Enfoque agronómico para una agricultura sostenible: Fertilización orgánica y policultivo de remolacha y alelí

Agronomic Strategies for Sustainable Agriculture: Organic Fertilisation and Beet–Stock Polyculture

Víctor José Milicia[1], Cristian Javier López[1], Javier Nicolás Ítalo Pezzi[1], Karina Alejandra Montiel[1], Marcelo Ramón Lovisolo[1]

vmilicia@agrarias.unlz.edu.ar, cjlopez@agrarias.unlz.edu.ar, jpezzi@agrarias.unlz.edu.ar, kmontiel@agrarias.inlz.edu.ar, mlovisolo@agrarias.unlz.edu.ar

[1] Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, 1836, Lomas de Zamora, Argentina.

Recibido 16/04/2026; Aceptado: 29/06/2026

Resumen. La expansión de monocultivos y el uso intensivo de agroquímicos amenazan la sostenibilidad de los sistemas agrícolas al reducir la biodiversidad, degradar el suelo y aumentar la dependencia de insumos externos, afectando la resiliencia ecológica y económica. Este estudio evaluó el efecto de la fertilización orgánica e inorgánica sobre el rendimiento de la remolacha (*Beta vulgaris*), la calidad de la vara de alelí (*Matthiola incana*) y la Relación Equivalente Tierra Total (RETT) en monocultivo y policultivo. El diseño factorial consideró dos variables: sistema de plantación (monocultivo de remolacha, monocultivo de alelí y policultivo de ambas especies) y tipo de fertilización (orgánica, inorgánica y testigo sin fertilizar). Los resultados indicaron que la fertilización orgánica con cama de pollo compostada promovió el crecimiento de ambos cultivos incrementando el número de hojas, área foliar de remolacha y la altura de planta, longitud del eje de la inflorescencia y peso del vástago en alelí, en comparación con el testigo sin fertilizar. Aunque el peso promedio de las raíces de remolacha no mostró diferencias significativas entre fertilizaciones, el rendimiento fue mayor bajo fertilización orgánica (2,65 $kg \cdot m^{-2}$) frente a la inorgánica (2,45 $kg \cdot m^{-2}$) y el control (1,71 $kg \cdot m^{-2}$). En alelí, la fertilización orgánica produjo varas florales significativamente más largas (54 cm) que otros tratamientos. Valores cercanos a 1 en la RETT para todos los tratamientos y sistemas sugieren productividad similar en monocultivo y policultivo, permitiendo diversificar la producción al incorporar el alelí de corte. Esto representa una alternativa productiva que podría contribuir a la generación de un producto final adicional (vara floral) sin comprometer el rendimiento de la

remolacha. En conclusión, los resultados son promisorios y se recomiendan estudios adicionales a escalas de predios, previos a recomendar su adopción, así como evaluar la viabilidad económica del sistema y repetir el estudio para confirmar los rendimientos observados.

Palabras-clave: agroecología; floricultura; horticultura; intercultivos.

Abstract. The expansion of monocultures systems and the intensive use of agrochemicals threaten agricultural sustainability by reducing biodiversity, degrading soils, and increasing dependence on external inputs, thereby weakening both ecological and economic resilience. This study evaluated the effects of organic and inorganic fertilisation on sugar beet (*Beta vulgaris*) yield, quality of stock (*Matthiola incana*) flower stems, and the total land equivalent ratio (TLER) under monoculture and polyculture systems. The factorial design comprised two factors: planting system with sugar beet monoculture, stock monoculture and beet-stock polyculture of both species) and fertilisation treatment with organic fertilisation, inorganic fertilisation and an unfertilized control). Organic fertilization with composted chicken litter enhanced the growth of both crops, relative to the unfertilized control. In beet, it increased leaf number and leaf area, whereas in stock, it increased plant height, inflorescence axis length and stem weight. Although the mean root weight of beet showed no significant differences among fertilization treatments, yield was higher under organic fertilization (2,65 kg · m^{-2}) than under inorganic fertilisation (2,45 kg · m^{-2}) or in the control (1,71 kg · m^{-2}). In stock, fertilisation resulted in significantly longer flower stems, which reached an average length of 54 cm. TLER values were close to 1 across treatments, indicating similar overall land-use productivity in monoculture and polyculture. The incorporation of stock may therefore provide an opportunity to diversify production and obtain an additional marketable product without an evident reduction in beet productivity. In conclusion, organic fertilisation showed promising effects on crop growth and yield. Further research under farm-scale or commercial production conditions is required to confirm these findings, assess the economic viability of the system and determine whether beet–stock polyculture can be recommended for wider adoption.

Keywords: agroecology; floriculture; horticulture; interculture.

Introducción

Con el fin de mejorar la productividad de los cultivos, especialmente sus rendimientos, la práctica del monocultivo se extendió en el espacio y tiempo. Este tipo de agricultura basada en la implantación continua de una sola especie año tras año, en el uso de altos insumos de energía y un mayor grado de tecnificación demostró que la sostenibilidad del sistema a lo largo del tiempo se ve seriamente amenazada (Anders et al., 1996). Además, este tipo de prácticas agotan los nutrientes del suelo, reducen los niveles de materia orgánica, incrementan el riesgo de erosión y disminuyen la productividad de los cultivos (Belete y Yadete, 2023). La manipulación humana para instaurar el modelo de agricultura industrial ha transformado los agroecosistemas en sistemas altamente simplificados, muy distintos a los ecosistemas naturales (Nicholls et al., 2017).

La agroecología se concibe como una ciencia compleja e interdisciplinaria que integra conocimientos de diversas áreas con el propósito de facilitar el camino del cambio desde una agricultura

convencional hacia otras prácticas productivas más saludables, sustentables en el tiempo y compatibles con la preservación de los ecosistemas (Gómez, 2023). Los dogmas básicos de un agroecosistema sustentable son la conservación de los recursos renovables, la adaptación del cultivo al ambiente y el mantenimiento de un nivel alto, aunque sustentable, de productividad. Un punto clave en el diseño de agroecosistemas sustentables es comprender que hay dos funciones en el ecosistema que deben ser respetadas en los campos agrícolas: la conservación de la biodiversidad de los microorganismos, plantas y animales y el reciclaje de nutrientes y de materia orgánica (Altieri, 1999). El conocimiento y la participación de diferentes ciencias permiten entender a la agricultura como un componente más, dentro de un ecosistema complejo con varios sistemas interrelacionados (Gómez, 2023).

Los sistemas de producción agroindustrial presentan una marcada uniformidad que se presenta en cuatro niveles: a) genético y específico (híbridos, cultivares, clones), b) parcela (una sola especie sin vegetación espontánea), c) finca (cultivo de pocas especies en grandes extensiones) y d) regional (zonas monoespecíficas como la sojera), lo que deriva en paisajes homogéneos. Por esto y dado que la biodiversidad y la fertilidad del suelo son los factores claves que sustentan el funcionamiento de los ecosistemas (Leclère et al., 2020; Weisser et al., 2017), la agroecología propone el uso de diseños y ordenamientos espaciales y temporales de los sistemas de cultivo mediante la asociación y la rotación de especies en una misma parcela productiva (Sarandón, 2020).

La asociación de cultivos o policultivos, donde dos o más especies coexisten en un mismo lugar en parte de su ciclo (Nuñez et al., 2021), favorece las interacciones dentro del agroecosistema al generar relaciones positivas entre especies. Este tipo de práctica brinda un servicio ecosistémico de regulación e incrementa la fertilidad del suelo al mejorar su estructura y la heterogeneidad de nutrientes presentes (Bolaños, 2020). La incorporación de especies pertenecientes a diferentes familias botánicas en un mismo sistema de cultivo contribuye a una mayor biodiversidad y a la conservación de hábitats naturales. Esta diversificación, a su vez, favorece el incremento de los rendimientos agrícolas y promueve una mayor estabilidad productiva a largo tiempo (Raseduzzaman y Jensen, 2017). La presencia de diversas especies reduce la incidencia de enfermedades foliares y del suelo (Wuest et al., 2021); y facilita la regulación natural de plagas, enfermedades y malezas, que disminuyen el uso de agroquímicos (Salazar et al., 2024). La integración de diferentes especies vegetales en un mismo sistema de cultivo favorece interacciones complementarias que optimizan el uso del suelo y mejoran la eficiencia del sistema productivo. Este beneficio se expresa mediante la Relación Equivalente Tierra Total (RETT) que mide la superficie bajo policultivo necesaria para igualar los rendimientos obtenidos en monocultivo (Gliessman, 2002).

El uso de fertilizantes sintéticos en la agricultura convencional genera múltiples problemas: aumento de la salinidad, menor absorción de nutrientes, reducción de la descomposición de materia orgánica, alteraciones en los cationes intercambiables y el microbiota del suelo, así como una menor actividad metabólica vegetal (Bowden et al., 2019; Demiraj et al., 2018; Mehdizadeh et al., 2019). Además, la fertilización inorgánica en exceso produce la contaminación de fuentes de agua por lixiviación de nitratos y nitritos (Khatun et al., 2019). No obstante, cabe señalar que la fertilización orgánica también

puede contribuir a este tipo de contaminación, dependiendo de su origen y composición ya que ciertos residuos orgánicos pueden ser lixiviados (Ramos, 1995).

Los sistemas de producción agroecológica utilizan enmiendas o abonos orgánicos para incrementar la fertilidad del suelo. Estos abonos son el resultado de procesos de descomposición y mineralización de residuos vegetales, animales e industriales que aplicados al suelo pueden ayudar a mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Cervera-Mata et al*.,* 2018; Islam et al*.,* 2020). Asimismo, estas enmiendas permiten mejorar los procesos de infiltración como la capacidad de retención de agua del suelo (Lepsch et al*.,* 2019), promover la actividad microbiana y regular el pH; por lo que se consideran una importante fuente de nutrientes para el suelo y las plantas (Cesarano et al*.,* 2017; Cervera-Mata et al*.,* 2018).

El guano y la cama de pollo previamente compostados fueron aplicados como enmiendas durante siglos y su empleo constituye una alternativa viable que contribuye a aumentar la concentración de minerales, mejorando las propiedades físicas y químicas del suelo (Bogaard et al., 2013). En la provincia de Buenos Aires, Argentina, la cama de pollo o de gallina proviene de la actividad avícola generalmente ubicada en las cercanías de los campos productores de hortalizas y flores de corte (Paterlini et al., 2017). Es un residuo sólido constituido por cáscara de arroz, girasol, maní y/o viruta de madera cuya finalidad es absorber las excretas de los pollos, evitando así la formación de zonas húmedas que les puedan causar alguna enfermedad. Por lo tanto, este producto además de los materiales que la constituyen, también contiene heces, restos de alimento, agua y diferentes elementos inorgánicos y orgánicos que se acumulan y compactan durante la cría de pollos (Pellegrini et al*.,* 2022). Con relación a los macronutrientes, la cama de pollo compostada posee cantidades significativas de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), y micronutrientes como zinc (Zn) y cobre (Cu) (Pellegrini et al*.,* 2022).

En función de lo descrito se planteó el objetivo de evaluar el efecto de dos tipos de fertilización -orgánica e inorgánica- sobre el rendimiento del cultivo de remolacha y la calidad de vara floral en alelí ya sea en monocultivo o cultivos consociados; y establecer y comparar la RETT del monocultivo y del policultivo.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora (UNLZ), ubicado en Llavallol, partido de Lomas de Zamora, provincia de Buenos Aires, Argentina (34° 47’ S; 56° 28’ O). La región se caracteriza por un clima templado húmedo, con un régimen pluviométrico isohigro y precipitaciones anuales cercanas a los 1000 mm. El sitio experimental corresponde a un Argiudol típico, con drenaje moderadamente eficiente y una pendiente aproximada del 1 %. En los primeros 10 cm del perfil, el suelo presenta textura franco-limosa, una ligera acidez (pH 6,4), baja conductividad eléctrica (0,12 $mS \cdot cm^{-1}$) y un elevado contenido de materia orgánica (3,5 %) (Sokolowski et al., 2020).

El diseño experimental respondió a un esquema factorial orientado a evaluar dos factores: el sistema de cultivo y el tipo de fertilización. El primer factor incluyó tres modalidades (monocultivo de remolacha, monocultivo de alelí y policultivo de ambas especies), mientras que el segundo contempló tres niveles: fertilización orgánica, fertilización inorgánica y un tratamiento sin fertilizar. Estas combinaciones generaron nueve tratamientos en total, que incluyeron las versiones en monocultivo y policultivo de ambas especies bajo cada condición de fertilización: remolacha en monocultivo con fertilización inorgánica (TRI), remolacha en monocultivo con enmienda orgánica (TRO), remolacha en monocultivo sin fertilizar(TRT), alelí en monocultivo con fertilización inorgánica (TAI), alelí en monocultivo con enmienda orgánica (TAO), alelí en monocultivo sin fertilizar (TAT), asociación en policultivo de remolacha y alelí con fertilización inorgánica (TPI), asociación en policultivo de remolacha y alelí con enmienda orgánica (TPO), asociación en policultivo de remolacha y alelí sin fertilizar (TPT).

Se empleó un diseño completamente aleatorizado en arreglo factorial 3 × 3 con tres repeticiones por tratamiento. La preparación del suelo se realizó con un rotocultivador Husqvarna® TR430 (Husqvarna Groupo, Huskvarna, Suecia) de 0,43 m de ancho de labor. A continuación, se delimitaron 27 parcelas de 4 m^2 cada una. El trasplante de los plantines comerciales de remolacha (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris L., cv. 'Red Globe') y alelí (*Matthiola incana* (L.) R.Br.) se efectuó el 24 de mayo de 2023, utilizando material proveniente de bandejas multiceldas de 288 unidades.

La fertilización orgánica u enmienda orgánica, consistió en la incorporación de cama de pollo mezclada con residuos de cáscara de girasol, previamente compostada durante seis meses en un sistema estático sin riego. Este material procedía de un establecimiento avícola de pollos parrilleros del partido de San Antonio de Areco (Buenos Aires), acumulado tras cuatro ciclos productivos y monitoreado mediante control térmico diario durante la fase de compostaje estival. Concluida la estabilización, el compost se consideró apto para su incorporación al suelo. El fertilizante mineral empleado fue YaraMila Hydrocomplex (N–P–K: 12–4,8–15), aplicado en forma granulada.

Las parcelas de remolacha en monocultivo se estructuraron con diez hileras por unidad experimental, seis plantas por hilera y distancias entre plantas de 0,30 m entre líneas × 0,20 m dentro de las líneas. En el caso del alelí se utilizó el mismo número de hileras, con siete plantas por hilera y un espaciamiento de 0,20 m entre líneas × 0,15 m dentro de las líneas. Ambas configuraciones reflejan la densidad comúnmente utilizada por los productores locales. El policultivo se organizó en doce hileras distanciadas a 0,30 m, alternando remolacha y alelí, y manteniendo para cada especie la densidad correspondiente al monocultivo. Esto resultó en 15 plantas · m^{-2} para remolacha y 30 plantas · m^{-2} para alelí en monocultivo, y en 9 y 11 plantas · m^{-2} respectivamente en policultivo.

Una semana antes de la plantación, las parcelas correspondientes a la fertilización orgánica recibieron manualmente con pala 4,2 kg de compost (67 % de humedad). Para los tratamientos con fertilización mineral, se aplicaron 220 g de fertilizante por parcela distribuidos entre las hileras en dos momentos: a los 15 y 30 días posteriores al trasplante. Ambas dosis se definieron en función del manejo regional y del grado de degradación del suelo.

El manejo del cultivo incluyó carpidas manuales y riego con agua de red mediante manguera y flor de riego, ajustado a las necesidades hídricas de cada especie. La cosecha de remolacha se realizó a los 129 días después del trasplante, cuando las plantas alcanzaron el tamaño comercial. En cada parcela se seleccionaron tres plantas al azar y se registraron: número de hojas, área foliar (estimada mediante un método indirecto por peso), peso fresco y diámetro del tubérculo/raíz, y peso fresco y seco de la biomasa aérea. Con estos datos se estimó el rendimiento, expresado como peso fresco de la raíz por unidad de superficie ($kg \cdot m^{-2}$).

En alelí, el muestreo se efectuó cuando el 50 % de las plantas de cada parcela presentaba flores abiertas en los dos tercios basales del racimo. Se extrajeron tres plantas al azar y se midieron: altura total, longitud del pedúnculo, longitud del eje de la inflorescencia, número de hojas, área foliar (mediante método indirecto por peso, en el cual se cortaron y pesaron 3 muestras de 1 cm^2 de lámina y, a partir del peso promedio obtenido, se calculó el área foliar total con la siguiente fórmula: peso de las láminas/ peso medio de 1 cm^2) y peso fresco y seco del vástago.

Las mediciones se efectuaron con una regla normalizada y una balanza analítica digital en el Laboratorio Central de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNLZ. Para el policultivo se calculó la Relación Equivalente de Tierra Total (RETT) (Mead y Willey, 1980) definida como:

$$RETT = T_1 + T_2$$

donde: $T_1 = RP_1 / RM_1 - 1$ y $T_2 = RP_2 / RM_2 - 1$

y RP_1 y RP_2 representan los rendimientos de remolacha y alelí en policultivo, respectivamente; y RM_1 y RM_2 los rendimientos obtenidos en monocultivo. En remolacha se utilizaron valores de peso fresco, mientras que para alelí se empleó el número de varas por unidad de superficie. De acuerdo con la interpretación clásica, valores de RETT iguales a 1 indican ausencia de ventaja del policultivo, valores mayores a 1 evidencian superioridad y valores inferiores a 1 señalan desventaja.

El análisis de los datos se realizó mediante ANOVA utilizando el software InfoStat 2020. Las diferencias entre medias se evaluaron mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Para la comparación de los valores de RETT se aplicó un contraste de proporciones basado en la Distribución Exacta del Estadístico de Fisher (Di Rienzo et al., 2020). Se consideraron significativos todos los resultados con $p < 0,05$.

Resultados y discusión

Los análisis estadísticos realizados para ambas especies indicaron que no se detectaron efectos de interacción entre el sistema de cultivo (monocultivo o policultivo) y los tratamientos de fertilización (enmienda orgánica a base de cama de pollo, fertilizante mineral granulado o ausencia de fertilización). En consecuencia, la influencia de cada factor sobre las variables evaluadas se manifestó de manera independiente, lo que habilitó su interpretación y análisis por separado.

Sistema de plantación y fertilización en remolacha

A cosecha, el número promedio de hojas en remolacha por planta fue de 20, 19 y 14 para los tratamientos TRO, TRI y TRT, respectivamente, mostrando diferencias significativas entre ambos tratamientos fertilizados con el testigo. Al igual que el número de hojas, el peso fresco y seco de estas fue significativamente mayor en los tratamientos con fertilización orgánica e inorgánica con referencia al testigo, lo que podría estar asociado a un mayor recurso de nutrientes disponibles en el suelo, fundamentalmente nitrógeno, fósforo y potasio (Ijaz et al., 2023).

El área foliar no mostró diferencias significativas entre TRI (14938,39 cm^2) y TRT (10851,78 cm^2) pero sí entre estos tratamientos y TRO (22023,46 cm^2). Resultados similares fueron hallados por Kwizera et al. (2023) donde la utilización de fertilizantes orgánicos aumentó el tamaño de las hojas. La mayor área foliar en el tratamiento con fertilización orgánica podría deberse al mayor aporte de nutrientes y a la mejora de las características físicas del suelo (Orrego-Pablo et al., 2023).

El peso fresco de los tubérculos de remolacha con aplicación de cama de pollo compostada -TRO- fue superior al resto de los tratamientos (177 g). Sin embargo, sólo mostró diferencias significativas con el testigo –TRT- (114 g) y no así con TRI (163 g). El rendimiento en kilogramos de materia fresca para TRO fue 58% mayor a TRT y 27% superior a TRI siendo significativas estas diferencias. Los mayores rendimientos podrían atribuirse al aporte extra de nitrógeno de las fertilizaciones que mejoran las actividades fisiológicas en las hortalizas y, por lo tanto, la síntesis de fotoasimilados (Ikeh et al., 2015). En este sentido, análisis químicos realizados a la cama de pollo compostada muestran valores de nitrógeno y fósforo total de 1,38 % y 2,15 % respectivamente (Sokolowski, 2024).

Resultados similares para todas las variables estudiadas fueron descriptos por Kondal et al. (2024) quienes encontraron incrementos significativos en el número de hojas por planta, diámetro de tubérculos, peso fresco y peso seco del tubérculo y rendimiento de tubérculos por hectárea cuando el cultivo era fertilizado con cama de pollo compostada. Esto podría deberse a que la cama de pollo tiene una importante cantidad de nitrógeno, fósforo, potasio y también ayuda a mejorar la capacidad de retención de agua, la aireación y el estado de fertilidad del suelo. También concluyeron que la adición de este tipo de compost aumentó el contenido de macro y micronutrientes.

En remolacha, ninguna de las variables examinadas mostró diferencias estadísticamente significativas entre el cultivo en condición de monocultivo y el establecimiento en asociación con alelí (Tabla 1; Figura 1). Hallazgos comparables fueron reportados por Shanmugam et al. (2022), quienes tampoco observaron variaciones relevantes al contrastar remolacha en monocultivo con su cultivo intercalado junto a repollo (*Brassica oleracea* var. capitata L.).

Tabla 1.

Promedios de peso fresco, diámetro del tubérculo, número de hojas y área foliar de remolacha cultivada en monocultivo y en policultivo con alelí. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

	Monocultivo	**Policultivo**
Peso fresco del tubérculo (g)	148,66 a	154,00 a
Diámetro del tubérculo (cm)	6,78 a	6,81 a
Número de hojas	16,00a	18,00 a
Área foliar (cm²)	15536,89 a	16258,66 a

El peso promedio de los tubérculos de remolacha en monocultivo y policultivo no mostró diferencias significativas entre los diferentes tratamientos (tabla 2).

Tabla 2.

Valores promedio del peso fresco del tubérculo de remolacha (g) en sistemas de monocultivo y policultivo, comparados dentro de cada régimen de fertilización: enmienda orgánica (TRO), fertilización mineral (TRI) y ausencia de fertilización (TRT). Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Tratamiento	**Policultivo**	**Monocultivo**
TRT	111,07 a	118,02 a
TRI	175,83 a	150,94 a
TRO	167,18 a	186,72 a

En el sistema de monocultivo, el rendimiento de la remolacha alcanzó su valor más elevado bajo el tratamiento con fertilización orgánica (TRO), con 2,65 $kg \cdot \cdot m^{-2}$, seguido por la fertilización inorgánica (TRI), que registró 2,45 $kg \cdot m^{-2}$. El tratamiento sin ferlilizar (TRT) obtuvo 1,71 $kg \cdot m^{-2}$, valor significativamente inferior a los anteriores. En el sistema de policultivo se mantuvo la misma tendencia: TRO presentó 1,59 $kg \cdot \cdot m^{-2}$, TRI 1,47 $kg \cdot m^{-2}$ y TRT 1,03 $kg \cdot m^{-2}$.

Figura 1.

Producción de remolacha y alelí en monocultivo y consociados. a) Parcela en monocultivo de alelí en estado vegetativo. b) Cosecha de remolachas. c) Policultivo de remolacha y alelí. d) Cosecha de varas de alelí para bouquet. e) Parcela en monocultivo de remolacha. f) Parcela en monocultivo de alelí previo a la cosecha. Fuente: autores, 2023.



Sistema de plantación y fertilización en alelí

Las plantas de alelí del tratamiento TAO presentaron 54 cm de altura promedio, valor significativamente superior al resto de los tratamientos, donde TAI alcanzó los 48 cm y TAT los 46 cm. Dado que el largo de vara obtenido en todos los tratamientos no alcanzó la longitud establecida por el mercado para flor de corte, el destino principal de la producción fue la comercialización para ramos o bouquets según lo establecido por Verdugo et al. (2012).

En referencia a la longitud del pedúnculo, los datos obtenidos no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos; mientras que sí se observaron diferencias significativas en la longitud del eje de las inflorescencias donde el tratamiento con enmienda orgánica superó en 5,72 cm al TAT. El TAO mostró un incremento en la longitud total del eje de la inflorescencia de 49,80% con relación al tratamiento testigo y de 30,27% con respecto a la fertilización química.

Los valores más elevados observados en el tratamiento TAO podrían explicarse por la mayor disponibilidad de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes presentes en la cama de pollo compostada, así como por las mejoras físicas que este insumo genera en el suelo. La incorporación de materiales orgánicos

de origen aviar suele incrementar el contenido de carbono, favorecer la formación de agregados estables y aumentar la porosidad, lo que a su vez mejora la retención e infiltración de agua y facilita el crecimiento radicular (Pellegrini et al., 2022). En concordancia con ello, investigaciones en especies ornamentales de corte han demostrado que el uso de enmiendas orgánicas derivadas de aves incrementa de manera significativa la producción floral. En este sentido, en crisantemo *(Chrysanthemum morifolium* L.*)*, aplicaciones de estiércol aviar promovieron mayor número de capítulos y mayores rendimientos por unidad de superficie en comparación con fertilizantes minerales y tratamientos sin fertilización (Deep, 2019).

En el tratamiento TAI, el número medio de hojas por planta (25,67) fue significativamente superior en relación con los demás tratamientos, mientras que TAT (23,44) y TAO (25) no mostraron diferencias estadísticas entre sí. Un patrón similar se observó en el área foliar, donde TAI superó a TAO y TAT, atribuible al mayor tamaño de las hojas bajo fertilización inorgánica. Resultados comparables fueron documentados por Dixit et al. (2024) en cultivos de gladiolo (*Gladiolus* spp.), donde la fertilización orgánica y mineral influyó de manera diferenciada sobre el desarrollo foliar y el contenido de nutrientes esenciales como nitrógeno y manganeso.

En cuanto al peso fresco y seco del vástago, TAO registró los valores más altos (82 g y 10 g, respectivamente), mostrando diferencias significativas respecto de TAT (56 g y 7 g) y TAI (66 g y 8 g). El incremento observado en TAO representa un 45,6 % más en peso fresco que TAT y un 28,2 % más que TAI. Tendencias semejantes fueron reportadas en *Polianthes tuberosa* L., donde la aplicación de estiércol aviar mejoró el crecimiento vegetativo y la calidad de las varas florales en comparación con otros tipos de fertilización (Srivastava et al., 2014).

Relación Equivalente Tierra Total (RETT)

En la tabla 3 se muestran los valores de RETT para los diferentes tratamientos. En todos los casos estudiados la RETT fue menor a 1, lo cual indica que la productividad general del policultivo fue ligeramente inferior a los sistemas en monocultivo. El valor de RETT cercano a 1 (0,96) indicaría que no existe desventaja productiva significativa, lo que permite diversificar sin perder rendimiento. Al sistema de policultivo le falta sólo un 4 % de superficie para igualar los rendimientos alcanzados en el monocultivo. Resultados similares fueron obtenidos por Shanmugam et al. (2022) al investigar la influencia de la asociación de cultivos sobre la RETT en la producción de remolacha y repollo (*Brassica oleracea* var. capitata L.).

Tabla 3

Relación Equivalente Tierra Total (RETT) asociada a los tres tipos de tratamiento de fertilización. T1 y T2 indican los RET parciales correspondientes a los cultivos de remolacha y alelí por separado. Los rendimientos RP1 y RP2 reflejan la productividad de cada especie en un sistema de policultivo, mientras que RM1 y RM2 representan los rendimientos obtenidos en monocultivo para cada una de las especies.

	kg. m^{-2} de remolacha		**N° de varas de alelí. m^{-2}**		**T1**	**T2**	**RETT**
Testigo sin fertilizar	RP1	1,60	RP2	11	0,60	0,36	0,96
	RM1	2,67	RM2	30			
Enmienda orgánica	RP1	2,66	RP2	11	0,60	0,36	0,96
	RM1	4,44	RM2	30			
Fertilizante inorgánico	RP1	2,52	RP2	11	0,60	0,36	0,96
	RM1	4,21	RM2	30			

Nota. T1= RP1/RM1. T2= RP2/RM2. RETT= T1+T2

Conclusiones

Los resultados de la investigación evidencian que la fertilización orgánica mediante la aplicación de cama de pollo compostada mostró aspectos positivos dentro de las condiciones del ensayo para el crecimiento de los cultivos de remolacha y alelí. A pesar de que el peso medio de las raíces de remolacha no muestra variaciones significativas entre el mono y policultivo con alelí, la mejora en los rendimientos para ambos sistemas de plantación resalta la viabilidad de esta práctica agrícola. La RETT cercana a 1 nos indica que la asociación de estos cultivos es sostenible desde el punto de vista agronómico permitiendo diversificar la producción al incorporar el alelí de corte. Esto representa una alternativa productiva que podría contribuir a la estabilidad del cultivo y a la generación de un producto final adicional (vara floral) sin comprometer el rendimiento de la remolacha. En consecuencia, los resultados son promisorios y se recomienda realizar estudios adicionales a escalas de finca previos a recomendar su adopción tanto para la práctica de fertilización orgánica como del policultivo de especies hortícolas y florícolas, como también incorporar futuros estudios que podrían abordar este aspecto para evaluar la viabilidad económica del sistema no solo como una alternativa para el manejo de nutrientes, sino como un enfoque integral de la productividad agrícola.

Dado que el ensayo se realizó en una sola temporada y en parcelas pequeñas, futuras investigaciones deberían repetir el experimento durante al menos dos ciclos productivos, para confirmar los rendimientos observados.

Agradecimientos

El presente trabajo fue realizado en el marco del proyecto Lomas CyT FCA36, "Evaluación de técnicas agroecológicas en el cultivo de especies hortícolas y florícolas". Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Lomas de Zamora.

Referencias bibliográficas

Altieri, M. (1999). Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan–Comunidad. Montevideo. Uruguay. https://scholar.google.com/scholar?hl=esyas_sdt=0%2C5yq=Altieri%2C+M.+%281999%29.+Agroecolog%C3%ADa.+Bases+cient%C3%ADficas+para+una+agricultura+sustentable.+Editorial+Nordan%E2%80%93Comunidad.+Montevideo.+Uruguay.ybtnG=

Anders, M., Potdar, M. y Francis, C. (1996). Significance of intercropping in cropping systems. In: Dynamics of roots and nitrogen in cropping systems of the semi-arid tropics. Tsukuba: *Japan International Research Center for Agricultural Sciences.* ISBN 4-906635-01-6. https://oar.icrisat.org/4758/1/CP_1113.pdf

Belete, T. y Yadete, E. (2023). Effect of mono cropping on soil health and fertility management for sustainable agriculture practices: a review. *Journal of Plant Sciences*, 11, 192–197. https://doi.org/10.11648/j.jps.20231106.13

Bogaard, A., Fraser, R., Heaton, T., Wallace, M., Vaiglova, P., Charles, M., Jones, G., Evershed, R., Styring, A., Andersen, N., Arbogast, R., Bartosiewicz, L., Gardeisen A., Kanstrup, M., Maier, U., Marinova, E., Ninov, L., Schäfer, M. y Stephan, E. (2013). Crop manuring and intensive land management by Europe's first farmers, Proceedings of the National Academy of Sciences. 110 (31): 12589-12594. https://doi.org/10.1073/pnas.1305918110

Bolaños, E. M. (2020). Impacto de las prácticas agroecológicas sobre la conservación, incremento o interacción de servicios ecosistémicos en suelos agrícolas: Revisión de Literatura. Proyecto especial de graduación. Carrera de ambiente y desarrollo. Zamorano. Honduras.

Bowden, R., Wurzbacher, S., Washko, S., Wind, L., Rice, A., Coble, A., Baldauf, N., Wang, J., Simpson, M. & Lajtha, K. (2019). Long-term nitrogen addition decreases organic matter decomposition and increases forest soil carbon. *Soil Science Society of America Journal*, *83*, S82-S95. https://doi.org/10.2136/sssaj2018.08.0293.

Cervera-Mata, A., Pastoriza, S., Rufián-Henares, J. Á., Párraga, J., Martín-García, J. M. y Delgado, G. (2018). Impact of spent coffee grounds as organic amendment on soil fertility and lettuce growth in two Mediterranean agricultural soils. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64 (6), 790-804.https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1387651.

Cesarano, G., De Filippis, F., La Storia, A., Scala, F. y Bonanomi, G. (2017). Organic amendment type and application frequency affect crop yields, soil fertility microbiome composition. *Applied Soil Ecology*, 120, 254–264. http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.08.017.

Deep, P. (2019). Effect of organic manures on growth and flower yield of chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium* L.) (Doctoral dissertation, Haryana Agricultural University Hisar)

Demiraj, E., Libutti, A., Malltezi, J., Rroço, E., Brahushi, F., Monteleone, M. y Sulçe, S. (2018). Effect of organic amendments on nitrate leaching mitigation in a sandy loam soil of Shkodra district, Albania. *Italian Journal of Agronomy, 13*(1), 1136. https://doi.org/10.4081/ija.2018.1136.

Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, C. W. InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 2020.

Dixit, S., Pandey, A., Tiwari, H., Trivedi, H. y Singh, B. (2024). Effect of Organic Manures and Inorganic Fertilizers on Growth, Flowering and Corm Yield in Gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.) cv. Nova Lux. Ecology, Environment and Conservation Paper. https://www.envirobiotechjournals.com/EEC/Vol30FebruarySupplIssue2024/EEC-26.pdf

Gliessman, S. (2002). Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sustentable. Turrialba, Costa Rica: CATIE. Cap. 16, 229–249.

Gómez, M. En: Ayala Rocha, I. S. (Ed.). Interculturalidad. Diversidad de diversidades. 2023. Universidad Autónoma del Estado de México. Disponible en: https://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/4190

Ikeh, A., Udoh, E., Uduak, G., Udounang, P. y Etokeren, U. (2015). Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to different rates of goat and poultry manure on an ultisol. *Journal of Agriculture and Social Research (JASR)*, *12*(2), 132–139. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/370865602_RESPONSE_OF_CUCUMBER_CUCUMIS_SATIVUS_L_TO_DIFFERENT_RATES_OF_GOAT_AND_POULTRY_MANURE_ON_AN_ULTISOL

Ijaz, S., Iqbal, J., Abbasi, B., Tufail, A., Ullah, Z., Sharifi-Rad, J., Yaseen, T. y Uddin, S. (2023). Biofortification: Lessons from the past and strategies for future food security. En *Legumes biofortification*. Editors: Nadeem, M., Baloch, F., Fiaz, S., Türkiye, T., Habyarimana, E., Sönmez, O., Zencirci, N. (pp. 521-545). Cham: Springer International Publishing. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-33957-8_23

Islam, M., Khan, M. y Hossain, M. S. (2020). Effects of different levels of soil moisture and indigenous organic amendments on the yield of boro rice grown under field condition. *Dhaka University Journal of Biological Sciences*, 29(1), 87-96.

Khatun, M., Shuvo, M., Ahsanur R., Salam, M., Tafsirul B. y Rahman, S. (2019). Effect of organic amendments on soil salinity and the growth of maize (*Zea mays* L.). *Plant Science Today,* 6(2), 106–111. https://doi.org/10.14719/pst.2019.6.2.491.

Kondal, P., Kaur, R., Singh, N., Maurya, V., Sharma, A. y Kumar, D. R. (2024). Effect of organic and inorganic fertilizers on the growth, yield and quality of beetroot (Beta vulgaris L.). *Inter. J. Res. Agro*, *7*, 180-186. https://www.doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i2c.305

Kwizera, E., Opiyo, A. y Mungai, N. (2023). Effects of biochar and inorganic fertiliser on the growth and yield of beetroot (*Beta vulgaris* L.) in Kenya. *International Journal of Horticultural Science*, 37-45. https://doi.org/10.31421/ijhs/29/2023/12499.

Leclère, D., Obersteiner, M., Barrett, M., Butchart, S. H., Chaudhary, A., De Palma, A., DeClerck, F., Moreno Dimarco, J., Doelman, M., Robin Freeman, M., Tomoko H., Hellweg, S., Hilbers, J., Hill, S.,

Humpenöder, F., Jennings, N., Krisztin, T., Mace, G., Ohashi, H., Popp, A., Purvis, A., Schipper, M., Tabeau, A., Valin, H., Van Meijl, J., Van Zeist, W., Visconti, P., Alkemade, R., Almond, R., Bunting, G., Burgess, N., Cornell, S., Di Fulvio, F., Ferrier, S., Fritz, S., Fujimori, S., Grooten, M., Harwood, T., Havlík, P., Herrero, M., Hoskins, A., Jung, M., Kram, T., Lotze-Campen, H., Matsui, T., Meyer, C., Nel, D., Newbold, T., Schmidt-Traub, G., Stehfest, E., Strassburg, B., Van Vuuren, D., Ware, C., Watson, J., Wu, W. & Young, L. (2020). Bending the curve of terrestrial biodiversity needs an integrated strategy. *Nature*, *585*(7826), 551-556. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2705-y.

Lepsch, H., Brown, P., Peterson, C., Gaudin, A., y Khalsa, S. (2019). Impact of organic matter amendments on soil and tree water status in a California orchard. *Agricultural water management*, *222*, 204-212. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.06.002.

Mead, R. y Willey, R. (1980). The concept of a 'land equivalent ratio'and advantages in yields from intercropping. *Experimental agriculture*, *16*(3), 217-228. DOI: https://doi.org/10.1017/S0014479700010978.

Mehdizadeh, M., Izadi-Darbandi, E., Naseri Pour Yazdi, M. T., Rastgoo, M., Malaekeh-Nikouei, B. y Nassirli, H. (2019). Impacts of different organic amendments on soil degradation and phytotoxicity of metribuzin. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture,* 8, 113–121. https://doi.org/10.1007/s40093-019-0280-8.

Nicholls, C., Altieri, M. y Vázquez, M. (2017). Agroecología: principios para la conversión y el rediseño de sistemas agrícolas. *Agroecología*, 10(1), 61–72. https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300741

Nuñez, L., Lucatti, L. y Pietrarelli, L. (2021). Evaluación del cultivo agroecológico de maíz, poroto y zapallito en policultivo. *Nexo agropecuario*, *9*(1), 96-104. https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/33007/34234

Orrego Pablo, M. I., Fuentes Fuentes , H. E., Chinchilla García, C. F., Castro Inay , G., & Mejicano Lazo , J. E. (2023). Evaluación de gallinaza a granel en dos diferentes texturas de suelo sobre el rendimiento de papa (Solanum tuberosum L.). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *7*(2), 6424-6454. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5797

Paterlini, H., González, M. V. y Picone, L. I. (2017). Calidad de la cama de pollo fresca y compostada. Ciencia del suelo, 35(1), 69-78. https://web.archive.org/web/20220615155912id_/http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v35n1/v35n1a07.pdf

Pellegrini, M. C., Ponce, A., Okada, E., Lavallén, C. M., Dopchiz, M., Rizzo, P. F., Pérez, D., Carciocchi, W., Young, B., Young, B. J. (2022). Compostaje de la cama de pollo como procedimiento para la eliminación de microorganismos patógenos. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, INTA.

Ramos, C. (1995). La contaminación de las aguas por nitratos. El Agricultor Cualificado, 1, 43-49. https://redivia.gva.es/handle/20.500.11939/7856

Raseduzzaman, M. y Jensen, E. (2017). Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, 91, 25–33. https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.009.

Salazar, A., Pérez, A., Schoor, M. y Antonio, C. (2024). Sistemas de policultivos con especies endémicas: estrategia sostenible para mejorar el aporte nutricio a la dieta regional. *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*, 140–169. https://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas/article/view/1083

Sarandón, S. (2020). Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable. *La Plata: Editorial Universidad Nacional de La Plata.* 429 p.

Shanmugam, S., Hefner, M., Labouriau, R., Trinchera, A., Willekens, K. y Kristensen, H. (2022). Intercropping and fertilization strategies to progress sustainability of organic cabbage and beetroot production. *European Journal of Agronomy*, 140, 126590. https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126590

Srivastava, R., Preetham, S. y Satish C. (2014). Effect of Organic Manures and Biofertilizers on Vegetative, Floral and Post Harvest Attributes in Tuberose (*Polianthes tuberosa*) var. Shringar. *Asian Journal of Biological and Life Sciences*, 2014, 3, 1, 6-9.

Sokolowski, A. C., Paladino, R. I., Rodriguez, H. A, De Grazia, J. (2020). Avances en la caracterización edafoclimática de un sector de la Reserva Santa Catalina, Lomas de Zamora. 7. 55-68. https://www.researchgate.net/publication/342834204_Avances_en_la_caracterizacion_edafoclimatica_de_un_sector_de_la_Reserva_Santa_Catalina_Lomas_de_Zamora

Sokolowski, A. C. (2024). La salud del suelo en la horticultura periurbana del Área Metropolitana de Buenos Aires: diagnóstico en producciones hortícolas familiares y experimentación a campo. Programa Oficial de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal. Universidade Da Coruña.

Verdugo, G., Biggi, A., Montesinos, A., Chain, G. y Soriano, C. (2012). Manual teórico práctico para la poscosecha de flores. Valparaíso: Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Weisser, W., Roscher, C., Meyer, S., Ebeling, A., Luo, G., Allan, E., Wolfgang W., Barnard, R., Buchmann, N., François, B., Engels, C., Fischer, C., Fischer, M., Gessler, A., Gleixner, G., Halle, S., Hildebrandt, A., Hillebrand, H., de Kroon, H., Lange, M., Leimer, S., Le Roux, X., Milcu, A., Mommer, L., Niklaus, P., Oelmann, Y., Proulx, R., Jacques, R., Scherber, C., Scherer-Lorenzen, M., Scheu, S., Tscharntke, T., Wachendorf, M., Wagg, C., Weigelt, A., Wilcke, W., Wirth, C., Schulze, E., Schmid, B., Eisenhauer, N., . & Eisenhauer, N. (2017). Biodiversity effects on ecosystem functioning in a 15-year grassland experiment: Patterns, mechanisms, and open questions. *Basic and applied ecology*, *23*, 1-73. https://doi.org/10.1016/j.baae.2017.06.002

Wuest, S. E., Peter, R. y Niklaus, P. A. (2021). Ecological and evolutionary approaches to improving crop variety mixtures. *Nature Ecology y Evolution*, 5(8), 1068-1077.https://doi.org/10.1038/s41559-021-01497-x.