

## Soil quality in garlic crops under agroecological transition at Río Negro, Argentina

### Calidad del suelo en el cultivo de ajo en transición agroecológica en Río Negro, Argentina

Lucrecia Avilés<sup>1,3\*</sup>; Ariel Gajardo<sup>1,3</sup>; Laura Navarro<sup>1,3</sup>; Silvia Canón<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Comahue, Centro Universitario Regional Zona Atlántica Ayacucho y Esandi. Viedma, Río Negro, C. P. 8500, ARGENTINA.

<sup>2</sup>Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (Cezos – Conicet). Camino La Carrindanga km 7, Bahía Blanca, Buenos Aires, C. P. 8000, ARGENTINA.

<sup>3</sup>Unidad Integrada para la Innovación del Sistema Agroalimentario de la Patagonia Norte. Camino 4, Río Negro, C. P. 8500, ARGENTINA.

\*Corresponding author: malezas@curza.uncoma.edu.ar, tel. 54 29 20 54 85 63.

#### Abstract

**Introduction:** Agroecological transition is the adoption of different practices that tend towards sustainable agriculture, among which the substitution of synthetic inputs by alternative or organic ones stands out.

**Objective:** To evaluate the changes in the physicochemical and biological quality of soils fertilized with onion residue compost and cattle manure in a garlic crop.

**Methodology:** Three sources of fertilization were tested in a garlic crop with gravity irrigation: 1) compost of onion residues with cattle manure, 2) monoammonium phosphate and 3) compost and monoammonium phosphate. Five soil samples were taken on different dates and soil respiration, esterase and dehydrogenase activity, and fertility were determined.

**Results:** Similar garlic yields were obtained with the different fertilization sources. In composted soils, electrical conductivity and sodium absorption ratio decreased, but increased until reaching similar values to the soil that received mineral fertilization.

**Limitations of the study:** The agroecological transition proposal is sustainable if compost production is carried out on the same site.

**Originality:** The use of compost from onion production residues and cattle manure is proposed as an alternative for the reduction of synthetic inputs in the production of morado garlic.

**Conclusions:** The use of composted residues from the previous cycles production proved to be a sustainable alternative for the agroecological transition of morado garlic crops with gravity irrigation in the lower valley of Río Negro.

**Keywords:** *Allium sativa*, salinity, fertility, soil respiration, enzymatic activity.

#### Resumen

**Introducción:** La transición agroecológica es la adopción de diferentes prácticas que tienden a una agricultura sostenible, entre las cuales destaca la sustitución de insumos sintéticos por otros alternativos u orgánicos.

**Objetivo:** Evaluar los cambios en la calidad físico-química y biológica de los suelos abonados con compostaje de residuos de cebolla y estiércol bovino en un cultivo de ajo.

**Metodología:** En un cultivo de ajo con riego gravitacional se probaron tres fuentes de fertilización: 1) compostaje de residuos de cebolla con estiércol bovino, 2) fosfato monoamónico y 3) compostaje más fosfato monoamónico. Se tomaron cinco muestras suelo en fechas diferentes y se determinó la respiración edáfica, la actividad de la esterasa y la deshidrogenasa, y la fertilidad.

**Resultados:** Se obtuvieron rendimientos similares de ajo con las diferentes fuentes de fertilización. En los suelos con compostaje disminuyeron la conductividad eléctrica y la relación de absorción de sodio, pero fueron aumentando hasta alcanzar valores similares al suelo que recibió fertilización mineral.

**Limitaciones del estudio:** La propuesta de transición agroecológica resulta sustentable si la producción del compostaje se realiza en el mismo establecimiento.

**Originalidad:** Se propone el uso de compostaje de los residuos de la producción de cebolla y estiércol bovino como alternativa para la reducción de insumos sintéticos en la producción de ajo morado.

**Conclusiones:** La aplicación de compostaje de residuos de la producción de ciclos anteriores resultó una alternativa sustentable para la transición agroecológica del cultivo de ajo morado con riego gravitacional en el valle inferior del río Negro.

**Palabras clave:** *Allium sativa*, salinidad, fertilidad, respiración edáfica, actividad enzimática.

## Introduction

In 2019, Argentina was the third largest garlic exporting country in the world, after China and Spain (Fernandez, 2019). Currently, 12 clonal cultivars of five commercial types of *Allium sativum* are produced in the country; all of temperate or cool temperate climate, mainly intended for the fresh market. These cultivars have a yield 30 to 50 % higher than original populations, and provide a wide offer for external markets, both in quality and time (Burba et al., 2005). The increase in the cultivated area of morado garlic proved to be significant over traditional cultivars, coming to represent 53 % of production at the province of Mendoza, with yields of 11.36 and 12.38 t·ha<sup>-1</sup> in the 2017 and 2018 growing seasons, respectively (Fernandez, 2019). In 2015, the first commercial plantations of morado garlic were carried out in the lower valley of Río Negro (LVRN), with a sustained increase in the area cultivated with conventional management and high agrochemical load.

The traditional management of horticultural production is being questioned by consumers, who demand environmentally friendly practices from producers, such as a reduction in the use of agrochemicals, efficient use of irrigation water, and implementation of cover crops, among others. This forces them to consider sustainable production, as well as to gradually adapt management to technologies aimed at improving the productive quality of soils. Agroecology is characterized by taking advantage of the natural processes of interactions that occur in an orchard to reduce external inputs and improve the biological efficiency of cropping systems (Sarandón & Flores, 2014). The use of organic fertilizers is an alternative for agricultural production, which has two benefits: it improves soil fertility and recycles the previous season's waste. Composted organic material is not only a source of macro and micronutrients, but it also improves soil characteristics such as aeration, water holding capacity, bulk density, aggregation, cation exchange capacity and microflora activity (Paterlini et al., 2019).

The ecological transition to sustainable agriculture occurs in several phases: 1) progressive elimination of agrochemicals, 2) substitution of synthetic inputs for alternative or organic ones, and 3) redesign of agroecosystems with a diversified and functional infrastructure to generate systems that do not require external inputs. These phases tend to ensure an increase in agroecosystem biodiversity, biomass production and soil organic matter content, the establishment of functional and complementary relationships between the various components of the productive system, and optimal planning of sequences and combinations of crops and animals; this leads to

## Introducción

En 2019, Argentina fue el tercer país exportador de ajo en el mundo, luego de China y España (Fernández, 2019). Actualmente, en el país se producen 12 cultivares clonales de cinco tipos comerciales de *Allium sativum*; todos de clima templado o templado frío, destinados principalmente al mercado de productos frescos. Dichos cultivares tienen un rendimiento de 30 a 50 % mayor que sus poblaciones originales, y brindan una amplia oferta para los mercados externos, tanto en calidad como en tiempo (Burba et al., 2005). El incremento de la superficie cultivada de ajo morado resultó ser significativo en detrimento de los cultivares tradicionales, llegando a representar el 53 % de la producción en la provincia de Mendoza, con rendimientos de 11.36 y 12.38 t·ha<sup>-1</sup> en las temporadas 2017 y 2018, respectivamente (Fernández, 2019). En 2015, se realizaron las primeras siembras comerciales de ajo morado en el valle inferior de río Negro (VIRN), con un aumento sostenido de la superficie cultivada con manejo convencional y alta carga de agroquímicos.

El manejo convencional de la producción hortícola está siendo cuestionado por los consumidores, quienes exigen a los productores prácticas amigables con el ambiente, como la disminución en el uso de agroquímicos, el uso eficiente del agua de riego, la implementación de cultivos de cobertura, entre otras. Esto obliga a plantear una producción sostenible, así como a adaptar los manejos de forma gradual a tecnologías tendientes a mejorar la calidad productiva de los suelos. La agroecología se caracteriza por aprovechar los procesos naturales de las interacciones que se producen en una huerta con el fin de reducir los insumos externos y mejorar la eficiencia biológica de los sistemas de cultivo (Sarandón & Flores, 2014). En este sentido, la aplicación de abonos orgánicos es una alternativa para la producción agrícola, y que presenta dos beneficios: mejora la fertilidad del suelo y recicla los desechos de la temporada anterior. El material orgánico compostado no sólo es una fuente de macro y micronutrientes, también mejora las características del suelo como la aireación, la capacidad de retención de agua, la densidad aparente, la agregación, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad de la microflora (Paterlini et al., 2019).

La transición ecológica hacia una agricultura sostenible ocurre en varias fases: 1) eliminación progresiva de agroquímicos, 2) sustitución de insumos sintéticos por otros alternativos u orgánicos y 3) rediseño de los agroecosistemas con una infraestructura diversificada y funcional para generar sistemas que no requieran insumos externos. Estas fases tienden a asegurar un aumento en la biodiversidad del agroecosistema, la producción de biomasa y el contenido de materia orgánica del suelo, el establecimiento de relaciones

the efficient use of local resources (Seba et al., 2017). The producers of the LVRN agroecological collective are in the first phase of the agroecological transition, for which they have tried different sources of fertilization (composting of previous crop residues, bocashis, vermicompost, among others), have reduced the doses of herbicides for weed control, and have developed links between consumers and producers.

Doran and Parkin (1994) defined soil quality as “the ability of soil to function within ecosystem boundaries to attenuate environmental and pathogenic contaminants, sustain animal and plant productivity, and ensure human health”. Soil quality comprises the physical, chemical, and biological components of soil and their interactions; therefore, they need to be assessed together (Ghaemi et al., 2014).

Horticulture in the LVRN, Argentina, is characterized by the specialized production of onion and squash, with the rest of the vegetables being part of a group identified as “miscellaneous vegetables”. The group of diversified productions is carried out by small producers to supply, especially, local markets and the municipal fair. However, in recent years, garlic production, with the incorporation of the cultivar Morado INTA, has gained relevance in terms of sown area.

Because of the increase in the area of morado garlic in the region and the ecological transition initiated by horticultural producers in the LVRN, the purpose of this study was to evaluate the changes in the physicochemical and biological quality of soils fertilized with composted onion production waste and cattle manure for the production of morado garlic.

## Materials and methods

### Study site

The LVRN is located at 40° south latitude and 63° west longitude, on the southern bank of the Negro river in Argentina. The climate in the region is semi-arid mesothermal, with an average precipitation of 394 mm and a mean annual temperature of 14.2 °C. It is a fertile area, with fine to medium textured soils, and has a network of canals for irrigation water supply.

This study was carried out during the 2019 growing season in a plot with gravity irrigation located at the Chacra Experimental de la Unidad Integrada para la Innovación del Sistema Agroalimentario de la Patagonia Norte (UIISA), in the LVRN, Argentina, where onion was grown the previous year. The soil of the experimental site is clay loam, with a pH of 7.9, electrical conductivity (EC) of 1.2 dS·m<sup>-1</sup>, 4.75 % organic matter (OM) and 0.9 % total nitrogen (N).

funcionales y complementarias entre los diversos componentes del sistema productivo, y a una óptima planificación de secuencias y combinaciones de cultivos y animales; esto conlleva al aprovechamiento eficiente de recursos locales (Seba et al., 2017). Los productores del colectivo agroecológico del VIRN se encuentran en la primera fase de la transición agroecológica, para la cual han probado diferentes fuentes de fertilización (compostaje de residuos del cultivo anterior, bocashis, lombricomposta, entre otros), han reducido las dosis de herbicidas para el control de arvenses, y han desarrollado vínculos entre consumidores y productores.

Doran y Parkin (1994) definieron la calidad del suelo como “la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema para atenuar los contaminantes ambientales y patogénicos, sostener la productividad de los animales y plantas, y asegurar la salud humana”. La calidad edáfica abarca los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo, así como sus interacciones; por ello, es necesario evaluarlos de manera conjunta (Ghaemi et al., 2014).

La horticultura en el VIRN, Argentina, se caracteriza por la producción especializada de cebolla y zapallo, siendo el resto de las hortalizas parte de un grupo identificado como “hortalizas varias”. El conjunto de las producciones diversificadas se realiza por pequeños productores para abastecer, especialmente, mercados locales y la feria municipal. Sin embargo, en los últimos años, la producción de ajo, con la incorporación del cultivar Morado INTA, ha cobrado relevancia en cuanto a la superficie sembrada.

Debido al aumento en la superficie de ajo morado en la región y a la transición ecológica iniciada por los productores hortícolas del VIRN, el propósito de este trabajo fue evaluar los cambios en la calidad físico-química y biológica de los suelos abonados con compostaje de residuos de la producción de cebolla y estiércol bovino para la producción de ajo morado.

## Materiales y métodos

### Sitio experimental

El VIRN está ubicado a 40° latitud sur y 63° longitud oeste, al margen sur del río Negro en Argentina. El clima en la región es semiárido mesotermal, registrándose una precipitación media de 394 mm y temperatura media anual de 14.2 °C. Es una zona fértil, con suelos de textura fina a media, y cuenta con una red de canales para el suministro de agua de riego.

Este trabajo se realizó durante la temporada 2019 en un lote con riego gravitacional ubicado en la Chacra Experimental de la Unidad Integrada para la Innovación del Sistema Agroalimentario de la Patagonia Norte

## Experimental design

In a 5000 m<sup>2</sup> plot, three blocks of 1200 m<sup>2</sup> (12 x 100 m) were set, where three plots of 12 x 25 m were established, one for each fertilization treatment: 1) organic (Co), onion waste and cattle manure compost (8 kg·m<sup>-2</sup>) at the time of sowing, 2) mineral (Mi), monoammonium phosphate at the time of sowing (100 kg·ha<sup>-1</sup>) and urea when the crop showed the third leaf (50 kg·ha<sup>-1</sup>) and 3) mixed (Co+Mi), compost + monoammonium phosphate at the time of sowing (4 kg·m<sup>-2</sup> + 50 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively) and urea when the crop showed the third leaf (25 kg·ha<sup>-1</sup>). Doses were determined according to crop requirements and soil contributions (Pellejero et al., 2021).

On March 19, 2019, morado INTA garlic was sown, one clove of garlic every 10 cm in double rows on the ridges. Irrigation was carried out at the time of sowing, and from August onwards it was irrigated every 15 days, according to crop demand by the furrow between ridges. Harvest was carried out on December 18, 2019.

## Characteristics of compost

Onion processing residues from the Quequen packing company, located in the LVRN, were used. The management of harvested onions involved the removal of roots, upper leaves and outer cataphylls, which was used for composting its high C/N ratio and as a high nitrogen content structuring agent of cattle manure. Mature compost had a pH of 7.8, EC of 2.8 dS·m<sup>-1</sup>, OM of 21.6 %, N of 0.9 % extractable phosphorus (P) of 0.23 % (Pellejero et al., 2017).

The variables evaluated in each treatment are described below:

**Crop yield.** At the time of harvest, developed garlic was collected from one linear meter of ridge. Fresh weight and equatorial diameter were determined for each bulb to classify them by caliber.

**Soil samples.** 27, 85, 148, 237 and 274 days after sowing (das), three soil samples were taken from each treatment. Each sample consisted of 15 subsamples of the first 5 cm of soil on the crop bed.

**Biological indicators:** Soil microbial respiration, dehydrogenase activity and esterase activity were determined on the wet soil samples. For the former, 100 g of wet soil, sieved with 2 mm mesh, were incubated with 25 mL of NaOH (0.25 M) for 7 days in the dark at room temperature. Subsequently, 10 mL of hydroxide was titrated with HCl (0.10 M) using phenolphthalein as an indicator. The carbon dioxide produced was quantified by comparison with a soilless blank (Alef, 1995).

(UIISA), en el VIRN, Argentina, en donde el año anterior se cultivó cebolla. El suelo del sitio experimental es franco arcilloso, con pH de 7.9, conductividad eléctrica (CE) de 1.2 dS·m<sup>-1</sup>, 4.75 % de materia orgánica (MO) y 0.9 % de nitrógeno total (N).

## Diseño experimental

En un lote de 5000 m<sup>2</sup> se establecieron tres bloques de 1200 m<sup>2</sup> (12 x 100 m), en donde se definieron tres parcelas de 12 x 25 m, una por cada tratamiento de fertilización: 1) orgánica (Co), compostaje de residuos de cebolla y estiércol bovino (8 kg·m<sup>-2</sup>) al momento de la siembra, 2) mineral (Mi), fosfato monoamónico al momento de la siembra (100 kg·ha<sup>-1</sup>) y urea cuando el cultivo presentó la tercer hoja (50 kg·ha<sup>-1</sup>) y 3) mixta (Co+Mi), compostaje + fosfato monoamónico al momento de la siembra (4 kg·m<sup>-2</sup> + 50 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente) y urea cuando el cultivo presentó la tercer hoja (25 kg·ha<sup>-1</sup>). Las dosis se determinaron de acuerdo con los requerimientos del cultivo y las contribuciones del suelo (Pellejero et al., 2021).

El 19 de marzo de 2019 se sembró ajo Morado INTA, un diente de ajo cada 10 cm a doble hilera sobre el camellón. Se efectuó un riego al momento de la siembra, y a partir de agosto se regó cada 15 días, según demanda del cultivo por el surco entre camellones. La cosecha se realizó el 18 de diciembre de 2019.

## Características del compostaje

Se trabajó con residuos del procesamiento de cebolla de la empresa empacadora Quequen, ubicada en el VIRN. El manejo de las cebollas cosechadas implica la eliminación de raíces, hojas superiores y catáfilas exteriores, lo cual se utilizó para el compostaje por su alta relación C/N y como estructurante de alto contenido de nitrógeno de estiércol bovino. El compostaje maduro presentó un pH de 7.8, CE de 2.8 dS·m<sup>-1</sup>, MO de 21.6 %, N de 0.9 % y fósforo extraíble (P) de 0.23 % (Pellejero et al., 2017).

Las variables evaluadas en cada tratamiento se describen a continuación:

**Rendimiento del cultivo.** Al momento de la cosecha, se recogieron los ajos desarrollados en un metro lineal de camellón. A cada bulbo se le determinó el peso fresco y el diámetro ecuatorial para clasificarlos por calibre.

**Muestras de suelo.** A los 27, 85, 148, 237 y 274 días después la siembra (dds) se tomaron tres muestras de suelo de cada tratamiento. Cada muestra se conformó por 15 submuestras de los primeros 5 cm del suelo sobre el camellón de cultivo.



Dehydrogenase activity was determined by incubating 3 g of wet soil with 0.5 mL of triphenyltetrazolium (TTC) at 37 °C for 24 h. The hydrolysis product was extracted with three washes with alcohol and brought to 50 mL. The concentration of triphenylformazan (TPF) was determined by absorbance at 480 nm (Casida et al., 1964). Esterase activity was obtained by incubating 1 g of wet soil in 7.5 mL of phosphate buffer with pH of 7.2 and 0.2 mL of fluorescein diacetate ( $1 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  de FDA) for 30 min at 30 °C. The reaction was stopped with 7.5 mL of acetone, and the released fluorescein was quantified by absorbance at 490 nm (Alef, 1995).

**Chemical indicators:** The aerated soils passed through a 2 mm sieve and pH in 1:2.5 solution, EC in saturation paste, sodium adsorption ratio (SAR), N by Kjeldahl, OM by oxidation with potassium dichromate (OM), P by Olsen's method and available potassium (K) extracted with ammonium acetate by flame spectrometry were determined.

### Statistical analysis

The data results were submitted to an ANOVA and Fisher's comparison of means (LSD,  $P \leq 0.05$ ). Spearman's correlation coefficient was used to explore correlations between microbiological and physicochemical parameters. All tests were carried out using the statistical program InfoStat 2015 (Di Rienzo et al., 2015).

## Results and discussion

### Garlic crop yield

The total and commercial yield (4 to 6 caliber healthy bulbs) of the three fertilization treatments were similar (Figure 1). The commercial yield (10.99, 12.29 and  $10.33 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  for Co, Mi and Co+Mi, respectively) was similar to that observed for the same garlic crop in Mendoza province, Argentina, in the 2017 and 2018 growing seasons ( $11.36$  and  $12.38 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectively) (Fernández, 2019).

Garlic yields using goat or mineral fertilizer were found to be similar in a study carried out in eastern Ethiopia by Tadila and Nigusie (2018), although the highest yields were achieved with the combination of both fertilizers at the same doses. Ruiz et al. (2007) found no differences in onion crop fertilized with different organic sources, such as cattle manure, goat manure or chicken manure, although they did not compare yields with chemical fertilization, but with an unfertilized control that yielded less than the composted treatments. Paterlini et al. (2019) also observed no differences in lettuce crop yield when testing different doses of chicken litter compost.

**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 trifentiltetrazolium (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 trifetilformazan (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).

**Indicadores químicos:** Los suelos oreados se pasaron por un tamiz de 2 mm y se les determinó el pH en solución 1:2.5, la CE en pasta de saturación, la relación de absorción de sodio (RAS), el N por Kjeldahl, la MO por oxidación con dicromato de potasio (MO), el P por el método de Olsen y el potasio (K) disponible extraído con acetato de amonio por espectrometría de llama.

### Análisis estadístico

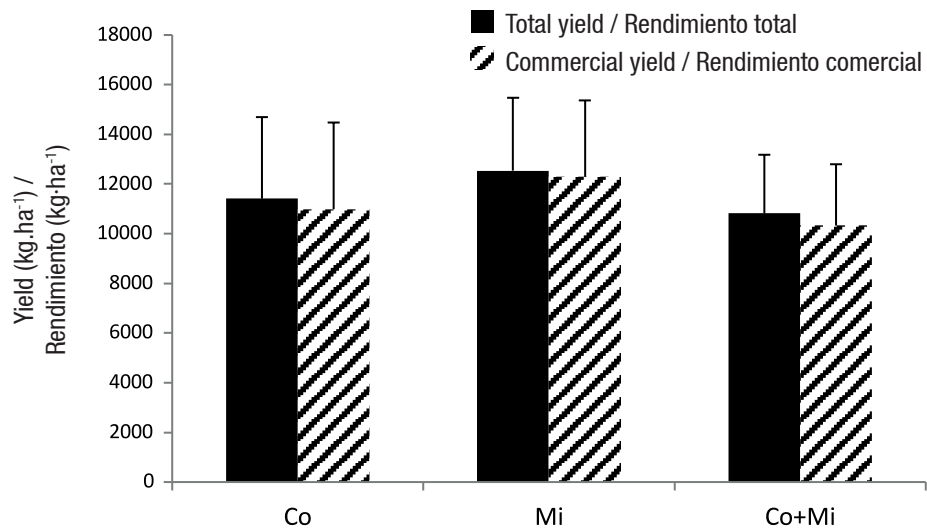
Los datos obtenidos se sometieron a una análisis de varianza y una comparación de medias de Fisher (LSD,  $P \leq 0.05$ ). El coeficiente de correlación de Spearman se utilizó para explorar las correlaciones entre los parámetros microbiológicos y los físico-químicos. Todas las pruebas se realizaron con el programa estadístico InfoStat 2015 (Di Rienzo et al., 2015).

## Resultados y discusión

### Rendimiento del cultivo de ajo

El rendimiento total y el comercial (bulbos sanos de calibres 4 a 6) de los tres tratamientos de fertilización resultó similar (Figura 1). El rendimiento comercial ( $10.99$ ,  $12.29$  y  $10.33 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  para Co, Mi y Co+Mi, respectivamente) fue similar al observado para el mismo cultivar de ajo en la provincia de Mendoza, Argentina, en las temporadas de 2017 y 2018 ( $11.36$  y  $12.38 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente) (Fernández, 2019).

Los rendimientos del ajo utilizando abono caprino o mineral resultaron similares en un ensayo realizado en



**Figure 1.** Yield of garlic produced with different fertilizer sources. Co = compost of onion residues and cattle manure; Mi = monoammonium phosphate and urea; Co+Mi = compost + monoammonium phosphate and urea. Each bar corresponds to the average of three samples and lines indicate the standard error.

**Figura 1.** Rendimiento del ajo producido con diferentes fuentes de fertilización. Co = compostaje de residuos de cebolla y estiércol bovino; Mi = fosfato monoamónico y urea; Co+Mi = compostaje + fosfato monoamónico y urea. Cada barra corresponde al promedio de tres muestras y los bigotes indican el error estándar.

Carelli and Defendente (2018) had similar yields when applying organic and mineral fertilization on arugula crop. In this study, obtaining similar yields to chemical fertilization, in the first year of using onion and cattle manure compost in the LVRN, is promising in this first phase of agroecological transition.

Eighty-six percent of the harvested bulbs weight corresponded to medium sizes (4 and 5). Treatment Mi had a higher proportion of large bulbs (caliber 6). In all treatments, small bulbs (caliber lower than 4) represented less than 3% of the total weight of the harvest (Figure 2). In addition to yields, size homogeneity is important for the market, a characteristic that was observed in the compost treatments.

A similar distribution to that of the present study was observed in the 2018 season in the entire province of Mendoza, Argentina, with predominance of garlic size 5 (51%), followed by size 6 (38%) and size 4 (6%). Medium sizes accounted for 89% of morado garlic produced in that province of Argentina (Fernández, 2019).

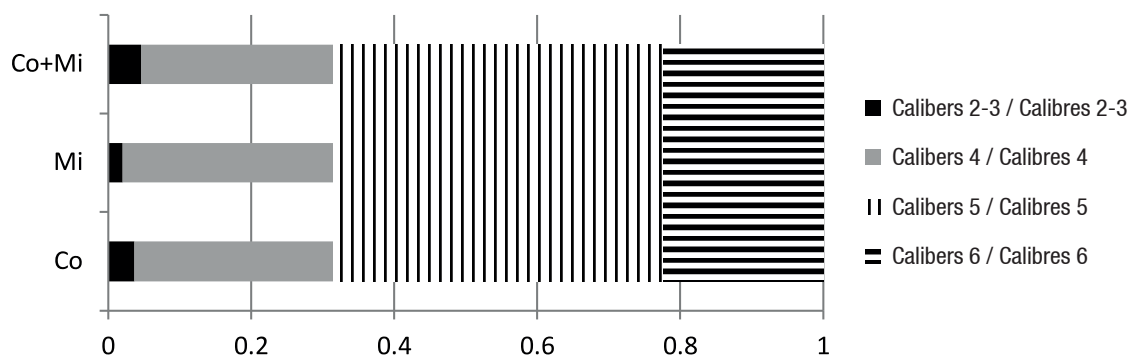
### Soil quality indicators

Soil salinity indicators in Mi treatments showed no changes during the trial. However, in the treatments where compost was applied (Co and Co+Mi), pH was similar to that of Mi at the beginning and increased 9% during the growing season. Conversely, the EC was higher than that of the soil at the beginning of the cycle and decreased by 53% during the growing season.

el este de Etiopía por Tadila y Nigusie (2018), aunque los mayores rendimientos se alcanzaron con la combinación de ambos fertilizantes en las mismas dosis. Por su parte, Ruiz et al. (2007) no encontraron diferencias en el cultivo de cebolla fertilizado con diferentes fuentes orgánicas, como estiércol bovino, caprino o gallinaza, aunque ellos no compararon los rendimientos con fertilización química, sino con un testigo sin fertilizar que rindió menos que los tratamientos con abono. Paterlini et al. (2019) tampoco observaron diferencias en el rendimiento del cultivo de lechuga al analizar diferentes dosis de compostaje de cama de pollo. Carelli y Defendente (2018) obtuvieron rendimientos similares al aplicar fertilización orgánica y mineral en el cultivo de rúcula. En el presente trabajo, obtener rendimientos similares a la fertilización química, en el primer año de uso de compostaje de cebolla y estiércol vacuno en el VORN, es promisorio en esta primera fase de la transición agroecológica.

El 86% del peso de los bulbos cosechados correspondió a los calibres medios (4 y 5). El tratamiento Mi presentó mayor proporción de bulbos grandes (calibre 6). En todos los tratamientos, los bulbos chicos (calibre menor a 4) representaron menos de 3% del peso total de la cosecha (Figura 2). Además de los rendimientos, para el mercado es importante la homogeneidad en los calibres, característica que se observó en los tratamientos con aporte de compostaje.

Una distribución similar a la del presente estudio se observó en la temporada 2018 en toda la provincia de



**Figure 2.** Weight ratio per caliber of garlic bulbs produced with different fertilizer sources. Co = compost of onion residues and cattle manure; Mi = monoammonium phosphate and urea; Co+Mi = compost + monoammonium phosphate and urea.

**Figura 2.** Proporción en peso por calibre de bulbos de ajo producido con diferentes fuentes de fertilización. Co = compostaje de residuos de cebolla y estiércol bovino; Mi = fosfato monoamónico y urea; Co+Mi = compostaje + fosfato monoamónico y urea.

SAR values were low in all treatments, with a high dispersion to identify variations during the growing season (Figure 3).

Benedicto-Valdés et al. (2019) noted an 8 % increase in pH when applying cattle manure, starting from a pH of soil and manure similar to each other. On the contrary, when using goat manure or chicken manure, they observe no change in pH. Similarly, but with chicken litter compost, Paterlini et al. (2019) observed pH increase in one unit for the transplant lettuce crop, which coincides in date with the garlic crop, but has a shorter cycle (55 days). The increase in soil pH could be due to the contribution of cattle manure from the compost used in this study, which would condition its use in areas with alkaline soils such as those of the LVRN. However, this variable had no effect on the quality or yield of the crop.

The EC of soil with cattle manure was higher than that of soil without compost in the trial of Benedicto-Valdés et al. (2019), although it is not indicated how long the manure was in the field and whether irrigation was carried out. In the present study, we started from mature compost, so EC was relatively low ( $2.8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) and seemed to be associated with the contribution of sodium ions (SAR), which were washed out with successive irrigations. Thus, in the first months after cultivation, EC was the same in all treatments.

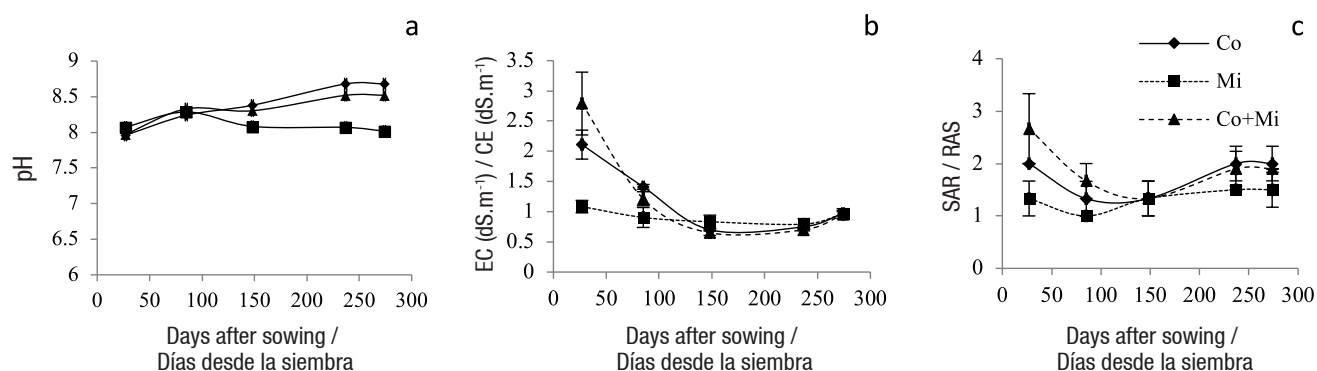
At harvest (late spring), the pH of soils with organic fertilizer (Co and Co+Mi) was higher than that of soils with Mi. On the other hand, EC and SAR were similar in the three treatments (Table 1); this was because the multiple gravity irrigations carried out (12 irrigations of

Mendoza, Argentina, donde predominaron los ajos de calibre 5 (51 %), seguidos del calibre 6 (38 %) y el calibre 4 (6 %). Los tamaños medianos sumaron el 89 % del ajo morado producido en esa provincia argentina (Fernández, 2019).

#### Indicadores de calidad del suelo

Los indicadores de salinidad del suelo en los tratamientos Mi no se modificaron a lo largo del ensayo. Sin embargo, en los tratamientos donde se aplicó compostaje (Co y Co+Mi), el pH resultó similar al de Mi al inicio y aumentó 9 % a lo largo del ciclo del cultivo. De modo inverso, la CE resultó superior a la del suelo al comienzo del ciclo, y a lo largo del cultivo disminuyó un 53 %. Los valores de la RAS fueron bajos en todos los tratamientos, y con una dispersión elevada como para identificar variaciones a lo largo del ciclo del cultivo (Figura 3).

Benedicto-Valdés et al. (2019) observaron un aumento de 8 % en el pH al aplicar estiércol vacuno, partiendo de un pH del suelo y el estiércol similares entre sí. Por el contrario, cuando aplicaron estiércol caprino o gallinaza, no observaron cambios en el pH. Del mismo modo, pero con compostaje de cama de pollos, Paterlini et al. (2019) observaron el aumento del pH en una unidad en el cultivo de lechuga por trasplante, el cual coincide en fecha con el cultivo de ajo, pero tiene un ciclo más corto (55 días). El aumento de pH del suelo se podría deber al aporte del estiércol vacuno del compostaje utilizado en este trabajo, lo cual condicionaría su uso en zonas con suelos alcalinos como los del VIRN. No obstante, esta variable no afectó la calidad ni el rendimiento del cultivo.



**Figure 3. Behavior of soil salinity indicators in garlic crop with different fertilization sources. a) pH in ratio 1:2.5, b) electrical conductivity (EC) in saturation paste and c) sodium absorption ratio (SAR). Co = compost of onion residues and cattle manure; Mi = monoammonium phosphate and urea; Co+Mi = compost + monoammonium phosphate and urea.**

**Figura 3. Comportamiento de los indicadores de salinidad del suelo en el cultivo de ajo con diferentes fuentes de fertilización. a) pH en relación 1:2.5, b) conductividad eléctrica (CE) en pasta de saturación y c) relación de la absorción de sodio (RAS). Co = compostaje de residuos de cebolla y estiércol bovino; Mi = fosfato monoamónico y urea; Co+Mi = compostaje + fosfato monoamónico y urea.**

**Table 1. Values of pH, electrical conductivity (EC) and sodium absorption ratio (SAR) recorded in the first 5 cm of the soil at the time of garlic harvest exposed to different fertilization sources.**

**Cuadro 1. Valores de pH, conductividad eléctrica (CE) y relación de absorción de sodio (RAS) registrados en los primeros 5 cm del suelo al momento de la cosecha de ajo sometido a diferentes fuentes de fertilización.**

Fertilization treatment / Tratamiento de fertilización	pH	EC (dS·m <sup>-1</sup> ) / EC (dS·m <sup>-1</sup> )	SAR (mEq·mEq <sup>-1/2</sup> ) / RAS (mEq·mEq <sup>-1/2</sup> )
Co	8.68 ± 0.03 a <sup>z</sup>	0.97 ± 0.08 a	2.0 ± 0.3 a
Mi	8.02 ± 0.10 b	0.93 ± 0.04 a	1.5 ± 0.3 a
Co+Mi	8.52 ± 0.03 ab	0.95 ± 0.07 a	1.9 ± 0.1 a
P	0.029	0.981	0.296

Co = onion residue compost and cattle manure; Mi = monoammonium phosphate and urea; Co+Mi = compost + monoammonium phosphate and urea. Each value corresponds to the average of three samples ± standard error. <sup>z</sup>Means with the same letter in each column are not statistically different (LSD,  $P \leq 0.05$ ).

Co = compostaje de residuos de cebolla y estiércol bovino; Mi = fosfato monoamónico y urea; Co+Mi = compostaje + fosfato monoamónico y urea. Cada valor corresponde al promedio de tres muestras ± error estándar. <sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (LSD,  $P \leq 0.05$ ).

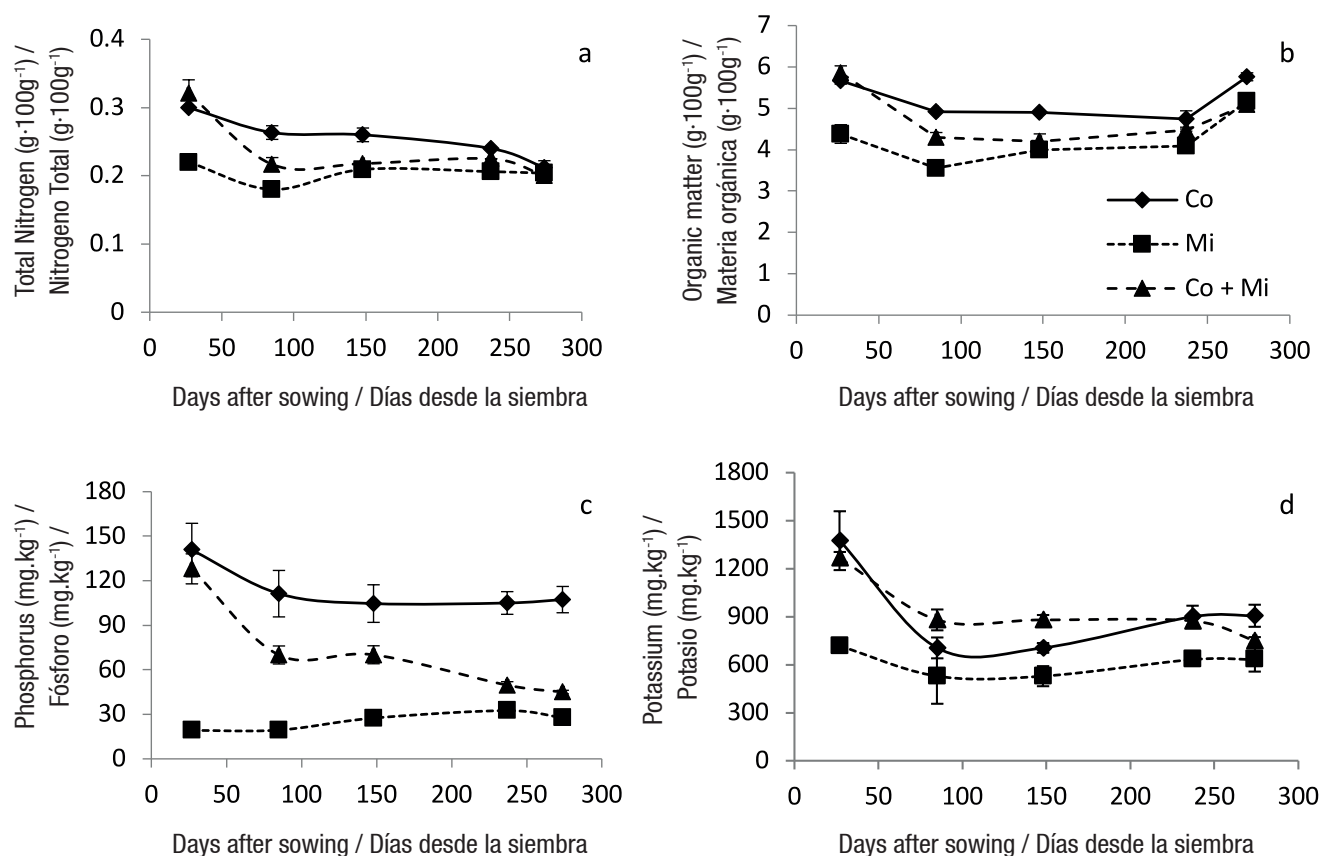
30 mm), the quality of the water from the Negro river used in the LVRN (EC 0.3 mS·cm<sup>-1</sup>) and the operation of the drainage system that allows the leaching of soluble salts together with the excess water. Such results are contrary to that observed by Cebadero-Cayetano et al. (2020), who obtained a decrease in pH with increasing organic carbon content.

In the first sampling (27 das), the four fertility indicators evaluated (N, OM, P and K) resulted higher in the composted treatments (Figure 4). Total N in soil decreased during the trial, probably due to ammonium washout from cattle manure, which would have caused pH elevation (Figure 4a). OM also decreased during the trial, with a slight increase in the last sampling probably due to the contribution of leaf residues from the garlic crop itself and from weeds (Figure 4b). Soil P

La CE del suelo con estiércol bovino resultó superior a la del suelo sin abono en el ensayo de Benedicto-Valdés et al. (2019), aunque no se indica cuánto tiempo estuvo el estiércol en el campo y si se efectuaron riegos. En el presente trabajo se partió de un compostaje maduro, por lo que la CE era relativamente baja (2.8 dS·m<sup>-1</sup>) y parecía estar asociada a la contribución de iones sodio (RAS), los cuales fueron lavados con los sucesivos riegos. Por ello, en los primeros meses del cultivo, la CE se igualó en todos los tratamientos.

Al momento de la cosecha (finales de primavera), el pH de los suelos donde se incorporó abono orgánico (Co y Co+Mi) resultó superior al de los suelos con Mi. En cambio, la CE y la RAS resultaron similares en los tres tratamientos (Cuadro 1); esto debido a los múltiples riegos gravitacionales realizados (12 riegos de 30 mm),





**Figure 4. Changes in soil fertility indicators in garlic crop with different fertilization sources: a) nitrogen, b) organic matter, c) phosphorus and d) potassium. Co = compost of onion residues and cattle manure; Mi = monoammonium phosphate and urea; Co+Mi = compost + monoammonium phosphate and urea.**

**Figura 4. Cambios en los indicadores de fertilidad del suelo en el cultivo de ajo con diferentes fuentes de fertilización: a) nitrógeno, b) materia orgánica, c) fósforo y d) potasio. Co = compostaje de residuos de cebolla y estiércol bovino; Mi = fosfato monoamónico y urea; Co+Mi = compostaje + fosfato monoamónico y urea.**

content was significantly higher ( $P \leq 0.05$ ) in Co treatments, due to the lower mobility of this nutrient in the soil, especially at the alkaline pH of the region (Figure 4c).

The different chemical forms of N in soil could justify the higher calibers observed in the Mi treatment, although the total yields with the three treatments resulted similar. Rodrigues et al. (2019) also observed no differences in total N content in pot soils with olive plants after 18 months when applying eight fertilization treatments, which included mineral fertilization, biochar and different organic residues.

The Co treatment significantly ( $P \leq 0.05$ ) modified soil fertility indicators when the crop was in the field. In that treatment, higher values of MO, P and K (1.2, 3.5 and 1.5 times, respectively) were observed than in soils with Mi or Co+Mi (Table 2). This condition will favor the successor crop.

la calidad del agua del río Negro que se utiliza en el VIRN ( $CE\ 0.3\ mS\cdot cm^{-1}$ ) y al funcionamiento del sistema de drenaje que permite el lixiviado de las sales solubles junto al exceso de agua. Dichos resultados son contrarios a lo observado por Cebadero-Cayetano et al. (2020), quienes obtuvieron una disminución del pH con el aumento del contenido de carbono orgánico.

En el primer muestreo (27 dds), los cuatro indicadores de fertilidad evaluados (N, MO, P y K) resultaron superiores en los tratamientos con compostaje (Figura 4). El N total del suelo disminuyó a lo largo del ensayo, probablemente debido al lavado del amonio del estiércol vacuno, el cual habría causado la elevación del pH (Figura 4a). La MO también redujo a lo largo del ensayo, con un leve incremento en el último muestreo debido, probablemente, al aporte de residuos de hojas del propio cultivo de ajo y de las malezas (Figura 4b). El contenido de P en el suelo resultó significativamente superior ( $P \leq 0.05$ ) en los tratamientos con Co, debido a la menor

**Table 2. Fertility indicators recorded in the first 5 cm of soil at harvest of garlic produced with different fertilization sources.**

**Cuadro 2. Indicadores de fertilidad registrados en los primeros 5 cm del suelo al momento de la cosecha de ajo producido con diferentes fuentes de fertilización.**

Fertilization treatment / Tratamiento de fertilización	Total nitrogen (g·100g <sup>-1</sup> ) / Nitrógeno total (g·100g <sup>-1</sup> )	Organic matter (g·100g <sup>-1</sup> ) / Materia orgánica (g·100g <sup>-1</sup> )	Extractable phosphorus (mg·kg <sup>-1</sup> ) / Fósforo extraíble (mg·kg <sup>-1</sup> )	Exchangeable potassium (mg·kg <sup>-1</sup> ) / Potasio intercambiable (mg·kg <sup>-1</sup> )
Co	0.21 ± 0.01 a <sup>z</sup>	3.35 ± 0.06 a	97.6 ± 18.1 a	906 ± 69 a
Mi	0.20 ± 0.01 a	2.90 ± 0.11 b	27.7 ± 5.9 b	632 ± 75 b
Co+Mi	0.20 ± 0.01 a	3.03 ± 0.02 b	33.8 ± 3.4 b	606 ± 22 b
P	0.065	0.012	0.008	0.022

Co = compost of onion residues and cattle manure; Mi = monoammonium phosphate and urea; Co+Mi = compost + monoammonium phosphate and urea. Each value corresponds to the average of three samples ± standard error. <sup>z</sup>Means with the same letter in each column are not statistically different (LSD,  $P \leq 0.05$ ).

Co = compostaje de residuos de cebolla y estiércol bovino; Mi = fosfato monoamónico y urea; Co+Mi = compostaje + fosfato monoamónico y urea. Cada valor corresponde al promedio de tres muestras ± error estándar. <sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (LSD,  $P \leq 0.05$ ).

Rodrigues et al. (2019) found no differences in P content in soils with different sources of organic residues, but they started from a soil with higher P content and acid pH; in addition, they observed no improvement in OM content with the treatments tested. P availability in soil is associated with neutral pH and high OM contents (Andrades & Martínez, 2014); although Paladino et al. (2019) had higher organic carbon content and lower EC in urban soils with three years of agroecological production.

The behavior of the biological activities was similar in the three treatments during the crop cycle. In general, the three biological parameters were higher with the Co treatment during the whole cycle; this was due to the contribution of microorganisms present in the onion and cattle manure compost used (Figure 5). The increase in respiration of soil microorganisms in the last sampling could be due to the interaction of this activity with an irrigation event and the mechanical work carried out for weed removal prior to harvest. This effect was not seen in esterase and dehydrogenase activities because, being extracellular enzymes, they could have percolated with irrigation.

Biological parameters at the end of the crop cycle were significantly higher ( $P \leq 0.05$ ) with Co, being 37, 26 and 54 % higher than Mi treatment for respiration, esterase activity and dehydrogenase activity, respectively (Table 3). Based on the above, the contribution of organic fertilizer for soil nutrient cycling is promising. Di Ciocco et al. (2014), with continuous farming, reported decreases in soil respiration and dehydrogenase activity, justifying the need to contribute microorganisms to the soil.

The contribution of organic matter favors microbial activity, which is why Cebadero-Cayetano et al. (2020) noted an increase in dehydrogenase activity in plots with a constant supply of litterfall, such as an esparto

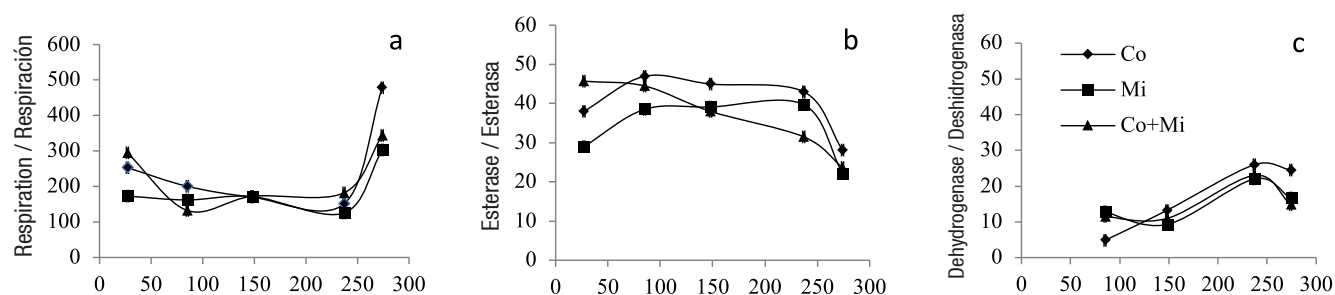
movilidad de este nutriente en el suelo, especialmente a los pH alcalinos de la región (Figura 4c).

Las diferentes formas químicas del N en el suelo podrían justificar los mayores calibres observados en el tratamiento Mi, aunque los rendimientos totales con los tres tratamientos resultaron similares. Rodrigues et al. (2019) tampoco observaron diferencias en el contenido de N total en suelos de macetas con plantas de oliva después de 18 meses al aplicar ocho tratamientos de fertilización, los cuales incluían fertilización mineral, biochar y diferentes residuos orgánicos.

El tratamiento Co modificó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) los indicadores de fertilidad del suelo durante el tiempo que estuvo el cultivo en campo. En dicho tratamiento, se observaron valores más altos de MO, P y K (1.2, 3.5 y 1.5 veces, respectivamente) que en los suelos con Mi o Co+Mi (Cuadro 2). Esta condición favorecerá al cultivo sucesor.

Rodrigues et al. (2019) no observaron diferencias en el contenido de P en suelos con diferentes fuentes de residuos orgánicos, pero partieron de un suelo con mayor contenido de P y pH ácido; además, no mejoraron el contenido de MO con los tratamientos ensayados. La disponibilidad del P en el suelo está asociada a pH neutros y altos contenidos de MO (Andrades & Martínez, 2014); aunque Paladino et al. (2019) obtuvieron un mayor contenido de carbono orgánico y menor CE en suelos urbanos con tres años de producción agroecológica.

El comportamiento de las actividades biológicas resulto similar en los tres tratamientos durante el ciclo del cultivo. En general, los tres parámetros biológicos resultaron superiores con el tratamiento Co durante todo el ciclo; esto debido al aporte de microorganismos presentes en el compostaje de cebolla y el estiércol vacuno empleado (Figura 5). El incremento en la



**Figure 5.** Behavior of biological activities of soil garlic crop exposed to different fertilization sources: a) respiration ( $\text{mg}_{\text{CO}_2} \cdot \text{kg}_{\text{ss}}^{-1}$  for 7 days), b) esterase activity ( $\mu\text{g}_{\text{FDA}} \cdot \text{g}^{-1}$ ) and c) dehydrogenase activity ( $\text{mg}_{\text{TFF}} \cdot \text{g}^{-1}$ ). Co = compost of onion residues and cattle manure; Mi = monoammonium phosphate and urea; Co+Mi = compost + monoammonium phosphate and urea.

**Figura 5.** Comportamiento de las actividades biológicas del suelo cultivo con ajo sometido a diferentes fuentes de fertilización: a) respiración ( $\text{mg}_{\text{CO}_2} \cdot \text{kg}_{\text{ss}}^{-1}$  por 7 días), b) actividad de la esterasa ( $\mu\text{g}_{\text{FDA}} \cdot \text{g}^{-1}$ ) y c) actividad de la deshidrogenasa ( $\text{mg}_{\text{TFF}} \cdot \text{g}^{-1}$ ). Co = compostaje de residuos de cebolla y estiércol bovino; Mi = fosfato monoamónico y urea; Co+Mi = compostaje + fosfato monoamónico y urea.

**Table 3.** Biological activities in the first 5 cm of the soil at the time of harvesting garlic exposed to different sources of fertilization.

**Cuadro 3.** Actividades biológicas en los primeros 5 cm del suelo al momento de cosechar el ajo sometido a diferentes fuentes de fertilización.

Fertilization treatment / Tratamiento de fertilización	Respiration ( $\text{mg}_{\text{CO}_2} \cdot \text{kg}_{\text{ss}}^{-1}$ for 7 days) / Respiración ( $\text{mg}_{\text{CO}_2} \cdot \text{kg}_{\text{ss}}^{-1}$ por 7 días)	Esterase activity ( $\mu\text{g}_{\text{FDA}} \cdot \text{g}^{-1}$ ) / Actividad esterasa ( $\mu\text{g}_{\text{FDA}} \cdot \text{g}^{-1}$ )	Dehydrogenase activity ( $\text{mg}_{\text{TFF}} \cdot \text{g}^{-1}$ ) / Actividad deshidrogenasa ( $\text{mg}_{\text{TFF}} \cdot \text{g}^{-1}$ )
Co	478.1 ± 46.8 a <sup>2</sup>	28.1 ± 0.5 a	24.5 ± 0.2 a
Mi	303.4 ± 27.2 b	22.2 ± 2.1 b	15.9 ± 1.2 b
Co+Mi	343.3 ± 9.5 b	23.7 ± 0.9 ab	14.8 ± 1.7 b
P	0.017	0.048	0.002

Co = compost of onion residues and cattle manure; Mi = monoammonium phosphate and urea; Co+Mi = compost + monoammonium phosphate and urea. Each value corresponds to the average of three samples ± standard error. <sup>2</sup>Means with the same letter in each column are not statistically different (LSD,  $P \leq 0.05$ ).

Co = compostaje de residuos de cebolla y estiércol bovino; Mi = fosfato monoamónico y urea; Co+Mi = compostaje + fosfato monoamónico y urea. Cada valor corresponde al promedio de tres muestras ± error estándar. <sup>2</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (LSD,  $P \leq 0.05$ ).

grass or oak. Similarly, in the present study, the increase in organic matter stimulated the biological activities present in soil nutrient cycling.

Spearman's correlation coefficient shows that soil respiration is significantly ( $P \leq 0.05$ ) and positively correlated with EC, SAR and OM; esterase activity, with N and P, and dehydrogenase activity, with pH and SAR. The latter was also negatively correlated with EC (Table 4). Di Ciocco et al. (2014) had correlation between soil respiration and EC, OM and sodium, in addition to correlating positively with other chemical variables such as P, N and pH, which was not observed in the present study, since the soil showed higher pH and lower content of N and P. These authors analyzed nitrogenase activity, and it correlated positively with other physicochemical variables to those observed with respiration.

respiración de los microorganismos del suelo en el último muestreo se podría deber a la interacción de esta actividad con un evento de riego y las labores mecánicas realizadas para la remoción de malezas previo a la cosecha. Dicho efecto no se hizo evidente en las actividades de la esterasa y la deshidrogenasa porque al ser enzimas extracelulares se pudieron haber percolado con el riego.

Los parámetros biológicos al final del ciclo del cultivo resultaron significativamente superiores ( $P \leq 0.05$ ) con Co, siendo 37, 26 y 54 % superior al tratamiento con Mi para la respiración, la actividad de la esterasa y la actividad de la deshidrogenasa, respectivamente (Cuadro 3). Considerando lo anterior, resulta prometedor el aporte de abono orgánico para el ciclado de los nutrientes del suelo. Di Ciocco et al. (2014), con agricultura continua, reportaron disminución

**Table 4. Correlation between microbiological and physical-chemical parameters according to Spearman.**  
**Cuadro 4. Correlación entre los parámetros microbiológicos y físico-químicos según Spearman.**

Parameter/ Parámetro	Soil respiration/ Respiración edáfica	Esterase activity/ Actividad de la esterasa	Dehydrogenase activity/ Actividad de la deshidrogenasa
pH	0.228	-0.017	0.620*
CE	0.319*	0.102	-0.381*
SAR/RAS	0.415*	-0.256	0.509*
N	-0.020	0.434*	-0.032
MO	0.573*	-0.036	-0.057
P	0.195	0.480*	0.051
K	0.243	-0.123	0.206

\*Significant correlations ( $P \leq 0.05$ ). EC = electrical conductivity; SAR = sodium absorption ratio; N = total nitrogen; OM = organic matter; P = extractable phosphorus; K = potassium.

\*Correlaciones significativas ( $P \leq 0.05$ ). CE = conductividad eléctrica; RAS = relación de absorción de sodio; N = nitrógeno total; MO = materia orgánica; P = fósforo extraíble; K = potasio.

## Conclusions

In the first phase of the agroecological transition, with the progressive elimination of agrochemicals and the substitution of synthetic inputs by alternative or organic inputs (composting), yields similar to those achieved with traditional management were reported.

The use of compost from onion production residues and cattle manure in morado garlic crop increased soil fertility (OM, P and K) and biological parameters (microbial respiration, esterase activity and dehydrogenase activity). On the other hand, no differences were observed with mineral fertilization in electrical conductivity or in the sodium absorption ratio at the end of the crop cycle, despite having higher values at the beginning. These differences may have been due to the successive irrigations carried out.

The implementation of composting previous crops residues was a positive alternative to be implemented in the first phase of the agroecological transition of morado garlic crops with gravity irrigation at the lower valley of the Negro river.

*End of English version*

## References / Referencias

- Alef, K. (1995). Field methods. In: Alef, K., & Nannipieri, P. (Eds), *Methods in applied soil microbiology and biochemistry* (pp. 463-490). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-012513840-6/50025-2>
- Andrades, M., & Martínez, M. (2014). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. Universidad de La Rioja. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/267902.pdf>
- Benedicto-Valdés, G., Montoya-García, C., Vicente-Hernández, Z., Ramírez-Ayala, C., & Escalante-Estrada, J. (2019). Incorporación de abonos orgánicos y liberación de

en la respiración edáfica y en la actividad de la deshidrogenasa, con lo que justificaron la necesidad de aportar microorganismos al suelo.

El aporte de materia orgánica favorece la actividad microbiana, razón por la cual Cebadero-Cayetano et al. (2020) observaron un aumento en la actividad de la deshidrogenasa en lotes con aporte constante de broza, como un espartal o encinar. De manera similar, en el presente trabajo el incremento de materia orgánica estimuló las actividades biológicas presentes en el ciclado de nutrientes del suelo.

El coeficiente de correlación de Spearman muestra que la respiración edáfica se correlaciona significativa ( $P \leq 0.05$ ) y positivamente con la CE, la RAS y la MO; la actividad de la esterasa, con el N y el P, y la actividad de la deshidrogenasa, con el pH y la RAS. Esta última además se correlacionó negativamente con la CE (Cuadro 4). Di Ciocco et al. (2014) obtuvieron una correlación entre la respiración edáfica y la CE, la MO y el sodio, además de correlacionar positivamente con otras variables químicas como P, N y pH, lo cual no se observó en el presente estudio, ya que el suelo presentó mayor pH y menor contenido de N y P. Dichos autores analizaron la actividad de la nitrogenasa, y correlacionó positivamente con otras variables físico-químicas a las observadas con la respiración.

## Conclusiones

En la primera fase de la transición agroecológica, con la eliminación progresiva de agroquímicos y la sustitución de insumos sintéticos por otros alternativos u orgánicos (compostaje), se obtuvieron rendimientos similares a los alcanzados con el manejo tradicional.

El uso del compostaje de los residuos de la producción de cebolla y el estiércol bovino en el cultivo de ajo morado aumentó los parámetros de fertilidad (MO,



- C-CO<sub>2</sub> como indicador de la mineralización del carbono. *Ecosistemas Recursos Agropecuarios*, 6(18), 513-522. <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2022>.
- Burba, J. L., Portela, J. A., & Lanzavechia, S. (2005). Argentine garlic I: a wide offer of clonal cultivars. *Acta Horticulturae*, 688, 291-296. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.688.41>
- Carelli, G., & Defendente, L. (2018). Evaluación del efecto del abono orgánico, mulching vegetal y fertilización química en el cultivo de rúcula (*Eruca sativa* L.) en un invernadero con riego por goteo en Toay La Pampa. *Semiárida*, 28(2), 59-64. <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/semiarida/article/view/3728/3829>
- Casida, L. E., Klein, D. A., & Santoro, T. (1964). Soil dehydrogenase activity. *Soil Science*, 98(6), 371-376. [https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1964/12000/SOIL\\_DEHYDROGENASE\\_ACTIVITY.4.aspx](https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1964/12000/SOIL_DEHYDROGENASE_ACTIVITY.4.aspx)
- Cebadero-Cayetano, M., Torres-Cordero, J. A., Siles-Colmenero, G., & Fernández-Ondoño, E. (2020). Cambios en el suelo por la utilización de ganado ovino en olivar ecológico. *Spanish Journal of Soil Science*, 10(1), 16-28. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2020.V10.N1.02>
- Di Ciocco, C. A., Sandler, R. V., Falco, L. B., & Coviella, C. E. (2014). Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico-químicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 46(1), 73-85. <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837657006.pdf>
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2015). *InfoStat software estadístico ver. 2015*. <http://www.infostat.com.ar>
- Doran, J. W., & Parkin, B. T. (1994). Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W., Coleman, D. C., Bezdicek, D. F., & Stewart, B. A. (Eds), *Defining soil quality for a sustainable environment* (pp. 1-21). Soil Science Society of America, Inc. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35>
- Fernández, V. (2019). *Estimación de volúmenes y calibres de ajo: temporada 2018/2019*. Instituto de Desarrollo Rural. [https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2019/05/estimacion\\_vol%C3%BAmenes\\_calibres\\_ajo\\_2018\\_2019.pdf](https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2019/05/estimacion_vol%C3%BAmenes_calibres_ajo_2018_2019.pdf)
- Ghaemi, M., Astarai, A. R., Emami, H., Nassiri-Mahalati, M., & Sanaeinejad, S. H. (2014). Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds- east of Mashhad- Iran. *Journal of soil science and plant nutrition*, 14(4), 1005-1020. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162014005000077>
- Paladino, I. R., Sokolowski, A. C., Wolski, J. E., Bregante, J., Visentini, J. V., Rodríguez, H., Rodríguez, E. P., Gagey, M. C., De Grazia, J., Debelis, S., & Barrios, M. B. (2019). Efecto de la horticultura agroecológica sobre propiedades químicas de suelos urbanos del gran La Plata. *Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie*, 5, 42-45. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/77311/Documento\\_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/77311/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Paterlini, H., González, M. V., & Picone, L. (2019). Producción de lechuga en un suelo con aplicación de compost de cama de pollo. *Ciencia del Suelo*, 37(1), 38-50. <http://www.suelos.org.ar/publicaciones/Volumen37n1/5-%20358%20WEB.pdf>
- Pellejero, G., Miglierina, A., Aschkar, G., Turcato, M., & Jiménez-Ballesta, R. (2017). Effects of the onion residue compost as P and K) and biológicos (respiración microbiana, actividad de la esterasa y actividad de la deshidrogenasa) del suelo. Por otro lado, no se observaron diferencias con la fertilización mineral en la conductividad eléctrica ni en la relación de absorción de sodio al final del ciclo del cultivo, a pesar de haber presentado mayores valores al inicio. Lo anterior se pudo deber a los sucesivos riegos realizados.
- La aplicación de compostaje de residuos de cultivos anteriores resultó una alternativa positiva, para ser implementada en la primera fase de la transición agroecológica en el cultivo de ajo morado con riego gravitacional en el valle inferior del río Negro.
- Fin de la versión en español**
- an organic fertilizer in a vegetable culture in the Lower Valley of the Rio Negro. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6, 159-166. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0164-8>
- Pellejero, G., Palacios, J., Vela, E., Gajardo, O., Albrecht, L., Aschkar, G., Chrorolque, A., García-Navarro, F. J., & Jiménez-Ballesta, R. (2021). Effect of the application of compost as an organic fertilizer on a tomato crop (*Solanum lycopersicum* L.) produced in the field in the lower valley of the río Negro (Argentina). *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 10(2), 145-155. <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2021.1909797.1135>
- Rodrigues, M. A., Garmus, T., Arrobas, M., Gonçalves, A., Silva, E., Rocha, L., Pinto, L., Brito, C., Martins, S., Vargas, T., & Correia, C.M. (2019). Combined biochar and organic waste have little effect on chemical soil properties and plant growth. *Spanish Journal of Soil Science*, 9(3), 199-211. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2019.V9.N3.04>
- Ruiz, C., Russián, T., & Tua, D. (2007). Efecto de la fertilización orgánica en el cultivo de la cebolla. *Agronomía Tropical*, 57(1), 7-14. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2007000100002&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2007000100002&lng=es&tlng=es)
- Sarandón, S., & Flores, C. (2014). La agroecología: el enfoque necesario para una agricultura sustentable. In: Sarandón, S., & Flores, C. (Eds), *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. Edulp.
- Seba, N., Doñate, M. T., Sidoti-Hartmann, B., Baffoni, P., Muzi, E., Cecchini, V., Tellería-Marloth, A., & Bezic, C. (2017). *Producción hortícola diversificada en el Valle Inferior del Río Negro. Modelos socio-productivos vigentes y su potencial para la intensificación ecológica*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://inta.gob.ar/documentos/produccion-horticola-diversificada-en-el-valle-inferior-del-rio-negro-modelos-socio-productivos-vigentes-y-su-potencial-para-la-intensificacion-ecologica>
- Tadila, G., & Nigusie, D. (2018). Effect of manure and nitrogen rates on growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.) at Haramaya, Eastern Ethiopia. *Journal of Horticulture and Forestry*, 10(9), 135-142. <https://doi.org/10.5897/JHF2018.0543>

