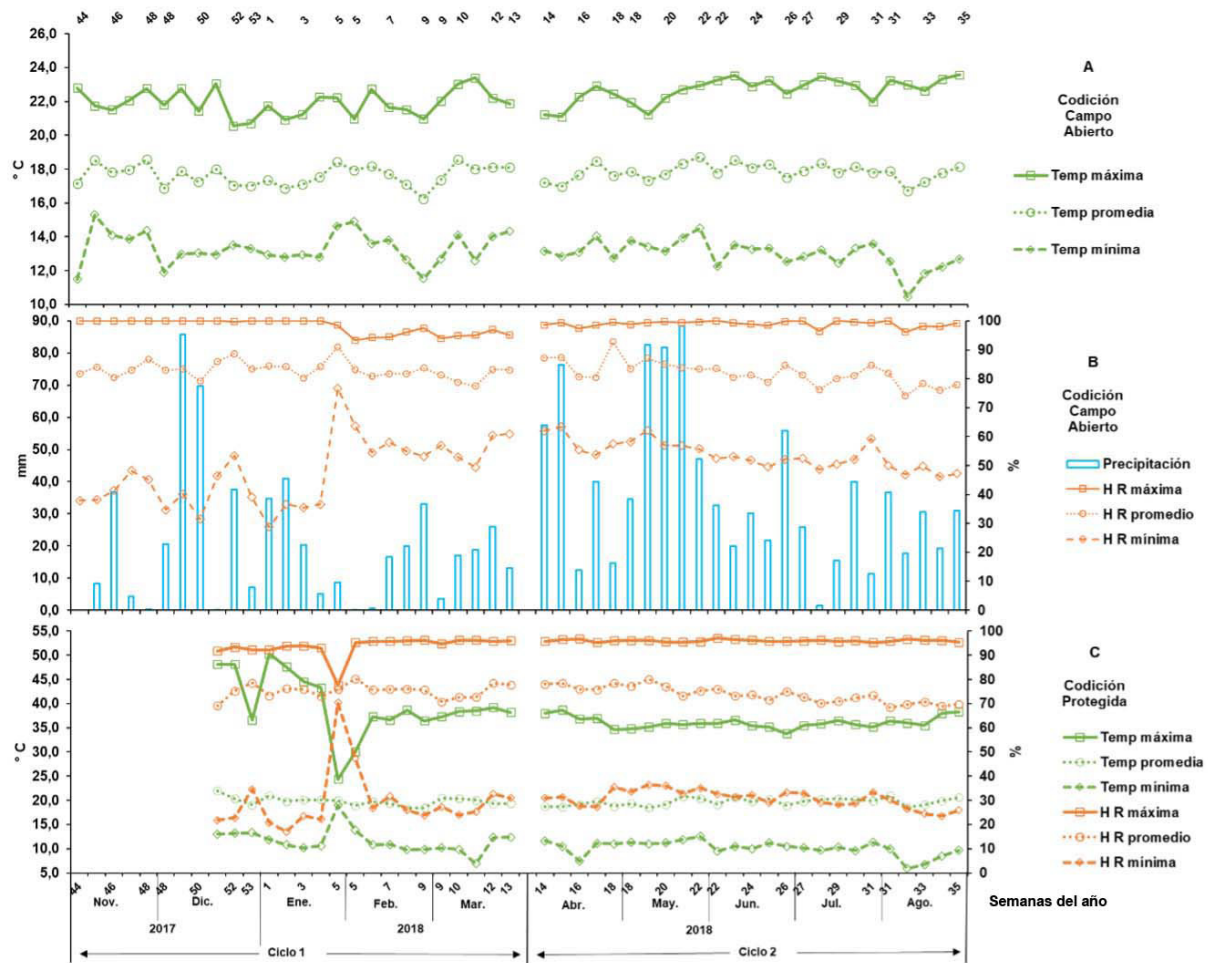


Figura 1. Caracterización climática de los ambientes donde se desarrollaron los cultivares de cebolla ocañera (*Allium cepa* L.). A. Temperaturas (Temp) a campo abierto. B. Precipitación y humedad relativa (H R) a campo abierto. C. Temperatura y humedad relativa en condiciones protegidas. Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

Figure 1. Climatic characterization of the environments where Ocañera onion cultivars (*Allium cepa* L.) were developed. A. Temperatures (Temp) in the open-field. B. Precipitation and relative humidity (H R) in the open-field. C. Temperature and relative humidity under protected conditions. La Selva Research Center, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

Nivel de fertilidad del suelo

Los nutrientes que se presentaron en niveles bajos en el suelo fueron: Mg ($0,8 \text{ cmol kg}^{-1}$) y Mn ($1,5 \text{ mg kg}^{-1}$), el resto de los elementos como K ($0,4 \text{ cmol kg}^{-1}$), P ($43,2 \text{ mg kg}^{-1}$), Ca ($5,8 \text{ cmol kg}^{-1}$), estuvieron entre medio y alto. No se aplicaron enmiendas como materia orgánica, por presentarse en altos contenidos (14,8 %), ni de cal porque el pH no fue una limitante, por la ausencia de Al. El plan de fertilización fue desarrollado con base en la necesidad de fertilización, calculada a partir del requerimiento del cultivo (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 1992), el aporte de nutrientes del suelo y la eficiencia de las fuentes de fertilizantes empleadas.

Peso y número de bulbos totales

La interpretación de los resultados se aplicó de forma similar entre el peso fresco y seco al aire libre óptimo para comercializar los bulbos, porque no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre ellos ($p > 0,05$). En Abierto-C1 el número de bulbos comerciales fue la variable que cumplió los supuestos de normalidad ($p > 0,05$) y homocedasticidad de varianzas ($p > 0,05$) e independencia de los residuos; mientras que el peso y el número de bulbos por m^2 de las categorías total, grande, extragrande y comercial, solo presentaron normalidad. El resto de las variables, en los tres ambientes evaluados, no cumplieron con los supuestos para el análisis de los datos con pruebas paramétricas.

El factor Cultivar fue significativo ($p < 0,05$) en todos los componentes evaluados del rendimiento, con intervalos de confianza al 90 %, que no incluyeron límites cercanos al cero y un Eta cuadrado (η^2) superior a 0,14, lo que indica un efecto importante del factor. En los pesos y números de bulbos de las categorías descartes, pequeñas, medianas y en algunos grandes, se presentaron coeficientes de variación superiores al 100 %. Solo los rendimientos totales presentaron coeficientes de variación inferiores al 50 % en los tres ambientes.

En Abierto-C1 el cultivar L55 fue el más rendidor con 6196 g m^{-2} , seguido de L63 (4225 g m^{-2}) y RPT5 (3797 g m^{-2}), y el menos rendidor fue RPT11 (1462 g m^{-2} , $p < 0,05$). En Protegido-C1, el material sobresaliente fue RPT9 con 4260 g m^{-2} , seguido de L41 (3911 g m^{-2}) y L3 (3030 g m^{-2}), y el menos rendidor bajo esta condición fue L75 con 858 g m^{-2} , con diferencias estadísticas ($p < 0,05$). En el ambiente Protegido-C2 el más rendidor fue RPT20 con 4196 g m^{-2} , seguido de Peruana (4022 g m^{-2}) y L55 (3944 g m^{-2}) y el menos rendidor, estadísticamente diferente ($p < 0,05$), fue RPT19 con 500 g m^{-2} (Figura 2).

En general, en Abierto-C1 se obtuvo el mayor peso fresco promedio de bulbos (3038 g m^{-2}), estadísticamente diferente ($p < 0,05$), seguido de Protegido-C2 (2815 g m^{-2}) y Protegido-C1 (1946 g m^{-2}). Estas diferencias entre los dos ambientes protegidos ocurrieron posiblemente por la menor temperatura registrada en el segundo ciclo, $4 \text{ }^\circ\text{C}$ menos caliente, cuando alcanzó las máximas y $1,1 \text{ }^\circ\text{C}$ más frío en las mínimas (Figura 1 y 2).

Los pesos y el número de bulbos presentaron una correlación directa (Spearman, $r > 0,9$), mientras que para los testigos Yellow Granex y Peruana, en todos los ambientes, la relación fue inversa, a mayor peso menor número de bulbos ($r < -0,8$), propio de los cultivares del grupo Cepa. Los cultivares L63, RPT20 y RPT5, bajo condición protegida, también presentaron la misma correlación inversa que los testigos, porque formaron bulbos más grandes y en menor cantidad que las otras accesiones del grupo *Aggregatum* (Figura 2).

Peso y número de bulbos por categorías

La principal categoría que conformó el rendimiento fue la extragrande, seguido de la pequeña y la grande. Para el peso en Protegido-C2 se destacaron los extragrandes y grandes. En Abierto-C1 fue compensado con un mayor número de pequeños, grandes y medianos. En aquellos cultivares donde la relación de peso y número de bulbos fue inversa, prevaleció el peso de extragrandes. En Protegido-C2, se obtuvo el mayor peso de bulbos extragrande (2303 g m^{-2} , representó el 82 % del total) seguido de Abierto-C1 (1579 g m^{-2} , 52 %) y Protegido-C1 (1252 g m^{-2} , 63 %), con diferencias entre sí ($p < 0,05$, Figura 3).

El cultivar L55, el más rendidor en Abierto-C1, presentó una composición del peso y número de bulbos de un 71 y 45 % por la categoría extragrande, seguido por L63 con un 53 y 30 %, respectivamente. El que menos rindió, RPT11, mostró un 32 y 20 % por la grande, más un 29 y 42 % pequeñas y solo un 21 y 8 % extragrande, junto con un valor de descartes del 3 y 18 %. Bajo este ambiente, los extragrandes fueron los más importantes en la conformación del peso, seguido de la pequeña; mientras que para el número de bulbos fue primero la pequeña con 72 bulbos/ m^2 (39 %), seguido de los descartes y extragrandes (Figura 3).

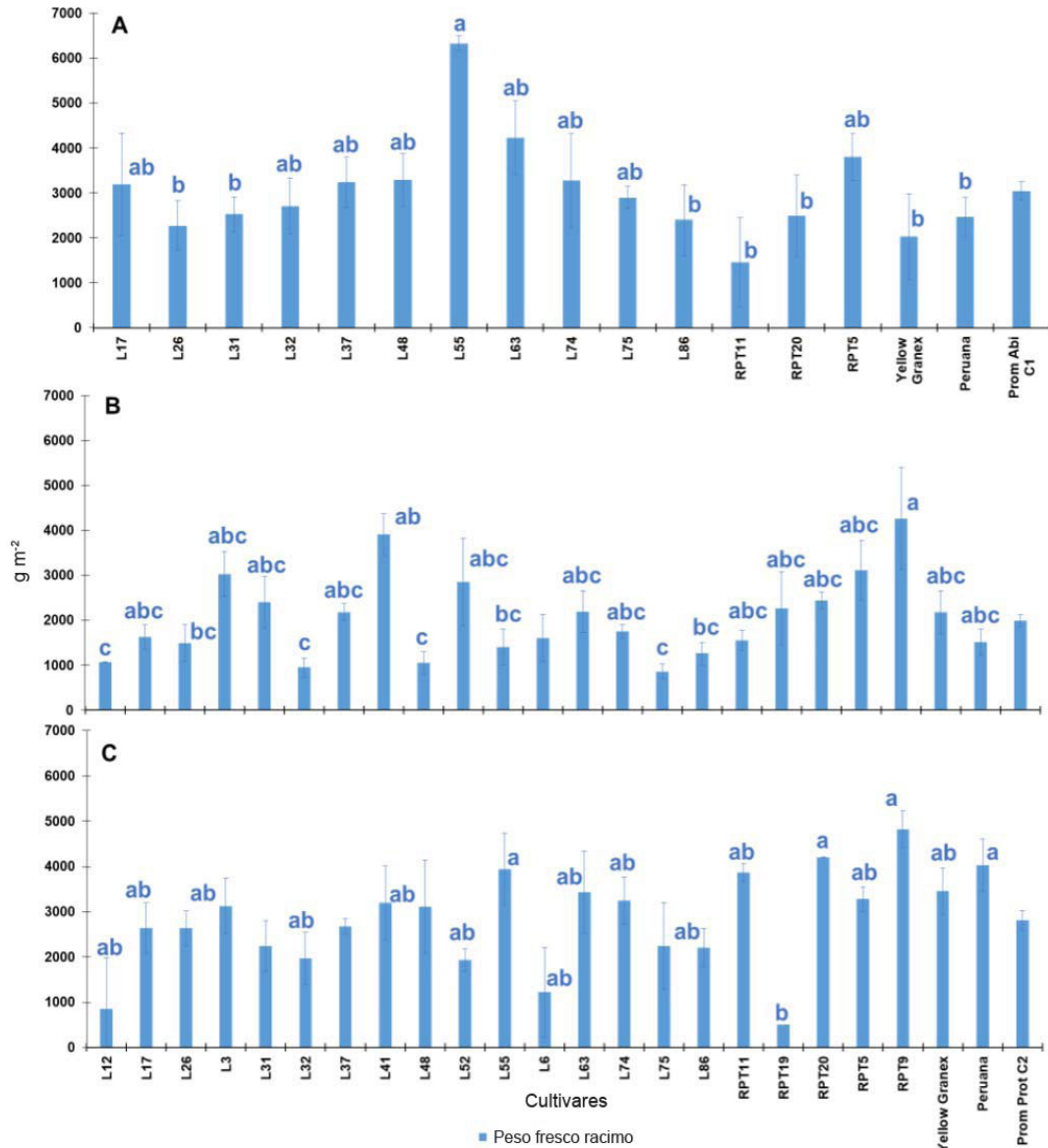


Figura 2. Peso fresco de cultivares de cebolla ocañera (*Allium cepa* L), a campo abierto - AbiertoC1 - (A), a condición protegida ciclo 1 – Protegido-C1 - (B) y protegida ciclo 2 – Protegido-C2 - (C). Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

Promedios de una serie con igual letra, en cada ambiente, no presentan diferencias estadísticas significativas. Barras del promedio del error estándar (SE) con n = 4 para los cultivares.

Figure 2. Fresh weight of Ocañera onion cultivars (*Allium cepa* L), under open-field – AbiertoC1 - (A), under protected conditions cycle 1 – Protegido-C1 - (B), and under protected conditions cycle 2 - Protegido-C2 - (C). La Selva Research Center, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

Averages with the same letter in each environment do not show statistically significant differences. Bars represent the standard error (SE) with n = 4 for the cultivars.

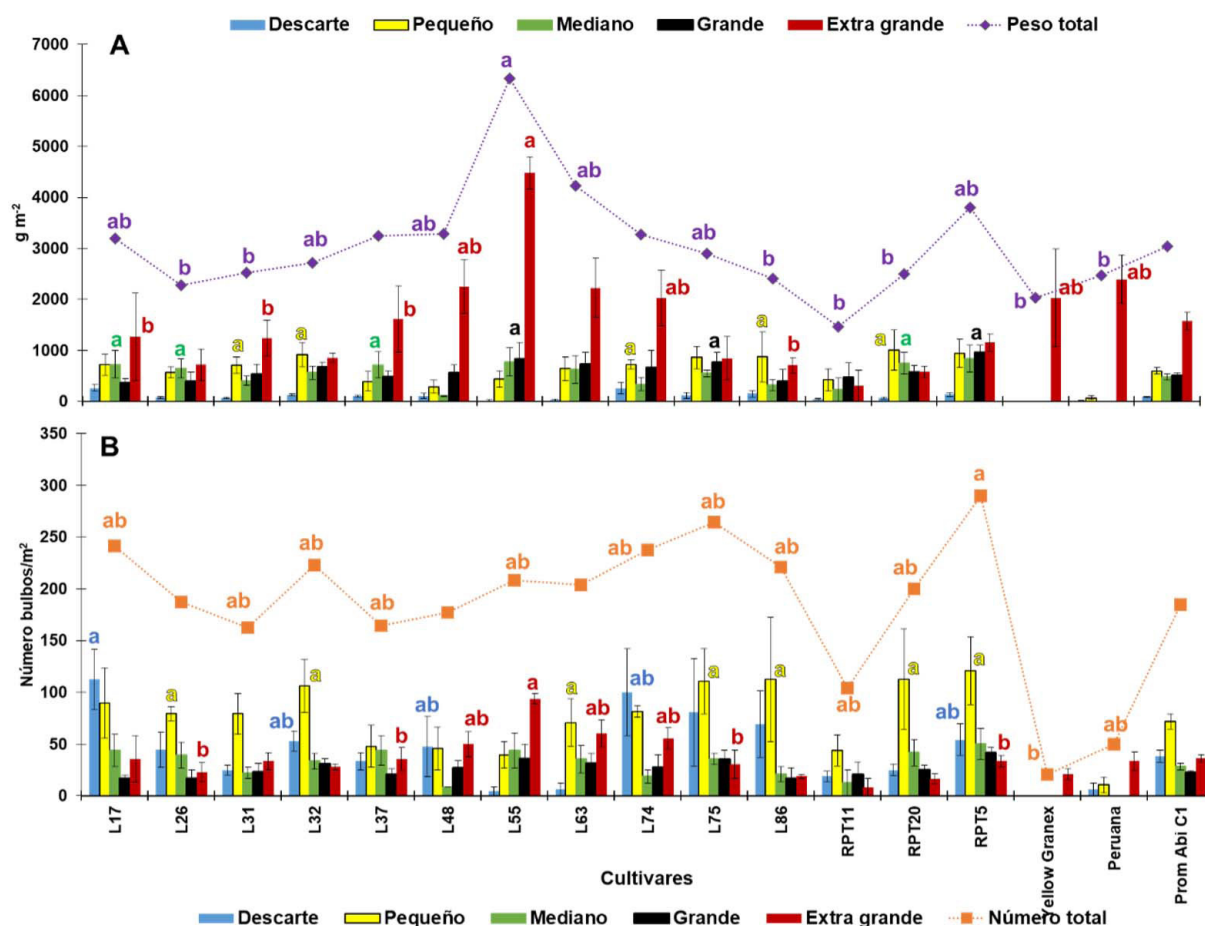


Figura 3. Peso fresco (A) y número (B) por categorías y totales de bulbos de cultivares de cebolla ocañera (*Allium cepa* L.), a campo abierto primer ciclo (Abierto-C1). Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

Promedios de una serie con igual letra no presentan diferencias estadísticas significativas. Barras del promedio del error estándar (SE) con $n = 4$ para los cultivares.

Figure 3. Fresh weight (A) and number (B) by categories and total of bulbs for Ocañera onion cultivars (*Allium cepa* L.) in open-field, first cycle (Abierto-C1). La Selva Research Center, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

Averages with the same letter do not show statistically significant differences. Bars represent the standard error (SE) with $n = 4$ for the cultivars.

El cultivar RPT9, el más rendidor en Protegido-C1, presentó una conformación del peso y número de 56 y 31 % de extragrandes, 26 y 47 % de pequeñas con un 20 y 16 % de bulbos grandes; seguido por L41 con un 42 y 19 % extragrande, 24 y 47 % pequeñas con 23 % de medianas. L75 el menos rendidor, presentó una composición del 72 y 85 % pequeña, 19 y 10 % grande y sin extragrandes (Figura 4).

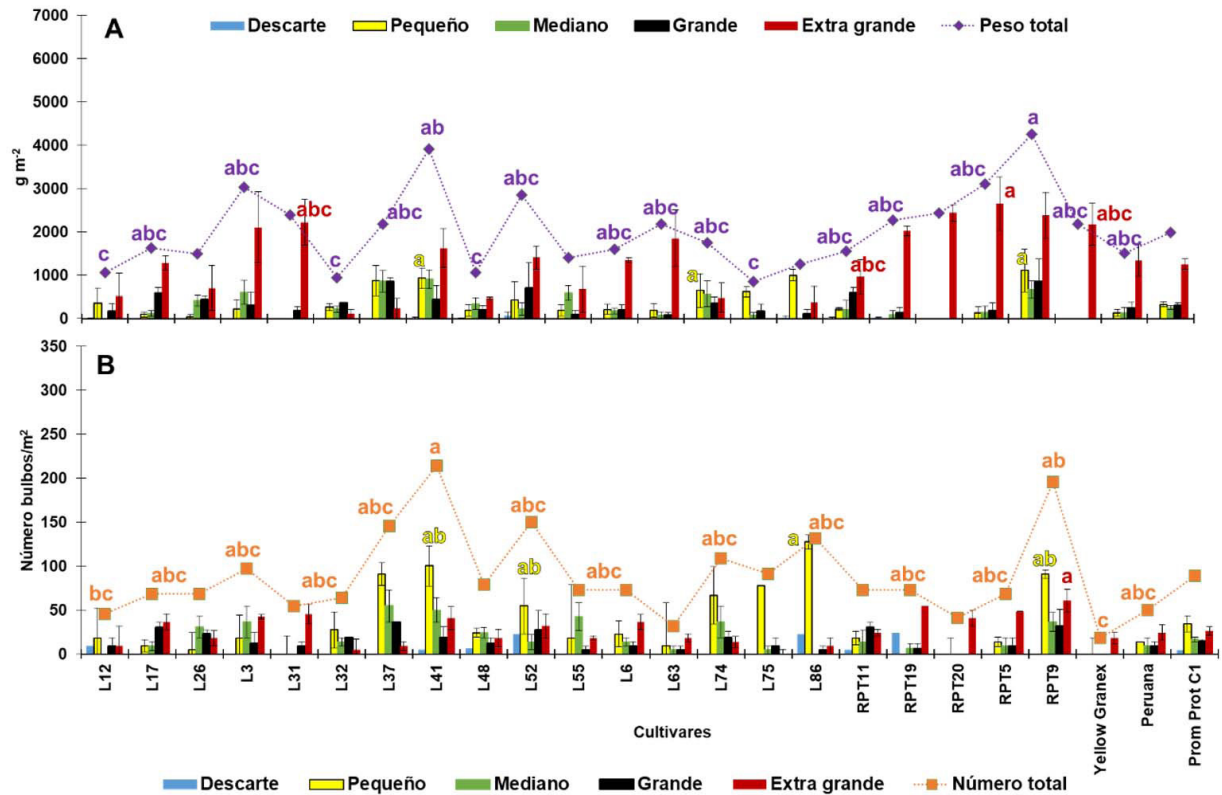


Figura 4. Peso fresco (A) y número (B) por categorías y totales de bulbos de cultivares de cebolla ocañera (*Allium cepa* L.), bajo condición protegida ciclo 1 (Protegido-C1). Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

Promedios de una serie con igual letra no presentan diferencias estadísticas significativas. Barras del promedio del error estándar (SE) con $n = 4$ para los cultivares.

Figure 4. Fresh weight (A) and number (B) by categories and total of bulbs for Ocañera onion cultivars (*Allium cepa* L.), under protected condition, cycle 1 (Protegido-C1). La Selva Research Center, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

Averages with the same letter do not show statistically significant differences. Bars represent the standard error (SE) with $n = 4$ for the cultivars.

Igual que en Abierto-C1, en Protegido-C1 la categoría extragrande fue la más importante en la conformación del peso, pero para el número total de bulbos, el aporte no fue similar, solo se presentaron 623 bulbos extragrandes, mientras que la pequeña aportó 805, segunda categoría en importancia para la conformación de su peso definitivo (Figura 3 y 4).

El cultivar RPT20 fue el más rendidor en Protegido-C2 ($p < 0,05$), conformado en su peso y número de bulbos por un 97 y 90 % de extragrandes, seguido por Peruana con un 100 % de extragrande y el L55 con una composición más variada y equilibrada de 47 y 28 % de extragrandes y 34 y 31 % de grandes, respectivamente. El cultivar RPT19, que menos rindió bajo este ambiente, estuvo conformado en un 100 % por bulbos extragrandes de poco peso (Figura 5).

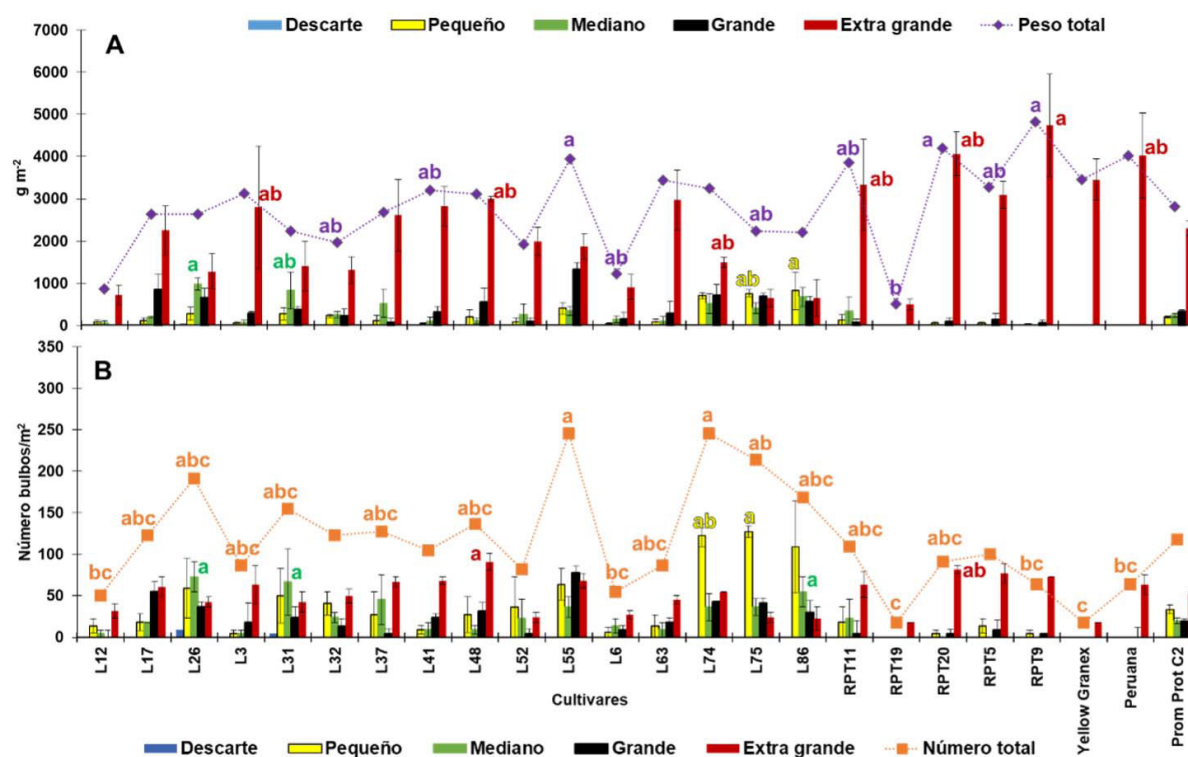


Figura 5. Peso fresco (A) y número (B) por categorías y totales de bulbos de cultivares de cebolla ocañera (*Allium cepa* L.), bajo condición protegida ciclo 2 (Protegido-C2). Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

Promedios de una serie con igual letra no presentan diferencias estadísticas significativas. Barras del promedio del error estándar (SE) con $n = 4$ para los cultivares.

Figure 5. Fresh weight (A) and number (B) by categories and total of bulbs for Ocañera onion cultivars (*Allium cepa* L.), under protected condition, cycle 2 (Protegido-C2). La Selva Research Center, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

Averages with the same letter do not show statistically significant differences. Bars represent the standard error (SE) with $n = 4$ for the cultivars.

En los tres ambientes el aporte de la categoría extragrande fue significativo en la conformación del rendimiento expresado en peso y número de bulbos. Su importancia en Protegido-C2 superó a los otros dos ($p < 0,05$). Los cultivares Yellow Granex y Peruana bajo Abierto-C1 y Protegido-C2, desarrollaron solo categoría extragrande (100 %), mientras que en Protegido-C1 el Peruana alcanzó a producir grandes (16 y 18 % de peso y número) y medianas (8 y 18 %, Figura 3, 4 y 5).

En los Protegidos, para el número de bulbos, predominaron los extragrandes y pequeños. No se apreció una mayor producción de una determinada categoría en los tres ambientes ($p > 0,05$). El mayor número de bulbos de descarte se presentó en Abierto-C1 (21 % promedio), sin que influyera en el rendimiento final, y fue el cultivar L17 el que produjo los valores más altos (113 bulbos/m² con un 47 %), seguido del L74 con 100 bulbos/m² (42 %) y el que no presentó descartes fue el Yellow Granex (Figura 3, 4 y 5).

Comportamiento de los cultivares en los ambientes

El análisis conjunto de los cultivares comunes en los tres ambientes (L17, L26, L31, L32, L37, L48, L55, L63, L74, L75, L86, RPT11, RPT20, RPT5, Yellow Granex y Peruana), mostró que el peso y el número de bulbos totales no cumplieron con los supuestos de normalidad, homocedasticidad de varianzas e independencia de los residuos. La interacción Cultivar x Ambiente, en el ANDEVA combinado efectuado con pruebas no paramétricas, fue altamente significativa ($p < 0,001$) para el rendimiento en peso y significativa ($p = 0,026$) para el número total de bulbos; mientras que la fuente de variación cultivar fue muy significativo ($p < 0,001$).

Para el número de bulbos total, el η^2 en la interacción y el cultivar indicó un tamaño del efecto medio mientras que, para el resto de las variables, fue grande. El peso de bulbos se vio más influenciado por la interacción Cultivar x Ambientes, con valores mayores de η^2 y para el número de bulbos lo fue por la fuente de variación Cultivar. No se presentó el valor cero dentro de los intervalos de confianza, como prueba adicional de las diferencias estadísticas presentadas.

No se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre el promedio general del peso de los bulbos bajo los ambientes Abierto-C1 y Protegido-C2. En Abierto-C1, el cultivar L55 fue el más rendidor (6329 g m^{-2}), seguido por L63, RPT5, L37 y L48, sin diferencias estadísticas. Tampoco presentó diferencias con RPT11, RPT20 y Peruana, cuando creció en Protegido-C2, pero fue inferior, con 1409 g m^{-2} , en Protegido-C1 ($p < 0,05$). Sus valores en Protegido-C1 estuvieron por debajo de cultivares como RPT20 y RPT5. Los cultivares menos rendidores fueron RPT11 en Abierto-C1, L75 en Protegido-C1 y L32 en Protegido-C2 (Figura 6).

RPT5 fue el cultivar que presentó el mayor número de bulbos en Abierto-C1 (290 bulbos/m^2), seguido de L75 (265), sin diferencias estadísticas ($p > 0,05$) y sin ser los más rendidores en peso. En Protegido-C2 los cultivares L55 y L74 alcanzaron los mayores valores, con 246 bulbos/m^2 , mientras que RPT20 con 91 bulbos/m^2 y Peruana con 64 , presentaron los mayores pesos de bulbos bajo esta condición (Figura 6).

Interacción ambiente (A) x cultivar (C)

Las fuentes de variación del ANDEVA combinado (Ambiente, Cultivar y su interacción) resultaron muy significativos ($p < 0,01$). Para la variable peso de los bulbos, el principal efecto de la variación de la suma de cuadrados (SS), lo mostró el ambiente con un 40% , seguido por la interacción con el 35% y el cultivar con el 25% . El componente DIM1 del AMMI fue altamente significativo ($p < 0,001$) y explicó el 77% de la SS de la interacción A x C, sus coeficientes presentaron una correlación del $43,5 \%$ con el peso de bulbos. Fue el componente que representó el mejor rendimiento de los cultivares y en el biplot permitió identificar los superiores. La DIM2 no fue significativa ($p > 0,05$).

El ambiente Abierto-C1 con un valor de $49,6$ en el DIM1 y $-2,24$ cercano a cero en el DIM2, fue el más discriminante y donde se obtuvieron los mayores rendimientos de los cultivares L55 y L63; seguido por Protegido-C2, con $32,8$ en DIM2 y $-22,1$ en el DIM1, donde los mejores rendimientos los obtuvieron RPT20 y Peruana. Cultivares como L74, L75, RPT5, L17, L86 y L26, cercanos al origen, presentaron un comportamiento regular en los tres ambientes que resultaron contrastantes al ubicarse en diferentes cuadrantes del biplot (Figura 7).

Al comparar el rendimiento de los cultivares con Abierto-C1, mediante el trazado de una línea de referencia que une el marcador del ambiente y el origen del biplot, junto con el trazado de líneas perpendiculares desde los marcadores de los cultivares hasta dicha línea, se verificó lo antes observado, que L55 y L63 fueron los cultivares que mejor se adaptaron con los rendimientos más altos, mientras que RPT11 que se ubicó al lado opuesto, fue el menos estable y rendidor. Al trasladar la línea de referencia al Protegido-C2, los cultivares RPT20, Peruana y RPT11 fueron los más estables (Figura 7 A).

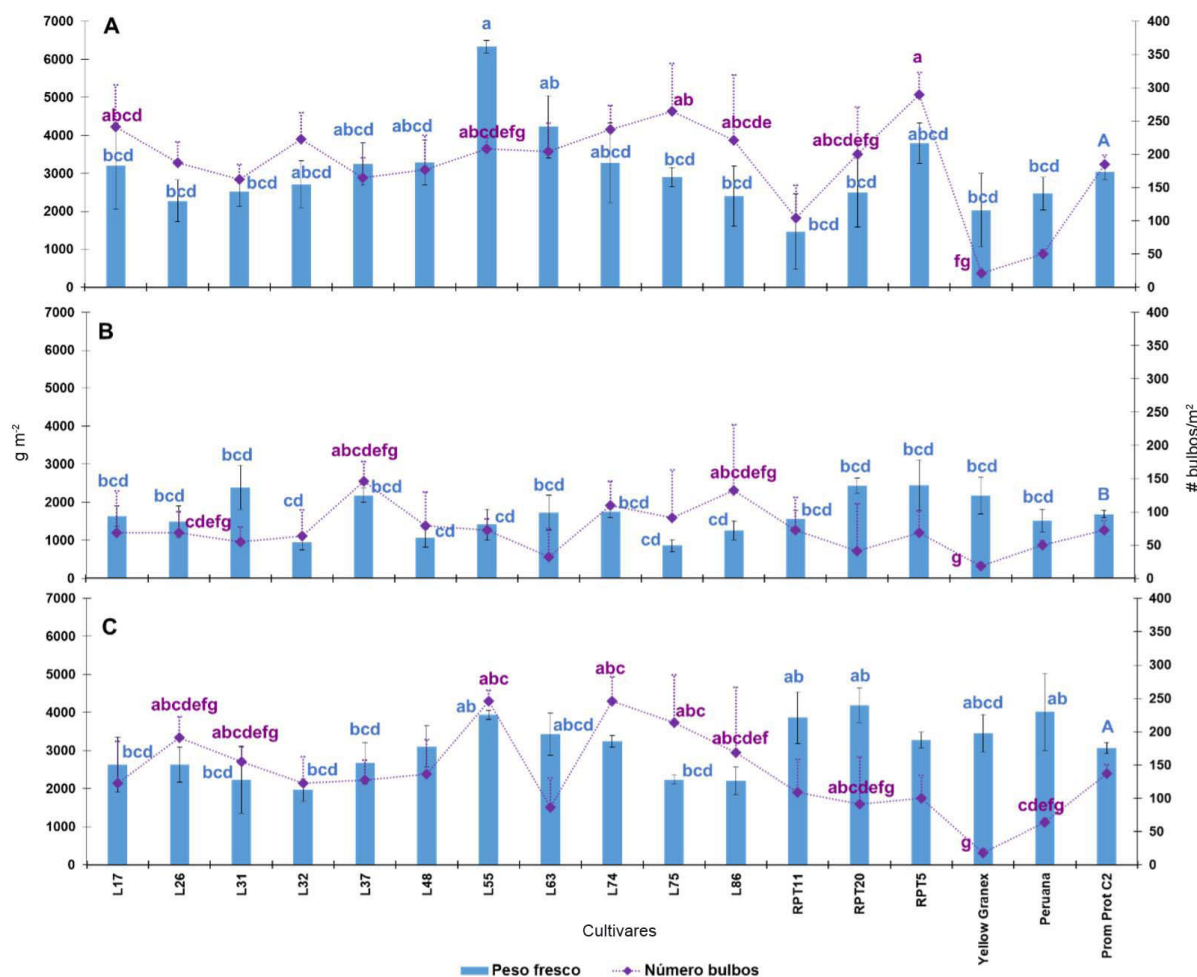


Figura 6. Peso fresco y número de bulbos totales de cultivares comunes de cebolla (*Allium cepa* L.) a campo abierto – Abierto-C1 - (A), en condición protegida ciclo 1 – Protegido-C1 (B) y en protegida ciclo 2 – Protegido-C2 - (C). Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

Promedios de una serie con igual letra, en los tres ambientes, no presentan diferencias estadísticas significativas. Barras del promedio del error estándar (SE) con $n = 4$ para los cultivares.

Figure 6. Fresh weight and total number of bulbs for common onion cultivars (*Allium cepa* L.) under open-field – Abierto-C1 - (A), under protected conditions cycle 1 – Protegido-C1 - (B), and under protected conditions cycle 2 – Protegido-C2 - (C). La Selva Research Center, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

Averages with the same letter a cross the three environments do not show statistically significant differences. Bars represent the standard error (SE) with $n = 4$ for the cultivars.

Los mejores ambientes para un cultivar se evaluaron al trazar la línea de referencia desde el marcador del cultivar y el origen del biplot, junto con las líneas perpendiculares desde los marcadores de los ambientes a dicha línea. Para L55 y L63, por ejemplo, se ratificó que el mejor ambiente fue Abierto-C1 y su poca adaptabilidad a los ambientes protegidos, debido a que sus rendimientos estuvieron por debajo de la media, dada su posición al lado contrario de la línea punteada (Figura 7B).

Los cultivares RPT11, Yellow Granex, Peruana y RPT20, con mayor producción de bulbos extragrandes, aun cuando pertenecen al grupo *Aggregatum*, se adaptaron mejor al ambiente protegido. Para el cultivar L31 su mejor

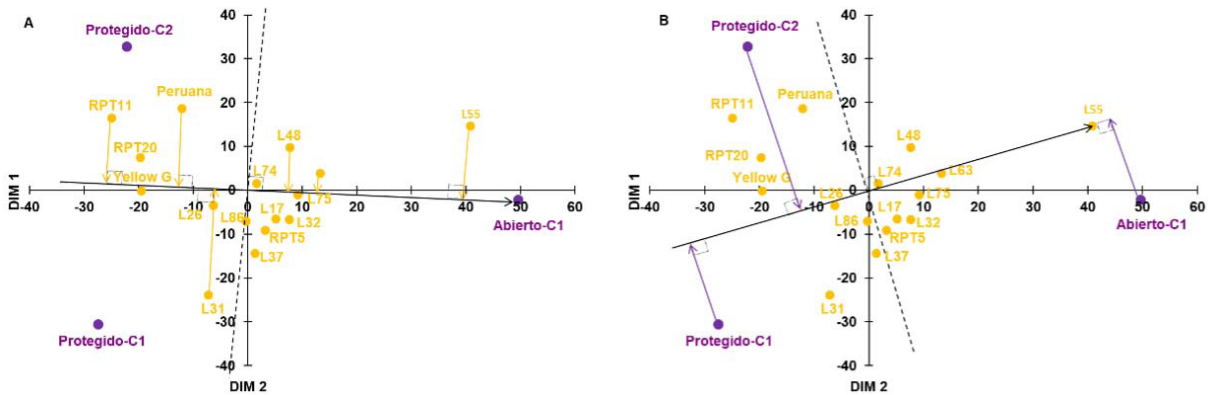


Figura 7. Comportamiento de los cultivares de cebolla (*Allium cepa* L.) con los ambientes referenciados (A) y comportamientos de los ambientes con los cultivares referenciados (B). Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

Figure 7. Performance of onion cultivars (*Allium cepa* L.) the referenced environments (A) and performance of the environments with the referenced cultivars (B). La Selva Research Center, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

ambiente de desempeño fue el Protegido-C1, con coordenadas (-7,2; -23,9) cercanas al cero en el DIM1, que representa el rendimiento relativo de los cultivares (Figura 7 B).

Al comparar pares de cultivares con los ambientes, por ejemplo, L55 con L31, unir sus marcadores con la línea de referencia y trazar una perpendicular punteada que pase por el origen, que representaría un ambiente virtual y que divide los ambientes en dos grupos; se observó que el mejor ambiente para L55 es Abierto-C1 por ubicarse en su lado de la perpendicular y para L31 fueron los protegidos. Al pasar la línea punteada cerca del marcador de Protegido-C2, indicó que, en ambos ambientes, estos dos cultivares presentaron un rendimiento estable. Al comparar L63 con RPT11, el mejor ambiente para L63 fue Abierto-C1 y para RPT11 fue Protegido-C2 (Figura 8).

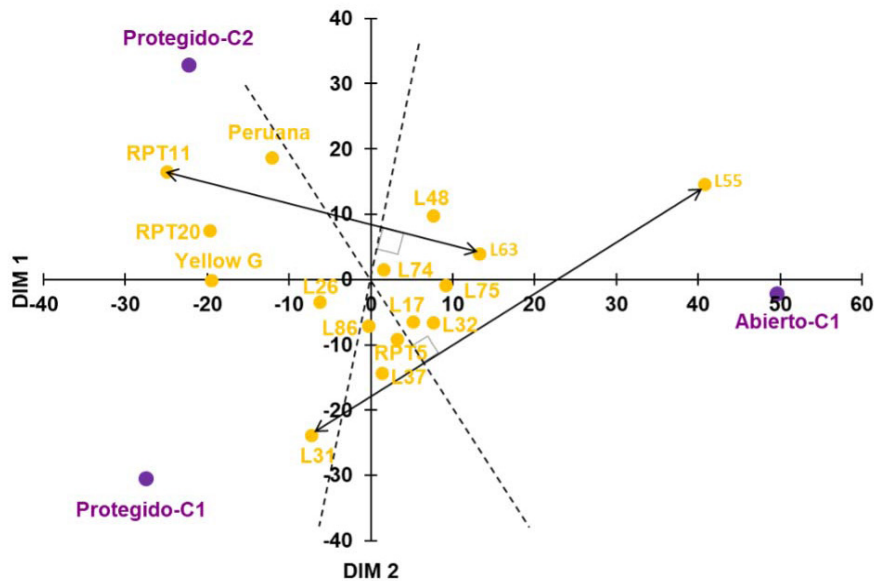


Figura 8. Relación de pares de cultivares de cebolla (*Allium cepa* L.) con los ambientes. Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

Figure 8. Pairwise relationship of onion cultivar (*Allium cepa* L.) with environments. La Selva Research Center, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2017-2018.

Discusión

Las condiciones climáticas fueron importantes al momento de evaluar el rendimiento de cultivares promisorios de cebolla ocañera porque, en los ambientes protegidos, las temperaturas fueron mayores en el día, más bajas en las noches y más seco, debido al efecto invernadero que causa la cobertura plástica que concentra y retiene el aire por más tiempo. Para alcanzar el potencial productivo de cada cultivar, además de elegir un material y el momento de siembra adecuado para cada zona de producción, es importante que se cuente con una temperatura óptima durante el crecimiento de la planta y el desarrollo de los bulbos (Ansari, 2007; Coolong & Randle, 2003; Ikeda et al., 2019).

La época de cultivo, asociada al fotoperiodo y la temperatura, influyó en la producción de los cultivares (Chope et al., 2012; Quartiero et al., 2014), por eso en campo abierto se obtuvieron los mejores rendimientos promedio de bulbos, seguido del Protegido-C2, sin presentarse diferencias, debido a que las temperaturas no fueron tan extremas como en Protegido-C1, donde se obtuvieron pesos menores en un 45 %, asociado a las temperaturas extremas que se presentaron. Estos resultados coincidieron con los de Deshi et al. (2018), quienes con las variedades Red creole 5, Dan Zaria 1 y Wase, encontraron los mayores pesos de bulbos a campo abierto, por las temperaturas favorables que se presentaron para el desarrollo del cultivo.

Las mayores precipitaciones presentadas en el ciclo dos y las condiciones de campo abierto, favorecieron los parámetros ambientales de Abierto-C1 y Protegido-C2. Las diferencias entre los dos ambientes protegidos se debieron principalmente a las temperaturas, que, en el segundo ciclo, fue 4 °C menos caliente y 1,1 °C menos frío, debido a que coincidió con la primera época de altas precipitaciones, nubosidades y menor luminosidad de la región, y por el efecto invernadero que causa la cobertura plástica, que retiene el aire por más tiempo, lo que afectó el desarrollo de la especie *Allium cepa* por su sensibilidad a los cambios de temperatura (López-Urquidez et al., 2021; Quartiero et al., 2014).

Los bajos pesos de los bulbos en condiciones protegidas coinciden con los hallazgos de Deshi et al. (2018), quienes observaron una alta producción vegetativa caracterizada por un peso fresco y seco promedio superior de las hojas, así como una mayor longitud de estas en comparación con el cultivo a campo abierto. Este fenómeno se debe a la estimulación del desarrollo foliar por las altas temperaturas, lo que afecta negativamente el peso de los bulbos.

Además de la temperatura, influyeron también las limitaciones medioambientales que surgieron de la interacción entre la temperatura y la duración del día, debido a que las condiciones cálidas aceleran la producción de bulbos más pequeños, mientras que las frías inducen su brotación y que, junto con un nivel alto de fertilidad de los suelos (N, P, K o compost) encontrado, de acuerdo con los resultados del análisis químico, es probable que provocaran la caída del rendimiento de los cultivares o el desequilibrio de los nutrientes en la cosecha y la disminución en la eficiencia de la absorción de los fertilizantes (Sekara et al., 2017).

Los cultivares L63, RPT20, RPT5, Peruana, del grupo *Aggregatum* y provenientes de cruces con parentales del grupo *Cepa*, mostraron una relación inversa entre el peso y el número de bulbos, como ocurre en los cultivares del grupo *Cepa*, cuya productividad depende del desarrollo de bulbos grandes, controlado por el fotoperiodo y la temperatura (López-Urquidez et al., 2021; Quartiero et al., 2014; Sekara et al., 2017).

Los resultados obtenidos coincidieron con los encontrados por Ikeda et al. (2019), quienes con cultivares comerciales, observaron diferencias en el rendimiento por efectos de la variación en el tamaño del bulbo, presentadas en diferentes épocas de siembra, con correlaciones directas con la temperatura, el desarrollo de la planta, el número total de hojas, el diámetro del bulbo y su peso. Los cambios de temperatura estimularon, en los cultivares evaluados en el presente estudio, la expresión de los genes provenientes de sus parentales *Cepa*.

Los ambientes y su interacción con los cultivares en la variable peso, presentaron el mayor efecto de la variación de la SS de las fuentes de variación de este ensayo, lo que indica la sensibilidad de la especie a las limitaciones medioambientales (Sekara et al., 2017). Esto coincidió con otros experimentos en campo, donde se

evaluó el comportamiento agronómico de las variedades Lokananta y Sanren F1, del grupo *Aggregatum*, sometidas a varios métodos de cultivo, donde la interacción de las variedades y el método de cultivo incrementó el peso seco de bulbo por parcela en más del 20 % (Hasanah et al., 2022).

Dichos resultados, donde el ambiente afectó el comportamiento de los cultivares, fueron contrarios a los encontrados por Haydar et al. (2007), donde el rendimiento de los bulbos, su diámetro polar y ecuatorial, junto con la altura de la planta de *A. cepa* L. var. *cepa*, presentaron elevadas estimaciones de heredabilidad en sentido amplio, con alta ganancia genética, lo que debería provocar una menor influencia del ambiente, como se ha evidenciado en otros estudios, con diferentes cultivos, donde el rendimiento, en términos del peso, fue una característica con alta heredabilidad y variación genotípica (Dhaliwal et al., 2015; Lozano-Fernández et al., 2022; Uma Jyothi et al., 2011).

Se identificaron los cultivares L55 y L31 con estabilidad de adaptación a los tres ambientes contrastantes. L55 y L63 se destacaron por su estabilidad para ser sembrados a campo abierto por sus ganancias en peso; mientras que RPT5 y L75 sobresalieron por el mayor número de bulbos agregados, atributo de importancia en la producción y comercialización de encurtidos. Los cultivares RPT20 y RPT5 se destacaron en las condiciones protegidas por su rendimiento, asociado al peso del bulbo, dado por la categoría extragrande, que superaron a las variedades comerciales Yellow Granex y Peruana, característica importante para su comercialización en fresco.

Para el buen desarrollo de la cebolla ocañera, las temperaturas óptimas están entre los 20 y 25 °C. En el oriente antioqueño se presentan temperaturas promedias de 18 °C y condiciones ambientales que limitan su producción. El uso de condiciones protegidas con techo plástico, podría ser una alternativa para desarrollar este cultivo bajo esas condiciones, si se logran obtener cultivares que muestren un potencial de rendimiento parecido a los que se presentan en las regiones productoras del país. Con el empleo de estructuras protegidas se podrían producir a mayores alturas y menores temperaturas, cultivos de clima cálido y altitudes menores a los 1600 m s. n. m., si se logran encontrar los cultivares que mejor se adapten.

Conclusiones

Los contrastes de temperaturas que se registraron en los ambientes protegidos con techo plástico afectaron los rendimientos de los cultivares, mientras que las condiciones ambientales a campo abierto fueron favorables. Los cultivares mostraron una variabilidad significativa en términos de peso y número de bulbos, influenciado por factores ambientales y su interacción, lo que ocasionó que los del grupo *Aggregatum* (Peruana, L63, RPT20 y RPT5), se comportaran como los del grupo *Cepa*, al producir pocos bulbos de gran tamaño.

Es importante seleccionar cultivares adecuados para cada ambiente, combinar la época de siembra y las zonas agroecológicas con temperaturas óptimas durante el crecimiento y el desarrollo de los bulbos, que permitan maximizar su producción y que se puedan emplear en sistemas artificiales alternativos como las condiciones protegidas.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) colombiano por apoyar logística y financieramente el proyecto.

Referencias

- Acosta Rodrigues, S., Souza Caldas, S., & Primel, E. G. (2010) A simple; efficient and environmentally friendly method for the extraction of pesticides from onion by matrix solid-phase dispersion with liquid chromatography–tandem mass spectrometric detection. *Analytica Chimica Acta*, 678(1), 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.08.026>
- Agroactivo. (n.d.). *Cebolla Yellow Granex*. Recuperado octubre 22, 2023, de <https://agroactivocol.com/producto/material-vegetal/cebolla-yellow-granex-2/>
- Ansari, N. A. (2007). Effect of density, cultivars and sowing date on Onion sets production. *Asian journal of Plants Science*, 6(7), 1147–1150. <https://doi.org/10.3923/ajps.2007.1147.1150>
- Alvarez-Herrera, J. G., Alvarado-Sanabria, O. H., & Suesca-Ochoa, F. A. (2017). Efecto de diferentes láminas de riego en el crecimiento y desarrollo de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 359–367. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.7345>
- Alzate, F., Lesmes, M., Cortés, N., Varela, S., & Osorio, E. (2019). Sinopsis de la familia Amaryllidaceae en Colombia. *Biota Colombiana*, 20(1), 1–19. <https://doi.org/10.21068/c2019.v20n01a01>
- Cheraghypour, K., Marzban, A., Ezatpour, B., Moradpour, K., & Nazarabad, V. (2020) The role of onion (*Allium cepa*) in controlling parasitic diseases: A mini review. *Herbal Medicines Journal*, 4(4), 175–180. <https://doi.org/10.22087/hmj.v4i4.749>
- Chope, G. A., Cools, K., Hammond, J. P., Thompson, A. J., & Terry, L. A. (2012). Physiological, biochemical and transcriptional analysis of onion bulbs during storage. *Annals of Botany*, 109(4), 819–831. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr318>
- Coca, A., Carranza, C. E., Miranda, D., & Rodríguez, M. H. (2012). Efecto del NaCl sobre los parámetros de crecimiento, rendimiento y calidad de la cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) bajo condiciones controladas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(2), 196–212. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/1977/1972
- Coolong, T. W., & Randle, W. M. (2003). Temperature influences flavor intensity and quality in ‘Granex 33’ onion. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(2), 176–181. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.2.0176>
- Crossa, J., Cornelius, P. L., & Yan, W. (2002). Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype × environment interaction. *Crop Science*, 42(2), 619–633. <http://doi.org/10.2135/cropsci2002.6190>
- Deshi, K., Obasi, M., Nanbol, K., Sirajo, S., & Okechalu, B. (2018). The effect of growth environments on the growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) in Jos, Plateau State, Nigeria. *Journal of Natural Sciences Research*, 8(6), 67–74. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JNSR/article/view/41642/>
- Dhaliwal, M. S., Garg, N., Jindal, S. K., & Cheema, D. S. (2015). Growth and yield of elite genotypes of chilli (*Capsicum annum* L.) in diverse agroclimatic zones of Punjab. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 24(2), 83–91. <https://core.ac.uk/reader/236024330>
- Escaff, M. (1988). *Aspectos agronómicos del cultivo de la chalota (Allium cepa var. aggregatum)* (Serie Remehue No. 4). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/31673>
- Fritsch, R. M., & Friesen, N. (2002). Evolution, domestication and taxonomy. In H. D. Rabinowitch, & L. Currah (Eds.), *Allium crop science: Recent advances* (pp. 5–30). CABI Digital Library. <http://dx.doi.org/10.1079/9780851995106.0005>
- Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). *Statistical procedures for agricultural research* (2nd ed.). Jhon Wiley & Sons. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAR208.pdf

- Habeeb, S. M., El-Namaky, A. H., & Salama, M. A. (2009). Efficiency of *Allium cepa* and *Commiphora molmol* as a larvicidal agent against fourth stage larvae of *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 5(2), 196–203. [https://idosi.org/aejaes/jaes5\(2\)/8.pdf](https://idosi.org/aejaes/jaes5(2)/8.pdf)
- Hanelt, P. (2018). Taxonomy, evolution, and history. In H. D. Rabinowitch (Ed.), *Onions and allied crops. Volume I: Botany, physiology, and genetics* (pp. 1–26). CRC Press. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781351075169-1/taxonomy-evolution-history-peter-hanelt>
- Hasanah, Y., Mawarni, L., Hanum, H., Irmansyah, T., & Rugun Manurung, K. (2022). Role of cultivation methods on physiological characteristics and production of shallot varieties under lowland condition. *Asian Journal of Plant Sciences*, 21(3), 492–498. <https://doi.org/10.3923/ajps.2022.492.498>
- Holdridge, L. R. (1982). *Ecología basada en zonas de vida*. Centro Interamericano de Información y Documentación Agrícola, & Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Haydar, A., Sharker, N., Ahmed, M. B., Hannan, M. M., Razvy, M. A., Hossain, M., Hoque, A., & Karim, R. (2007). Genetic variability and Interrelationship in onion (*Allium cepa* L.). *Middle-East Journal of Scientific Research*, 2(3-4), 132–134. [https://idosi.org/mejsr/mejsr2\(3-4\)/10.pdf](https://idosi.org/mejsr/mejsr2(3-4)/10.pdf)
- Ikeda, H., Kinoshita, T., Yamamoto, T., & Yamasaki, A. (2019). Sowing time and temperature influence bulb development in spring-sown onion (*Allium cepa* L.). *Scientia Horticulturae*, 244, 242–248. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.050>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (1992). *Fertilización en diversos cultivos: quinta aproximación (5ª aproximación)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/14124>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2007). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras*. Departamento de Antioquia. Imprenta Nacional de Colombia.
- Jiménez Contreras, J., & Ruiz Barzola, O. (2009). *Determinación y aplicación de métodos estadísticos, para medir estabilidad genética en vegetales, caso: banano*. Repositorio de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/2008>
- Kaya, Y., Palta, C., & Taner, S. (2002). Additive main effects and multiplicative interactions analysis of yield performances in bread wheat genotypes across environments. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 26(5), 275–279. <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol26/iss5/6/>
- Lescay, E., & Moya, C. (2006). Influencia de los factores climáticos sobre algunas variables morfoagronómicas en la producción de bulbos de cebolla (*Allium cepa* L.) en la región oriental de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 27(4), 73–75. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/345/pdf>
- López-Urquidez, G. A., Cordero-Armenta, J. C., Martínez-Campos, Á. R., Edeza-Urías, J. A., Tirado-Ramírez, M. A., & López-Orona, C. A. (2021). Efecto de la oscilación térmica en la calidad y rendimiento de cebolla blanca en el Valle de Culiacán, Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 671–684. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2678>
- Lozano-Fernández, J., Orozco-Orozco, L. F., & Grisales-Vásquez, N. Y. (2022). Agronomic behavior of bell pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) cultivated in open field and under protected conditions. *Terra Latinoamericana*, 40, Article e1459. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1459>
- McKey, D., Elias, M., Pujol, B., & Duputié, A. (2010). The evolutionary ecology of clonally propagated domesticated plants. *New Phytologist*, 186(2), 318–332. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03210.x>

- Mejía López, J., & Jaramillo Henao, D. (1983). *Cebolla ocañera*. Repositorio de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/31944>
- Mettananda, K. A. (2003). Effect of extended photoperiod on dry set production of big onion (*Allium cepa* L.). *Annals of the Sri Lanka Department of Agriculture*, 5(1), 181–192.
- Moore, K. J., & Dixon, P. M. (2015). Analysis of combined experiments revisited. *Agronomy Journal*, 107(2), 763–771. <https://doi.org/10.2134/agronj13.0485>
- Orozco-Orozco, L. F., & Lozano-Fernandez, J. (2022). Efecto de las podas sobre el rendimiento de *Capsicum annum* L. bajo dos ambientes. *Agronomía Mesoamericana*, 33(1), Artículo 44253. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.44253>
- Petropoulos, S. A., Di Gioia, F., Polyzos, N., & Tzortzakis, N. (2020). Natural antioxidants, health effects and bioactive properties of wild *Allium* species. *Current Pharmaceutical Design*, 26(16), 1816–1837. <https://doi.org/10.2174/1381612826666200203145851>
- Pinzón-Sandoval, E. H., Munevar-García, O. E., Torres-Hernández, D. F., & Cruz-Ruiz, E. F. (2019). Efecto de una fuente alterna de fósforo en la producción de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) bajo condiciones de campo. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2), 51–56. <https://doi.org/10.22490/21456453.2545>
- Puizina, J. (2013). Shallots in Croatia – genetics, morphology and nomenclature. *Acta Botanica Croatica*, 72(2), 387–398. <https://doi.org/10.2478/BOTCRO-2013-0016>
- Quartiero, A., Faria, M. V., Resende, J. T. V., Figueiredo, A. S. T., Camargo, L. K. P., Santos, R. L., & Kobori, R. F. (2014). Desempenho agrônômico, heterose e estabilidade fenotípica de genótipos de cebola. *Horticultura Brasileira*, 32(3), 259–266. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362014000300004>
- Rabinowitch, H. D. (2021). Shallot (*Allium cepa* L. Aggregatum Group) breeding. In J. M. Al-Khayri, S. Mohan Jai, & D. V. Johnson. (Eds.), *Advances in plant breeding strategies: Vegetable crops* (Vol. 8, pp. 99–154). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66965-2_3
- Romana, J. C. (2012). *Estadística experimental. Herramientas para investigación*. Universidad Privada de Tacna. <http://www.iiap.org.pe/upload/Transparencia/Actualizaciones%202011-2013/TRANSP632/20130129/CursoEstadistica/TEXTOS/estadisticaexperimental.pdf>
- Sekara, A., Pokluda, R., Del Vacchio, L., Somma, S., & Caruso, G. (2017). Interactions among genotype, environment and agronomic practices on production and quality of storage onion (*Allium cepa* L.)—A review. *Horticultural Science (Prague)*, 44(1), 21–42. <https://doi.org/10.17221/92/2015-HORTSCI>
- Uma Jyothi, K., Surya Kumari, S., & Venkata Ramana, C. (2011). Variability studies in chilli (*Capsicum annum* L.) with reference to yield attributes. *Journal Horticultural Science*, 6(2), 133–135. <https://jhs.iihr.res.in/index.php/jhs/article/view/420>
- Valencia, R. A., & Ligarreto, G. (2010). Análisis de la interacción soya-cepa (*Bradyrhizobium japonicum*) x ambiente, en oxisoles de la Orinoquia colombiana. *Agronomía Colombiana*, 28(3), 361–371. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/15708/28898>
- Vergel, M., Martínez, J. J., & Zafra, S. L. (2016). Cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) en la provincia de Ocaña: factores asociados a la productividad y el rendimiento. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 333–344. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5070>

- Verjel Sánchez, S. (2017). La cebolla ocañera, un producto ligado a la historia, tradición y cultura de un pueblo. *Revista Mundo FESC*, 6(12), 74–85. <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/95>
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar Evaluation and Mega-Environment Investigation Based on the GGE Biplot. *Crop Science*, 40(3), 597–605. <http://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>
- Zsögön, A., Čermák, T., Rezende Naves, E., Morato Notini, M., Edel, K. H., Weigl, S., Freschi, L., Voytas, D. F., Kudla, J., & Pereira Peres, L. E. (2018). De novo domestication of wild tomato using genome editing. *Nature Biotechnology*, 36(12), 1211–1216. <https://doi.org/10.1038/nbt.4272>