



Evaluación de métodos de distribución espacial en el rendimiento y morfología de dos cultivares de arveja en zonas altoandinas

Evaluation of Spatial Distribution Methods on Yield and Morphology of Two Pea Cultivars under High-Andean Conditions

Victor Chavez Centeno¹, Javier Nelson Belito Quispe¹, Rafael Taipe Quispe¹,
Kenyi Yordan Landeo Ramos¹, Carlos Enrique Soto Taipe¹

¹Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú

Autor de correspondencia

Victor Chavez Centeno

Historial del artículo

Recibido el 27 de julio de 2025 | Revisado el 24 de septiembre de 2025 | Aceptado el 28 de noviembre de 2025

Referencia del artículo

Chavez Centeno, V., Belito Quispe, J. N., Taipe Quispe, R., Landeo Ramos, K. Y., & Soto Taipe, C. E. (2025). Evaluación de métodos de distribución espacial en el rendimiento y morfología de dos cultivares de arveja en zonas altoandinas. *Revista Altoandina de Ciencias Agrarias*, 1(2), pp. 24-35. <https://doi.org/10.54943/recialcia.839>

RESUMEN

La optimización de las técnicas de siembra constituye un factor determinante en la productividad de los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L.) en ecosistemas altoandinos. El presente estudio evaluó el efecto de cuatro métodos de distribución espacial de semillas (chorro continuo, siembra por golpes, distribución triangular y distribución en cuadrado) sobre el crecimiento y el rendimiento de dos cultivares de arveja (Alderman y criolla), bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con arreglo factorial 2×4 y cuatro repeticiones por tratamiento. Se evaluaron altura de planta, longitud de vaina y rendimiento por hectárea durante la campaña agrícola 2024, en Huamanguilla, Huanta, Ayacucho. Los resultados evidenciaron efectos significativos ($p < 0.001$) de la interacción cultivar $\times$ método de distribución sobre todas las variables evaluadas. El cultivar Alderman alcanzó su máximo potencial con la distribución en cuadrado, registrando 152.4 ± 8.7 cm de altura, 11.2 ± 0.6 cm de longitud de vaina y 2658.3 ± 165.2 kg/ha de rendimiento. El cultivar criolla optimizó su desempeño mediante la distribución triangular, alcanzando 48.9 ± 3.1 cm de altura, 8.1 ± 0.4 cm de longitud de vaina y 1389.5 ± 72.8 kg/ha de rendimiento. Los métodos geométricos de distribución

superaron al testigo convencional, generando incrementos de productividad del 68 % para Alderman y 49 % para la variedad criolla. Estos hallazgos proporcionan evidencia empírica para la implementación de estrategias de siembra diferenciadas según el material genético utilizado en sistemas productivos altoandinos.

Palabras clave: espacial, *Pisum sativum*, rendimiento, morfología, altoandina

ABSTRACT

The optimization of planting techniques is a key factor in the productivity of pea (*Pisum sativum* L.) crops in high Andean ecosystems. This study evaluated the effect of four seed spatial distribution methods (continuous stream, punch planting, triangular distribution, and square distribution) on the growth and yield of two pea cultivars (Alderman and Criolla) under a randomized complete block design with a 2×4 factorial arrangement and four repetitions per treatment. Plant height, pod length, and yield per hectare were evaluated during the 2024 agricultural season in Huamanguilla, Huanta, Ayacucho. The results showed significant effects ($p < 0.001$) of the cultivar $\times$ distribution method interaction on all evaluated variables. The Alderman cultivar reached its maximum potential with square distribution, recording 152.4 ± 8.7 cm in height, 11.2 ± 0.6 cm in pod length, and 2658.3 ± 165.2 kg/ha in yield. The Criolla cultivar optimized its performance with triangular distribution, reaching 48.9 ± 3.1 cm in height, 8.1 ± 0.4 cm in pod length, and 1389.5 ± 72.8 kg/ha in yield. Geometric distribution methods outperformed the conventional control, generating productivity increases of 68% for Alderman and 49% for the Criolla variety. These findings provide empirical evidence for the implementation of differentiated planting strategies based on the genetic material used in high Andean productive systems.

Keywords: spatial distribution, *Pisum sativum*, yield, morphology, high Andean

INTRODUCCIÓN

La arveja (*Pisum sativum* L.) representa una leguminosa de importancia socioeconómica en regiones de sierra, constituyendo una fuente proteica esencial para la seguridad alimentaria de comunidades rurales. En la región de Ayacucho, particularmente en la provincia de Huanta, este cultivo enfrenta desafíos productivos asociados a condiciones ambientales restrictivas que limitan la expresión del potencial genético de diferentes cultivares. La optimización de prácticas agronómicas, particularmente la distribución espacial de semillas durante la siembra emerge como una estrategia fundamental para maximizar la productividad en estos ecosistemas altoandinos.

La distribución espacial de semillas influye directamente sobre el establecimiento del cultivo, la competencia intraespecífica, la

eficiencia en el uso de recursos y la expresión fenotípica de caracteres agronómicos. Investigaciones previas han demostrado que plantas de arveja con mayor desarrollo vegetativo en la etapa de prefloración están asociadas con rendimientos superiores, posiblemente debido a un incremento en el número de nodos para ramificación y floración, así como mayores reservas nitrogenadas.

Los patrones de distribución espacial modifican la estructura del dosel vegetal, afectando la captura de radiación solar, la disponibilidad de nutrientes y la eficiencia fotosintética del cultivo. Estudios recientes reportan que densidades de siembra optimizadas pueden incrementar significativamente el rendimiento de semillas, variando según las condiciones específicas del experimento (Prusinski & Borowska, 2022).

La variedad Alderman, clasificada como cultivar de enrame de crecimiento

semideterminado, se caracteriza por su notable altura que puede alcanzar hasta 180 cm, produciendo vainas largas de 8-9 granos por vaina (Hortus, 2025). Esta variedad presenta maduración media tardía y requiere estructuras de soporte debido a su hábito trepador, siendo recomendada para zonas de sierra durante todo el año.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de cuatro métodos de distribución espacial de semillas sobre el crecimiento, desarrollo morfológico y rendimiento de dos cultivares contrastantes de arveja bajo condiciones de campo en Huamanguilla, provincia de Huanta, región Ayacucho.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio

El experimento se llevó a cabo en la localidad de Huamanguilla, en el distrito de Huamanguilla, provincia de Huanta, región Ayacucho, Perú, durante la campaña agrícola 2024. Los datos se recolectaron entre noviembre de 2024 y marzo de 2025. La investigación se desarrolló a una altitud de 3,276 m s. n. m., en las coordenadas geográficas 13°01' S, 74°18' O, en un clima templado y seco característico de sierra, con temperaturas máximas que oscilan entre 22 °C y 27 °C durante el día y mínimas entre 4 °C y 7 °C durante la noche. La estación húmeda se presenta de diciembre a marzo, mientras que la estación seca ocurre de mayo a agosto, con una precipitación promedio anual de 750 mm.

Metodología de investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada y nivel experimental, siguiendo las recomendaciones establecidas para estudios de diseño experimental en agricultura (Prusinski & Borowska, 2022). El enfoque metodológico se basó en la manipulación controlada de variables independientes (cultivares y métodos de distribución

espacial) para evaluar sus efectos sobre variables dependientes morfofisiológicas y productivas.

Universo y muestra

El universo estuvo constituido por la totalidad de plantas de arveja establecidas en el campo experimental, conformado por 5,500 plantas distribuidas en 40 unidades experimentales de 16 m² cada una.

Se utilizó un muestreo probabilístico aleatorio simple para seleccionar las plantas de evaluación. El tamaño de muestra se calculó utilizando la fórmula de Yamane para poblaciones finitas, con un nivel de confianza del 95 % y error de estimación del 5 %, resultando en 372 plantas para las evaluaciones estadísticas. De cada unidad experimental se seleccionaron aleatoriamente 20 plantas de la parcela útil central (12 m²) para evitar efectos de borde.

Método de muestreo y criterios de selección

Criterios de inclusión

- plantas establecidas en la parcela útil central de cada unidad experimental;
- plantas con desarrollo normal sin daños físicos visibles;
- plantas con altura mínima de 15 cm al momento de la evaluación;
- plantas sin síntomas de enfermedades o ataques severos de plagas.

Criterios de exclusión

- plantas ubicadas en los bordes de las parcelas (efecto de borde);
- plantas con daños mecánicos o signos evidentes de estrés;
- plantas con desarrollo atípico o malformaciones;
- plantas afectadas por factores externos no controlados (pisoteo, daño animal).

Material vegetal y tratamientos

Se utilizaron dos cultivares de arveja con características contrastantes: Alderman (variedad de enrame semideterminada que puede alcanzar hasta 180 cm de altura, con vainas largas de 8-9 granos por vaina, recomendada para zonas de sierra) y Criolla (ecotipo local de porte compacto y adaptación regional) (Hortus, 2025).

Los tratamientos consistieron en cinco métodos de distribución espacial de semillas:

- chorro continuo (D1): semillas distribuidas de manera continua en el surco;
- siembra por golpes (D2): tres semillas por golpe cada 30 cm;
- distribución triangular (D3): tres semillas dispuestas en los vértices de un triángulo equilátero;
- distribución en cuadrado (D4): tres semillas ubicadas en los vértices de un cuadrado;
- testigo al voleo (D5): distribución aleatoria sin surcos definidos (control).

Variables evaluadas

Variables primarias

- altura de planta (cm): medición desde el cuello de la raíz hasta el ápice vegetativo, a los 70 días posteriores a la siembra;
- longitud de vaina (cm): promedio de 15 vainas completamente desarrolladas por parcela;
- rendimiento (kg/ha): peso seco de granos por parcela útil, extrapolado a rendimiento por hectárea, con corrección por humedad al 14 %.

Variables secundarias

- número de vainas por planta;
- peso de 1000 semillas (g);
- días a floración;
- porcentaje de germinación.

Procedimientos estadísticos

Se implementó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial 2×5 , donde el primer factor correspondió a los cultivares y el segundo a los métodos de distribución espacial. El experimento contó con cuatro repeticiones por tratamiento, resultando en 40 unidades experimentales.

Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} = respuesta observada; μ = media general; α_i = efecto del cultivar i ; β_j = efecto del método de distribución j ; $(\alpha\beta)_{ij}$ = interacción cultivar $\times$ método; γ_k = efecto del bloque k ; ϵ_{ijk} = error experimental.

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software estadístico R v.4.3.0. Se verificaron los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk, homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene, e independencia de residuos mediante análisis gráfico. Las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey con nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Se calcularon coeficientes de variación para validar la precisión experimental, considerando aceptables valores menores al 20 % para variables de crecimiento y 15 % para rendimiento.

Equipos y materiales empleados

Instrumentos de medición

- regla graduada de acero inoxidable (precisión ± 1 mm) para medición de altura y longitud de vainas;
- balanza analítica digital (precisión ± 0.01 g) para determinación de peso de semillas;
- balanza de campo (precisión ± 1 g) para pesado de producción;
- pH-metro de suelo portátil para caracterización del sitio experimental;

- termohigrómetro digital para registro de condiciones ambientales.

Herramientas de campo

- azadones y lampas para preparación del terreno;
- cordeles y estacas para delimitación de parcelas;
- tutores de bambú de 2 m de altura para soporte del cultivar Alderman;
- rafia agrícola para tutorado;
- regaderas y sistema de riego por goteo;
- etiquetas plásticas resistentes para identificación de tratamientos.

Materiales de laboratorio

- estufa de secado para determinación de humedad;
- tamices para limpieza de semillas;
- bolsas de papel kraft para almacenamiento de muestras;
- sobres manila para conservación de material vegetal.

Insumos agrícolas

- semillas certificadas de los cultivares Alderman y criolla;
- fertilizante compuesto NPK (80-60-30 kg/ha);
- productos fitosanitarios preventivos (fungicidas e insecticidas de amplio espectro);
- materia orgánica (compost) para mejoramiento del suelo.

Manejo agronómico

La preparación del terreno incluyó arado con discos, rastra cruzada y surcado manual. La siembra se realizó en la primera semana de octubre de 2024, utilizando densidades diferenciadas: 70 kg/ha para Alderman y 90 kg/ha para el cultivar criolla, considerando las diferencias en tamaño de semilla. La fertilización basal consistió en la aplicación de 80-60-30 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O,

respectivamente. Para el cultivar Alderman se instalaron tutores de Carrizo de 1.70 m de altura para proporcionar soporte estructural. El manejo fitosanitario y las labores culturales siguieron las recomendaciones técnicas regionales establecidas para cultivos de arveja en condiciones altoandinas.

El control de calidad de los datos se aseguró mediante la implementación de protocolos estandarizados de medición, calibración periódica de instrumentos, y la participación de personal técnico capacitado en la toma de datos de campo.

RESULTADOS

Altura de planta

El análisis de varianza reveló efectos altamente significativos ($p < 0.001$) para los factores principales y su interacción sobre la altura de planta. El coeficiente de variación de 7.8 % indica adecuada precisión experimental.

El cultivar Alderman exhibió desarrollo superior bajo las distribuciones geométricas, alcanzando alturas máximas con el patrón cuadrado (152.4 ± 8.7 cm) y triangular (147.8 ± 9.2 cm), aprovechando su estructura trepadora natural. En contraste, el cultivar criolla optimizó su crecimiento vertical mediante la distribución triangular (48.9 ± 3.1 cm), seguida por la distribución en cuadrado (46.7 ± 2.8 cm).

Los métodos de distribución geométrica superaron consistentemente al testigo convencional en ambos cultivares. El cultivar Alderman registró incrementos del 58 % en distribución cuadrado versus el testigo, mientras que la variedad criolla mostró aumentos del 63 % con la distribución triangular.

Longitud de vaina

La longitud de vaina mostró diferencias significativas ($p < 0.001$) entre tratamientos, con coeficiente de variación de 8.4 %. El cultivar Alderman desarrolló vainas de mayor

longitud bajo la distribución en cuadrado (11.2 ± 0.6 cm), seguido por la distribución triangular (10.6 ± 0.7 cm), confirmando las características varietales reportadas para este cultivar. La variedad criolla optimizó este parámetro con la distribución triangular (8.1 ± 0.4 cm) y en cuadrado (7.9 ± 0.3 cm).

La superioridad del cultivar Alderman fue evidente en todos los métodos de distribución, exhibiendo vainas 38 % más largas en promedio que la variedad criolla. Los patrones geométricos incrementaron significativamente la longitud de vaina en ambos cultivares comparado con métodos convencionales.

Rendimiento

El rendimiento por hectárea evidenció interacciones altamente significativas ($p < 0.001$) entre cultivares y métodos de distribución, con coeficiente de variación de 6.9 %. El cultivar Alderman alcanzó su máximo potencial productivo con la distribución en cuadrado (2658.3 ± 165.2 kg/ha), representando incrementos del 68 % sobre el testigo convencional (1583.7 ± 94.5 kg/ha).

La variedad criolla optimizó su rendimiento mediante la distribución triangular (1389.5 ± 72.8 kg/ha), superando en 49 % al testigo (932.8 ± 58.1 kg/ha). Los métodos de distribución por golpes y chorro continuo mostraron rendimientos intermedios en ambos cultivares.

Tabla 1. Efecto de métodos de distribución espacial sobre altura de dos cultivares de arveja en Huamanguilla, Huanta

Cultivar	Método distribución	Altura (cm)	
Alderman	Chorro continuo	128.5 ± 6.4	d
Alderman	Por golpes	134.7 ± 7.1	c
Alderman	Triangular	147.8 ± 9.2	b
Alderman	Cuadrado	152.4 ± 8.7	a
Alderman	Testigo	96.3 ± 5.8	e

Criolla	Chorro continuo	39.4 ± 2.6	h
Criolla	Por golpes	43.8 ± 2.9	g
Criolla	Triangular	48.9 ± 3.1	f
Criolla	Cuadrado	46.7 ± 2.8	f
Criolla	Testigo	30.1 ± 2.2	i

Nota. Los valores seguidos por letras diferentes difieren estadísticamente según prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Tabla 2. Efecto de métodos de distribución espacial sobre la longitud de vaina de dos cultivares de arveja en Huamanguilla, Huanta

Cultivar	Método distribución	Longitud vaina (cm)	
Alderman	Chorro continuo	9.8 ± 0.5	d
Alderman	Por golpes	10.2 ± 0.6	c
Alderman	Triangular	10.6 ± 0.7	b
Alderman	Cuadrado	11.2 ± 0.6	a
Alderman	Testigo	7.9 ± 0.4	f
Criolla	Chorro continuo	6.8 ± 0.3	h
Criolla	Por golpes	7.3 ± 0.4	g
Criolla	Triangular	8.1 ± 0.4	f
Criolla	Cuadrado	7.9 ± 0.3	f
Criolla	Testigo	5.4 ± 0.3	i

Nota. Los valores seguidos por letras diferentes difieren estadísticamente según prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Tabla 3. Efecto de métodos de distribución espacial sobre el rendimiento de dos cultivares de arveja en Huamanguilla, Huanta

Cultivar	Método distribución	Rendimiento (kg/ha)	
Alderman	Chorro continuo	2145.8 ± 132.7	d
Alderman	Por golpes	2289.4 ± 156.3	c
Alderman	Triangular	2486.9 ± 148.9	b
Alderman	Cuadrado	2658.3 ± 165.2	a
Alderman	Testigo	1583.7 ± 94.5	e
Criolla	Chorro continuo	1184.7 ± 67.9	g
Criolla	Por golpes	1267.3 ± 84.6	f
Criolla	Triangular	1389.5 ± 72.8	e
Criolla	Cuadrado	1342.6 ± 89.3	e

Criolla	Testigo	932.8 ± 58.1	h
---------	---------	--------------	---

Nota. Los valores seguidos por letras diferentes difieren estadísticamente según prueba de Tukey ($p < 0.05$)

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos confirman la importancia de la interacción genotipo $\times$ técnica de manejo en la optimización de sistemas productivos de arveja en condiciones altoandinas de Huamanguilla, Huanta. El análisis reveló efectos altamente significativos ($p < 0.001$) para todas las variables evaluadas, validando la hipótesis planteada sobre la influencia diferencial de los métodos de distribución espacial según el material genético utilizado.

Altura de planta

La distribución espacial de semillas constituye uno de los principales factores del crecimiento vertical en *Pisum sativum* L., especialmente en ecosistemas altoandinos donde las condiciones ambientales ejercen una influencia crítica sobre la expresión fenotípica (Castillo et al., 2014; Alarcón et al., 2024). Esta evidencia empírica corrobora hallazgos previos, donde densidades reducidas de siembra (equivalentes a menores plantas/ha) minimizan efectos negativos sobre componentes morfológicos como la altura de planta, al optimizar la disponibilidad de recursos y reducir interacciones competitivas (Casanova et al., 2012).

Investigaciones previas han indicado que la regulación de la densidad y el espaciamiento generan un microambiente que afecta la luz disponible y la ventilación, favoreciendo el crecimiento vertical, más aún en cultivares con porte enrame (Prusinski & Borowska, 2022). Además, estudios de densidad concluyen que la utilización de métodos geométricos y ordenados de siembra optimiza la captación lumínica y reduce la competencia de recursos, elevando la tasa

fotosintética y el crecimiento de entrenudos y esta plasticidad fenotípica subraya la necesidad de adaptar métodos de siembra a rasgos genotípicos específicos para maximizar el desarrollo morfológico en ecosistemas altoandinos (Checa et al., 2017; Zuluaga-Mogollón et al., 2019).

El porte compacto de la variedad criolla responde favorablemente también a una distribución triangular, la cual optimiza el rendimiento espacial de luz y nutrientes.

El porte compacto del cultivar criollo se adapta de manera óptima a la distribución triangular de las semillas, lo que maximiza su rendimiento al mejorar la eficiencia en la captura de luz y la disponibilidad de nutrientes en condiciones altoandinas. Los resultados experimentales indican que esta disposición espacial generó un rendimiento de $1389.5 \pm 72.8 \text{ kg ha}^{-1}$ en la variedad criolla, lo que representa una mejora del 49 % en comparación con el testigo convencional. Este aumento en el rendimiento se atribuye específicamente a la interacción entre el porte compacto y la distribución triangular, evaluándose únicamente densidades uniformes mediante chorro continuo (Torres et al., 2017).

La genética varietal ejerce un rol determinante en la arquitectura de la planta, de modo que las líneas de arveja arbustiva tienden a conservar un porte relativamente estable, pero expresan un crecimiento vegetativo más eficiente cuando se combinan con arreglos de espaciamiento y sistemas de tutorado técnicamente adecuados, tal como se ha evidenciado en evaluaciones agronómicas recientes de líneas arbustivas (Narváez & Bastidas, 2017). Los cultivares arbustivos mantienen estabilidad de altura, aunque mejoran su desarrollo bajo espaciamientos óptimos, lo cual valida la reducción de competencia intraespecífica mediante patrones geométricos para potenciar la expresión fenotípica en *Pisum sativum* L., esta sinergia genotipo-manejo optimiza la captura lumínica y la asignación fotosintética, elevando la productividad en contextos altoandinos (Checa et al., 2020).

Diversos estudios corroboran estos hallazgos, destacando la importancia del espaciamiento en la forma del crecimiento vertical y la competencia, las interacciones genotipo-ambiente, influenciadas por densidades de siembra variables, afectan significativamente el rendimiento de grano en líneas de arveja, donde configuraciones espaciales ordenadas optimizan la captura lumínica y reducen el estrés competitivo (Checa et al. 2017; González-Pedraza et al., 2023). Por ejemplo, Checa et al. (2017) reportan que la sinergia entre genética y manejo espacial es indispensable para la optimización del desarrollo, los patrones geométricos ordenados como distribuciones triangular y cuadrada, minimizan el sombreado mutuo, optimizan la penetración lumínica en el dosel y favorecen la partición eficiente de fotoasimilados hacia estructuras vegetativas y reproductivas, diferenciando claramente entre cultivares trepadores.

Longitud de la vaina

La longitud de vaina, indicador morfológico esencial en la evaluación del rendimiento de *Pisum sativum* L., responde a la interacción entre factores genotípicos y prácticas agronómicas, particularmente los métodos de distribución espacial de semillas, en contextos altoandinos, esta variable se optimiza mediante arreglos geométricos como la distribución en cuadrado o triangular, que reducen la competencia intraespecífica y favorecen la expresión fenotípica, como se evidencia en incrementos significativos de hasta 11.2 cm en el cultivar Alderman (Zuluaga-Mogollón et al., 2019). En este estudio, las vainas de mayor longitud observadas en el cultivar Alderman bajo distribución cuadrada (11.2 ± 0.6 cm) y en criolla con distribución triangular (8.1 ± 0.4 cm) indican un equilibrio fisiológico superior y una competencia intraespecífica reducida, favoreciendo la expansión celular y el desarrollo morfológico óptimo, estos patrones espaciales geométricos minimizan la competencia por recursos luminosos y

nutricionales, lo que coincide con evidencias de que densidades menores optimizan componentes de rendimiento como el número de vainas por planta y granos por vaina, al reducir efectos negativos de alta densidad (Casanova et al., 2012). El espacio ordenado promueve una mejor penetración de luz y circulación de aire, factores que propician una asignación eficiente de fotoasimilados hacia órganos reproductivos (Castillo et al., 2014; Prusinski & Borowska, 2022). Estos procesos fisiológicos se correlacionan estrechamente con la plasticidad fenotípica morfológica, entendida como la capacidad de modulación adaptativa de rasgos vegetativos y reproductivos, así como con la respuesta genotípica diferencial inherente a cada cultivar frente a gradientes de densidad espacial y microclima edáfico (Galindo & Clavijo, 2009).

También se ha evidenciado que el incremento en distancia de siembra reduce el estrés hídrico y la competencia radicular, traduciéndose en vainas más largas con mayor número de semillas, se ha constatado que el aumento en el espaciamiento de siembra mitiga el estrés hídrico y la competencia por raíces, favoreciendo el desarrollo de vainas más extensas con elevado número de semillas (Zuluaga-Mogollón et al., 2019; Matías-Ramos et al., 2023). Este efecto se corrobora en diferentes ecosistemas altoandinos, donde el control de la densidad espacial es vital para maximizar la expresión productiva (Narváez & Bastidas, 2017).

Investigaciones sobre leguminosas revelan que la longitud de vaina es un buen predictor genético y fenotípico de rendimiento, reforzando su uso en índices de selección (González-Pedraza et al., 2023). Así, la optimización del método de siembra no solo incrementa el tamaño de las vainas, sino que también contribuye a la calidad y cantidad de la producción, por consiguiente, la optimización de los métodos de distribución espacial de semillas no solo promueve un mayor tamaño de vainas (11.2 cm en el cultivar Alderman bajo distribución en

cuadrado), sino que también eleva significativamente la calidad y cantidad de la producción, con incrementos del 68 % en rendimiento para Alderman y del 49 % para la variedad criolla respecto al testigo convencional (Checa et al., 2020).

Rendimiento

En el estudio, la variedad Alderman alcanzó 2658.3 ± 165.2 kg/ha con el método cuadrado, mientras que la criolla maximizó con la distribución triangular, corroborando incrementos significativos sobre el testigo.

El rendimiento, se ve beneficiado con métodos de distribución espacial, como el cuadrado y triangular, que maximizan la interacción positiva entre plantas y minimizan la competencia negativa (Prusinski & Borowska, 2022). En el estudio, Alderman alcanza su máximo rendimiento con siembra en cuadrado y criolla con distribución triangular, reflejando una fuerte interacción entre genética y manejo.

Las densidades de siembra equilibradas optimizan el número de vainas y granos por planta, multiplicando el rendimiento total (Casanova et al., 2012; Collazos, 2021). Esta eficiencia mejora el uso de recursos naturales, especialmente en condiciones limitantes como las de ecosistemas altoandinos y el rol del espaciamiento y la distribución espacial en la modulación del vigor vegetativo y la minimización de la competencia por recursos en *Pisum sativum* L (Checa et al., 2017).

El manejo diferenciador según cada variedad es clave: cultivares de enrame requieren sistemas espaciales que faciliten el desarrollo vertical mediante tutorado, mientras ecotipos compactos se benefician de distribuciones triangulares que optimizan la ocupación del área (Checa et al., 2020). Esto asegura un desarrollo homogéneo y reduce la heterogeneidad productiva, mejorando la sostenibilidad y cultivares arbustivos mantienen estabilidad de altura, aunque mejoran su desarrollo bajo espaciamientos óptimos, lo cual valida la reducción de

competencia intraespecífica mediante patrones geométricos para potenciar la expresión fenotípica en *Pisum sativum* L., esta sinergia genotipo-manejo optimiza la captura lumínica y la asignación fotosintética, elevando la productividad en contextos altoandinos (Maiza et al., 2015).

Bajos coeficientes de variación y replicaciones significativas confirman la validez de los resultados, coincidiendo con estudios análogos en contextos andinos (Pantoja et al., 2014). La adopción de estrategias de manejo agronómico diferenciadas según el genotipo resulta crucial para potenciar el rendimiento de la arveja en ecosistemas altoandinos y contribuir a la seguridad alimentaria regional. En particular, la optimización de prácticas como la distribución espacial de semillas y la fertilización complementaria con calcio, magnesio y azufre ha demostrado incrementar significativamente la productividad, con efectos positivos sobre componentes como el número de vainas por planta y el rendimiento en vaina verde (Checa et al., 2017; Rodríguez-Rodríguez et al., 2022).

CONCLUSIONES

Respecto a la altura de planta, se confirma que la distribución espacial de semillas es un factor clave para maximizar el crecimiento vegetativo de la arveja en ecosistemas de sierra. El cultivar Alderman mostró su mayor altura y vigor con la distribución en cuadrado, mientras que el cultivar criolla expresó un mejor desarrollo con la distribución triangular, evidenciando la necesidad de estrategias de siembra adaptadas a la arquitectura y genética específica de cada cultivar. Este hallazgo permite optimizar la expresión fenotípica y la competencia intraespecífica para un mejor aprovechamiento de recursos.

En cuanto a la longitud de vaina, la implementación de métodos de distribución espacial de semillas promovió un aumento significativo en comparación con la siembra

convencional, alcanzando máximos valores en la distribución en cuadrado para Alderman y en triangular para la variedad criolla. Lo anterior indica que la organización del espacio de siembra favorece la eficiencia fotosintética y la asignación de biomasa a órganos reproductivos, aspectos fundamentales para la mejora de la calidad y cantidad de producción.

El rendimiento por hectárea se vio influenciado por la interacción cultivar-método de distribución, alcanzando el máximo rendimiento con distribución cuadrada en Alderman y con distribución triangular en criolla, con incrementos sobre el testigo del 68 % y 49 %, respectivamente.

El estudio provee evidencia científica relevante para la toma de decisiones agronómicas, recomendando la aplicación diferenciada y contextualizada de métodos espaciales de siembra acorde al material genético y condiciones ambientales altoandinas, con miras a incrementar la seguridad alimentaria y productividad en dicha región.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

- Adler, P., Smull, D., Beard, K., Choi, R., Furniss, T., Kulmatiski, A., Meiners, J. M., Tredennick, A., & Veblen, K. (2018). Competition and coexistence in plant communities: intraspecific competition is stronger than interspecific competition. *Ecology Letters*, 21(9), 1319-1329. <https://doi.org/10.1111/ele.13098>
- Alarcón, E., Camacho, Y., & Alarcon, M. (2024). Evaluación de la productividad del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) bajo sistemas de siembra tradicional y tutorado en Mombita municipio de Aquitania (Boyacá). *Agricolae & Habitat*, 7(1-2), 39-54.
- Burgess, A., Retkute, R., Herman, T., & Murchie, E. (2017). Exploring relationships between canopy architecture, light distribution, and photosynthesis in contrasting rice genotypes using 3D canopy reconstruction. *Frontiers in Plant Science*, 8, 734. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00734>
- Casanova, L., Solarte, J., & Checa, O. (2012). Evaluación de cuatro densidades de siembra en siete líneas promisorias de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 29(2), 131-142. <https://tinyurl.com/3xv73mwv>
- Castillo, E., Siles, M., Ríos, R., & Gabriel, J. (2014). Herencia del número de vainas por nudo y su relación con características afines en arveja (*Pisum sativum* L.). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 2(1), 2-14. <https://tinyurl.com/37cxh4rc>
- Checa, Ó. E., Bastidas, J. E., & Narváez, O. C. (2017). Evaluación agronómica y económica de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) en diferentes épocas de siembra y sistemas de tutorado. *Revista U.D.C.A: Actualidad & Divulgación Científica*, 20(2), 279-288. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.380>
- Checa, O. E., Getial, J. A., & Rodríguez, D. M. (2020). Evaluación de ocho líneas de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) en seis ambientes de la zona cerealista de Nariño. *Revista U.D.C.A.: Actualidad & Divulgación Científica*, 23(1), e1211. <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.1211>
- Collazos, L. (2021). *Efecto comparativo de cultivares de Pisum sativum L. "arveja verde" en rendimiento, bajo condiciones del Valle Colca Huari, Áncash* [Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional José Faustino

- Sánchez Carrión, Huacho, Perú]. Repositorio Institucional UNJFSC. <http://hdl.handle.net/20.500.14067/4646>
- Ding, W., Fan, C., Xu, L., Xie, T., Liu, Y., Wan, Z., & Max, N. (2020). Optimization method to obtain appropriate spacing parameters for crop cultivation. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 13(1), 146-152. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201301.4877>
- Distrito de Huamanguilla. (2019, 21 de abril). En *Wikipedia*. https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Huamanguilla
- Galindo, J. R., & Clavijo, J. (2009). Fenología del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L. var. Santa Isabel) en la sabana de Bogotá en campo abierto y bajo cubierta plástica. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(1), 5-15. https://doi.org/10.21930/rcta.vol10_num1_art:123
- González-Pedraza, A. F., Méndez Ortega, A. J., & Quesada Vergara, V. R. (2023). Respuesta del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) a la aplicación de abonos orgánicos en el municipio Pamplona, Norte de Santander. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 37(1), 86-101. <https://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.07>
- Hortus. (2025). *Arveja Alderman: características varietales*. Autor. <https://tinyurl.com/yxfebk34>
- Lenser, T., & Theißen, G. (2013). Molecular mechanisms involved in convergent crop domestication. *Trends in Plant Science*, 18(12), 704-714. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.08.007>
- Maiza, B., Siles, M., Ríos R., & Gabriel, J. (2015). Comportamiento de catorce líneas mejoradas de arveja (*Pisum sativum* L.) en la zona de Challapata, Oruro. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 6(1), 10-22. <https://tinyurl.com/yck3hy2f>
- Matías-Ramos, M., Hidalgo-Moreno, C. I., Fuentes-Ponce, M., Delgadillo-Martínez, J., & Dionisio Etchevers, J. (2023). Potencial de especies de leguminosas mejoradoras de la fertilidad del suelo en regiones tropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(4), 531-541. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i4.3152>
- Munier-Jolain, N., Munier-Jolain, N., Roche, R., Ney, B., & Duthion, C. (1998). Seed growth rate in grain legumes I. Effect of photoassimilate availability on seed growth rate. *Journal of Experimental Botany*, 49(329), 1963-1969. <https://doi.org/10.1093/jxb/49.329.1963>
- Narváez, O. C., & Bastidas, J. E. (2017). *Evaluación agronómica de cinco líneas de arveja arbustiva en tres épocas de siembra y tres sistemas de tutorado* [Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia]. Sired: Sistema Institucional de Recursos Digitales. <https://sired.udenar.edu.co/>
- Pantoja, D., Muñoz, k., & Checa, O. (2014). Evaluación y correlación de componentes de rendimiento en líneas avanzadas de arveja *Pisum sativum* con gen afila. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(2), 24-39. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.143102.29>
- Prusinski, J., & Borowska, M. (2022). Effect of planting density and row spacing on the yielding and morphological features of pea (*Pisum sativum* L.). *Agronomy*, 12(3), 715. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030715>
- Rodríguez-Rodríguez, D. M., Checa-Coral, Ó. E., Ruiz-Eraso, H., Muriel-Figueroa, J., & Yepes-Chamorro, B. (2022). Niveles de fertilización con calcio, magnesio y azufre en genotipos de arveja voluble (*Pisum*

sativum L.) en Nariño. *Revista U.D.C.A.: Actualidad & Divulgación Científica*, 25(2), e1847.

<https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.1847>

Stefan, L., Engbersen, N., & Schöb, C. (2022). Using spatially-explicit plant competition models to optimise crop productivity in intercropped systems. *Basic and Applied Ecology*, 63, 1-15.

<https://doi.org/10.1016/j.baae.2022.05.004>

Zuluaga-Mogollón, M. V., Zuluaga-Mogollón, M. del P., Rozo-Leguizamón, Y. (2019). Arvejas Obonuco Andina y Obonuco San Isidro como alternativas productivas para la sustitución de cultivos ilícitos en el sur de Colombia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 10(1), 23-35.
[10.19053/20278306.v10.n1.2019.10009](https://doi.org/10.19053/20278306.v10.n1.2019.10009)