

## **Biofertilizantes regionales y mantenimiento de la salud edáfica en sistemas hortícolas con manejo agroecológico consolidado**

### **Regional biofertilizers and maintenance of soil health in horticultural systems with consolidated agroecological management**

**Dr. Gajardo, Omar Ariel**

Complejo Universitario Regional Zona Atlántica y Sur (CURZAS)  
Universidad Nacional del Comahue (UNComa)

[malezas@curza.uncoma.edu.ar](mailto:malezas@curza.uncoma.edu.ar)

<http://orcid.org/0000-0002-4872-9234>

**Esp. Avilés, Lucrecia**

CURZAS - UNComa

[lucrecia.aviles@curza.uncoma.edu.ar](mailto:lucrecia.aviles@curza.uncoma.edu.ar)

<http://orcid.org/0000-0002-3383-1324>

**Mgtr. Doñate, Teresa**

CURZAS - UNComa

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Estación Experimental Valle Inferior

<https://orcid.org/0000-0002-7122-4103>

## **RESUMEN**

Partiendo de los tres principios básicos de la agroecología: reciclaje, regeneración y cuidado del suelo y, con un enfoque territorial, surgió la necesidad de evaluar una estrategia de fertilización en base a insumos regionales para horticultura. Se evaluó el efecto de fertilizantes biológicos sobre el rendimiento del cultivo de lechuga y la calidad del suelo. Se realizaron dos ensayos en un invernadero con historial agroecológico. En el ensayo 1 los tratamientos fueron Testigo vs Biofertilizante a base de harina de pescado y en el ensayo 2: Biofertilizante a base de harina de pescado, Biofertilizante de cama de cerdos y biofertilizante comercial. Se evaluó la producción de lechuga, las condiciones biológicas del suelo (respiración, actividad deshidrogenasa y actividad estearasa) y la fertilidad de este. Todas las variables presentaron valores similares. Esto podría deberse al sistema de manejo consolidado con excelente condición de fertilidad del suelo.

**Palabras clave:** respiración edáfica; fertilidad del suelo; *Lactuca sativa*.

## **ABSTRACT**

Based on the three basic principles of agroecology: recycling, regeneration and soil care, and with a territorial approach, the need arose to evaluate a fertilisation strategy based on regional inputs for horticulture. The effect of biological fertilisers on lettuce crop yield and soil quality was assessed. Two essays were conducted in a greenhouse with an agroecological history. In essay 1 the treatments were Control vs Fishmeal-based Biofertiliser and in essay 2: Fishmeal-based Biofertiliser, Pig Manure Biofertiliser and commercial biofertiliser. Lettuce production,

soil biological conditions (respiration, dehydrogenase activity and esterase activity) and fertility were assessed. All variables showed similar values. This could be due to the consolidated management system with excellent soil fertility conditions.

**Keywords:** soil respiration ; soil fertility; *Lactuca sativa*

## INTRODUCCIÓN

En Argentina, la lechuga (*Lactuca sativa*) es la hortaliza de hoja más producida en los sistemas bajo cubierta (Ministerio de Economía, 2023). Su producción se concentra en los cinturones hortícolas cercanos a las principales ciudades del país. Esto permite acortar el tiempo de transporte para evitar la pérdida de calidad de la hortaliza que es altamente perecedera (Cagigas, 2018). La superficie cultivada alcanza las 15.000 hectáreas que producen aproximadamente 300.000 toneladas (Producción de lechuga en Argentina, Ministerio de Economía, 2023).

Partiendo de los tres principios básicos de la agroecología: el reciclaje, la regeneración y el cuidado del suelo y, con un enfoque territorial y de integración al paisaje, surgió la necesidad de evaluar una estrategia de fertilización en base a insumos regionales para horticultura. Los biofertilizantes, por ejemplo, abordan integralmente la fertilidad del suelo: biológica, física y química para aprovechar los beneficios de los microorganismos presentes, establecer una relación simbiótica entre las plantas y potenciar su desarrollo.

Por su parte en los sistemas de producción convencionales el manejo del suelo se caracteriza por el exceso de laboreo (se llega a preparar el suelo hasta 5 veces por año) con un elevado uso de fertilizantes (Andreau et al., 2017). En cambio, en sistemas agroecológicos el uso de enmiendas orgánicas y/o biofertilizantes son prácticas que permitirían mejorar la sustentabilidad por sus efectos positivos sobre la fertilidad del suelo (Sánchez-LLevat et al., 2022; Mamani, 2023). Para ello se pueden aplicar biopreparados líquidos, de digestión anaeróbica, o sólidos como el compost que pueden ser obtenidos a partir de insumos disponibles en la zona o adquirirse en el mercado listos para ser utilizados. Para elaborarlos se pueden utilizar diferentes insumos tales como: estiércol bovino, restos de cama profunda porcina, residuos de cultivos, entre otros (Pellejero, 2013; Blazquez 2020; Ortiz Mackinson et al., 2022) evitando así la acumulación de estos residuos en el ambiente y su efecto contaminante.

En este contexto, cobra especial relevancia el concepto de suelo agroecológico consolidado. Se define como aquel sistema edáfico que, tras un período prolongado de manejo bajo principios de

la agroecología, ha alcanzado un estado de homeostasis biológica y estabilidad estructural. En estos suelos, la continua supresión de síntesis química y el aporte sostenido de materia orgánica permiten la conformación de redes tróficas complejas y una alta capacidad de resiliencia. Un sistema consolidado se caracteriza por una fertilidad integral estabilizada, donde el equilibrio funcional puede derivar en una respuesta moderada a la fertilización externa inmediata, debido a la eficiencia en el ciclado de nutrientes y la suficiencia de las reservas biológicas preexistentes.

Los procesos de ciclado de nutrientes son llevados a cabo principalmente por microorganismos, por ello medir la actividad biológica del suelo es importante para entender las modificaciones que se producen al incorporar diferentes fuentes de nutrientes (Aruani et al., 2008).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes fertilizantes biológicos sobre la calidad química y biológica de los suelos en cultivo de lechuga bajo cubierta y el rendimiento del mismo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El Valle Inferior de Río Negro (VIRN) se ubica al SE de la provincia de Río Negro, Argentina (40° latitud sur y 63° longitud oeste), en el margen sur del río homónimo. El clima en la región es semiárido mesotermal, registrándose una precipitación media anual de 394 mm y temperatura media anual de 14,2 °C. Es una zona fértil, con suelos de textura fina a media.

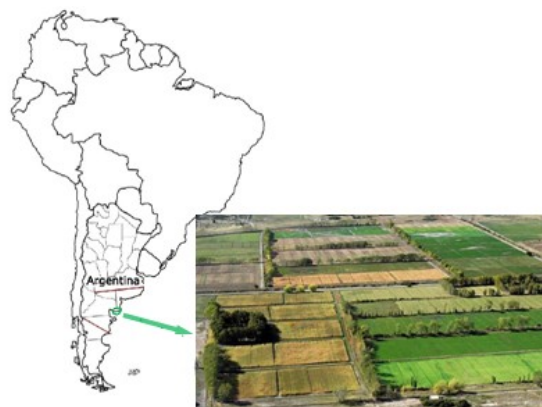


Figura 1. Ubicación geográfica del VIRN

Figure 1. Geographic location of LVNR

## Preparación del biofertilizante de harina de pescado

En este trabajo se preparó un biofertilizante líquido de digestión anaeróbica a base de harina de pescado. En una primera etapa se activaron los microorganismos sólidos en un tambor de 200 L con trampa de gases (5 kg de silo de maíz + 5 kg de azúcar + 5 L de suero de leche + 180 L de agua). Luego de fermentarlo por 7 días se retiró la bolsa que contenía el ensilado de maíz y se agregaron 7 kg de harina de pescado (Fig. 2). El producto obtenido luego de la filtración por un lienzo alcanzó un pH 3,32; contenido de nitrógeno de 2,3 g/L y de fósforo de 0,21 g/L.

### **Preparación del biofertilizante de cama de cerdo**

Se mezclaron 50 kg la bosta de cerdo con un 1kg de ceniza de madera y tierra de diatomeas, y 100 g de cáscara de huevo molida. La mezcla se homogeneizó con pala y luego colocó en un pozo con una tapa de madera y se cubrió con pasto para que conserve la temperatura. Se dejó fermentar en condiciones aeróbica durante 90 días. Para su aplicación se diluyó 1 kg del fermento en 100 L de agua, se filtró y se aplicó sobre el suelo.



Figura 2. Preparación del biofertilizante a base de harina de pescado  
Figure 2. Preparation of fishmeal-based biofertilizer

### **Ensayo 1**

El 30 de mayo de 2023 se trasplantaron en 4 bancales de 2,00x0,80 m los plantines de lechuga cv. crespa Gran Rapid con una densidad de 30 pl/m<sup>2</sup> en un invernadero con historial agroecológico de más de 15 años. Las plantas se regaron por goteo con una frecuencia semanal. Cada bancal se dividió en dos parcelas de 0,80x0,80 m donde se realizaron los tratamientos:

Testigo y Biofertilizante: 3 aplicaciones con un intervalo de 7 días del biopreparado al 3% (6,25 L/m<sup>2</sup> cada una). Al momento de la cosecha (80 días después del trasplante, Fig. 3) se evaluó la producción de lechuga (Fig. 3) y se tomaron muestras de los primeros 5 cm del suelo para determinar las condiciones biológicas del mismo (respiración edáfica, actividad deshidrogenasa y actividad estearasa) y la fertilidad (pH, nitrógeno total, fósforo disponible y potasio).



Figura 3. Cultivo de lechuga del ensayo N1 (26 julio 2023)

Figure 3. Lettuce crop from assay N°1 (July 26, 2023)

## Ensayo 2

El 5 de Junio de 2024 se trasplantaron en 4 bancales de 3,00x0,80 m los plantines de lechuga cv. mantecosa Tizona con una densidad de 30 pl/m<sup>2</sup> en un invernadero con historial agroecológico de más de 16 años. Las plantas se regaron por goteo con una frecuencia semanal. Cada bancal se dividió en tres parcelas de 0,80x0,80 m donde se realizaron los tratamientos de fertilización: biofertilizante de harina de pescado, compostaje de cama de cerdos y fertilizante comercial (Bio Organutsa). Al momento de la cosecha (80 días después del trasplante, Fig. 4) se evaluó la producción de lechuga y se tomaron muestras de los primeros 5 cm del suelo para determinar las condiciones biológicas del mismo (respiración edáfica, actividad deshidrogenasa y actividad estearasa) y la fertilidad (pH, nitrógeno total, fósforo disponible y potasio).



Figura 4. Cultivo de lechuga del ensayo N2 (agosto 2024)

Figure 4. Lettuce crop from trial N°2 (August 2024)

### **Variables evaluadas**

Producción de lechuga: biomasa fresca aérea ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ )

Fertilidad del suelo: pH (en solución 1:2,5), nitrógeno total por Kjeldahl, fósforo disponible por método de Olsen y potasio asimilable por espectrometría de llama.

Indicadores biológicos: Sobre las muestras húmedas de suelo se determinó la respiración microbiana del suelo, la actividad de la deshidrogenasa y la actividad de la esterasa. Para la primera se incubaron 100 g de suelo húmedo, tamizado con malla de 2 mm, con 25 mL de NaOH (0,25 M) por 7 días en oscuridad a temperatura ambiente. Posteriormente, se titularon 10 mL del hidróxido con HCl (0,10 M) usando fenolftaleína como indicador. El dióxido de carbono producido se cuantificó comparándolo con un blanco sin suelo (Alef, 1995). La actividad de la deshidrogenasa se determinó incubando 3 g de suelo húmedo con 0,5 mL de trifeniltetrazolium (TTC) a 37 °C por 24 h. El producto de la hidrólisis se extrajo con tres lavados con alcohol y se llevó a 50 mL. La concentración de trifenilformazan (TPF) se determinó por absorbancia a 480 nm (Casida et al., 1964). La actividad de la esterasa se obtuvo incubando 1 g de suelo húmedo en 7,5 mL de buffer fosfato con pH de 7,2 y 0,2  $\mu\text{L}$  de fluoresceína diacetato ( $1 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  de FDA) por 30 min a 30 °C. La reacción se detuvo con 7,5 mL de acetona, y la fluoresceína liberada se cuantificó por absorbancia a 490 nm (Alef, 1995).

Las variables analizadas fueron comparadas mediante ANOVA y test LSD ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS

### Ensayo 1

Todas las variables evaluadas presentaron valores similares (Tabla 1). Sin embargo, se observó una tendencia positiva en el rendimiento del cultivo con la aplicación del biofertilizante (16 %). Estos resultados sugieren que el suelo estaría operando en su máxima capacidad, donde las redes tróficas están activas y funcionales, el ciclado de los nutrientes y los microorganismos del suelo han alcanzado el equilibrio dinámico esperado en sistema agroecológico.

Tabla 1. Rendimiento del cultivo y condiciones edáficas al momento de la cosecha (Ensayo 1)  
Table 1. Crop yield and soil conditions at harvest (Assay 1)

Matriz	Variable	Testigo*	Biofertilizante
Lechuga	Biomasa (kg/m <sup>2</sup> )	4,69 ± 0,32 ns	5,46 ± 0,24
Condiciones biológicas del suelo	Respiración edáfica (mg CO <sub>2</sub> /100 g)	246 ± 32 ns	298 ± 35
	Actividad deshidrogenasa (mg TTC/g)	22,11 ± 0,12 ns	20,83 ± 0,23
	Actividad estearasa (µg FDA/g)	14,721 ± 1,005 ns	14,235 ± 1,308
Fertilidad del suelo	pH en solución (1:2,5)	8,29 ± 0,06 ns	8,35 ± 0,03
	Nitrógeno total (g/100g)	0,21 ± 0,00 ns	0,21 ± 0,01
	Fósforo disponible (mg/kg)	63,5 ± 8,6 ns	55,7 ± 5,0
	Potasio asimilable (mg/kg)	364,9 ± 42,7 ns	436,6 ± 28,4

Los datos corresponden al promedio de 4 repeticiones ± EE ns = no significativa según ANOVA (p < 0,05)

### Ensayo 2

No se observaron diferencias en ninguna de las variables evaluadas (Tabla 2). Los tres biofertilizantes evaluados presentaron rendimientos similares (6,57±0,26 kg/m<sup>2</sup>). La similitud con el biofertilizante comercial demuestra que los insumos locales son una alternativa técnica y económicamente viable para mantener la productividad. Estos resultados confirman lo observado en el Ensayo 1, el suelo del invernadero del módulo agroecológico estaría consolidado y biológicamente activo.

El aporte anual de biofertilizantes sería de importancia para el mantenimiento de la salud del suelo que se encuentra consolidado luego de 16 años de manejo agroecológico.

Tabla 2. Rendimiento del cultivo y condiciones edáficas al momento de la cosecha (Ensayo 2)

Table 2. Crop yield and soil conditions at harvest (Assay 2)

Matriz	Variable	Biofertilizante de pescado	Biofertilizante de cama de cerdo	Fertilizante comercial
Lechuga	Biomasa (kg/m <sup>2</sup> )	6,57 ± 0,31	6,64 ± 0,21	6,50 ± 0,26
	Respiración edáfica (mg CO <sub>2</sub> /100 g)	219 ± 27 ns	272 ± 13	249 ± 30
Condiciones biológicas del suelo	Actividad deshidrogenasa (mg TTC/g)	18,178 ± 1,042 ns	18,368 ± 2,210	17,672 ± 2,866
	Actividad estearasa (µg FDA/g)	12,710 ± 3,524 ns	12,855 ± 1,319	11,666 ± 1,420
Fertilidad del suelo	pH en solución (1:2,5)	8,12 ± 0,17 ns	8,00 ± 0,06	8,11 ± 0,14
	Nitrógeno total (g/100g)	0,19 ± 0,01 ns	0,17 ± 0,02	0,13 ± 0,03
	Fósforo disponible (mg/kg)	50,2 ± 3,1 ns	50,6 ± 1,4	51,0 ± 1,2
	Potasio asimilable (mg/kg)	696,9 ± 46,7 ns	696,7 ± 32,4	710,0 ± 23,7

Los datos corresponden al promedio de 4 repeticiones ± EE ns = no significativa según ANOVA (p < 0,05)

El rendimiento de los cultivos en ambos ensayos resultó similar a los obtenidos en un sistema de producción convencional (5-7 kg/m<sup>2</sup>).

Resultados similares se obtuvieron en un ensayo realizado en la Comarca Andina del Paralelo 42° donde se evaluaron diferentes biofertilizantes sobre cultivo de papa sin hallar diferencias en el rendimiento ni en la respiración edáfica entre los tratamientos y el testigo sin fertilizar. El autor infiere que estos resultados se deben a la buena condición de fertilidad del suelo bajo ensayo (Sánchez, 2022).

En un ensayo en el campo experimental de la UNLu se evaluó el efecto del momento de aplicación de un biofertilizante a base de la bacteria *Azospirillum* sobre el rendimiento de lechuga comparado con un testigo sin fertilizar. No hubo diferencias entre tratamientos; el autor también lo atribuye a la óptima condición de fertilidad del suelo (Domínguez, 2023).

Otros autores de la Comarca Andina evaluaron el impacto de dos biofertilizantes derivados de microorganismos de montaña sobre la colonización micorrícica y el rendimiento de lechuga en dos establecimientos productivos: uno agroecológico y otro convencional. No hubo diferencias en el rendimiento entre tratamientos, pero los biofertilizantes aumentaron considerablemente la colonización micorrícica en el sistema agroecológico y la disminuyeron en el convencional (Mestre et al. 2024). Este resultado permite observar que el efecto positivo del uso de biofertilizantes puede estar asociado a variables de fertilidad biológica cuyo impacto no siempre es directamente observable en una temporada de cultivo.

También podemos observar que existe una interacción suelo-fertilizante que modula los efectos observados por los biofertilizantes en un ensayo en invernáculo del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur en el que se comparó el efecto de urea, estiércol bovino fresco y digerido anaeróbico de estiércol bovino con un testigo. Los rendimientos fueron mayores con estiércol fresco y digerido que con urea en suelo arenoso y similares en suelo franco (Blazquez, 2020). Estos resultados refuerzan la falta de diferencias observadas en nuestros Ensayos donde la textura es franco arcillosa.

Por otro lado, Stardner (2021) y Ortiz Mackinson et al. (2022) obtuvieron mayor rendimiento en lechuga como resultado de la aplicación de Bio Organutsa y compost de cama profunda porcina, respectivamente. El primer autor realizó su ensayo en un suelo con alto contenido de materia orgánica y nitrógeno, pero deficiente en disponibilidad de fósforo.

De acuerdo con los trabajos consultados los resultados de los ensayos realizados podrían no haber presentado diferencias debido a que el suelo donde se realizaron corresponde a un invernadero con manejo agroecológico de más de 15 años, haciendo que el mismo presente una alta fertilidad, buena aireación, textura fina y actividad biológica elevada.

## CONCLUSIÓN

Los resultados observados podrían deberse al sistema de manejo consolidado con excelente condición de fertilidad del suelo producto de 16 años de trabajo agroecológico. Sin embargo, siempre es conveniente el aporte de microorganismos al suelo para el mantenimiento de la condición de salud del suelo (física, química y biológicamente sano).

Los biofertilizantes regionales (harina de pescado, cama de cerdo) actúan como aseguradores del ciclado de nutrientes a largo plazo. Esta práctica de incorporación de fertilizantes biológicos debiera ser una metodología promovida entre los productores hortícolas para la sustentabilidad del sistema.

## Referencias

- Alef, K. 1995. Estimation of the hydrolysis of fluorescein diacetate. (p.: 232-233). In: Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Ed. Alef, K.; Nannipieri, P. Academic Press Inc., San Diego. 575 p.
- Aruani, M. C., Gili, P., Fernández, L., González Junyent, R., Reeb, P., y Sánchez, E. 2008. Utilización del nitrógeno en diferentes manejos de fertilización en lechuga (*Lactuca sativa* L.) y su efecto sobre algunas variables biológicas del suelo, Neuquen - Argentina. Agro Sur, 36(3), 147–157. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2008.v36n3-04>
- Blazquez, A. B. 2020. Digerido anaeróbico de estiércol bovino como sustituto de la fertilización sintética: su efecto sobre el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Trabajo de Intensificación de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional del Sur. <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4743>
- Cagigas, J.M. 2018. El cultivo de lechuga en La Plata: posibilidades de implementación de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en establecimientos del Cinturón Hortícola Platense. Trabajo Final. Universidad Nacional de La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/71457>
- Casida, L.E.; Klein, D.A. y Santoro, T. 1964. Soil dehydrogenase activity. Soil Science. 98, 371-376.
- Domínguez, M. A. 2023. Efecto del momento de aplicación de un biofertilizante obtenido en base a *Azospirillum* sp. sobre la producción de lechuga mantecosa (*Lactuca sativa* L. var. Capitata). Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Luján. <http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/2539>
- Mamani, A. 2023. Biofertilizantes a base de microorganismos beneficiosos y materia orgánica: una revisión sistemática. Revista Acciones Médicas, 2(4), 43-55.
- Mestre, M. C., Fioroni, F., Heinzle, L.; Sisón-Cáceres, L., Cardozo, A., Chillo, V., El Mujtar, V., y Fernández, N. 2024. Efecto de biofertilizantes a base de microorganismos de montaña sobre la colonización micorrícica y el rendimiento de lechuga y zanahoria, en la Patagonia argentina. Siembra: 11(2), e6815. <https://doi.org/10.29166/siembra.v11i2.6815>
- Ortiz Mackinson, M., Bonel, B., Rotondo, R., Grasso, R., Balaban, D. M., y Vita Larrieu, E. 2022. Utilización de compost de cama profunda porcina como abono orgánico en un sistema productivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a campo. Ciencias Agronómicas: (40), e023. <https://doi.org/10.35305/agro40.e023>

- Pellejero, G. 2013. Compostaje de residuo de cebolla (*Allium cepa* L) generado en la planta de empaque y su aplicación agronómica en el valle inferior del río Negro. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur.  
<http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2733>
- Sánchez, P. 2022. Evaluación de la aplicación de biofertilizantes como herramienta para el manejo de la nutrición de cultivos en sistemas agroecológicos. Tesis de grado. Universidad Nacional de Río Negro. <http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/11256>
- Sánchez-Llevat, I. L., Fuerte-Góngora, L., Ravelo-Ortega, R., & Ávila-García, O. 2022. Estado del arte de los biopreparados por digestión anaerobia como biofertilizantes y bioestimulantes. *Ingeniería Agrícola*, 12(4).  
<https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1635>
- Stradner D. 2021. Potencialidad de *Vicia faba* L. como fertilizante nitrogenado natural en planteos de producción vegetal orgánico en la Comarca Andina del paralelo 42. Tesis de grado. Universidad Nacional de Río Negro.  
<http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/7076>