



Evaluación del rendimiento y variables morfofenológicas en el cultivo de papa orgánica (*Solanum tuberosum*) bajo condiciones agroclimáticas altoandinas

Evaluation of Yield and Morphophenological Variables in Organic Potato (*Solanum tuberosum*) cultivation under high andean agroclimatic conditions

Dennis Quispe Condori^{1*} , Jhiorshi Pari Choquechambi¹ 

RESUMEN

La papa representa un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria del altiplano peruano, destacando por su adaptación a condiciones edafoclimáticas extremas. Este estudio evaluó parámetros morfológicos y productivos de papa orgánica (peso, altura, distribución espacial y rendimiento) en la región altoandina de Puno, Perú, sobre una superficie de 257,35 m² con 476 plantas. Se hallaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre bloques para la altura de planta y peso por mata. El rendimiento promedio fue de 13,59 t/ha, con una eficiencia de uso de semilla de 7,34 kg de tubérculo producido por cada kilogramo de semilla. La densidad de plantación fue de 1,85 plantas/m² y el rendimiento por planta alcanzó 0,735 kg. La distribución espacial fue desigual, con menores rendimientos en los bordes de la parcela, posiblemente por mayor exposición a estrés ambiental. El ciclo fenológico duró 148 días, con evaluación de altura a los 84 días, floración a los 99 días y eliminación de flores a los 120 días para favorecer el engrosamiento de tubérculos. Se concluye que la agricultura orgánica bien gestionada permite alcanzar rendimientos rentables en papa bajo condiciones altoandinas, donde la interacción entre microclimas, ubicación de las plantas y manejo agronómico son determinantes en la productividad y eficiencia del cultivo.

Palabras clave: papa orgánica, rendimiento, morfofenología, fenología, condiciones altoandinas.

ABSTRACT

Potato represents a strategic crop for food security in the Peruvian altiplano, standing out for its adaptation to extreme edaphoclimatic conditions. This study evaluated morphological and productive parameters of organic potato (weight, height, spatial distribution and yield) in the high Andean region of Puno, Peru, on an area of 257,35 m² with 476 plants. Significant differences ($p \leq 0.05$) were found between blocks for plant height and weight per bush. The average yield was 13,59 t/ha, with a seed use efficiency of 7,34 kg of tuber produced per kilogram of seed. Planting density was 1,85 plants/m² and yield per plant reached 0,735 kg. Spatial distribution was uneven, with lower yields at the edges of the plot, possibly due to greater exposure to environmental stress. The phenological cycle lasted 148 days, with height evaluation at 84 days, flowering at 99 days and flower removal at 120 days to favor tuber thickening. It is concluded that well-managed organic agriculture allows achieving profitable potato yields under high Andean conditions, where the interaction between microclimates, plant location and agronomic management are determinant in the productivity and efficiency of the crop.

Keywords: organic potato, yield, morphophenology, phenology, high Andean conditions.

¹Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

*Autor de correspondencia. E-mail: dquispec@est.unap.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es el cuarto cultivo alimentario más importante a nivel mundial, después del arroz, el trigo y el maíz (Bodor et al., 2025). Nutricionalmente, este tubérculo constituye una fuente valiosa de energía y micronutrientes: contiene entre 13,5 % y 15 % de almidón, entre 1 % y 2 % de proteínas, 110 a 180 mg/kg de vitamina B y de 700 a 1000 mg/kg de vitamina C, aportando en promedio 77 kcal por cada 100 g de producto fresco (Siankwilimba et al., 2025). Además de su valor nutricional, la papa posee una relevancia económica estratégica, impulsada por la creciente demanda en los mercados internacionales.

Su versatilidad, adaptabilidad a diversos ecosistemas y capacidad de generar ingresos hacen de la papa un cultivo esencial no solo para la seguridad alimentaria mundial, sino también para el desarrollo rural sostenible. En regiones económicamente desfavorecidas, este alimento cumple un rol crucial en la lucha contra la desnutrición, al ofrecer un insumo accesible, denso en nutrientes y culturalmente integrado (Pemupukan et al., 2022). Al mismo tiempo, en contextos con abundantes recursos, su incorporación en dietas balanceadas contribuye a mejorar la calidad nutricional general. En ese sentido, la papa no solo es un alimento básico: es un cultivo resiliente, nutritivo y estratégico para enfrentar los desafíos globales de pobreza, malnutrición y sostenibilidad alimentaria (Bhutto et al., 2024).

En el Perú, la papa constituye un pilar fundamental para la seguridad alimentaria, la economía rural y la identidad cultural. Este cultivo es el sustento directo de más de 700,000 familias campesinas, generando más de 110,000 empleos permanentes. Cerca del 90 % de la producción nacional se concentra en la zona altoandina, donde representa aproximadamente el 4 % del Producto Bruto Interno (PBI) agrícola del país, consolidando así su rol estratégico en el desarrollo rural sostenible (Verastegui-Matínez y Zúñiga-Dávila, 2023).

Durante el período 1997-2023, los rendimientos nacionales de papa han oscilado entre 8,5 y 28,6 t/ha. Departamentos como Arequipa han alcanzado picos de hasta 44,7 t/ha, seguidos por La Libertad, Junín, Ayacucho y otras regiones de la sierra central

y sur, lo que evidencia el potencial productivo del cultivo bajo condiciones y manejos adecuados (MIDAGRI, 2024). Sin embargo, departamentos como Cusco, Puno y Huancavelica aún muestran promedios considerablemente inferiores, fluctuando entre 4,4 y 11 t/ha, lo cual refleja una brecha productiva significativa posiblemente asociada a limitaciones técnicas, baja disponibilidad de insumos, infraestructura deficiente y condiciones edafoclimáticas desafiantes.

A nivel nacional, el consumo per cápita de papa bordea los 90 kg anuales (MIDAGRI, 2020), lo que reafirma su relevancia como alimento básico en la dieta de millones de peruanos. Por todo ello, investigar e innovar en torno al rendimiento y manejo sostenible de este cultivo emblemático es crucial no solo para reducir brechas productivas, sino también para fortalecer la soberanía alimentaria, dinamizar las economías rurales y enfrentar los retos del cambio climático en las zonas altoandinas del país.

Frente a los múltiples desafíos del modelo convencional de producción agrícola como la degradación del suelo, la contaminación por agroquímicos y la pérdida de diversidad biológica, la agricultura orgánica se posiciona como una alternativa sostenible y resiliente (Canwat y Onakuse, 2022; Siankwilimba et al., 2025). Este enfoque promueve la salud del agroecosistema mediante el uso de prácticas ecológicas, la exclusión de insumos sintéticos y el rescate de saberes tradicionales adaptados a las condiciones locales, tal como lo señalan El Jaouhari et al. (2024), Bonanomi et al. (2016), Soto (2003) y diversos autores en la última década.

No obstante, a pesar de sus beneficios ambientales y sociales ampliamente reconocidos, la agricultura orgánica aún enfrenta barreras críticas, particularmente en los Andes. Entre ellas destacan el menor rendimiento en comparación con sistemas convencionales, las limitaciones en el acceso a la certificación para pequeños productores, y la escasa articulación con mercados diferenciados. En muchas comunidades altoandinas, la producción orgánica de papa se orienta principalmente al autoconsumo, lo cual restringe su impacto económico y su escalabilidad a nivel comercial (Avellaneda-Torres et al., 2018; Visscher et al., 2024).

En paralelo, el crecimiento sostenido de la demanda

global por alimentos libres de residuos químicos impulsa una reevaluación del modelo agrícola actual. Esta tendencia, sumada a la creciente evidencia científica sobre los efectos nocivos del uso indiscriminado de pesticidas en la salud humana y en el equilibrio ambiental (Atkinson et al., 2023), refuerza el interés en sistemas productivos más sostenibles y culturalmente arraigados.

En este escenario, la presente investigación se propuso como objetivos analizar comparativamente la altura y el peso por planta de papa en bloques establecidos bajo manejo orgánico; evaluar la distribución espacial del rendimiento dentro del campo; y determinar el rendimiento agronómico del cultivo en condiciones agroclimáticas propias de la región altoandina de Puno, Perú. Al abordar estos aspectos, el estudio busca generar evidencia técnica relevante que contribuya al fortalecimiento de la producción orgánica de papa como una alternativa viable, productiva y ambientalmente responsable en los territorios rurales del país.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Localización del estudio

El estudio se realizó bajo las condiciones agroclimáticas características de la región altoandina del Perú, en el departamento de Puno. Esta zona se encuentra ubicada geográficamente a una latitud de 15°19'3.38"Sur y una longitud: 70° 2'3.46" Oeste como se muestra en la **Figura 1**.

Diseño experimental

El presente estudio se llevó a cabo en una parcela experimental ubicada en la región altoandina de Puno, Perú, con una superficie total de 257,35 m² y un perímetro de 70,21 metros. Se empleó semilla certificada de papa de la variedad 'Imilla Negra', correspondiente a un peso total de 47,67 kg, con la que se establecieron 476 plantas en campo. Esta variedad fue seleccionada por su adaptación a condiciones agroclimáticas adversas y su potencial productivo en sistemas de agricultura orgánica.

El procesamiento de los datos se realizó aplicando un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), conformado por 18 bloques correspondientes a un surco individual, cada surco agrupó entre 26 y 27

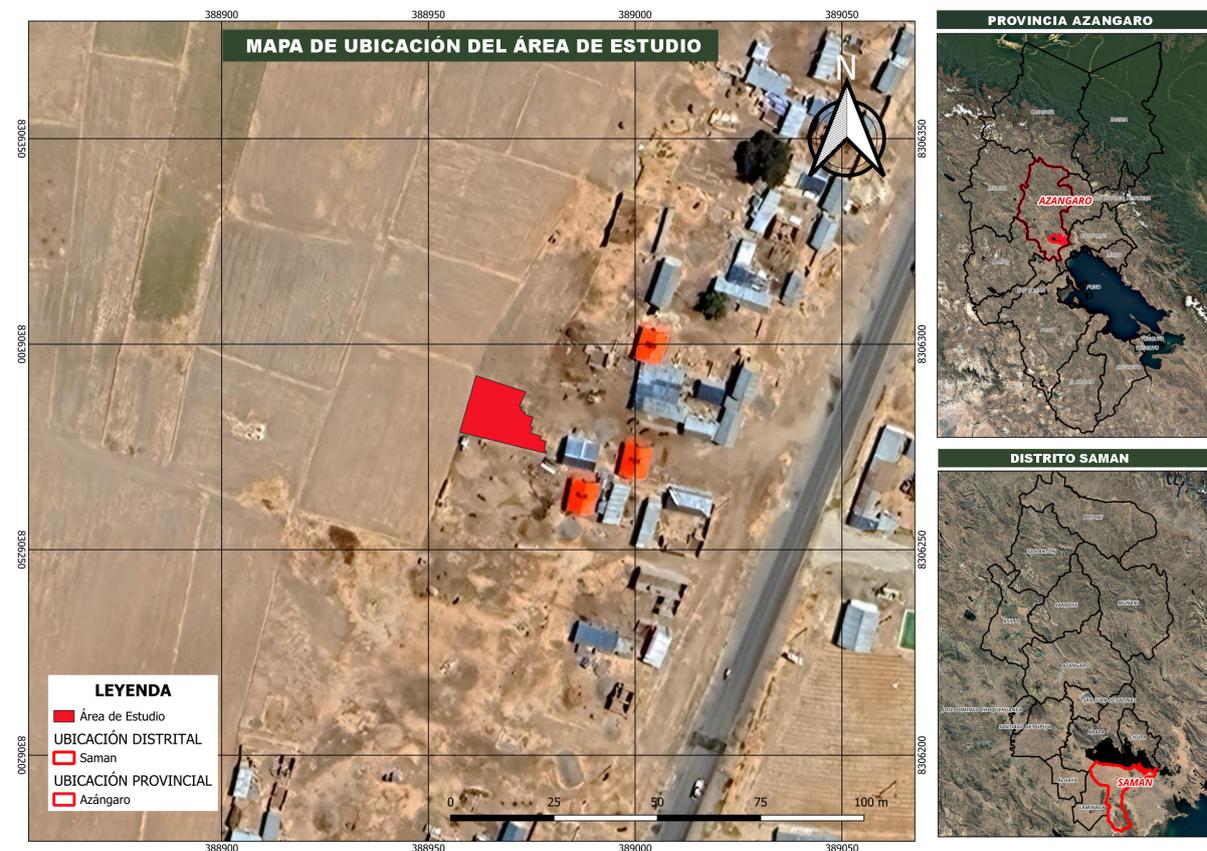


Figura 1: Localización del área de estudio

plantas distribuidos dentro de la parcela experimental, La delimitación de los bloques se basó en la ubicación geográfica y en características microambientales como la exposición solar, la pendiente del terreno y la proximidad a los bordes. Esta estrategia permitió minimizar la variabilidad ambiental y aumentar la precisión de los resultados obtenidos. Cabe destacar que no se aplicaron tratamientos experimentales diferenciados entre los bloques ya que el propósito del estudio fue evaluar la variabilidad agronómica natural del cultivo bajo un manejo homogéneo, en un sistema de producción orgánica.

Manejo agronómico y variables evaluadas

El manejo agronómico del cultivo incluyó un seguimiento fenológico detallado. La siembra se realizó el 19 de octubre de 2024, coincidiendo con la fase lunar gibosa menguante. La evaluación de la altura de planta se efectuó el 11 de enero de 2025, mientras que la observación del inicio de floración tuvo lugar el 26 de enero. La eliminación de flores, como práctica de manejo orientada al engrosamiento de tubérculos, se llevó a cabo el 15 de febrero. Finalmente, la cosecha se realizó el 15 de marzo de 2025, completando un ciclo fenológico total de 148 días (**Figuras 2 y 3**).

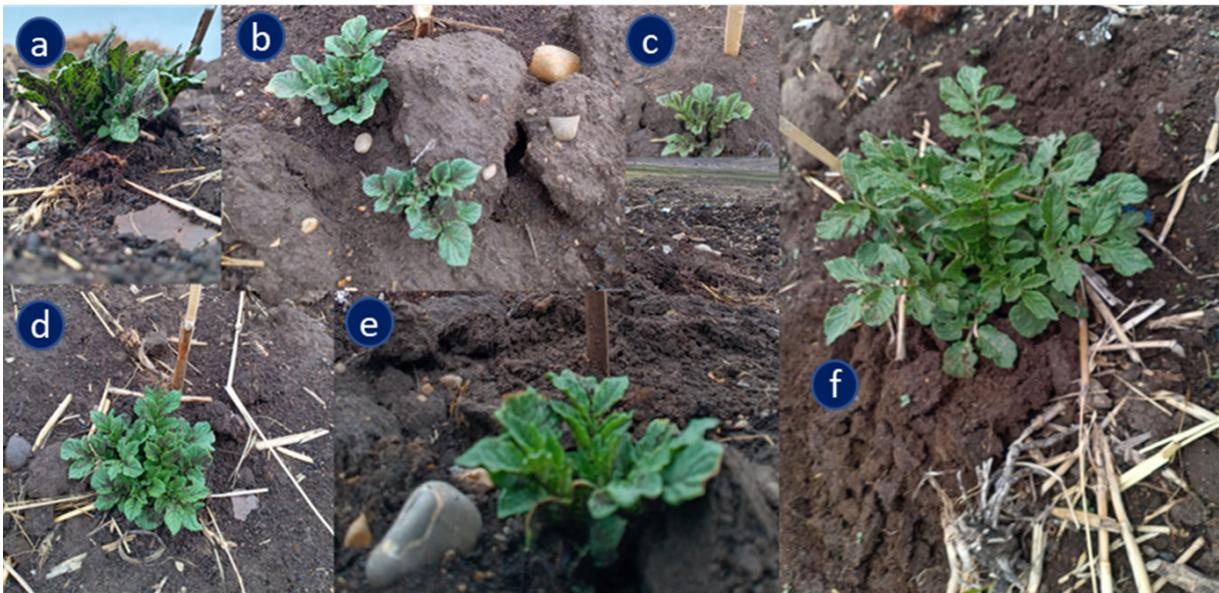


Figura 2: Emergencia de matas de papa: Las figuras a, b, c, d, e y f ilustran la variabilidad en el tamaño de brotes durante el proceso de germinación de tubérculos de papa.

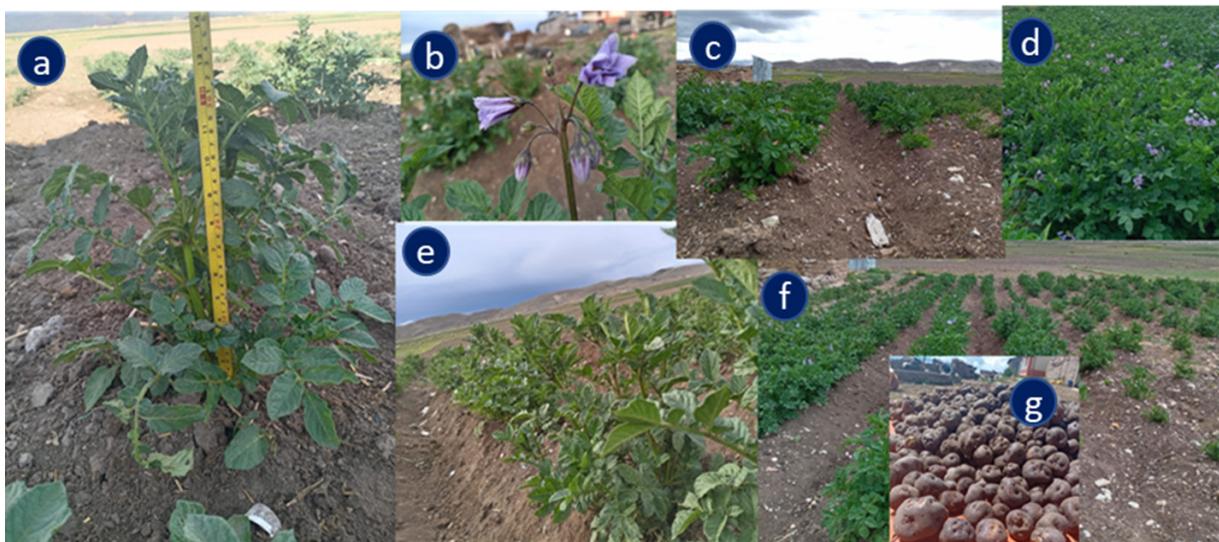


Figura 3: Evaluación de altura, peso y cosecha: Las figuras a y b muestran la evaluación de altura y floración; c, d y f, la eliminación de flores según el desarrollo fenológico; y g, la cosecha.

El rendimiento del cultivo se calculó en toneladas por hectárea (t/ha) utilizando la siguiente fórmula:

Rendimiento (t/ha) = (Producción total en kg / Área de la parcela en m²) × (10,000 / 1,000). Asimismo, se determinó la eficiencia de uso de semilla, entendida como la relación entre la producción obtenida y la cantidad de semilla utilizada, mediante la fórmula: Índice de cosecha (kg/kg) = Producción total (kg) / Semilla usada (kg). Por último, la densidad de plantación se estimó con base en el número total de plantas establecidas en relación con el área sembrada, utilizando la siguiente expresión: Densidad = (plantas/m²).

Análisis estadístico

Las variables cuantitativas consideradas en el análisis fueron: altura de planta (cm), peso por planta (kg), rendimiento por bloque (kg) y número de plantas por bloque. Para la exploración inicial de los datos, se emplearon gráficos de caja (boxplots), lo cual permitió visualizar la dispersión y distribución de las mediciones en cada bloque. Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza de un factor (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre bloques. En los casos donde se detectó significancia ($p \leq 0.05$), se

procedió con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey HSD, con el fin de identificar cuáles bloques presentaban diferencias significativas entre sí. Todo el análisis estadístico fue realizado utilizando el lenguaje R, en su entorno de desarrollo RStudio (versión 4.x), garantizando rigurosidad y reproducibilidad en el tratamiento de los datos.

III. RESULTADOS

Análisis comparativo de peso y altura por planta de papa

De un total de 476 plantas de papa establecidas en la parcela experimental, se obtuvo una producción acumulada de 349,86 kilogramos, lo que equivale a un rendimiento estimado de 13,59 toneladas por hectárea (t/ha). El análisis estadístico reveló diferencias significativas entre bloques tanto en la altura de planta como en el peso por mata ($p \leq 0.05$), conforme a los resultados presentados en la **Tabla 1**. Las diferencias observadas entre bloques podrían estar asociadas a factores microambientales dentro del campo experimental, como heterogeneidad en la retención de humedad, niveles de compactación, drenaje o variaciones en la exposición solar. Estos factores pueden incidir directamente en el desarrollo morfofenológico de las plantas, afectando de forma

Tabla 1: Descripción estadística por bloques del peso y la altura por planta de papa

Bloque	Nº	Altura de planta (Cm.)			Peso por planta (Kg.)			P/F
		$\bar{X} \pm D.S.$	Mín	Máx	$\bar{X} \pm D.S.$	Mín	Máx	
B1	35	22,06 ± 9,22	7,00	40,00	0,64 ± 0,31	0,14	1,25	0,7714
B2	42	21,98 ± 11,29	3,00	45,00	0,64 ± 0,38	0,00	1,42	0,7556
B3	43	28,76 ± 10,70	10,00	50,00	0,87 ± 0,36	0,24	1,59	0,7381
B4	39	31,65 ± 11,01	9,00	50,00	0,97 ± 0,37	0,20	1,59	0,9
B5	36	29,69 ± 10,89	12,00	52,00	0,90 ± 0,37	0,30	1,66	0,8919
B6	29	26,45 ± 11,79	6,00	53,00	0,79 ± 0,40	0,10	1,69	0,7143
B7	29	18,66 ± 7,78	6,00	36,00	0,53 ± 0,26	0,10	1,12	0,2813
B8	28	23,82 ± 12,30	6,00	46,00	0,70 ± 0,42	0,10	1,45	0,6786
B9	29	27,48 ± 14,38	4,00	53,00	0,83 ± 0,49	0,03	1,69	0,6552
B10	29	25,21 ± 11,17	4,00	42,00	0,75 ± 0,38	0,03	1,32	0,6757
B11	24	26,54 ± 9,93	13,00	45,00	0,80 ± 0,34	0,34	1,42	0,7917
B12	22	23,36 ± 12,20	4,00	43,00	0,69 ± 0,41	0,03	1,35	0,6818
B13	16	27,18 ± 10,85	6,00	45,00	0,82 ± 0,37	0,10	1,42	0,8125
B14	13	24,00 ± 8,02	10,00	41,00	0,71 ± 0,27	0,24	1,28	0,7692
B15	12	26,33 ± 12,59	8,00	51,00	0,79 ± 0,43	0,17	1,62	0,6667
B16	14	21,00 ± 14,15	3,00	51,00	0,61 ± 0,48	0,00	1,62	0,5625
B17	16	16,81 ± 8,36	3,00	33,00	0,47 ± 0,28	0,00	1,01	0,4706
B18	19	12,05 ± 7,61	3,00	28,00	0,31 ± 0,26	0,00	0,84	0,1667

N: número de matas; \bar{X} : Media; D.S: desviación estándar; P/F: Promedio de floración.

diferenciada su crecimiento y rendimiento productivo. La densidad y dispersión de los datos de altura de planta (cm) para cada bloque o surco evaluado se muestra en la **Figura 4**. Los resultados incluyeron las letras resultantes de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey HSD ($\alpha = 0.05$) en la parte superior de cada grupo. Estas letras permiten identificar diferencias estadísticamente significativas entre bloques: aquellos que no comparten letras difieren de manera significativa en cuanto a la altura media de las plantas.

La densidad y dispersión de los datos correspondientes al peso por planta (kg) en cada bloque o surco evaluado se muestra en la **Figura 5**. En la parte superior de cada grupo se incluyen las letras resultantes de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey HSD ($\alpha = 0.05$), las cuales permiten identificar diferencias estadísticamente significativas entre bloques. Aquellos que no comparten letras difieren significativamente en el peso medio por planta, lo que evidencia la existencia de variabilidad productiva dentro del área experimental.

Distribución espacial del rendimiento de papa

Se evidenció una marcada heterogeneidad en la distribución espacial del rendimiento dentro de la parcela experimental, atribuida a la influencia de microclimas locales. En particular, las plantas ubicadas en los bordes de la parcela presentaron valores inferiores tanto en altura como en producción por planta, en comparación con aquellas

situadas en la zona central. Esta diferencia puede explicarse por la mayor exposición de las plantas periféricas a condiciones ambientales más variables y potencialmente adversas, como fluctuaciones térmicas, mayor incidencia de viento o radiación solar directa. En contraste, las plantas centrales se desarrollaron en un entorno más protegido y estable, lo que favoreció un crecimiento más homogéneo y un mejor rendimiento agronómico. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar la variabilidad microambiental en el diseño y manejo de parcelas experimentales y productivas en zonas altoandinas (**Figura 6**).

Evaluación del rendimiento agronómico del cultivo de papa

El rendimiento agronómico del cultivo de papa bajo condiciones orgánicas alcanzó 13,59 toneladas por hectárea (t/ha), a partir de una producción total de 349,86 kg en una parcela de 257,35 m². La eficiencia en el uso de semilla fue destacable, obteniéndose 7,34 kg de papa por cada kilogramo sembrado. Con una densidad de plantación de 1,85 plantas/m² (476 plantas en total), el rendimiento promedio por planta fue de 0,735 kg, reflejando un adecuado comportamiento productivo sin uso de agroquímicos. El ciclo fenológico duró 148 días, desde la siembra (19 de octubre de 2024) hasta la cosecha (15 de marzo de 2025), con evaluaciones clave realizadas a los 84 días (altura de planta), 99 días (floración) y 120 días (eliminación de flores).

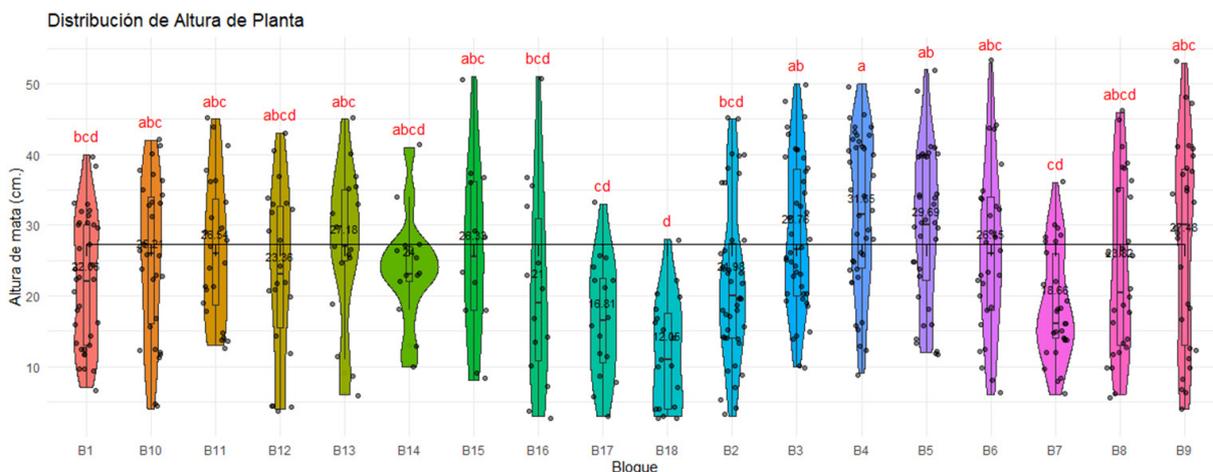


Figura 4: Distribución de altura de planta de papa y prueba de tukey entre bloques.

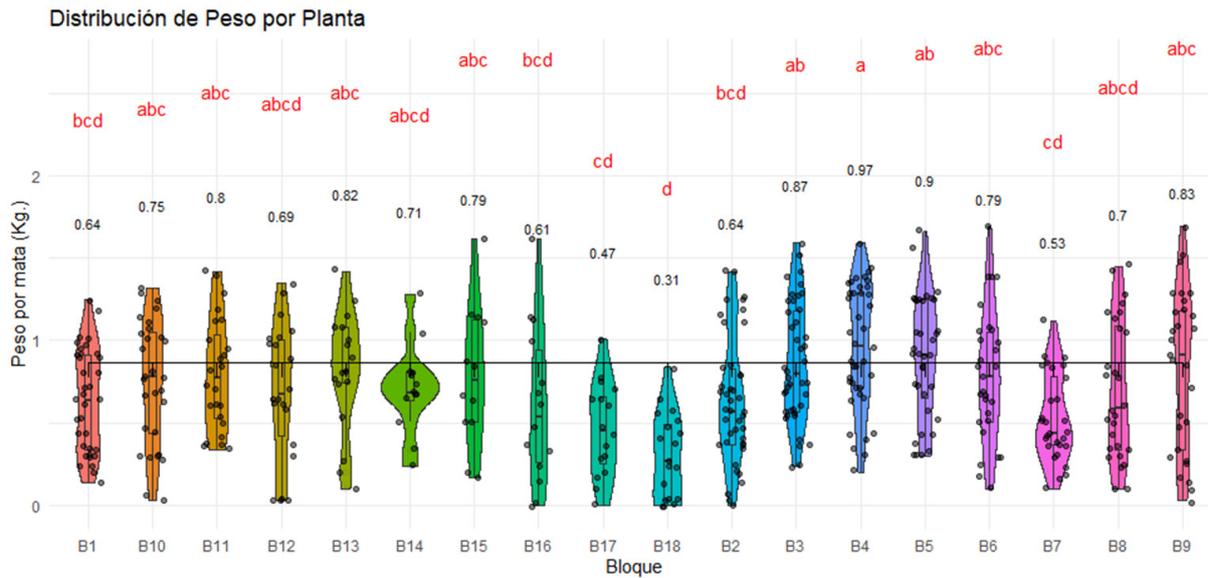


Figura 5: Distribución de peso de planta de papa y prueba de tukey entre bloques.

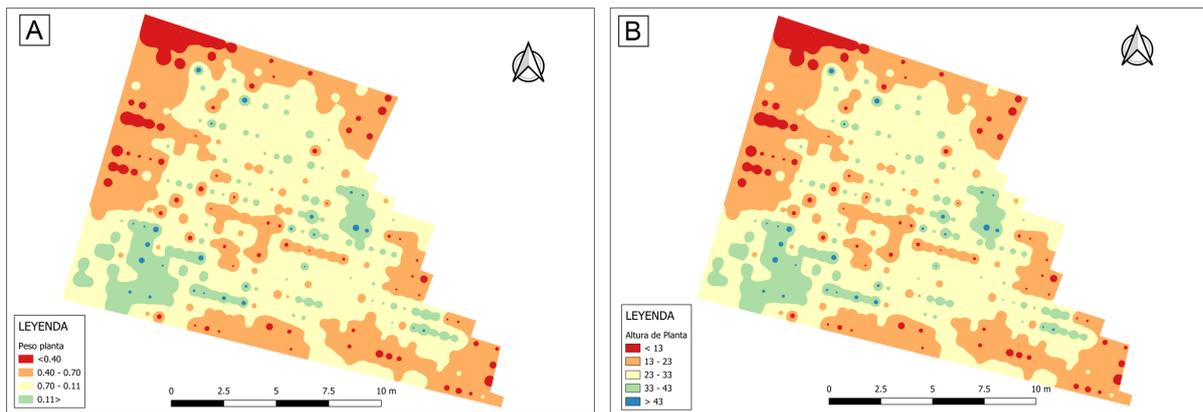


Figura 6 : Distribución espacial de: A) Peso de planta y B) Altura de planta en la parcela experimental.

IV. DISCUSIÓN

Nuestros hallazgos evidencian que, bajo un manejo orgánico en el altiplano de Puno, la altura y el peso por planta de papa presentaron variaciones estadísticamente significativas entre bloques ($p \leq 0.05$), a pesar de que las condiciones de manejo fueron homogéneas en toda la parcela experimental. Esta heterogeneidad agronómica refleja la influencia de factores microambientales, coincidiendo con lo reportado por Puma-Cahua et al. (2024), quienes destacan que variables como la humedad y la temperatura lo cual afectan directamente el crecimiento y el rendimiento de los cultivos altoandinos.

El análisis comparativo entre bloques confirmó estas

diferencias significativas ($p \leq 0.05$) tanto en altura como en peso por planta, lo que pone en evidencia que elementos como la retención diferencial de humedad, la exposición solar, el grado de compactación del suelo y el microdrenaje inciden de manera directa en el desarrollo morfofenológico del cultivo de papa. Esta influencia de las condiciones microambientales ha sido ampliamente documentada en estudios recientes en los Andes centrales y surandinos, donde se ha demostrado que el rendimiento del cultivo responde de forma sensible a pequeñas variaciones topográficas y climáticas locales como muestran los resultados encontrados por Grados et al. (2020), Persson et al. (2005) y Tito et al. (2018).

La distribución espacial del rendimiento,

caracterizada por una mayor productividad en las plantas ubicadas en el centro de la parcela frente a las periféricas, respalda lo señalado por investigaciones desarrolladas en la Patagonia y en regiones altoandinas del Perú, donde se ha evidenciado que los microclimas internos de las parcelas pueden explicar hasta el 30 % de la variabilidad productiva. En nuestro estudio, se observó una producción significativamente menor en los bordes del terreno, lo cual concuerda con lo reportado por Fierke et al. (2025), quienes demostraron que la ubicación de las plantas dentro del campo influye en su desarrollo debido a gradientes microclimáticos y edáficos.

Las plantas situadas en el centro de la parcela crecieron en un entorno más protegido, caracterizado por una mayor estabilidad térmica e hídrica, condiciones que favorecieron su desarrollo y productividad. Esta heterogeneidad espacial tiene implicancias relevantes tanto para el diseño de parcelas experimentales como para el manejo agronómico en zonas altoandinas, donde variables como la pendiente, la orientación del terreno y la exposición al viento son determinantes clave en la variación del rendimiento tal y como lo menciona Puente Ambrosio (2021).

El rendimiento promedio de 13,59 t/ha y la eficiencia en el uso de semilla de 7,34 kg por cada kilogramo sembrado evidencian un desempeño agronómico sobresaliente del cultivo de papa bajo un sistema de producción orgánica en condiciones altoandinas. Si bien este rendimiento aún se encuentra por debajo del potencial máximo estimado para la zona, cercano a las 20 t/ha para la variedad Yungay bajo manejo orgánico familiar, según Trujillo-Meza et al. (2022), supera ampliamente los rendimientos reportados en sistemas de agricultura familiar básica, que promedian alrededor de 5 t/ha. Este resultado evidencia una mejora técnica significativa respecto a las prácticas tradicionales de bajo insumo. En este contexto, es pertinente considerar lo señalado por Maulidiyah et al. (2025), quienes indican que las características de los agricultores tienen un impacto estadísticamente significativo y positivo tanto en la aplicación eficiente de los factores de producción como en la productividad general del cultivo.

Los resultados obtenidos se ubican en el rango superior de productividad para sistemas agroecológicos de la región andina, donde rendimientos entre 8 y 15 t/ha han sido documentados dependiendo de la variedad cultivada, las condiciones edafoclimáticas y las prácticas de manejo utilizadas así lo demostraron los autores Betancur et al. (2023) y Soto et al. (2020). La evidencia sugiere que, incluso sin el uso de agroquímicos, es posible alcanzar niveles de rendimiento competitivos mediante un manejo orgánico eficiente y adaptado al entorno altoandino.

Estudios recientes como los de Cobos et al., (2022), realizados en sistemas de papa orgánica en Ecuador, coinciden en señalar que factores como el conocimiento campesino, la adecuada selección de semilla y el uso de coberturas vegetales son determinantes clave para lograr buenos rendimientos en ausencia de insumos sintéticos. En esta línea, la eficiencia de uso de semilla alcanzada en nuestro estudio (7,34 kg/kg) supera los valores típicamente reportados para sistemas convencionales en zonas de altura, donde estos se sitúan entre 4 y 6 kg por kilogramo sembrado, correspondiente con lo encontrado con Taco (2019).

El ciclo fenológico observado fue de 148 días, lo cual concuerda con lo reportado para cultivares tradicionales en altitudes elevadas, donde los ciclos fluctúan entre 140 y 160 días, influenciados por la temperatura nocturna, la radiación solar y la altitud según menciona Medina et al. (2024). La práctica agronómica de eliminación de flores a los 120 días, aplicada con el propósito de redirigir los recursos fisiológicos hacia la formación de tubérculos, ha demostrado efectividad en estudios realizados en Bolivia y Colombia, donde Caicedo et al. (2010) observaron un incremento en el número y calibre de los tubérculos por planta.

V. CONCLUSIONES

El presente estudio evidenció diferencias estadísticamente significativas en la altura y el peso por planta de papa entre los bloques evaluados, a pesar de haberse aplicado un manejo agronómico homogéneo. Estos resultados indican que factores microambientales como la exposición solar, la

humedad del suelo y la posición relativa de las plantas dentro de la parcela ejercen una influencia determinante sobre el desarrollo morfofisiológico del cultivo en condiciones altoandinas.

La distribución espacial del rendimiento mostró una clara ventaja para las plantas ubicadas en el centro de la parcela, posiblemente debido a condiciones ambientales más estables respecto a los bordes, donde la exposición a radiación, viento o fluctuaciones térmicas fue mayor. Este patrón resalta la importancia de considerar la heterogeneidad microclimática en el diseño y manejo de parcelas agrícolas en zonas de altura.

El cultivo de papa bajo un sistema orgánico demostró un desempeño agronómico favorable en las condiciones agroclimáticas del altiplano puneño. El ciclo fenológico se completó de manera eficiente, alcanzándose un rendimiento estimado de 13,59 t/ha y una eficiencia de uso de semilla de 7,34 kg/kg. Estos indicadores productivos respaldan la viabilidad técnica del sistema orgánico evaluado y su potencial para contribuir al desarrollo agrícola sostenible en regiones altoandinas, siempre que se implementen estrategias de manejo orientadas a mitigar la variabilidad microambiental dentro del campo.

VI. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores aseguran que no existen relaciones financieras, comerciales, personales o de otro tipo que puedan comprometer la objetividad y la integridad de la investigación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atkinson, R., Horna, D., Barrenechea, J., Flores, M. E., Ramírez, M., Sánchez, R. A., Maurer, A. (2023). Del campo a la mesa. Análisis y Recomendaciones sobre el Hallazgo de Excesivos Residuos de Plaguicidas en Productos Agrícolas en el Perú. *Consejo Nacional de Ciencias, Tecnología e Innovación*, (134), 1-52.

Avellaneda-Torres, L. M., León Sicard, T. E., & Torres Rojas, E. (2018). Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of

Neotropical high Andean Páramo ecosystem soils. *Science of The Total Environment*, 631–632, 1600–1610. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.03.137>

- Betancur, N. A. B., Giraldo, D. T., de Jesús Montoya Pérez, N., & González, J. M. G. (2023). Producción de semilla élite de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Diacol Capiro en sistema aeropónico. *Acta Agronómica*, 72(3), 252–257. <https://doi.org/10.15446/ACAG.V72N3.106382>
- Bhutto, R. A., Bhutto, N. ul ain H., Khanal, S., Wang, M., Iqbal, S., Fan, Y., & Yi, J. (2024). Potato protein as an emerging high-quality: Source, extraction, purification, properties (functional, nutritional, physicochemical, and processing), applications, and challenges using potato protein. *Food Hydrocolloids*, 157, 110415. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2024.110415>
- Bodor, K., Tamási, B., Len, A., Keresztesi, Á., Szép, R., & Bodor, Z. (2025). Investigation of the properties of different potato varieties and analysis of the starch structure. *Applied Food Research*, 5(1), 100998. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2025.100998>
- Bonanomi, G., De Filippis, F., Cesarano, G., La Storia, A., Ercolini, D., & Scala, F. (2016). Organic farming induces changes in soil microbiota that affect agro-ecosystem functions. *Soil Biology and Biochemistry*, 103, 327–336. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2016.09.005>
- Caicedo, D. R., Tellez, M. S. R., Molano, L. E. R., & López, C. E. Ñ. (2010). Efecto de Diferentes Niveles y Épocas de Defoliación Sobre el Rendimiento de la Papa (*Solanum tuberosum* cv. *Parda Pastusa*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*.
- Canwat, V., & Onakuse, S. (2022). Organic agriculture: A fountain of alternative innovations for social, economic, and environmental challenges of conventional agriculture in a developing country context. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 3, 100025.

- <https://doi.org/10.1016/J.CLCB.2022.100025>
- Cobos Mora , F., Hasang Moran , E., Medina Litardo , R., & Orellana Hidalgo , E. (2022). El cultivo de papa, recursos genéticos y retos para el futuro. *Journal of Science and Research*, 7(CININGEC II), 212–229. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2748>
- El Jaouhari, M., Damour, G., & Coulis, M. (2024). Relationship between farming practices, soil macrofauna and litter decomposition in organic versus conventional banana agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, 204, 105697. <https://doi.org/10.1016/J.APSSOIL.2024.105697>
- Fierke, J., Putzenlechner, B., Simon, A., Gowda, J. H., Reiter, E. J., Walentowski, H., & Kappas, M. (2025). Modelling microclimatic variability in Andean forests of northern Patagonia. *International Journal of Biometeorology*, 69(6), 1279. <https://doi.org/10.1007/S00484-025-02891-X>
- Grados, D., García, S., & Schrevens, E. (2020). Assessing the potato yield gap in the Peruvian Central Andes. *Agricultural Systems*, 181, 102817. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2020.102817>
- Maulidiyah, R., Salam, M., Jamil, M. H., Tenriawaru, A. N., Rahmadanih, Heliawaty, Muslim, A. I., Bakheet Ali, H. N., & Ridwan, M. (2025). Determinants of potato farming productivity and success: Factors and findings from the application of structural equation modeling. *Heliyon*, 11(10), e43026. <https://doi.org/10.1016/J.HELIVON.2025.E43026>
- Medina, E., Cely-Reyes, G. E., & Serrano-Cely, P. A. (2024). Desempeño fisiológico de la papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo dos sistemas de riego y labranza en una zona alto Andina de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 18(1). <https://doi.org/10.17584/RCCH.2024V18I1.16154>
- MIDAGRI (2020). *Análisis de mercado de Papa. MINAGRI* (Vol. 11). Perú.
- MIDAGRI (2024). Análisis de brechas de rendimiento en el cultivo de papa en el Perú, 1997-2023. *Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego*, 1-18.
- Pemupukan, C., Usaha, M., Kentang, T., Banjarnegara, K., Tengah, J., Sahara, D., & Wulanjari, E. (2022). Cara Pemupukan yang Menguntungkan Usaha Tani Kentang di Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(4), 473–480. <https://doi.org/10.18343/JIPI.27.4.473>
- Persson, A., Pilesjö, P., & Eklundh, L. (2005). Spatial influence of topographical factors on yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) in central Sweden. *Precision Agriculture*, 6(4), 341–357. <https://doi.org/10.1007/S11119-005-2323-6/METRICS>
- Puente Ambrosio, E. N. (2021). *Sustentabilidad de subsistemas productivos de papas nativas (Solanum tuberosum) en pequeños productores de la zona altoandina de Yauli-Huancavelica*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7574>
- Puma-Cahua, J., Belizario, G., Laqui, W., Alfaro, R., Huaquisto, E., & Calizaya, E. (2024). Evaluating the Yields of the Rainfed Potato Crop under Climate Change Scenarios Using the AquaCrop Model in the Peruvian Altiplano. *Sustainability (Switzerland)*, 16(1), 71. <https://doi.org/10.3390/SU16010071/S1>
- Siankwilimba, E., Hoque, M. E., Gapsari, F., Harmayanti, A., Gunawan, P., & Hang'ombe, B. M. (2025). Exploring agricultural circular economy models in emerging bioecosystems: Opportunities and challenges. *Sustainable Futures*, 9, 100723. <https://doi.org/10.1016/J.SFTR.2025.100723>
- Soto, G. (2003). Agricultura orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza. *FAO*, 14-16. <https://doi.org/10.2307/j.ctv8j5kr.6>
- Soto, G. R., Pinedo Taco, R. E., & Salazar, F. S. (2020). Hilling effect on yield and profitability of native potato cultivars. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 21(3). https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL21_NUM3_ART:1798

- Taco, R. P. (2019). Innovaciones tecnológicas con metodología de ECA en producción y adopción de uso de semilla certificada en sistemas de agricultura familiar. *Tierra Nuestra*, 13(1), 77. <https://doi.org/10.21704/RTN.V13I1.1294>
- Tito, R., Vasconcelos, H. L., & Feeley, K. J. (2018). Global climate change increases risk of crop yield losses and food insecurity in the tropical Andes. *Global Change Biology*, 24(2), e592–e602. <https://doi.org/10.1111/GCB.13959>;CTYPE:STRING:JOURNAL
- Trujillo-Meza, Y. L., Mendoza-Nieto, E., Palomares-Anselmo, E. G., Luis-Olivas, D. B., Silva, E. C. G. da, Christo, B. F., Trujillo-Meza, Y. L., Mendoza-Nieto, E., Palomares-Anselmo, E. G., Luis-Olivas, D. B., Silva, E. C. G. da, & Christo, B. F. (2022). Fuentes orgánicas y producción de papa en la región andina. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(4), 735–740. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V13I4.3000>
- Verastegui-Matínez, P., & Zúñiga-Dávila, D. (2023). Potato (*Solanum tuberosum*, L.) commercial and traditional cultivation in Andean highlands—Peru/Bolivia. *Varieties and Landraces: Cultural Practices and Traditional Uses: Volume 2: Underground Starchy Crops of South American Origin: Production, Processing, Utilization and Economic Perspectives*, 2, 69–78. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90057-7.00004-8>
- Visscher, A. M., Vanek, S., Huaraca, J., Mendoza, J., Ccanto, R., Meza, K., Olivera, E., Scurrah, M., Wellstein, C., Bonari, G., Zerbe, S., & Fonte, S. J. (2024). Traditional soil fertility management ameliorates climate change impacts on traditional Andean crops within smallholder farming systems. *Science of The Total Environment*, 912, 168725. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.168725>