



**Universidad Nacional de Lomas de Zamora**  
**Facultad de Ciencias Agrarias**

---

**Carrera: Ingeniería Agronómica**  
**Espacio de Prácticas profesionales**

**Título**

*“Evaluación de la cama de pollo como posible fuente de  
contaminación del suelo, en el contexto hortícola”*

**Autor: Castillo, Lorena Elizabeth**

**Directora: Dra. Prack Mc Cormick Bárbara**

**Lugar y Fecha: Lomas de Zamora, 02 de Agosto de 2021**

**Trabajo Final de Grado**

## **AGRADECIMIENTOS**

Son muchas las personas que han contribuido de forma directa o indirecta en la realización de este trabajo.

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia y amigos, quienes a lo largo de estos años de formación han sido un apoyo incondicional, tolerándome y aconsejándome en todo momento y sin los cuales hubiera sido muy difícil llegar hasta donde hoy me encuentro.

Estoy especialmente agradecida a la doctora Bárbara Prack Mc Cormick, directora de este trabajo, por haber confiado en mí, por el tiempo dedicado, su predisposición, paciencia y ayuda incondicional en todo momento.

A las cátedras de Edafología, Manejo y Conservación de Suelos y a todos sus integrantes por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo. Al Ingeniero Agrónomo Hernán Rodríguez y a la MSc. Ing. Agr. Ana Clara Sokolowski, por ser quienes me permitieron desde el primer momento ser parte de este proyecto.

A las autoridades de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, por permitirme acceder de manera gratuita y darme los medios necesarios para estudiar la carrera de Ingeniería Agronómica que tanto me apasiona, y desarrollarme no sólo como futuro profesional sino también como persona.

A los amigos y amigas que me ha dado la facultad, por el apoyo y ayuda en todos estos años, y por los momentos compartidos que hicieron más liviano el camino recorrido.

Finalmente agradezco a las cátedras de Agrometeorología, Fitopatología y Horticultura y Floricultura, que formaron parte de este proyecto y a todas aquellas personas que directa o indirectamente colaboraron a la realización del presente trabajo.

## Índices

### Índice General

Índice de Tablas .....	4
Índice de Figuras .....	4
Resumen .....	6
Abstract .....	7
1-Introducción.....	9
2- Objetivos .....	15
2.1- Objetivo general.....	15
2.2- Objetivos específicos.....	15
3- Hipótesis.....	15
3.1- Hipótesis general .....	15
3.2- Hipótesis específicas .....	15
4-Materiales y métodos .....	17
4.1 Caracterización de la zona .....	17
4.1.1 Clima.....	17
4.1.2 Suelo.....	20
4.2 Diseño experimental y muestreo.....	21
4.2.1 SUELO SUBYACENTE A LA PILA DE CAMA DE POLLO .....	22
4.2.2 ENSAYO HORTICOLA A CAMPO.....	23
4.3 Propiedades químicas estudiadas y metodología empleada .....	25
4.3.1 Potencial de Hidrógeno (pH).....	26
4.3.2 Conductividad eléctrica (CE) .....	27
4.3.3 Nitrógeno total (NT) .....	27
4.3.4 Fósforo extractable (PE) .....	29
4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS REALIZADOS .....	31
5- Resultados y discusión.....	32
5.1. SUELO SUBYACENTE A LA PILA DE CAMA DE POLLO .....	32
5.1.1 Potencial de Hidrógeno (pH).....	32
5.1.2 Conductividad eléctrica (CE) .....	34
5.1.3 Nitrógeno Total (NT) .....	35
5.1.4 Fósforo Extractable (PE).....	37
5.2 ENSAYO HORTICOLA A CAMPO.....	39

5.2.1 Potencial de Hidrógeno.....	39
5.2.2 Conductividad eléctrica (CE) .....	42
5.2.3 Fósforo Extractable.....	43
6- Conclusiones.....	47
Bibliografía .....	49
Apéndices/Anexos.....	58

### Índice de Tablas

Tabla 1: Datos Analíticos.....	20
Tabla 2: Datos analíticos de la Cama de Pollo utilizada.....	22
Tabla 3: Datos climáticos registrados el año de muestreo, Estación Agrometeorológica de Santa Catalina, Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica, INTA. Periodo 01/06/2018 a 31/05/2019. ....	58
Tabla 4: Descripción del perfil típico.....	58
Tabla 5: ANOVA pH Suelo Subyacente .....	59
Tabla 6: ANOVA CE Suelo Subyacente.....	59
Tabla 7: ANOVA Nitrógeno total Suelo Subyacente.....	60
Tabla 8: ANOVA Fósforo Extractable Suelo Subyacente.....	60
Tabla 9: ANOVA pH Ensayo Hortícola a campo .....	61
Tabla 10: ANOVA CE Ensayo Hortícola a campo .....	62
Tabla 11: ANOVA Fósforo Extractable Ensayo Hortícola a campo .....	62

### Índice de Figuras

Figura 1: Ubicación de los acopiadores de Cama de Pollo y de las pilas de Cama de Pollo en establecimientos hortícolas de La Capilla, Florencio Varela. .....	13
Figura 2: Reserva Natural Provincial Santa Catalina. ....	17
Figura 3: Climograma de la Estación Agrometeorológica de Santa Catalina. ...	18
Figura 4: Temperaturas máximas, mínimas y media mensual (°C) y precipitación acumulada (mm). ....	19
Figura 5: Precipitación (mm) y Humedad Relativa (%) mensuales. ....	19

Figura 6: Diagrama de los ensayos realizados.....	21
Figura 7: Diagrama cronológico del ensayo a campo. ....	24
Figura 8: Ensayo hortícola a campo.....	25
Figura 9: pHmetro .....	26
Figura 10: Conductímetro.....	27
Figura 11: Determinación de Nitrógeno Total por Kjeldahl.....	29
Figura 12: (A) Agitador vaivén, (B) centrifuga y (C) Espectrofotómetro. ....	31
Figura 13: Variación del pH del sitio cama de pollo a diferentes profundidades. .....	33
Figura 14: Variación de la Conductividad eléctrica del sitio con Cama de pollo a diferentes profundidades.....	34
Figura 15: Variación de Nitrógeno total del sitio con cama de pollo a diferentes profundidades.....	36
Figura 16: Variación de Fósforo extractable de sitio con cama de pollo a diferentes profundidades.....	38
Figura 17: pH del suelo en el ensayo a campo. ....	41
Figura 18: Conductividad eléctrica (CE) del cultivo a campo. ....	43
Figura 19: Fósforo Extractable del cultivo a campo.....	45
Figura 20: Designación de tratamientos y ubicación de cultivos del ensayo hortícola a campo.....	63
Figura 21: Estación Experimental Santa Catalina Ensayo hortícola a campo. .	64
Figura 22: Preparación de muestras para análisis de Fosforo .....	64
Figura 23: Preparación de muestras, para análisis de Fósforo .....	65
Figura 24: Preparación de muestra y análisis de pH.....	65

## Resumen

El crecimiento poblacional en el AMBA ha impulsado la producción hortícola del cinturón verde bonaerense. Los productores hortícolas utilizan enmiendas orgánicas como abono, siendo la más utilizada la cama de pollo (CP). El abonado se realiza sin control sobre las dosis, ni los efectos sobre las propiedades físico-químicas del suelo. Al manejo de la CP se lo vincula con efectos ambientales perjudiciales, destacándose el deterioro del recurso suelo. El objetivo del trabajo es evaluar la contaminación del suelo, debido al manejo de la CP en producción hortícola. El estudio se llevó a cabo en el campo experimental de "Santa Catalina" de la FCA-UNLZ. El efecto del manejo de la CP se evaluó a través de las propiedades químicas pH, CE, NT y PE. Se estudiaron dos situaciones: (a) la influencia de la pila de CP sobre el suelo adyacente, en función de la profundidad y (b) la aplicación de CP como enmienda en un ensayo hortícola. Se realizaron dos diseños experimentales: en (a), se utilizó un diseño factorial con dos factores. El factor "CP" con dos niveles, suelo desnudo sin pila de CP (mes 0) y suelo con estacionamiento de pila de CP (mes 6), y el factor "Profundidad" con 5 niveles, cada 0,2 m hasta llegar a 1 m. Para la situación (b) se utilizó un diseño completamente aleatorizado, con un factor ("Fertilización") de tres niveles: sin fertilización (T), fertilización química (FQ) y fertilización con cama de pollo (CP), registrándose las respuestas a dos tiempos diferentes: cosecha del primer cultivo y luego de la labranza al finalizar el año. Los efectos se evaluaron a través del análisis de la varianza seguido del post test Bonferroni (a), y el test de Tukey (b). Los resultados obtenidos en ambas situaciones, mostraron diferencias significativas para las propiedades pH, CE, NT y PE. En (a) mientras el PE y la CE fueron afectados solo en el primer nivel de profundidad, el N fue afectado también en el segundo, y el pH se comportó de forma opuesta a los demás, variando a partir de los 0,4 m de profundidad. Estas respuestas podrían depender del contenido de MO y del contenido de arcillas presentes. En (b), a tiempo cosecha, la utilización de CP incrementó el P hasta niveles reconocidos como contaminación de suelo. Sin embargo, al completar el año –labranza- ninguna de las propiedades difirió entre T y las parcelas fertilizadas. Resulta relevante

que las prácticas de manejo de enmiendas y reposición de nutrientes sea diseñada entre productores y técnicos.

**Palabras clave:** Fósforo, nitrógeno, enmienda orgánica, sobrefertilización.

### **Abstract**

Population growth in the AMBA has boosted horticultural production in the Buenos Aires green belt. Horticultural producers use organic amendments as fertiliser, the most widely used being chicken litter (CP). Fertilisation is carried out without control over the doses or the effects on the physico-chemical properties of the soil. The management of CP is linked to detrimental environmental effects, particularly the deterioration of soil resources. The aim of this study is to evaluate soil contamination due to CP management in horticultural production. The study was carried out at the "Santa Catalina" experimental field of the FCA-UNLZ. The effect of CP management was evaluated through the chemical properties pH, EC, NT and EP. Two situations were studied: (a) the influence of the CP pile on the adjacent soil, as a function of depth and (b) the application of CP as an amendment in a horticultural trial. Two experimental designs were carried out: in (a), a factorial design with two factors was used. The factor "CP" with two levels, bare soil without CP pile (month 0) and soil with CP pile parking (month 6), and the factor "Depth" with 5 levels, every 0.2 m until 1 m was reached. For situation (b) a completely randomised design was used, with one factor ("Fertilisation") with three levels: no fertilisation (T), chemical fertilisation (CF) and fertilisation with chicken litter (CP), recording responses at two different times: harvest of the first crop and after tillage at the end of the year. The effects were evaluated by analysis of variance followed by the Bonferroni post-test (a) and Tukey's test (b). The results obtained in both situations showed significant differences for the properties pH, EC, NT and PE. In (a), while PE and EC were affected only at the first depth level, N was also affected at the second, and pH behaved in the opposite way to the others, varying from 0.4 m depth onwards. These responses could depend on the MO content and the content of clays present. In (b), at harvest time, the use of CP increased P to levels recognised as soil contamination. However, at the end of the year - tillering - none of the properties

differed between T and the fertilised plots. It is relevant that amendment management and nutrient replenishment practices are designed between producers and technicians.

**Key words:** Phosphorus, nitrogen, organic amendment, overfertilization.

## **1-Introducción**

El Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) reúne la mayor aglomeración poblacional del país, lo cual ha impulsado la producción hortícola del cinturón verde bonaerense, área fundamental en el abastecimiento de alimentos frescos o hortalizas frescas (INTA AMBA, 2012). El modelo de producción hortícola establecido en la zona concentra gran proporción de productores familiares, los cuales recurren al arrendamiento de superficies de tierra de 2 ha en promedio. La gran mayoría ha logrado instalar 1 a 1,5 ha con invernáculos (Seba et al., 2014), produciendo en menor medida a campo. Este tipo de producción protegida, junto con la utilización de un paquete tecnológico, permite realizar cultivos anuales, logrando realizar entre uno y cinco ciclos completos en el mismo suelo en un año. De esta manera se logra aumentar la producción, calidad y la precocidad, lo que incide directamente sobre la rentabilidad (Adlercreutz et al., 2014). Los productos hortícolas obtenidos son comercializados principalmente en la ciudad de Buenos Aires y el conurbano, y en menor medida en el interior del país, siendo muy poco de ello destinado a la exportación (INTA AMBA, 2012).

La horticultura del cordón periurbano sur, está caracterizada por tener un esquema de producción intensivo y altamente diversificado (INTA AMBA, 2012). Este tipo de producción presenta altos requerimientos de nutrientes (macro y micronutrientes), microorganismos eficientes, recursos hídricos, buen manejo de malezas, control de plagas y enfermedades (INTA, 2018). En la producción bajo cubierta, factores como el riego constante, la imposibilidad de lavado de sales, el cultivo continuo o monocultivo, y la fertilización modifican y deterioran el recurso suelo (Ferraris & Ferrero, 2018). Sumado a esto, el laboreo excesivo en la preparación de la cama de siembra y el alomado provoca la pérdida de estructura del suelo (INTA, 2018). La sumatoria del manejo que requiere este tipo de producción hace que se necesite aportar elevados niveles de Materia Orgánica (MO).

Por otro lado la intensificación de la producción agropecuaria en las últimas décadas ha permitido el incremento de la producción global de alimentos sin embargo ha generado un elevado costo ambiental (Tilman et al., 2002;

Oenema et al., 2003; Vitousek et al., 2009; Abbona, 2017). La intensificación de la producción animal presenta dos características centrales: (1) mayor número de animales por unidad de superficie y (2) la concentración de la producción animal en un menor número de productores (Fraser, 2006). Esta práctica busca mejorar la eficiencia en la conversión de alimentos en productos, pero a la vez se genera un incremento de la concentración de excretas en áreas reducidas (Herrero & Gil, 2008). La separación espacial entre la producción primaria (agricultura) y secundaria (ganadería) generó la interrupción del retorno de parte de los nutrientes consumidos por el ganado a través del forraje. De esta manera el actual ecosistema alimentario del ser humano se basa principalmente en la transferencia unidireccional de nutrientes (Abbona, 2017). Un sistema de agricultura circular eficiente y sustentable, requiere de una integración entre las cadenas de suministro de origen vegetal y animal, de manera tal de cerrar los flujos de nutrientes del ecosistema alimentario permitiendo extender la vida útil de estas reservas finitas (Abbona, 2017; García Ferré, 2005). En este sentido, entre las posibles enmiendas y fuentes de nutrientes derivados de materiales reutilizados o reciclados figuran: biosólidos, estiércol animal, compost, vermicompost y digestatos, entre otros.

Las enmiendas orgánicas presentan un significativo valor como insumo para la actividad agrícola, debido al aporte de MO y como potencial mejorador de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Bragachini et al., 2013). La aplicación de enmienda orgánica va a estar condicionada por el ambiente, que a su vez regula la actividad microbiana transformando la MO de los residuos en MO del suelo (Abril & Noé, 2007). Sumado a la MO, las excretas de origen animal contienen 16 elementos esenciales para el desarrollo y crecimiento de las plantas, destacándose el aporte de nitrógeno (N) y fósforo (P) (Gange, 2014). Por lo tanto, la utilización de enmiendas de origen animal es uno de los mejores recursos para la fertilización orgánica de los suelos. Sin embargo, se enfatiza en la necesidad de tomar en consideración los riesgos en cuanto a calidad, seguridad, medio ambiente y bioseguridad asociados con la gestión y el uso de nutrientes reciclados (FAO, 2019).

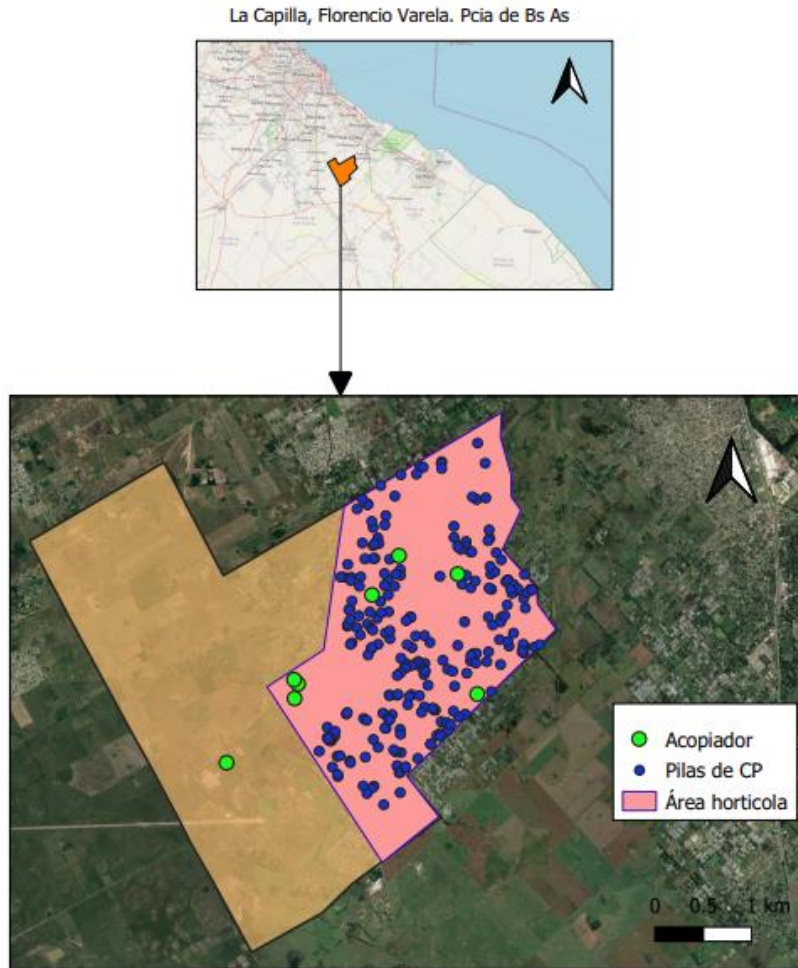
El mal manejo de los residuos de origen animal, y las correspondientes enmiendas, puede provocar contaminación tanto puntual como difusa. El

término “contaminación del suelo” se refiere a la presencia en el suelo de una sustancia o químico fuera de sitio y/o presente en una concentración más alta de lo normal que tiene efectos adversos sobre cualquier organismo al que no están destinados. El Informe Mundial sobre Recursos del Suelo identificó a la contaminación del suelo como una de las principales amenazas para el suelo, que afecta a los suelos del mundo y a los servicios ecosistémicos que éstos proporcionan. La contaminación del suelo de tipo puntual es causada por un evento específico o una serie de eventos dentro de un área determinada en la que los contaminantes son liberados al suelo y, la fuente e identidad de la contaminación son fácilmente identificadas (FAO & ITPS, 2015; Rodríguez Eugenio, McLaughlin, & Pennock, 2019). Como ejemplos podemos mencionar la contaminación del suelo con N o P debido a la acumulación o inadecuado almacenamiento de residuos de producción animal, o la acumulación de P en los perfiles superficiales del suelo debido a la aplicación de estiércoles y purines utilizando estrategias de fertilización centradas en el N. Esto debido a la relación P/N elevada: 0,45 en el caso de estiércol bovino hasta cerca de 1 en el caso del avícola (Fernández-Marcos, 2011). En cambio, la contaminación de tipo difusa se propaga por áreas extensas, e implica el transporte de los contaminantes a través de sistemas de aire-suelo-agua, presentándose transformación y dilución de contaminantes en otros medios (FAO & ITPS, 2015). Algunos ejemplos son la contaminación de aguas superficiales o subterráneas debido a la lixiviación de nitratos y los aportes de P por escorrentía (Fernández-Marcos, 2011; Cameron, Di, & McLaren, 1997), o a su vez la contaminación del aire debido a la presencia de microorganismos patógenos (Pain, 2000).

Los efectos de contaminación que producen las enmiendas dependen de las prácticas agrícolas y de su manejo, según el tipo de abono, dosis, frecuencia y forma de aplicación (Abril et al., 2014). Para su correcta aplicación, es necesario considerar la composición del mismo, la oferta de nutrientes por parte del suelo y las necesidades del cultivo al que se va a aplicar (Bragachini et al. 2013).

Una de las principales problemáticas que se presenta en el cinturón verde bonaerense, es que sólo la mitad de los productores recibe asesoramiento agronómico (Fernández Lozano, 2012). La actividad hortícola urbana se desarrolla por lo general, sin realizar una caracterización de los suelos ni del agua de riego, generando riesgos de enfermedades asociadas con: (1) la reutilización de desechos y aguas de mala calidad, (2) la transmisión vectorial y, (3) las asociadas a la contaminación de suelo y agua (Giuffré, Ratto, & Pascale, 2013). El manejo de los suelos se realiza con base en la experiencia particular de cada productor, que suele acudir tanto a la aplicación de paquetes tecnológicos (Gómez, Mediavilla, & Pineda, 2013) como a la incorporación de residuos de origen animal.

Actualmente en la producción hortícola del cinturón verde bonaerense la cama de la producción de pollos parrilleros es la enmienda más utilizada. La Cama de Pollo (CP) es un material que se introduce en el galpón de pollos parrilleros estando vacío, limpio y desinfectado, cuyo objetivo es proveer a los animales de un “piso” seco, donde la humedad de las excretas sea absorbida por la cama. La disponibilidad de N en la CP, representa un 60 % de lo ingerido en la dieta diaria (Herrero & Gil, 2008). La misma presenta un rango de N inorgánico de 1,38 a 13,4 g N kg<sup>-1</sup> de CP y N mineralizable de 6,2 a 27,8 g N kg<sup>-1</sup> de CP (Qafoku et al., 2001). La cantidad de P encontrada en la CP representa el 80 % de lo ingerido en la dieta diaria (Herrero & Gil, 2008). La CP llega a las quintas hortícolas donde es estacionada en forma de pila al aire y sobre suelo desnudo, hasta su incorporación al suelo. En el área hortícola de Florencio Varela se contabilizó en promedio una pila de CP cada ocho hectáreas (Figura 1) (Gonçalves Vila Cova, 2020). Esto podría estar asociado al fácil acceso, su gran disponibilidad por altas producciones en la zona, y por la mayor rentabilidad para los productores (Gange, 2014).



**Figura 1:** Ubicación de los acopiadores de Cama de Pollo y de las pilas de Cama de Pollo en establecimientos hortícolas de La Capilla, Florencio Varela. Figura tomada de Gonçalves Vila Cova, (2020).

Se han reportado importantes signos de degradación del suelo y contaminación del agua en el área hortícola de Florencio Varela. Respecto a la degradación del suelo, en el trabajo de Paladino et al., (2018), en el cual se evaluaron algunas propiedades físicas y químicas de suelos de establecimientos hortícolas, se detectó un aumento excesivo del contenido de fósforo extractable (PE), un potencial de hidrógeno (pH) elevado e incipiente salinización. Según los autores esto puede deberse al mal manejo de los cultivos hortícolas en la región, con el uso de fertilizaciones con CP de composición desconocida, la fertilización sin análisis de suelo previo pudiendo provocar sobrefertilización por aportes de N y P debido a su baja movilidad y alta residualidad, y el riego con agua de calidad desconocida. Respecto a la

contaminación del agua, Salvioli et al. (2012), estudiaron las cuencas de los arroyos Conchitas-Plátanos y Baldovinos que son aledaños a los suelos analizados por Paladino et al., (2018). Los autores reportaron en dichos cursos hídricos, niveles de N y P total que sobrepasan los niveles máximos establecidos, y los atribuyeron a la influencia del lavado de suelos agrícolas fertilizados. La fuente de N sugerida fueron las sales de amonio, sin embargo, la alta densidad de pilas de CP en el área hortícola, podría representar otra fuente de N. Respecto al P, el uso de CP como enmienda podría ser responsable de los altos niveles de P disponible en la capa superior del suelo, aumentando a su vez el riesgo de pérdida directa de P a las aguas superficiales por la erosión, y de lixiviación de P a las aguas subterráneas.

Debido a la problemática expuesta precedentemente, en el presente trabajo de investigación queremos evaluar el posible rol de la CP como fuente de contaminación puntual y/o difusa, durante el estacionamiento de la CP y durante su utilización como enmienda en horticultura.

## **2- Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar la contaminación ambiental, tanto localizada como difusa, debido al manejo de la cama de pollo en Horticultura.

### **2.2 Objetivos específicos**

1. Analizar los efectos del estacionamiento de cama de pollo (en pila) sobre el suelo adyacente, a diferentes profundidades, por medio de las variables: pH, Conductividad Eléctrica (CE), fósforo extractable (PE) y Nitrógeno Total (NTotal).
2. En un ensayo hortícola a campo, comparar la respuesta de las propiedades físico-químicas (pH, CE y PE) del suelo, en función del tipo de fertilización, al finalizar un cultivo de lechuga.
3. En un ensayo hortícola a campo, comparar la respuesta de las propiedades físico-químicas (pH, CE y PE) del suelo, en función del tipo de fertilización, al finalizar un año completo (incluye un cultivo de lechuga, cultivo de zapallo y labranza).

## **3- Hipótesis**

### **3.1 Hipótesis general**

El manejo inadecuado de la cama de pollo en horticultura genera contaminación ambiental, tanto localizada como difusa.

### **3.2 Hipótesis específicas**

1. El estacionamiento de la cama de pollo (en pila) sobre el suelo subyacente, provoca a diferentes profundidades, cambios físico-químicos.

2. La respuesta de las propiedades físico-químicas (pH, CE y PE) del suelo, varía en función del tipo de fertilización, al finalizar un cultivo de lechuga.
3. La respuesta de las propiedades físico-químicas (pH, CE y PE) del suelo, varía en función del tipo de fertilización, al finalizar un año completo (incluye un cultivo de lechuga, cultivo de zapallo y labranza).

## 4- Materiales y métodos

### 4.1 Caracterización de la zona

Los ensayos de suelos se llevaron a cabo sobre una parcela con una superficie de 300 m<sup>2</sup>, en el campo experimental de “Santa Catalina” de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Lomas de Zamora (FCA-UNLZ) ubicado sobre Ruta Nacional N° 3, (34° 47’ Latitud Sur, 58° 26’ Longitud Oeste), Partido de Lomas de Zamora, Provincia de Buenos Aires, durante el año 2018/ 2019 (Figura 2).



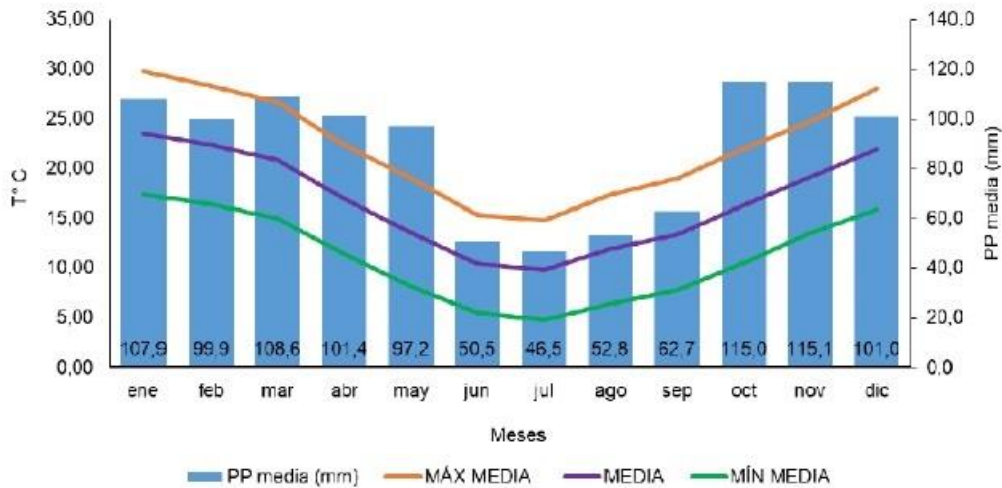
**Figura 2:** Reserva Natural Provincial Santa Catalina. Se indica el campo experimental, el cultivo a campo, la calicata y el sitio donde se estacionó la pila de cama de pollo.

#### 4.1.1 Clima

El clima de la región es templado-húmedo o templado pampeano, (SAGyPINTA, 1995). Las temperaturas moderadas disminuyen

progresivamente de norte a sur, y varían asimismo de este a oeste (Burgos, 1969). A partir de la información climática histórica procedente de la Estación Agrometeorológica de Santa Catalina se encontró que la máxima media anual es de 22,3 °C, la mínima media anual de 11,1 °C y la media anual de 16,7 °C (Sokolowski et al., 2020). En la Figura 3 se presenta la variación de la temperatura media, mínima y máxima climáticas a lo largo del año. En cuanto a las heladas agrometeorológicas (temperatura del aire menor o igual a 3 °C observada sobre el termómetro de mínima en abrigo meteorológico a 1,5 m) la fecha media de heladas tempranas fue el 01 mayo, la de heladas tardías el 04 de octubre, y el período medio libre de heladas fue de 208 días. Por otro lado, la zona es húmeda con un régimen de precipitaciones isohigro y una precipitación anual media de 1050,4 mm y su desvío de 212,6 mm.

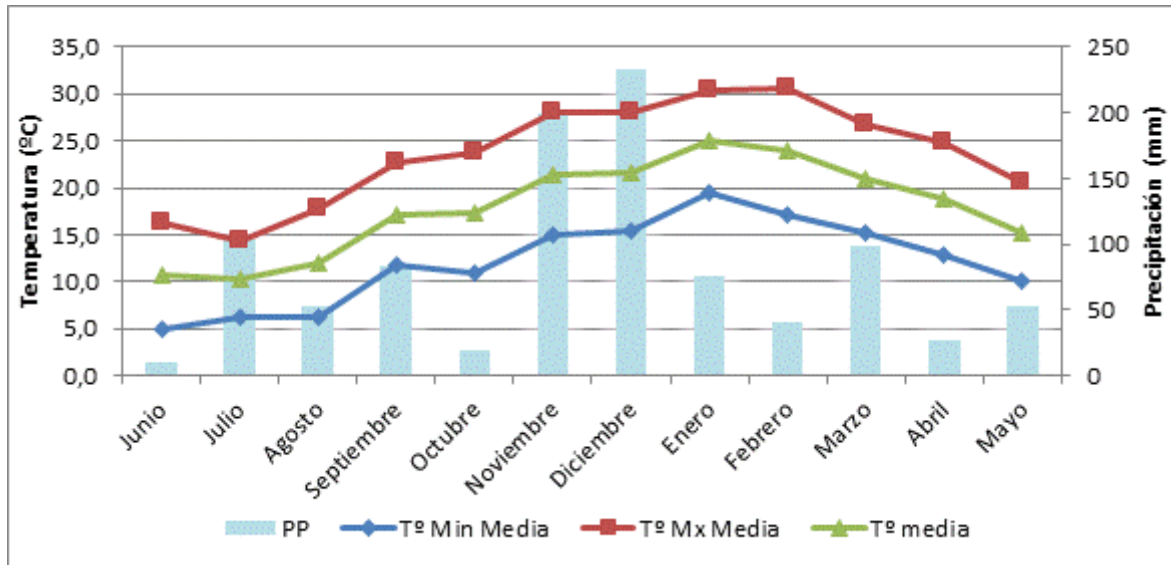
En cuanto a los vientos, la mayor frecuencia es de calma, y vientos que en su gran mayoría no sobrepasan los 24 km h<sup>-1</sup>. Solo en tormentas fuertes los vientos pueden alcanzar los 50 km h<sup>-1</sup> (Sokolowski et al., 2020). Siendo los vientos predominantes los provenientes del cuadrante sur a oeste característicos como el Pampero y el Polar, con baja temperatura y humedad.



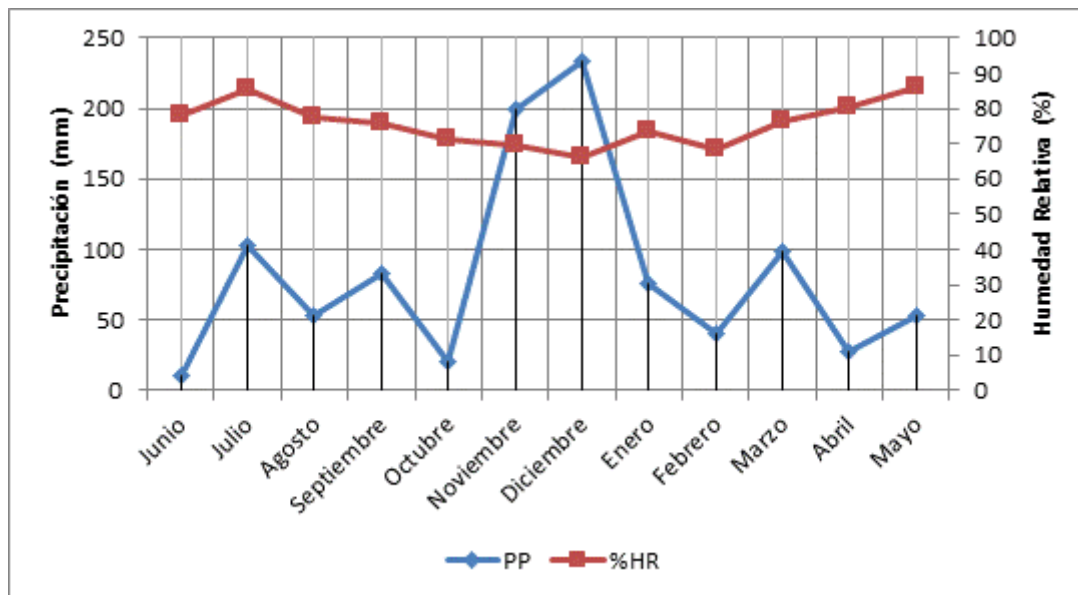
**Figura 3:** Climograma de la Estación Agrometeorológica de Santa Catalina. Estadísticas Climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) Serie 1980-1998. Figura tomada de Sokolowski et al., (2020).

Durante el periodo en el que se llevó a cabo el ensayo, los datos meteorológicos registrados por la estación meteorológica Santa Catalina (Figuras 4 y 5, se detalla en Anexos Tabla 3), fueron: temperatura máxima

media de 23,7°C, mínima media de 12,1°C y temperatura media de 17,9°C, con una precipitación acumulada de 998,2 mm y una humedad relativa de 76%.



**Figura 4:** Temperaturas máximas, mínimas y media mensual (°C) y precipitación acumulada (mm). Estación Agrometeorológica de Santa Catalina, Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica, INTA. Periodo 01/06/ 2018 a 31/05/2019.



**Figura 5:** Precipitación (mm) y Humedad Relativa (%) mensuales. Estación Agrometeorológica de Santa Catalina, Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica, INTA. Periodo 01/06/2018 a 31/05/2019.

#### 4.1.2 Suelo

La Reserva de Santa Catalina está ubicada en el sector de lomas aplanadas de la Región Pampa Ondulada, que abarca a los partidos de Lomas de Zamora y Esteban Echeverría, provincia de Buenos Aires. El área experimental se encuentra dentro de un paisaje suavemente ondulado, con relieve de tipo normal, con una pendiente media de 1,2 %, en posición de media loma alta. Esta área no se encuentra relevada por el GEO-INTA. Sin embargo, de acuerdo a lo descrito por Sokolowski et al. (2020), posee un suelo desarrollado a partir de sedimentos loésicos, moderadamente bien drenado, con escurrimientos medios y permeabilidad moderada. El perfil (ver Anexos Tabla 4) corresponde al de un suelo poligenético, muy oscuro y profundo, de aptitud agrícola, neutro a ligeramente ácido (Aguilar, Etchevers, & Castellanos, 1987), no salino (Andrades & Martínez, 2014). El horizonte superficial presenta una capa arable de más de 30 cm de espesor, con valores muy elevados de MO hasta los 25 cm de profundidad (Andrades y Martínez, 2014), alto contenido de NT con una relación C/N óptima, y son suelos muy bien provistos de PE (Vázquez & Terminiello, 2008) (Tabla 1). El horizonte subsuperficial está conformado por dos horizontes texturales, con rasgos que manifiestan la presencia de arcillas expansibles, entre 48 y 55% lo cual estaría dificultando el drenaje, proceso que se manifiesta en la parte superior del endopedón con rasgos de hidromorfismo (Sokolowski et al., 2020). Taxonómicamente se lo clasificó tentativamente como Argiudol aquertico (Soil Survey Staff, 2014).

**Tabla 1:** Datos Analíticos

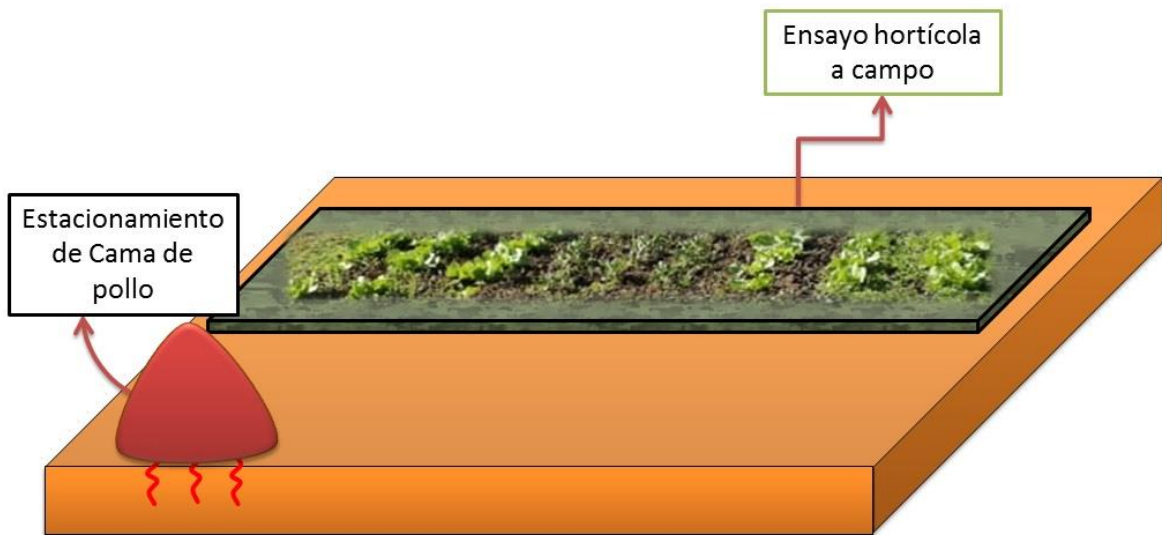
Horizontes	A	AC	2Btss1	2Btss2	3Bt	3BC	3C
Profundidad (cm)	0-25	25-36	36-64	64-89	89-122	122-145	145-165
Materia orgánica (%) +	4,70	1,41	0,58	0,41	0,24	0,17	0,14
Carbono total (%) +	2,73	0,82	0,34	0,24	0,14	0,10	0,08
Nitrógeno (%) +	0,275	0,095	0,051	0,052	0,034	0,028	0,023
Relación C/N +	9,9	8,6	6,7	4,6	4,1	3,6	3,3
Fósforo extractable (mg kg-1) +	PA	PA	11,6	18,6	11,4	26,1	31,4
Arcilla < 2 μ (%) +	32,66	35,09	57,59	54,12	43,5	41,07	37,32
Limo 2-50 μ (%) +	51,24	49,81	32,91	36,08	43,5	47,73	50,88
Arenas (%) +	16,1	15,1	9,5	9,8	13,0	11,2	11,8
Conductividad.mmhos/cm +	0,43	0,09	0,07	0,08	0,09	0,13	0,08
pH H <sub>2</sub> O 1:2,5 +	6,65	6,82	5,94	6,12	6,48	6,65	6,89
<b>CATIONES DE CAMBIO</b>							
<b>Ca+2mg kg-1</b>	1168*	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Cu+2mg kg-1</b>	18 *	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Zn+2mg kg-1</b>	88*	NA	NA	NA	NA	NA	NA

<b>Mg+2mg kg-1</b>	1540*	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Na+mg kg-1</b>	263 *	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>K+mg kg-1</b>	2767*	NA	NA	NA	NA	NA	NA

\*Valor obtenido en el laboratorio Labtesa (Brandsen 2933, Ciudadela Norte, Buenos Aires) el 07/01/2015. +Valor obtenido en el laboratorio de suelos de Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Lomas de Zamora. NA: No analizado. PA: los valores de P extractable para el horizonte A varían entre 40 y 100 mg·kg-1.

#### 4.2 Diseño experimental y muestreo

El presente trabajo de investigación se realizó sobre una parcela con una superficie de 300 m<sup>2</sup> (Figura 6), ubicada en el campo experimental de Santa Catalina, Partido de Lomas de Zamora, Provincia de Buenos Aires. El cual se lo divide en dos partes, por un lado, se evaluó (1) una posible fuente de contaminación de tipo puntual, debido al efecto del estacionamiento de la cama de pollo en forma de pila cónica, al aire y sobre suelo subyacente, en función de la profundidad y, por otro lado, se evaluó (2) otra posible fuente de contaminación de tipo puntual, en un ensayo hortícola a campo, debido a los efectos de tres tipos de fertilización y a dos tiempos diferentes, cosecha y labranza. A continuación, se presentan cada una de las situaciones planteadas:



**Figura 6:** Diagrama de los ensayos realizados.

#### 4.2.1 SUELO SUBYACENTE A LA PILA DE CAMA DE POLLO

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con arreglo factorial con dos factores y tres repeticiones. El factor “Cama de pollo” presentó dos niveles, suelo desnudo sin pila de cama de pollo (mes 0) y suelo con estacionamiento de pila de cama de pollo (mes 6). El factor “Profundidad” presentó 5 niveles, correspondientes a las profundidades de suelo 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm, 80-100 cm.

La Cama de Pollo (CP) se obtuvo de un productor avícola de la zona de San Antonio de Areco provincia de Buenos Aires, con cuatro ciclos de producción de pollos parrilleros. Se aplicó a la CP un proceso de decaimiento estático y sin riego por un periodo de 6 meses durante la época estival. El mismo fue monitoreado mediante mediciones diarias de temperatura. Se corroboró que se alcanzaran 55 °C durante 5 días consecutivos y luego de la etapa de maduración se utilizó para la realización del ensayo hortícola a campo (Tabla 2).

**Tabla 2:** Datos analíticos de la Cama de Pollo utilizada

Tiempo	pH	CE	Cenizas	COT	PT	NT
		dS·m-1	(%)	(%)	(%)	(%)
Inicio	8,41	6,17	32,6	36,83	1,50	1,65
Final	7,75	2,8	46,22	29,39	2,13	n.d.

pH y CE determinados en solución acuosa; Cenizas determinadas por mufla a 500°C; COT: Carbono orgánico total determinado por mufla a 500°C; PT: fósforo total; NT: nitrógeno Kjeldahl; n.d.: no disponible.

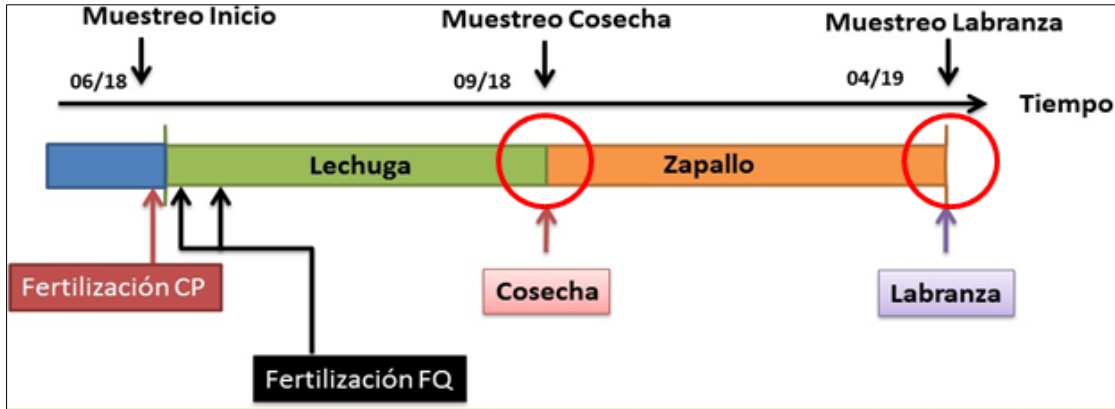
Para evaluar los efectos del estacionamiento de CP (pila), durante un periodo de 6 meses sobre el suelo adyacente, se tomaron muestras de suelo (pre y post-estacionamiento), cada 20 cm de profundidad hasta llegar a 100 cm por triplicado. Se determinó: potencial de Hidrógeno (pH) y Conductividad Eléctrica (CE) por potenciometría en agua 1:2,5 según SAMLA (2004), el Fósforo Extractable (PE) según técnica descrita por la NORMA IRAM- SAGyP 29570-1 (2010) y el Nitrógeno total (NT) por el método de Kjeldahl.

#### 4.2.2 ENSAYO HORTICOLA A CAMPO

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con tres niveles de factor "Fertilización" y tres repeticiones. Se evaluaron nueve unidades experimentales a las cuales se les asignó al azar alguno de los siguientes tratamientos: Cultivo hortícola sin fertilización (T), cultivo hortícola con fertilización química (fertilizante inorgánico granulado húmeda) (FQ) y cultivo hortícola con aplicación de cama de pollo (CP).

Las unidades experimentales fueron parcelas de 4 m<sup>2</sup>, pertenecientes a un ensayo más amplio de 27 unidades experimentales (Figura 8 y Anexos), de larga duración, donde además del factor "Fertilización" se involucró el factor "Cultivo" con tres niveles. Los cultivos seleccionados en julio de 2018 fueron Lechuga ("*Lactuca sativa L.*"), Alelí ("*Mathiola incana*") y la combinación de estos, los cuales se ubicaron de forma aleatoria (Anexos, Figura 19). Durante este trabajo final se realizó el seguimiento, exclusivamente, de las parcelas a las cuales se les asignó aleatoriamente el cultivo de lechuga en julio de 2018. Luego de la cosecha de lechuga se realizó un cultivo de zapallo ("*Cucurbita moschata Duch.*"), sin labranza previa, desde diciembre 2018 hasta abril 2019.

El efecto de fertilización sobre las propiedades físico-químicas (pH, CE y PE) del suelo fue evaluado a dos tiempos diferentes, al momento de cosecha del primer cultivo hortícola fertilizado – lechuga- (Cosecha) y luego de cosecha del segundo cultivo hortícola no fertilizado –zapallo- al momento de la labranza que marcó el final del primer año del ensayo y el inicio del segundo (Labranza), (Figura 7).



**Figura 7:** Diagrama cronológico del ensayo a campo.

A las parcelas asignadas al tratamiento CP se les incorporó 42 kg de CP húmeda (humedad 67 %) en presiembra del cultivo de lechuga. Dicha dosis fue establecida siguiendo la práctica habitual de los productores locales. Por otro lado, a las parcelas asignadas al tratamiento FQ, se les aplicó 220 gr por parcela de fertilizante inorgánico granulado (YaraMila Hydrocomplex NPK 12 - 4,8 - 15) en surco a los 15 días y a los 30 días de implantado el cultivo de lechuga.

El laboreo de suelo se realizó (a) previo al inicio del cultivo de lechuga, y (b) al finalizar el primer año del ensayo. Para el laboreo (a) se utilizó un equipo Motocultivador Husqvarna Tr430 Rotovator autopropulsado con un ancho de labor de 0,43 m, y una profundidad de 0,15 m. Se realizó un total de cuatro pasadas (dos en sentido noroeste (NO) a sudeste (SE) y dos de noreste (NE) a sudoeste (SO)). Para el laboreo (b), se aplicó una labranza vertical con cincel, con una profundidad de trabajo de 0,30 m, realizándose en tres pasadas (una en sentido NO a SE y dos de NE a SO); rastra de disco, con una profundidad de trabajo de 0,20 m la cual se realizaron en cuatro pasadas (dos en sentido NO a SE y dos NE a SO); y se finalizó con dos pasadas de Motocultivador a una profundidad de 0,15 m.

El muestreo de suelos se realizó con barreno. Cada muestra de suelo estuvo compuesta de 10 submuestras de 0-10 cm de profundidad en cada unidad experimental. Una vez obtenidas se las dejó secar al aire y luego se las tamizó, primero se pasó por malla de 2 mm y para realizar el análisis de NT por un tamiz de 0,5 mm. Luego se las conservó en un lugar fresco y oscuro hasta el

momento en el que se procedió a la determinación de las propiedades químicas de interés.

Se determinó: pH y Conductividad Eléctrica (CE) por potenciometría en agua 1:2,5 según SAMLA (2004), el Fósforo Extractable (PE) según técnica descrita por la NORMA IRAM- SAGyP 29570-1 (2010). Las determinaciones de las variables y el análisis de datos fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Edafología y Manejo de Suelos, y en el Laboratorio Central de la FCA – UNLZ.



**Figura 8:** Ensayo hortícola a campo.

#### 4.3 Propiedades químicas estudiadas y metodología empleada

Sobre las muestras de suelo extraídas de cada unidad experimental se determinaron las siguientes propiedades químicas: pH; CE; contenido de NT y PE. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

#### 4.3.1 Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH del suelo es una medida que refleja, en forma aproximada, la actividad de los iones hidrógenos ( $H^+$ ) de la solución del suelo. El concepto de pH se basa en el producto iónico del agua pura ( $25\text{ }^{\circ}C$ ) donde  $pK_w = 14$ , es decir  $pH + pOH = 14$ . El pH del suelo se determinó por potenciometría realizando una suspensión del mismo con agua destilada en una relación 1:2,5 (m/v) según metodología descrita por SAMLA (2004). Este método se basa en la medición de la diferencia de potencial producido en un circuito eléctrico a partir de esa suspensión de suelo. Para ello, debe haber un electrodo de referencia y otro indicador de los cambios de la concentración de la solución. Se utilizó un pH-metro (Microprocessor pH Meter) marca HANNA modelo pH 211 (Figura 9), con ajuste y control de temperatura.

Se pesaron 20 g de cada muestra de suelo seco y tamizado por 2 mm en un recipiente de 50 ml. Luego se añadieron 50 ml del agua destilada para realizar la suspensión, agitando durante 30 s. Se dejó en reposo una hora. Antes de la medición se calibró el pH-metro con las soluciones patrón (Buffer) de  $pH=4$ ;  $pH=7$  y  $pH=10$ . Transcurrido el tiempo, se colocaron los electrodos dentro de la suspensión suelo-agua destilada agitando continuamente durante la lectura.

Los electrodos fueron lavados con agua destilada entre determinaciones, realizando el procedimiento por triplicado de cada muestra.



**Figura 9:** pHmetro

#### 4.3.2 Conductividad eléctrica (CE)

La CE permite determinar el contenido de sales solubles presentes en una muestra de suelo. La CE se determinó por potenciometría preparando una suspensión de suelo y agua destilada en una relación 1:2,5 (m/v) según metodología descrita por SAMLA (2004). La técnica consistió en realizar una suspensión en relación suelo/agua 1:2,5, y determinar a los 15 min la CE con un conductímetro ORION modelo 20 a 20 °C. La misma se expresó en  $\text{mS cm}^{-1}$ , (Figura 10).



**Figura 10:** Conductímetro

#### 4.3.3 Nitrógeno total (NT)

El NT se determinó por Kjeldahl según metodología descrita por SAMLA (2004), siguiendo el SemiMicroMétodo Kjeldahl (Figura 11). El N de cada muestra es convertido a amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) por digestión con ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ); el  $\text{NH}_4^+$  se determina a partir de la cantidad de amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) liberado por destilación del digesto con álcali. Este  $\text{NH}_3$  es recogido en ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) y titulado con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  valorado. El punto final de la titulación se establece por el viraje del color de una mezcla de indicadores verde de bromocresol y rojo de metilo, de verde-turquesa a gris rosado.

Este procedimiento se desarrolló en tres etapas:

**1era Etapa:** Digestión húmeda de la muestra para convertir las distintas formas de N a  $\text{NH}_4^+$ . En el balón de digestión se pesaron 0,25 g de la muestra de suelo seca y tamizada por 0,5 mm. Se agregó una cucharadita (1 g) de mezcla catalítica de sales a cada balón, 2 ml de agua destilada y 3 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado y se agitó manualmente. Se llevó a digestor hasta que el digesto adquirió color verde pálido.

**2da Etapa:** Destilación: determinación de  $\text{NH}_4^+$  en el digesto. Se trasvasó el digesto aún tibio a un matraz de 50 ml, llevándolo a volumen con agua destilada. Se tomó una alícuota de 10 ml y colocó en el destilador micro-Kjeldahl, agregando 5 ml de NaOH para neutralizar y luego 10 ml de agua destilada. El destilado se recibe en un erlenmeyer de 50 ml conteniendo 5 ml de la mezcla ácido bórico-indicador. A los 3 min de destilar aproximadamente se obtuvieron unos 20 ml de solución, al tiempo que se observa que la solución pasa de color rojo vinoso a verde brillante.

**3era Etapa:** Titulación: se tituló el  $\text{NH}_3$  destilado con 0,005 N de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  hasta obtener color gris rosado. Paralelamente se desarrolló y tituló un blanco. El contenido de NT se expresó como masa. Para los cálculos del % de NT se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%NT = \frac{(V_m - V_b) \times 35}{P}$$

Siendo:

$V_m$ : Volumen (ml) de solución 0,005 N de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  empleados en la titulación de la muestra.

$V_b$ : Volumen (ml) de solución 0,005 N de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  empleados en la titulación del blanco.

P: peso (mg) de la muestra de suelo.

35: Factor resultado del siguiente cálculo:

$$\%NT = \frac{0,005 \times 14 \times 50 \times 100}{10}$$

Dónde:

0,005: es la normalidad del ácido sulfúrico.

14: es el peso del miliequivalente del N.

50: es el volumen al que se llevó la totalidad de la muestra.

10: es el volumen de la alícuota destilada.

100: para expresar el resultado en porcentaje con respecto al suelo.

El NT se expresó como masa en  $\text{kg ha}^{-1}$ . El mismo se obtuvo afectando el NT en porcentaje por la profundidad y la Dap correspondiente a cada unidad experimental.



**Figura 11:** Determinación de Nitrógeno Total por Kjeldahl.

#### 4.3.4 Fósforo extractable (PE)

El PE es la fracción del P del suelo que está disponible para la planta. En Molisoles de la región Pampeana se recomienda utilizar el método de extracción propuesto por Bray & Kurtz (García, Picone, & Berardo, 2007), según técnica descrita por la NORMA IRAM- SAGyP 29570-1 (2010). Se trabajó en ambientes ventilados y a una temperatura de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , empleando los equipos y el material de vidrio limpio, seco y libre de P. Se pesaron  $1\text{ g} \pm 0,1\text{ g}$  de cada muestra representativa de suelo seco tamizada por 2 mm por triplicado, en un tubo de plástico con tapa a rosca (Falcon) de 15 ml. Luego se agregaron  $7,0\text{ ml} \pm 0,5\text{ ml}$  de solución extractante (fluoruro de amonio y ácido clorhídrico que remueven del suelo las formas de P fácilmente solubles en ácidos) en una relación suelo: solución extractora de 1:7 (m/v) con un pH sea  $2,6 \pm 0,1$ . Los tubos se taparon, se agitaron para que no quedaran depósitos sólidos en el fondo, e inmediatamente se colocaron en el agitador vaivén, ubicándolos en posición horizontal durante 5 min a  $180\text{ golpes min}^{-1}$  (Figura 12 A). Se retiraron los tubos del agitador y se centrifugaron durante 10 min (Figura 12 B). Luego se tomó una alícuota de  $1,00\text{ ml} \pm 0,02\text{ ml}$  del extracto

y se colocó en un tubo de ensayo, adicionando  $9,0 \text{ ml} \pm 0,2 \text{ ml}$  de reactivo color a cada tubo, tapando y homogeneizando la mezcla. Se dejó desarrollar el color esperando 30 min antes de leer en el Espectrofotómetro Shimadtsu a una longitud de onda de 882 nm (Figura 12 C). Simultáneamente se preparó la Curva de Calibración o curva analítica a partir de soluciones de P de concentración conocidas.

La preparación del reactivo color se realiza en dos etapas: Solución A: se prepara una mezcla sulfomolibdica-tartrato, agregando a una solución diluida de ácido sulfúrico una solución acuosa de molibdato de amonio y otra solución acuosa de tartrato de antimonio y potasio. La Solución B: solución acuosa de ácido ascórbico se preparó el mismo día. Para preparar el reactivo color se mezclan cantidades establecidas de las soluciones A y B. Este reactivo color debe ser usado en el día por la oxidación del ácido ascórbico. Cuando es utilizado en muestras que contienen P, forman un complejo fosfomolibdico de coloración azul, cuya intensidad es proporcional a la concentración de P. El cálculo de la concentración de PE en el extracto de la muestra se determinó analíticamente a partir de la curva de regresión. Los resultados de PE se expresaron en  $\text{mg de cama de pollo} \cdot \text{kg}^{-1}$  de suelo (equivalente a ppm). Se calculó la concentración de P en la muestra según la siguiente ecuación:

$$PE (\text{mg kg}^{-1}) = \frac{[P] \times V_m \times F}{m \times V_a}$$

$$PE (\text{mg kg}^{-1}) = \frac{[P] \times 7\text{mL} \times F}{1\text{g} \times 1\text{mL}}$$

Siendo:

P: la concentración de fósforo en el suelo, en  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

[P]: concentración de fósforo en  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  leído (determinado gráficamente con la curva de calibración o con la ecuación de regresión).

$V_m$ : volumen de solución extractora, en ml.

F: el factor de dilución, cuando corresponda.

M: la masa de suelo, en g.

$V_a$ : el volumen de la alícuota del extracto, ml.



**Figura 12:** (A) Agitador vaivén, (B) centrifuga y (C) Espectrofotómetro.

#### 4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS REALIZADOS

El efecto de la presencia de la pila sobre el suelo subyacente, en función de la profundidad, sobre los parámetros medidos, se evaluó mediante análisis de varianza de dos vías utilizando el paquete estadístico Graphpad Prism Versión 5.01, análisis de gráficos. Las medias significativamente diferentes se separaron usando el post-test Bonferroni.

En el ensayo hortícola a campo los efectos de la fertilización sobre los parámetros medidos, se evaluaron mediante análisis de varianza de una vía utilizando el paquete estadístico Graphpad Prism Versión 5.01, análisis de gráficos. Las medias significativamente diferentes se separaron usando el test de Tukey ( $p < 0,05$ ). Esto fue realizado de manera independiente en cada uno de los tiempos: Cosecha y Labranza.

## 5- Resultados y discusión

El efecto del manejo de la CP en el contexto hortícola y su posible rol en la contaminación del suelo, se evaluó a través de la determinación de las propiedades químicas pH, CE, NT y PE. Para ello, se estudiaron dos situaciones diferentes identificadas en el cordón periurbano de Buenos Aires:

(a) estacionamiento de la CP en forma de pila cónica, al aire y sobre suelo desnudo. Se estudió la influencia de la presencia de la pila sobre el suelo adyacente, en función de la profundidad.

(b) aplicación de CP como enmienda en cultivos hortícolas sin balance de nutrientes. Se trabajó con un ensayo hortícola evaluando tres esquemas de fertilización y a dos tiempos diferentes, cosecha y labranza.

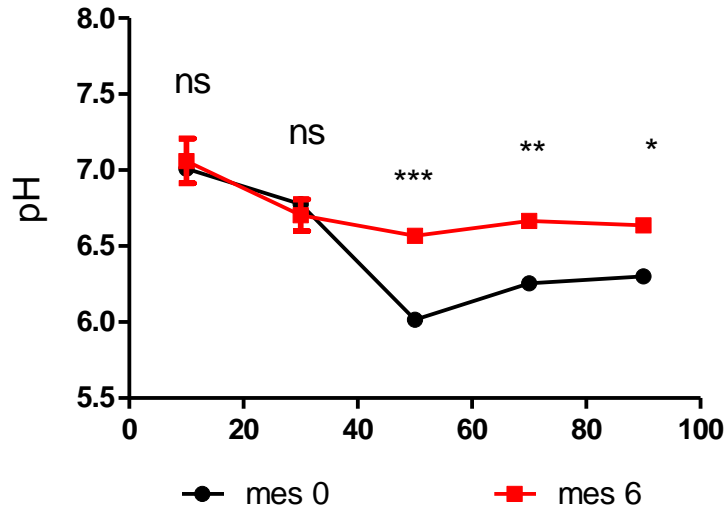
En las secciones siguientes se presentan los resultados obtenidos para cada una de las situaciones evaluadas, y la discusión de dichos resultados.

### 5.1. SUELO SUBYACENTE A LA PILA DE CAMA DE POLLO

#### 5.1.1 Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH del sitio estudiado, pre-estacionamiento, varía entre 7,01 y 6,015. Inicia en 7,01 de 0 a 20 cm, alcanzando un mínimo de 6,015 a la profundidad de 40 a 60 cm, para luego volver a aumentar hasta 6,3 a los 80 a 100 cm de profundidad. Se observó, por medio del análisis ANOVA de doble entrada (Anexo Tabla 5), que el efecto de la presencia de la pila de cama de pollo depende de la profundidad de suelo analizada (interacción Pila x Profundidad,  $p < 0,05$ ). De acuerdo al post-test de Bonferroni, en las dos categorías más superficiales (0 a 20 cm, 20 a 40 cm) no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre el suelo pre-estacionamiento y post-estacionamiento, manteniéndose valores cercanos al neutro (7,06 a 6,77). En contraste, sí se encontraron diferencias significativas en las tres categorías de mayor profundidad, de 40 a 60 cm ( $p < 0,001^{***}$ ), de 60 a 80 ( $p < 0,01^{**}$ ) y de 80 a 100 cm ( $p < 0,05^*$ ). Para estas categorías, la presencia de la pila induce un leve aumento del pH desde los 40 cm (6,5) a los 100 cm (6,6) de profundidad, en comparación con lo observado en el tiempo previo a su colocación.

La interacción entre los factores, presencia de la pila y profundidad, sobre el pH del suelo (Figura 13), puede deberse a la capacidad tampón que presenta el suelo.



**Figura 13:** Variación del pH del sitio cama de pollo a diferentes profundidades. Valores representativos medios para la media de cada profundidad (10, 30, 50, 70 y 90 cm). Siendo (ns) sin diferencias significativas y (\*\*\*), (\*\*), (\*) con diferencias significativas.

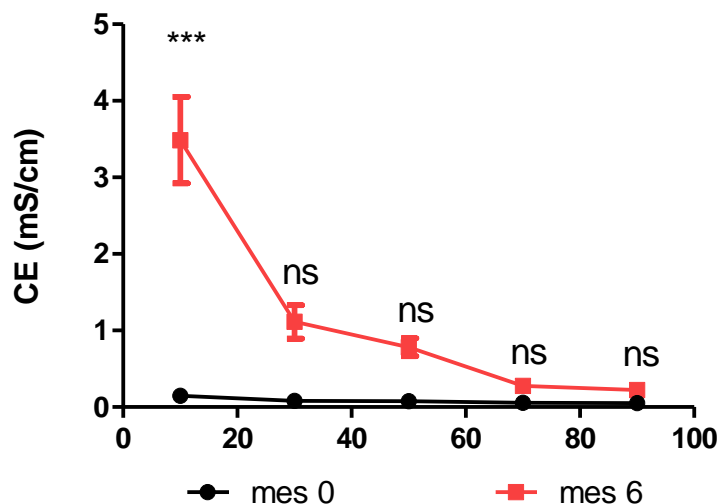
Estudios anteriores han demostrado que esta capacidad varía según el material parental, el contenido y tipo de arcillas presentes, el contenido de MO y la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe y Al (Fassbender, 1987). Por un lado, en los primeros centímetros de profundidad, la ausencia de efecto de la pila sobre el pH coincide con un alto contenido de MO, en los dos primeros horizontes (4,70 % y 1,41 % respectivamente). De acuerdo a Otiniano et al. (2006) la MO tiene un efecto sobre las propiedades químicas del suelo, aumentando la capacidad de cambio, la reserva de nutrientes y la capacidad tampón del suelo. Otros autores han informado que la CP no sólo aporta importantes cantidades de nutrientes sino también MO (Rostagno et al., 2003) que podría estar beneficiando aún más la capacidad tampón de los primeros centímetros del suelo evaluado.

Por otro lado, a profundidades mayores a los 40 cm, la presencia de efecto de la pila sobre el pH coincide con el bajo contenido de MO (0,58 y 0,41 %) y el alto contenido de arcilla que se presenta en los horizontes Bt (57,59 y 54,12

%). De acuerdo a lo expuesto por Otiniano et al. (2006), estas características pudieron afectar negativamente la capacidad buffer del suelo, permitiendo el aumento del pH del suelo en respuesta al elevado pH de la CP (entre 7,75 y 8,41).

### 5.1.2 Conductividad eléctrica (CE)

La CE del sitio estudiado, pre-estacionamiento, varía entre 0,15 y 0,05 mS/cm. Siendo el valor más elevado el correspondiente a la profundidad 0 a 20 cm y, el más bajo, a 80 a 100 cm. Se encontró, por medio del análisis ANOVA de doble entrada (Anexos, Tabla 6), que el efecto de la pila de CP sobre la CE depende de la profundidad de suelo analizada (interacción Pila x Profundidad,  $p < 0,05$ ). De acuerdo al post-test de Bonferroni, en la primera categoría (0 a 20 cm) se observaron diferencias significativas ( $p < 0,001^{***}$ ) entre el suelo pre-estacionamiento y post-estacionamiento, donde la presencia de la pila produce un aumento significativo de la CE ( $3,49 \text{ mS cm}^{-1}$ ). En contraste, no se encontraron diferencias significativas en las cuatro categorías de mayor profundidad, de 20 a 40 cm ( $p > 0,05 \text{ ns}$ ), 40 a 60 cm ( $p > 0,05 \text{ ns}$ ), 60 a 80 cm ( $p > 0,05 \text{ ns}$ ) y 80 a 100 cm ( $p > 0,05 \text{ ns}$ ). Pudiendo observarse en el suelo post-estacionamiento un descenso de la CE desde los 20 cm ( $1,11 \text{ mS cm}^{-1}$ ) hasta los 100 cm ( $0,22 \text{ mS cm}^{-1}$ ).



**Figura 14:** Variación de la Conductividad eléctrica del sitio con Cama de pollo a diferentes profundidades.

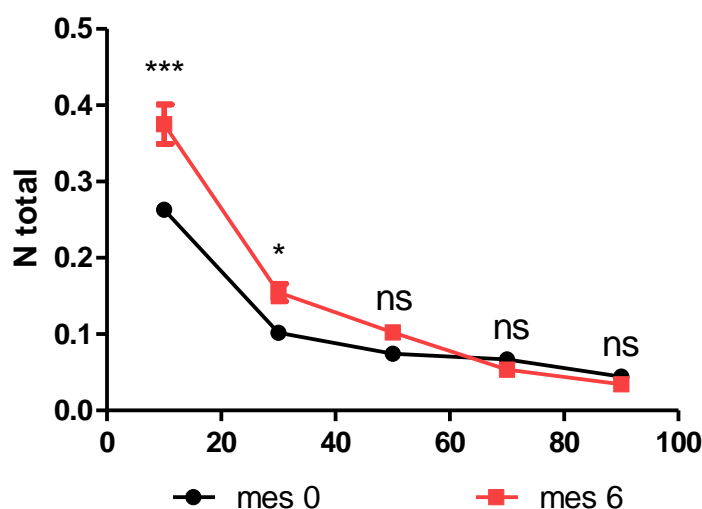
Valores representativos medios para la media de cada profundidad (10, 30, 50, 70 y 90 cm). Siendo (ns) sin diferencias significativas y (\*\*\*) diferencias significativas.

La interacción entre los factores, presencia de la pila y profundidad, sobre la CE del suelo (Figura 14), puede deberse a la elevada CE de la CP estacionada (entre 2,8 y 6,17), en combinación con la oportunidad de lixiviación de sales solubles. Por un lado, en respuesta al aporte de sales solubles de la CP se genera un elevado aumento de la CE del suelo en la porción ubicada directamente debajo de la pila. De acuerdo a lo expuesto por Paterlini et al., (2016), la elevada CE podría deberse a la importante cantidad de ácido úrico que poseen las heces de aves. Por otro lado, la lixiviación de sales solubles en el perfil de suelo depende de la textura y las precipitaciones que permitan desplazar esas sales (Flores Márquez et al., 2013). La textura arcillosa, y la presencia de la pila de CP cubriendo el suelo, pueden estar explicando la ausencia del efecto significativo de la pila en la CE a mayor profundidad (20 a 100 cm).

#### 5.1.3 Nitrógeno Total (NT)

En cuanto al NT del sitio estudiado, pre-estacionamiento, varía entre 0,263 y 0,0445 %. Siendo el valor más elevado el correspondiente a la profundidad 0 a 20 cm y el más bajo 80 a 100 cm.

Se encontró, por medio del análisis ANOVA de doble entrada (Anexos, Tabla 7), que el efecto de la pila de CP sobre el NT depende de la profundidad de suelo analizada (interacción Pila x Profundidad,  $p < 0,05$ ). De acuerdo al post-test de Bonferroni, en las dos categorías más superficiales se observaron diferencias significativas (de 0 a 20 cm  $p < 0,001^{***}$ ; de 20 a 40 cm  $p < 0,05^*$ ) entre el suelo pre-estacionamiento y post-estacionamiento, con valores de 0,375 % (0 a 20 cm) y 0,155 % (20 a 40 cm) para el suelo post-estacionamiento. No se encontraron diferencias significativas entre el suelo pre-estacionamiento y post-estacionamiento, en las tres categorías de mayor profundidad: de 40 a 60 cm ( $p > 0,05$  ns), de 60 a 80 ( $p > 0,05$  ns) y de 80 a 100 cm ( $p > 0,05$  ns).



**Figura 15:** Variación de Nitrógeno total del sitio con cama de pollo a diferentes profundidades.

Valores representativos medios para la media de cada profundidad (10, 30, 50, 70 y 90 cm). Siendo (ns) sin diferencias significativas y, (\*\*\*) y (\*) diferencias significativas correspondientes a  $p < 0,001$  y  $p < 0,05$ , respectivamente.

Con respecto a la interacción entre la presencia de la pila y la profundidad sobre el NT del suelo (Figura 15), puede deberse al aporte de ácido úrico y urea que poseen las heces, y a la capacidad de lixiviación. Estos compuestos liberan amoníaco formando compuestos amoniacales, y en menor proporción  $\text{NO}_3$ , este efecto puede estar justificando lo observado en la zona subyacente a la pila de CP (0 a 10 cm), donde se ve incrementado 1,42 veces el NT respecto al nivel inicial.

Según estudios realizados por (Qafoku et al., 2001) la disponibilidad de N en la CP es variable, con un aporte de N inorgánico cuyas concentraciones se encuentran entre 1,38 a 13,4  $\text{g N kg}^{-1}$  de CP, y N mineralizable desde 6,2 hasta 27,8  $\text{g N kg}^{-1}$  de CP, siendo cercano al nivel inicial del N (N orgánico +  $\text{NH}^{+4}$ ) de la CP utilizada de 16,5  $\text{g N kg}^{-1}$ .

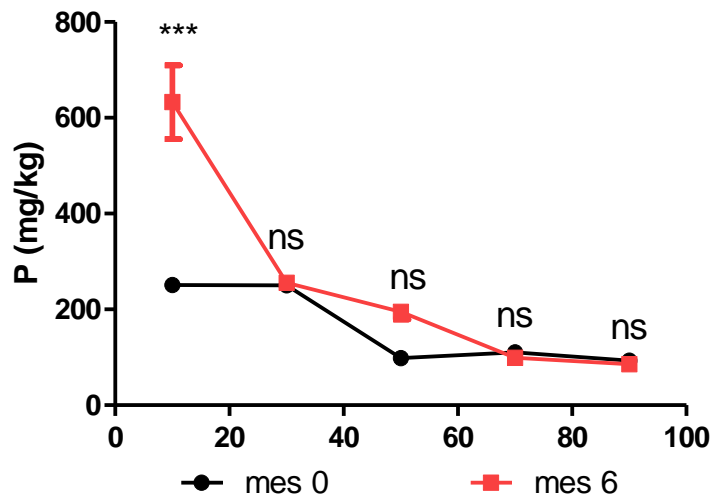
Sumado a lo descrito en el párrafo anterior, el N es un nutriente que se lixivia con facilidad por aportes de riego o lluvias. Esta capacidad puede explicar la translocación del N en las profundidades del suelo, siendo sus niveles superiores a los del suelo sin CP hasta los 60 cm. Este efecto fue estudiado por Poch et al. (2005), quienes han evaluado y discutido la

capacidad de predicción de los riesgos de lixiviación de nitratos en suelos agrícolas por medio de simuladores. Dichos autores hallaron que entre el 47 y un 53 % del N es susceptible de ser lixiviado siendo transportado del suelo a las aguas superficiales y a las aguas subterráneas, ocasionando contaminación ambiental. Según Herrero y Gil (2008) los animales eliminan por orina y excretas el 60 % del N incorporado por la dieta alimentaria.

Finalmente, a profundidades mayores a los 60 cm, la ausencia de efecto de la pila sobre el N, podría deberse al alto contenido de arcilla de horizonte Bt previo (57,59 % de arcillas de 36-64 cm). Según Benimeli et al. (2019), las superficies cargadas negativamente de las arcillas, atraen a los iones  $\text{NH}_4^+$  donde son retenidos en forma intercambiable, disponibles para las plantas, siendo parcialmente protegidos del lavado.

#### 5.1.4 Fósforo Extractable (PE)

En cuanto al PE del sitio estudiado, pre-estacionamiento, varía entre 250,8 mg  $\text{kg}^{-1}$  y 93,1 mg  $\text{kg}^{-1}$ . Siendo el más elevado el correspondiente a la profundidad de 20 a 40 cm y el más bajo de 80 a 100 cm. Se encontró, por medio del análisis ANOVA de doble entrada (Anexos, Tabla 8), que el efecto de la pila de CP sobre el PE depende de la profundidad de suelo analizada (interacción Pila x Profundidad,  $p < 0,05$ ). De acuerdo al post-test de Bonferroni, en la categoría más superficial (0 a 20 cm) se observaron diferencias significativas ( $p < 0,001^{***}$ ) entre el suelo pre-estacionamiento y post-estacionamiento donde la presencia de la pila produce un aumento en la concentración de PE (632,7 mg  $\text{kg}^{-1}$ ). En contraste, no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en las tres categorías de mayor profundidad, de 40 cm (255,7 mg  $\text{kg}^{-1}$ ) a 100 cm (85,5 mg  $\text{kg}^{-1}$ ).



**Figura 16:** Variación de Fósforo extractable de sitio con cama de pollo a diferentes profundidades. Valores representativos medios para cada profundidad (0-20,20-40,40-60, 60-80 y 80-100 cm). Siendo (ns) sin diferencias significativas y (\*\*\*) diferencias significativas correspondientes a  $p < 0,001$ .

Con respecto a la interacción entre la presencia de la pila y la profundidad del suelo sobre el PE del suelo (Figura 16), puede deberse a la inmovilidad parcial que presenta dicho nutriente. Por un lado, el elevado P de la pila de CP (entre 1,15 y 2,13 %), generó un aumento significativo en la primera categoría de profundidad del perfil (0 a 20 cm), donde la concentración de P aumento 2,5 veces, con respecto al suelo inicial. Herrero y Gil (2008) aseguran que los animales eliminan por orina y excretas parte del P incorporado por la dieta alimentaria, encontrándose un 80 % del P incorporados. Por otro lado, el P aplicado como fertilizante, puede constituir compuestos inorgánicos inutilizables, debido a su inmovilización sobre la MO y arcillas (Cerón Rincón y Aristizábal Gutiérrez, 2012). En este caso el efecto de acumulación de P en el horizonte más superficial, podría deberse al alto contenido de arcilla de horizonte Bt posterior (57,59 % de arcillas de 36-64 cm), junto a la presencia de alto contenido de MO, (siendo en el horizonte A 4,70 % y en AC 1,41 %), lo cual impidió el aumento de los niveles de este nutriente en las categorías más profundas del perfil.

En un estudio realizado por Djordjic et al. (2004) midieron la lixiviación del P durante tres años y observaron perdidas totales de P entre 0,03 y 1,09 kg ha<sup>-1</sup> al año. Los autores encontraron que el mecanismo de transporte de agua a

través del suelo y las propiedades del subsuelo parecían ser más importantes para la lixiviación del P que el valor de P del suelo en la capa superior. Para conocer la capacidad del P de moverse en este ambiente, posiblemente habría que medir las concentraciones de P una vez que el suelo queda descubierto, sin la CP que impide que el agua atraviese el perfil.

Finalmente, a pesar de la baja capacidad de desplazarse a lo largo del perfil, el P puede trasladarse de manera superficial. Rodríguez et al. (2019), establecieron que el P y el N son transportados del suelo a las aguas superficiales y a las aguas subterráneas, ocasionando daño ambiental a través de la eutrofización, y problemas directos a la salud humana por agua para consumo contaminada. En estudios anteriores Sharpley et al. (1998) indicaron que la aplicación a largo plazo de CP podría afectar negativamente la productividad y la calidad del suelo al crear un potencial desbalance de nutrientes.

## 5.2 ENSAYO HORTICOLA A CAMPO

En el ensayo de producción hortícola a campo se comparó la respuesta de las propiedades químicas pH, CE y PE de los primeros 10 cm de suelo, en función del tipo de fertilización: (1) Testigo (T), (2) Fertilización Química (FQ) y (3) Cama de Pollo (CP). Las respuestas se evaluaron a dos tiempos diferentes: (a) Cosecha: momento de cosecha del primer cultivo hortícola fertilizado (Lechuga), y (b) Labranza: luego de la labranza que marcó el final del primer año del ensayo y el inicio del segundo. A continuación se presentan los valores iniciales, a cosecha y a labranza para cada una de las propiedades de suelo en estudio, y se evalúa el efecto del factor Fertilización a los tiempos indicados.

### 5.2.1 Potencial de Hidrógeno

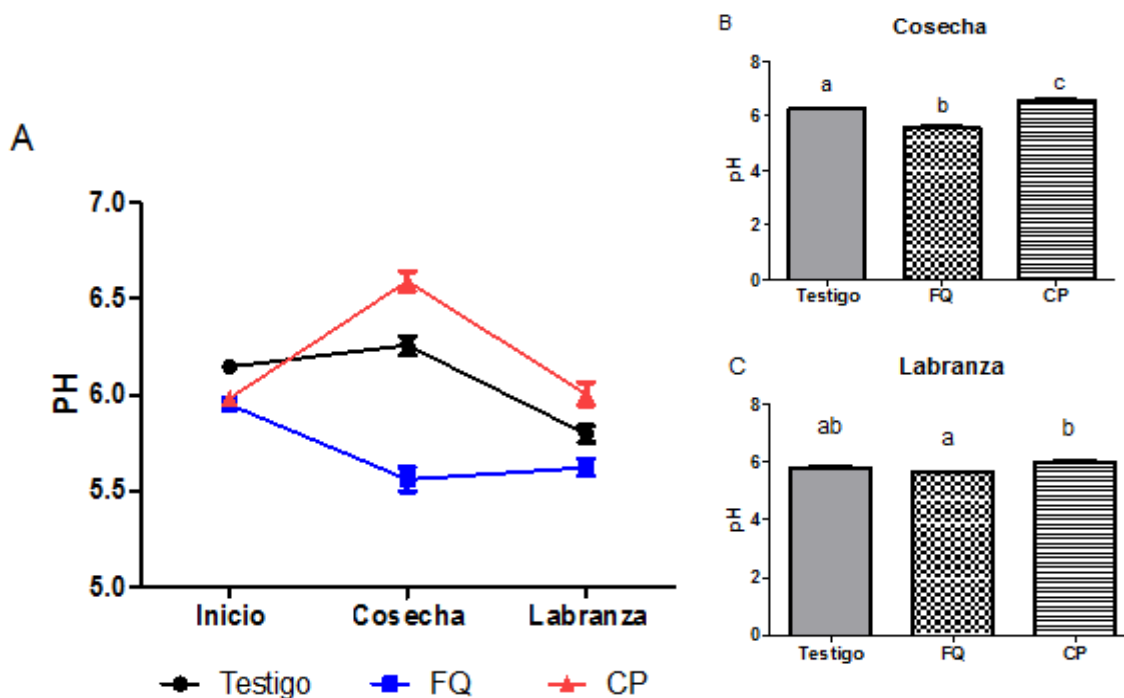
El pH es un indicador indirecto de las reacciones que ocurren en el suelo, controlando las reacciones químicas que determinan la disponibilidad de los nutrientes -solubles o insolubles para su absorción- y condicionando el crecimiento de los cultivos. Por tal motivo, los problemas nutritivos más

comunes ocurren en los cultivos cuando el pH se encuentra fuera del rango óptimo (Barbaro, Karlanian, & Mata, sf). En el cultivo de lechuga se considera que el pH óptimo del suelo es de 6,8 a 7,4 (Di Benedeto, 2005).

Los valores de pH encontrados en las parcelas de este ensayo corresponden a suelos moderados a levemente ácidos (5,79 a 6,25). En la Figura 17A se presenta la variación del pH a lo largo del tiempo en función del tipo de fertilización.

De acuerdo a los análisis del ANOVA de una vía (Anexos Tabla 9), el factor Fertilización tuvo un efecto sobre el pH tanto en tiempo Cosecha como en tiempo Labranza. En tiempo Cosecha, como se observa en la Figura 17B, tanto FQ como CP presentan diferencias significativas respecto a T (test de Tuckey  $p < 0,05$ ). Mientras la fertilización con CP generó un aumento del pH (6,59), la FQ generó una disminución del pH (5,56) con respecto al T (6,25).

Los resultados son coincidentes con los obtenidos previamente por Paladino et al., (2018) y Cuellas, (2017) los cuales reportaron que el efecto del uso de fertilizantes químicos nitrogenados produce la acidificación del suelo, en cambio la fertilización con CP produce su alcalinización. Por un lado, la acidificación del suelo como consecuencia de la aplicación de fertilizantes químicos nitrogenados, es producido por el proceso de nitrificación que se lleva a cabo por las bacterias nitrificantes del suelo, que acidifican el medio por liberación de  $H^+$  provenientes de amonio ( $NH_4^+$ ) (Barbaro et al., sf). Por otro lado, se produce la alcalinización por aplicación de CP con pH alcalino (8,41). En este ensayo el aumento en el pH representa una mejora en la aptitud del suelo para el cultivo de lechuga encontrándose dentro del rango de pH óptimo.



**Figura 17:** pH del suelo en el ensayo a campo.

A- Curvas de variación del pH en el tiempo. B- niveles de pH correspondientes al tiempo cosecha. C- niveles de pH correspondientes al tiempo labranza. Diferentes letras sobre las columnas indican diferencias significativas entre los tratamientos de acuerdo a los análisis a posteriori de Tuckey ( $p < 0,05$ ).

En el tiempo Labranza (Figura 17C), se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos FQ (5,62) y CP (6,00) (Anexos Tabla 9). Sin embargo, en tiempo Cosecha ya no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las parcelas que recibieron fertilización (FQ y CP) y las parcelas T (5,79). Esta homogeneización con el resto del perfil es posiblemente debido al efecto labranza, siendo coincidente con lo reportado por Diaz-Zorita (1999), el cual manifestó que la acidez del suelo es frecuentemente modificada por las prácticas de labranza.

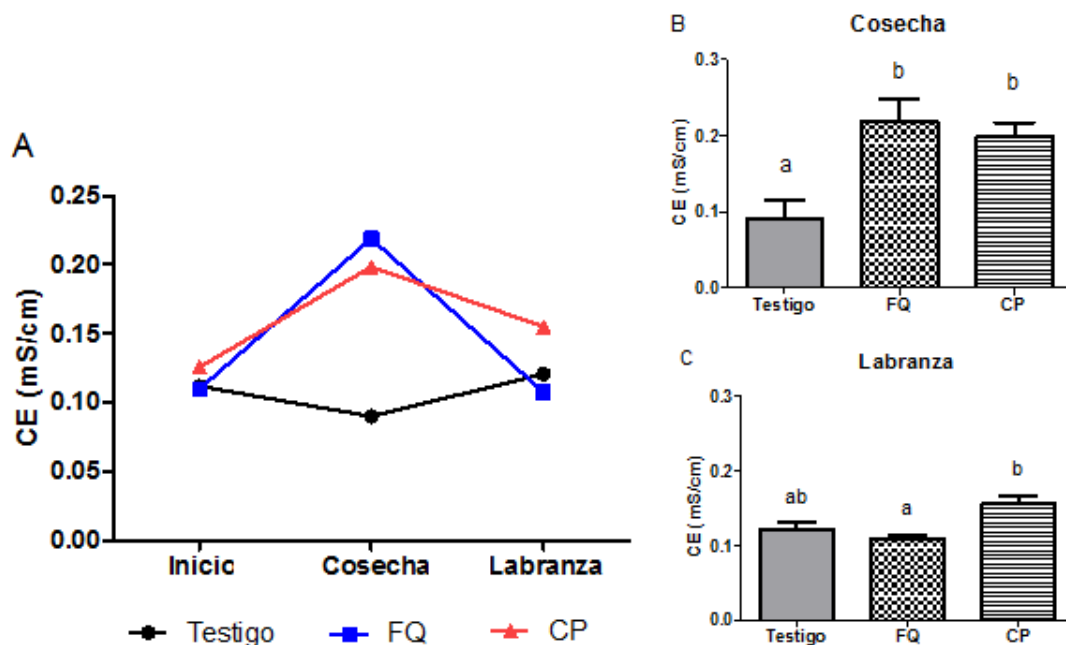
Debido a que el pH es una propiedad inherente del suelo (Wilson & Sasal, 2017) estas prácticas de fertilización podrían modificarlo transitoriamente, luego de un tiempo este vuelve al equilibrio, por lo que con los datos obtenidos no se puede predecir las consecuencias a largo plazo en las que puede derivar este manejo.

### 5.2.2 Conductividad eléctrica (CE)

La CE mide la capacidad de un material para conducir corriente eléctrica. Cuanto más alto es el valor, mayor es el contenido de sales solubles presentes y mayor el potencial osmótico de la solución edáfica, reduciendo la disponibilidad de agua para las plantas, aun cuando el suelo este húmedo. El estrés salino causa reducción en el crecimiento y en el desarrollo de las plantas (Alexis Lamz Piedra, 2013).

Los valores de CE del suelo T encontrados en las parcelas de este ensayo fueron al inicio de  $0,11 \text{ mS cm}^{-1}$ , disminuyendo en el tiempo a cosecha de  $0,09 \text{ mS cm}^{-1}$  e incrementándose nuevamente en el tiempo a labranza  $0,12 \text{ mS cm}^{-1}$ , por lo cual las parcelas corresponden a suelos con nula o baja salinidad ( $0$  a  $2 \text{ mS cm}^{-1}$ ). En la figura 18A se presenta la variación del CE a lo largo del tiempo en función del tipo de fertilización.

De acuerdo a los análisis ANOVA de una vía (Anexos Tabla 10), el factor Fertilización afectó la CE tanto en Cosecha como en tiempo Labranza. En tiempo Cosecha, como se observa en la figura 18B, tanto FQ como CP presentan diferencias significativas respecto a T (test de Tuckey  $p < 0,05$ ), no siendo así entre las parcelas que recibieron fertilización (FQ y CP). La fertilización con FQ generó el mayor aumento de la CE ( $0,219 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), seguido por fertilización con CP ( $0,198 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), con respecto al T ( $0,09 \text{ mS cm}^{-1}$ ). A pesar de superar por 2,43 veces la CE del suelo T y 1,1 veces el valor de la CE de CP, aún se encuentran muy por debajo de aquellos valores que interfieren con el desarrollo y el rendimiento del cultivo de lechuga. Según Maas (1994) la lechuga presenta un umbral de tolerancia a la salinidad de  $1,3 \text{ mS cm}^{-1}$ .



**Figura 18:** Conductividad eléctrica (CE) del cultivo a campo.

A- Curvas de variación de la CE en el tiempo. B- niveles de CE correspondientes al tiempo cosecha. C- niveles de CE correspondientes al tiempo labranza. Diferentes letras sobre las columnas indican diferencias significativas entre los tratamientos de acuerdo a los análisis a posteriori de Tuckey ( $p < 0,05$ ).

En el tiempo Labranza (Figura 18C), se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos FQ ( $0,11 \text{ mS cm}^{-1}$ ) y CP ( $0,16 \text{ mS cm}^{-1}$ ), (Tabla 10). Este resultado podría estar indicando una mayor capacidad de retención en las sales provenientes de CP, en comparación a las aportadas del FQ. No obstante, ya no se encuentran diferencias significativas entre las parcelas que recibieron fertilización (FQ y CP) y las parcelas T ( $0,12 \text{ mS cm}^{-1}$ ).

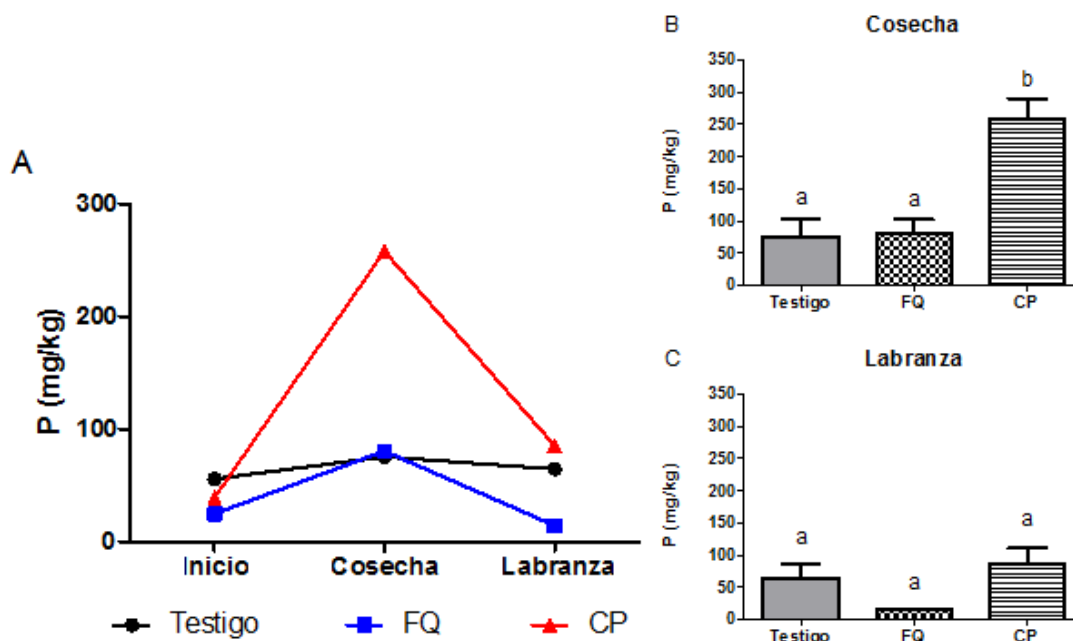
### 5.2.3 Fósforo Extractable

El PE representa una pequeña fracción presente en el suelo, encontrándose en equilibrio dinámico entre las formas orgánicas e inorgánicas (Berracal R et al., 2009). Es considerado, luego del N, el nutriente más importante del suelo para el crecimiento y desarrollo de las plantas, siendo relevante en su estructura y en la transformación de la energía. El P presenta una menor movilidad y biodisponibilidad que otros macronutrientes (Tiessen et al., 1982), para las plantas. Estas características le otorgan una alta resistencia al lavado,

pudiendo producirse una pérdida superficial por escorrentía, por tal motivo también ha sido reconocido como un contaminante potencial de las aguas (Anderson, 1980).

De acuerdo con las concentraciones de PE encontradas en las parcelas T del ensayo, se lo clasifica como un suelo muy bien provisto de PE. Los valores hallados fueron al inicio de  $55,53 \text{ mg kg}^{-1}$ , aumentando en el tiempo a cosecha de  $80,43 \text{ mg kg}^{-1}$  y luego en el tiempo a labranza disminuye a  $64,41 \text{ mg kg}^{-1}$ . En la Figura 19A se presenta la variación del PE a lo largo del tiempo en función del tipo de fertilización.

De acuerdo a los análisis ANOVA de una vía (Anexos, Tabla 11), existe efecto del factor Fertilización sobre el PE solo en tiempo Cosecha. En tiempo Cosecha, como se observa en la Figura 19B, el tratamiento CP presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) respecto a T y FQ, sin diferencias significativas entre estos dos. La fertilización con CP generó un aumento del PE ( $257,85 \text{ mg kg}^{-1}$ ), el cual resultó 3,20 veces mayor que en los otros tratamientos (FQ y T). Los resultados obtenidos coinciden con lo encontrado por Millaleo & Rubio (2006), quienes expresaron que la incorporación de abonos orgánicos incrementaba el PE disponible de los suelos. Por otro lado Koelsch y Shapiro (1997) mencionan que los niveles de P de más de 150 a 200 ppm en el suelo, representan un riesgo para la calidad del agua superficial debido a la posible pérdida de P en la escorrentía superficial. Los valores hallados en el ensayo de éste trabajo final son superiores a los mencionados por Koelsch y Shapiro (1997) en el tiempo a cosecha, sugiriendo que representan un riesgo para la calidad del agua superficial.



**Figura 19:** Fósforo Extractable del cultivo a campo. A- Curvas de variación del PE en el tiempo. B- niveles de PE correspondientes al tiempo cosecha. C- niveles de PE correspondientes al tiempo labranza. Diferentes letras sobre las columnas indican diferencias significativas entre los tratamientos fertilizante química y cama de pollo para cada tiempo de acuerdo a los análisis a posteriori de Tuckey ( $p < 0,05$ ).

En tiempo Labranza (Figura 19C), no se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos, esto puede deberse al efecto de dilución que produce la labranza en la concentración de PE en el perfil del suelo. En el presente ensayo se obtuvieron valores menores en tiempo Labranza respecto a tiempo Cosecha, siendo la fertilización con CP ( $85,21 \text{ mg kg}^{-1}$ ), la que presentó el valor más elevado respecto a T ( $64,41 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y FQ ( $14,17 \text{ mg kg}^{-1}$ ). El tratamiento FQ fue el único que al completar el primer año, presentó una concentración de P por debajo del valor inicial.

Echeverría & García (2014), mencionan que a pesar de la baja movilidad del P, este representa un riesgo de contaminación de acuíferos y eutrofización de cuerpos de agua superficiales. Según Sharpley et al. (1993), la pérdida de P de los fertilizantes o del estiércol en la escorrentía está influida por la tasa, el tiempo y el método de aplicación; la cantidad y la duración de las precipitaciones; las prácticas de riego; y la cubierta vegetal. Los mismos alertaron sobre las concentraciones de P disuelto provenientes de labranzas conservacionistas, según lo encontrado en ensayos extendieron los valores

críticos asociados con una eutrofización acelerada ( $0,01$  a  $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Llegando a la conclusión de que por lo general, las pérdidas de P son inferiores al 5 % de las aplicadas. A su vez, Payne y Zhang (s.f.), concluyeron que el exceso de éste nutriente en el suelo, es uno de los contaminantes del agua superficial más comunes y graves.

Finalmente, además de las pérdidas por escorrentía superficial, la lixiviación ha ganado últimamente una mayor atención como vía importante de transporte de P (Djordjic et al., 2004). Pudiéndose sumar la lixiviación a los posibles destinos del P perdido de 0 a 10 cm entre tiempo Cosecha y Labranza. Por otro lado, si bien el cultivo de zapallo presenta bajos requerimientos de P en su ciclo, al inicio de su desarrollo es muy exigente (INTA, 2013), por lo cual una parte del P, pudo haber sido absorbido por el cultivo.

## 6- Conclusiones

En función de todos los resultados encontrados en este estudio se acepta la hipótesis general propuesta. Se concluye que:

- 1) El manejo inadecuado de la CP en horticultura genera contaminación ambiental, impacta sobre las propiedades químicas del suelo modificándolo.
- 2) Esta respuesta dependerá al menos en parte de la clase textural y el manejo del suelo.

Asimismo, los resultados permiten confirmar la primera hipótesis específica planteada.

- 1) El estacionamiento de CP sobre el suelo subyacente, provoca a diferentes profundidades, cambios sobre las propiedades físico-químicas de los suelos y la respuesta depende de cada una de ellas.
- 2) Si bien todos los parámetros medidos presentaron un cambio en su concentración, mientras el PE y la CE fueron afectados solo en el primer nivel de profundidad, el N fue afectado también en el segundo, posiblemente por su alta movilidad.
- 3) El pH se comportó de forma opuesta a los demás, viéndose afectado en los niveles más profundos, a partir de los 40 cm.
- 4) La variación en la respuesta podría depender del contenido de MO y del contenido de arcillas presentes a las diferentes profundidades. Para evitarlo, se recomienda estacionar la pila de CP a la intemperie colocando algún tipo cobertura, que permita el paso del aire y lo resguarde el paso del agua, también se puede realizar una impermeabilización de suelo o alisado del mismo.

También se acepta la segunda hipótesis específica.

- 1) La respuesta de las propiedades físico-químicas (pH, CE y PE) del suelo, varía en función del tipo de fertilización, al finalizar un cultivo de lechuga.

- 2) Por un lado, la utilización de CP siguiendo las prácticas de los productores locales incrementa la concentración de P hasta niveles reconocidos como contaminación de suelo.
- 3) Por otro lado, el aumento del pH bajo este tratamiento, podría favorecer el cultivo de lechuga mientras la disminución causada por la fertilización química podría perjudicarlo. La CE varió pero dentro de niveles aceptables.

Por último, se acepta parcialmente la tercera hipótesis.

- 1) La respuesta de las propiedades físico-químicas (pH, CE y PE) del suelo, varía en función del tipo de fertilización, al finalizar un año completo que incluye un cultivo de lechuga, cultivo de zapallo y labranza.
- 2) Completado el primer año ninguna de las propiedades evaluadas difiere entre el T y las parcelas fertilizadas. Sí se mantienen diferencias entre ambos tipos de fertilización para pH y CE.
- 3) Nuestros resultados sugieren que el efecto producido por la labranza en este estudio favoreció a la dilución del P, a su vez tendió a reestablecer los valores de pH y CE, al final del ciclo del cultivo. Dicha dilución del P podría estar representando una fuente de contaminación difusa.

Si bien se pudo observar la incidencia de los dos tratamientos, se recomienda continuar con la evaluación para obtener un mayor detalle de cuál es el impacto en la contaminación del suelo, cuando se realiza de forma continuada por varios años, la fertilización con enmienda orgánica y fertilización química, agregando a las variables estudiadas carbono total.

## Bibliografía

- Abbona, E.A. (2017). Flujos de nutrientes en la agricultura y la alimentación para un ecosistema alimentario sostenible en la provincia de Buenos Aires. Tesis doctoral. UNLP <http://hdl.handle.net/10915/61599> (Consultado Junio 2021).
- Abril, A.; Filippini, M.F. y Noé, L. 2014. Manejo de enmiendas para restaurar la materia orgánica del suelo en oasis de regadío de mendoza, argentina. [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/19599/CONICET\\_Digital\\_Nro.2\\_2737.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/19599/CONICET_Digital_Nro.2_2737.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (Consultado Mayo 2021).
- Abril, A. y Noé, L. 2007. Soil C sink and CO<sub>2</sub> flux in a marginal dry forest of western Argentina. En: VERNE, N.C. (Eds.) Forest Ecology Research Horizons. Nova Science Publishers, Inc, New York, pp.191-202.
- Adlercreutz E., Huarte R.D., López C.A., Manzo E., Szczesny A. y Viglianchino L. (2014). Producción hortícola bajo cubierta / compilado por Alfredo Szczesny ; edición literaria a cargo de Enrique Adlercreutz- 1er. CABA. Ediciones INTA, [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-prod\\_hort\\_bc.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-prod_hort_bc.pdf) (Consultado Abril 2021).
- Aguilar, A., Etchevers, J., y Castellanos, J. (1987). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Ed. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema12/medida.htm> Methods of Soils Analysis Part 3 – Chemical Methods Ed. D.L. Sparks. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos 2ª. Edición J.Z. Castellanos, J.X. Uvalle Bueno, A. Aguilar Santelises. Colección INCAPA. Datos propios de Agrolab. (Consultado diciembre 2020).
- Alexis Lamz Piedra, D.M. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. cultrop 34(4): pah. La Habana. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362013000400005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000400005) (Consultado diciembre 2020).

- Anderson, G. (1980). Assessing organic phosphorus in soils. p. 411-431. In F.E. Khasawneh et al. (eds.) The role of phosphorous in agriculture. ASA, Madison, WI.
- Andrades, M. & Martínez, M. (2014). Fertilidad del Suelo y parámetros que lo definen (3er ed.). Logroño: Universidad de la Rioja.
- Barbaro, L., Karlanian, M., y Mata, D. (sf). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. INTA.
- Benimeli, M.F.; Plasencia, A.; Corbella, R.D.; Guevara, D.A.; Sanzano, A.; Sosa, F.A. y Fernández de Ullivari, J. (2019). El nitrógeno del suelo. Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán.
- Berracal Rosso, E.P.; Durango Petro, J.M.; Barrera Violeth, J.L. y Díaz Pongutá, B. (2009). Evaluación de formas de fósforo en suelos cultivados de plátanos.
- Bragachini, M.A.; Huerga, I.; Mathier, D.F. y Sosa N. (2013). Residuos pecuarios: una problemática que puede transformarse en oportunidad. Resumen de las ponencias referidas al manejo de residuos en los sistemas de producción animal desarrolladas en la Segunda Jornada Nacional de Gestión de Residuos. Centro Regional Córdoba. Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi y Centro Regional Santa Fe. Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros.
- Burgos, J. (1969). Clima de la Provincia de Buenos Aires en relación con la vegetación natural y el suelo. Separata del libro Flora de la Provincia de Buenos Aires Tomo I: 33-99.
- Cameron, K., Di, H.J., y McLaren, R.G. (1997). Is soil appropriate dumping ground for our wastes? Australian Journal of Soil 35:995-1035.
- Cerón Rincón L.E. y Aristizábal Gutiérrez F.A. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. Artículo de Revisión. <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n1/v14n1a26.pdf> (Consultado Junio 2021)

- Cuellas M.V. (2017). Horticultura Periurbana: Análisis de la fertilidad de los suelos en invernaderos. *Chilean J Agric Anim Sci ex Agro-Ciencia* 33(2):163–173.
- Diaz-Zorita, M. (1999). Efecto de seis años de labranzas en un Hapludol del nordeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 17:31-36. [https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_17n1/ciencia\\_del\\_suelo\\_17\\_1\\_31\\_36.pdf](https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_17n1/ciencia_del_suelo_17_1_31_36.pdf). (Consultado octubre 2020).
- Di Benedetto, A. (2005). Manejo de Cultivos Hortícolas: bases ecofisiológicas y tecnológicas. Cap. 2. Orientación Gráfica Editora S.R.L.
- Djordjic, F., Börling, K. y Bergström, L. (2004). Phosphorus leaching in relation to soil type and soil phosphorus content. *Journal of environmental quality*, 33(2): 678–684. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15074820/> (Consultado Junio 2020).
- Echeverría, H., y García, F. (2014). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. 2da Edición. Bs As. Ediciones INTA. Capítulo 34. pp 871:897.
- FAO. (2019). Código Internacional de Conducta para el Uso y Manejo de Fertilizantes. Roma.
- FAO y ITPS. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Rome, Italy. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. (also available at <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf> ). (Consultado diciembre 2020).
- Fassbender, H. (1987). Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <http://repositorio.iica.int/handle/11324/6801>. (Consultado Diciembre 2020).
- Fernández-Marcos, M.L. (2011). Contaminación por fósforo procedente de la fertilización orgánica de suelos agrícolas. [https://www.researchgate.net/publication/230688083\\_Contaminacion\\_por\\_fosforo\\_procedente\\_de\\_la\\_fertilizacion\\_organica\\_de\\_suelos\\_agricolas](https://www.researchgate.net/publication/230688083_Contaminacion_por_fosforo_procedente_de_la_fertilizacion_organica_de_suelos_agricolas). (Consultado Marzo 2021).

- Fernández-Lozano, J. (2012). *Corporación del Mercado Central de Bs. As.* Recuperado de [http://www.mercadocentral.gob.ar/zip tecnicas/la\\_produccion\\_de\\_hortalizas\\_en\\_argentina.pdf](http://www.mercadocentral.gob.ar/zip tecnicas/la_produccion_de_hortalizas_en_argentina.pdf). (Consultado Abril 2021).
- Ferraris, G. y Ferrero, G.E. (2018). Análisis de la estructura agraria en los sistemas hortícolas del AMBA-SUR (Área Metropolitana de Buenos Aires-Sur). *Rev. Fac. Agron.* 117 (2): 231- 244.
- Fraser, D. (2006). El bienestar animal y la intensificación de la producción animal. Una interpretación alternativa. Documentos de la FAO sobre Ética (FAO).
- Flores-Márgez, J.P., Valero-Córdoba, C., Osuna-Ávila, P., Corral-Díaz, B., Shukla-Manoj K., y Salazar-Sosa, E. (2013). Textura del suelo y tipo de agua de riego en la disponibilidad de fósforo de estiércol bovino. *Terra Latinoamericana*, 31(3), 211-220.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018757792013000400211&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018757792013000400211&lng=es&tlng=es). (Consultado Abril 2021).
- Gange, J. (2014). Resultados analíticos de cama de pollo con diferentes condiciones y manejos del Departamento Uruguay y Colón. Profam Uruguay: INTA AER Uruguay.
- García-Ferré C. (2005). Agricultura y ganadería. XVI Jornadas Ganaderas de Pergamino y Expofeedlot, Estudio Ganadero Pergamino. [https://www.produccionanimal.com.ar/sustentabilidad/73agricultura\\_ganaderia.pdf](https://www.produccionanimal.com.ar/sustentabilidad/73agricultura_ganaderia.pdf). (Consultado Marzo 2021).
- García, F., Picone, L., y Berardo, A. (2007). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. (F. H.E. & García, Ed.) Buenos Aires, Argentina, Echeverría.
- Giuffré, L., Ratto, S., y Pascale, C. (2013). Contaminación de suelos. pp 87-25 (L. G. S.RATTO, Ed.). *Agrosistemas: Impacto ambiental y sustentabilidad*. Ed Facultad de Agronomía. Bs As.

- Goites, E.D. (2008). Manual de cultivos para la huerta orgánica familiar (1a ed.). (J. Schonwald, Ed.) Buenos Aires: INTA.
- Gómez, C., Mediavilla, M. y Pineda, C. (2013). Organizaciones de productores Bolivianos en el Cinturón Hortícola Platense y el desafío de alcanzar un modelo de producción cada vez más inclusivo y sustentable. Capítulo 11 en Migrantes bolivianos en el periurbano bonaerense. Memorias, producciones, políticas, trabajo, tecnología, organizaciones. Coordinadora: María Carolina Feito. Ediciones INTA.
- Gonçalves Vila Cova, C. (2020). Flujo de antibióticos y resistencia antibiótica en sistemas de producción agrícola. Trabajo final de carrera. UNLZ-Facultad de Ciencias Agrarias.
- HERRERO, M.A. y GIL, S.B. (2008). Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecología Austral* vol:18 n3, pp 273-289.
- INTA. (2013). Manual del cultivo del zapallo anquito ("*Cucurbita moschata Duch.*"). Cap: VII - R. A. Rodríguez, A. M. Eburne, V. R. Elisei; coordinado por Pedro Della Gaspera. - 1a ed. – San Carlos, Mendoza. Ediciones INTA. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual\\_de\\_zapallo.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_de_zapallo.pdf) (Consultado Mayo 2021).
- INTA-AMBA. (2012). Agricultura urbana y periurbana en el Área Metropolitana de Buenos Aires. EEA-AMBA. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-creacin\\_eea\\_amba.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-creacin_eea_amba.pdf) (Consultado Noviembre 2020).
- INTA-Ministerio de Agroindustria. (2018). Manual de Horticultura. Ediciones INTA.
- Koelsch, R.K. y Shapiro, C.A. (1997). G97-1334 Estimating Manure Nutrients from Livestock and Poultry. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension.1412.<https://digitalcommons.unl.edu/extensionhist/1412> (Consultado Marzo 2021).
- Maas, E. (1994). Testing crops for salinity tolerance U.S. salinity laboratory. pp. 234-247. USDA-ARS. Riverside, CA.

- Millaleo M.R.; Montecinos., C.U.; Rubio R. H, Contreras A.N. y Borie B.F. (2006). Efecto de la adición de compost sobre propágulos micorrícicos arbusculares en un suelo volcánico del centro sur de Chile. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 6(3): 26-39. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912006000300003>. (Consultado Marzo 2021).
- NORMA IRAM- SAGyP 29570-1. (2010). Norma Argentina. Calidad ambiental y calidad de suelo. Determinaciones de fósforo extraíble de los suelos. 1era edición. 20 pp.
- Oenema, O.; Kros, H. y De Vries, W. (2003). Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies *Eur. J. Agron.*, 20: 3-16 [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00067-4](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00067-4) (Consultado Junio 2021).
- Otiniano, A., Florián, L., Sevillano, R., y Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia* 24(1): pag Arica. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S071834292006000100009&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071834292006000100009&lng=es&nrm=iso&tlng=es) (Consultado Mayo 2021).
- Pain, B.F. (2000). Control and utilization of livestock manures. p. 343-364. (3ra ed.). (A. In Hopkins, Ed.) *Grass: its production and utilization*: British Grassland Society. Blackwell Science Ltd., Oxford, UK.
- Paladino, I., Sokolowski, A. y Irigoien, J. (2018) faltan autores. Soil properties evaluation in horticultural farms of Florencio Varela, Buenos Aires, Argentina. *Environ Earth Sci* 77:411 y completar pagina
- Paterlini, H., González, M. y Picole, L. (2016). Calidad de la cama de pollo fresca y compostada. *asociacion argentina ciencia del suelo*. 35 (1): pag.
- Payne, J. y Zhang, H. s.f. Poultry litter nutrient management: a guide for producers and applicators. Oklahoma State University. <http://poultrywaste.okstate.edu/Publications/files/E1027%20REV%20061512.pdf>. (Consultado Marzo 2021).

- Qafoku, O, M.L. Cabrera, W.R. Windham y N.S. Hill. (2001). Rapid methods to determine potentially mineralizable nitrogen in broiler litter. J. Environ. Qual. 30:217-221.
- R. Poch; Mailhol, J.C.; Candela, L. y Ramíre, F. (2005). Estimación de los riesgos de lixiviación de nitratos en suelos agrícolas: ¿enfoque numérico o funcional?. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo. Vol VII. F.J. Samper Calvete y A. Paz González.  
[https://www.researchgate.net/publication/237510392\\_ESTIMACION\\_DE\\_LOS\\_RIESGOS\\_DE\\_LIXIVIACION\\_DE\\_NITRATOS\\_EN\\_SUELOS\\_AGRICOLAS\\_EN\\_FOQUE\\_NUMERICO\\_O\\_FUNCIONAL](https://www.researchgate.net/publication/237510392_ESTIMACION_DE_LOS_RIESGOS_DE_LIXIVIACION_DE_NITRATOS_EN_SUELOS_AGRICOLAS_EN_FOQUE_NUMERICO_O_FUNCIONAL) (Consultado Marzo 2021).
- Rodríguez Eugenio, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. Roma: FAO.
- Rostagno, H.S.; Dionizio, M.; Paez L.E.; Butery CB y Albino, L.F. (2003). Impacto de la nutrición de pollos de engorde sobre el medio ambiente. Memorias XVIII Congreso Latinoamericano de la Avicultura. Bolivia.
- SAGyPINTA (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca y Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) (1995). Atlas de Suelos de la República Argentina. Escala 1:500.000 y 1:1.000.000. SAGyP Proyecto PNUD ARG 85/019.
- Salvioli, M.L.; Colli G.A.; Cipponeri, M. y Calvo G. (2012). Gestión de cuencas: análisis comparativo en función de la calidad del agua superficial y usos del suelo de dos pequeñas cuencas urbanas. Actas VII Congreso de Medio Ambiente AUGM. UNLP, La Plata Argentina.
- SAMLA. (2004). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina. Dirección de Producción Agrícola. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos Agua, Vegetales y Enmiendas Orgánicas. Buenos Aires, Argentina. 120 pp.
- Seba, N.; Tablada, M.L.; Barbosa, L.; Moreira, E.F. y Margiotta, E. (2014). Estrategias de Comercialización de pequeños productores de Florencio Varela - De la quinta a la mesa. Jornadas "La viabilidad de los 'inviabiles'". Estudios,

debates y experiencias sobre formas de producción alternativas al modelo concentrador en el agro- Universidad Nacional de Quilmes.  
[https://www.academia.edu/12657556/Estrategias\\_de\\_Comercializaci%C3%B3n\\_de\\_peque%C3%B1os\\_productores\\_de\\_Florencio\\_Varela\\_De\\_la\\_quinta\\_a\\_la\\_mesa?auto=download](https://www.academia.edu/12657556/Estrategias_de_Comercializaci%C3%B3n_de_peque%C3%B1os_productores_de_Florencio_Varela_De_la_quinta_a_la_mesa?auto=download) (Consultado Mayo 2021).

Sharpley, A.N.; Meisinger, J.J.; Breeuwsma, A.; Sims, J.T.; Daniel, T.C. y Schepers, J.S. (1998). Impacts of animal manure management on ground and surface water quality. pp. 173-242. In: JL Hatfield and BA Stewart (eds). Animal waste utilization:effective use of manure as a soil resource. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.

Sharpley, A.N.; Daniel, T.C. y Edwards, D.R. 1993. Phosphorus movement in the landscape. J. por. Agric. 6:492-500. <https://doi.org/10.2134/jpa1993.0492> (Consultado Abril 2021).

Soil Survey Staff. (2014). Illustrated guide to soil taxonomy. U.S Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska.

Sokolowski, A.C., Paladino, I.R., Rodríguez, H.A., De Grazia, J., Barrios, M.B., Wolski, J.E., y completar jajaja (2020). Avances en la caracterización edafoclimática de un sector de la Reserva Santa Catalina, Lomas de Zamora.

Tanya Morocho, M. y Leiva-Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2): 93-103.[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S025357852019000200093&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025357852019000200093&lng=es&tlng=es). (Consultado Mayo 2021).

Tiessen, H.; Stewart, J.W.B. y Bettany, J.R. 1982.Cultivation effect on the amounts and concentration of carbon, nitrogen and phosphorus in grassland soils.Agron. J. 74:831-835.

Tilman, D.; Cassman, K.G.; Matson, P.A.; Naylor, R. y Polasky S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671–677 <https://doi.org/10.1038/nature01014>. (Consultado Mayo 2021).

- Vázquez, M. y Terminiello, A. (2008). Recuperación de suelos degradados de pequeños productores del cinturón hortícola del Gran La Plata. Valoración del problema y estrategias correctivas. FCAyF, UNLP.
- Viteri, M. L., Ghezán, G. y Iglesias, D. (2013). Tomate y lechuga en los cinturones. Proyecto Específico: Economía de las cadenas agroalimentarias y agroindustriales. INTA.
- Vitousek, M.; Naylor, R.; Crews, T.; David, M.B.; Drinkwater, L.E.; Holland, E.; Johnes, P.J. Katzenberger, J.; Martinelli, L.A.; Matson, P.A.; Nziguheba, G. D.; Ojima, C.A.; Palm, G.P.; Robertson, P.A.; Sanchez, Townsend; A.R. y Zhang, F.S. (2009). Nutrient Imbalances in Agricultural Development. *Science* 324:1519-1520.
- Wilson, M.G. y Sasal, M.C. 2017. Aplicación de indicadores de calidad de suelo para el monitoreo agroambiental. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. INTA Ediciones. ISBN 978-987-521-826-0.

### Apéndices/Anexos

**Tabla 3:** Datos climáticos registrados el año de muestreo, Estación Agrometeorológica de Santa Catalina, Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica, INTA. Periodo 01/06/2018 a 31/05/2019.

	2018							2019					Prom. / Acum.
	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	
<b>T° Mx Media</b>	16,3	14,4	17,9	22,7	23,7	28,0	28,1	30,4	30,6	26,7	24,9	20,4	23,7
<b>T° Min Media</b>	4,9	6,3	6,2	11,7	11,0	15,0	15,4	19,5	17,2	15,3	12,7	10,1	12,1
<b>T° media</b>	10,6	10,4	12,0	17,2	17,3	21,5	21,7	25,0	23,9	21,0	18,8	15,3	17,9
<b>PP</b>	10,5	103,1	53,2	82,8	19,7	199,5	233,4	76,1	40,8	99,1	27,4	52,6	998,2
<b>%HR</b>	78	85	77	76	71	69	66	73	68	77	80	86	76

**Tabla 4:** Descripción del perfil típico

A	0-25cm	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; pardo oscuro (10YR 4/2) en seco; franco arcillo limoso; bloques subangulares medios moderados; duro en seco, firme en húmedo; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo. Abundantes raíces. Límite claro y suave.
AC	25-36cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco, franco arcillo limoso; bloques subangulares medios débiles con tendencia a laminar; ligeramente duro en seco y en húmedo friable; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo. Abundantes raíces. Límite ondulado y claro.
2Btss1	36-64cm	Pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco; arcilloso; prismas gruesos y muy fuertes; presencia de agregados cuneiformes, barnices abundantes; moteados precisos y abundantes; muy duro en seco, muy firme en húmedo; muy plástico, muy adhesivo. Presencia de raíces. Límite claro y suave.
2Btss2	64-89cm	Pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; pardo (10 YR 4/3) en seco; arcilloso; prismas gruesos y fuertes que rompen a bloques angulares y cuneiformes; duro en seco, firme en húmedo; barnices abundantes y chorreaduras de materia orgánica, slickensides; muy plástico muy adhesivo. Límite ondulado y claro.
3Bt	89-122cm	Pardo (10 YR 4/3) en húmedo; pardo amarillento (10 YR 5/4) en seco; arcillo limoso; bloques angulares gruesos que rompen a bloque medios-finos moderados; duro en seco, firme en húmedo, plástico; adhesivo. Límite claro y suave.
3BC	122-145cm	Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; pardo amarillento (10 YR 5/4) en seco, arcillo limoso; bloques subangulares medios débiles que rompen a masivo; ligeramente duro en seco, friable en húmedo; plástico; adhesivo. Límite claro y suave.
3C	145-165cm	Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; pardo amarillento (10 YR 5/4) en seco; franco arcillo limoso; masivo; ligeramente duro en seco, friable en húmedo; plástico; adhesivo.

**Tabla 5: ANOVA pH Suelo Subyacente**

Table Analyzed		PH del sitio CP			
Two-way ANOVA					
Source of Variation	% of total variation			P value	
Interaction	13,47			0,0057	
CP	16,43			< 0.0001	
Profundidad	68,56			< 0.0001	
Source of Variation	P value summary			Significant?	
Interaction	**			Yes	
CP	***			Yes	
Profundidad	***			Yes	
Source of Variation	Df	Sum-of-squares	Mean square	F	
Interaction	4	0,3216	0,08039	5,634	
CP	1	0,3922	0,3922	27,49	
Profundidad	4	1,636	0,4090	28,67	
Residual	15	0,2140	0,01427		
Number of missing values 5					
Bonferroni posttests					
mes 0 vs mes 6					
Profundidad	mes 0	mes 6	Difference	95% CI of diff.	
10,00	7,010	7,060	0,05000	-0.2713 to 0.3713	
30,00	6,775	6,703	-0,07167	-0.3930 to 0.2496	
50,00	6,015	6,567	0,5517	0.2304 to 0.8730	
70,00	6,255	6,667	0,4117	0.09036 to 0.7330	
90,00	6,300	6,637	0,3367	0.01536 to 0.6580	
Profundidad	Difference	t	P value	Summary	
10,00	0,05000	0,4585	P > 0.05	ns	
30,00	-0,07167	0,6572	P > 0.05	ns	
50,00	0,5517	5,059	P<0.001	***	
70,00	0,4117	3,775	P<0.01	**	
90,00	0,3367	3,088	P < 0.05	*	

**Tabla 6: ANOVA CE Suelo Subyacente**

Table Analyzed		CE del sitio CP			
Two-way ANOVA					
Source of Variation	% of total variation			P value	
Interaction	26,27			< 0.0001	
CP	23,07			< 0.0001	
Profundidad	29,41			< 0.0001	
Source of Variation	P value summary			Significant?	
Interaction	***			Yes	
CP	***			Yes	
Profundidad	***			Yes	
Source of Variation	Df	Sum-of-squares	Mean square	F	
Interaction	4	8,177	2,044	13,42	
CP	1	7,180	7,180	47,15	
Profundidad	4	9,153	2,288	15,03	
Residual	15	2,284	0,1523		
Number of missing values 5					
Bonferroni posttests					
mes 0 vs mes 6					
Profundidad	mes 0	mes 6	Difference	95% CI of diff.	
10,00	0,1465	3,487	3,340	2.290 to 4.390	
30,00	0,0800	1,113	1,033	-0.01704 to 2.082	
50,00	0,0770	0,7810	0,7040	-0.3457 to 1.754	
70,00	0,0550	0,2773	0,2223	-0.8274 to 1.272	
90,00	0,0525	0,2230	0,1705	-0.8792 to 1.220	

Profundidad	Difference	t	P value	Summary
10,00	3,340	9,376	P<0.001	***
30,00	1,033	2,899	P > 0.05	ns
50,00	0,7040	1,976	P > 0.05	ns
70,00	0,2223	0,6241	P > 0.05	ns
90,00	0,1705	0,4786	P > 0.05	ns

**Tabla 7:** ANOVA Nitrógeno total Suelo Subyacente

Table Analyzed		Nitrógeno total sitio C			
Two-way ANOVA					
Source of Variation	% of total variation			P value	
Interaction	4,22			0,0010	
CP	2,24			0,0007	
Profundidad	81,22			< 0.0001	
Source of Variation	P value summary			Significant?	
Interaction	***			Yes	
CP	***			Yes	
Profundidad	***			Yes	
Source of Variation	Df	Sum-of-squares	Mean square	F	
Interaction	4	0,01241	0,003103	8,702	
CP	1	0,006604	0,006604	18,52	
Profundidad	4	0,2389	0,05973	167,5	
Residual	14	0,004992	0,0003566		
Number of missing values	6				
Bonferroni posttests					
mes 0 vs mes 6					
Profundidad	mes 0	mes 6	Difference	95% CI of diff.	
10,00	0,2630	0,3753	0,1123	0.06102 to 0.1636	
30,00	0,1020	0,1547	0,05267	0.001352 to 0.1040	
50,00	0,07450	0,1023	0,02783	-0.02348 to 0.07915	
70,00	0,0670	0,0535	-0,0135	-0.06971 to 0.04271	
90,00	0,0445	0,03433	-0,01017	-0.06148 to 0.04115	
Profundidad	Difference	t	P value	Summary	
10,00	0,1123	6,517	P<0.001	***	
30,00	0,05267	3,055	P < 0.05	*	
50,00	0,02783	1,615	P > 0.05	ns	
70,00	-0,0135	0,7149	P > 0.05	ns	
90,00	-0,01017	0,5898	P > 0.05	ns	

**Tabla 8:** ANOVA Fósforo Extractable Suelo Subyacente

Table Analyzed		P sitio CP			
Two-way ANOVA					
Source of Variation	% of total variation			P value	
Interaction	18,11			< 0.0001	
CP	6,98			0,0005	
Profundidad	55,00			< 0.0001	
Source of Variation	P value summary			Significant?	
Interaction	***			Yes	
CP	***			Yes	
Profundidad	***			Yes	
Source of Variation	Df	Sum-of-squares	Mean square	F	
Interaction	4	134500	33630	12,89	

CP	1	51840	51840	19,86
Profundidad	4	408600	102100	39,14
Residual	15	39150	2610	
Number of missing values	5			
Bonferroni posttests				
mes 0 vs mes 6				
Profundidad	mes 0	mes 6	Difference	95% CI of diff.
10,00	250,8	632,7	381,9	244.4 to 519.3
30,00	250,1	255,7	5,567	-131.9 to 143.0
50,00	98,60	194,8	96,23	-41.19 to 233.7
70,00	110,6	99,23	-11,32	-148.7 to 126.1
90,00	93,10	85,50	-7,600	-145.0 to 129.8
Profundidad	Difference	t	P value	Summary
10,00	381,9	8,188	P<0.001	***
30,00	5,567	0,1194	P > 0.05	ns
50,00	96,23	2,063	P > 0.05	ns
70,00	-11,32	0,2427	P > 0.05	ns
90,00	-7,600	0,1630	P > 0.05	ns

**Tabla 9:** ANOVA pH Ensayo Hortícola a campo

Table Analyzed		PH cosecha de parcela			
One-way analysis of variance					
P value	< 0.0001				
P value summary	***				
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes				
Number of groups	3				
F	99,97				
R squared	0,9709				
ANOVA Table	SS	df		MS	
Treatment (between columns)	1,657	2		0,8287	
Residual (within columns)	0,04973	6		0,008289	
Total	1,707	8			
Tukey's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
Testigo vs FQ	0,6967	13,25	Yes	***	0.4686 to 0.9247
Testigo vs CP	-0,3333	6,341	Yes	**	-0.5614 to -0.1053
FQ vs CP	-1,030	19,60	Yes	***	-1.258 to -0.8019

Table Analyzed		PH labranza			
One-way analysis of variance					
P value	0,0049				
P value summary	**				
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes				
Number of groups	3				
F	14,65				
R squared	0,8301				
ANOVA Table	SS	df		MS	
Treatment (between columns)	0,2211	2		0,1105	
Residual (within columns)	0,04527	6		0,007544	
Total	0,2664	8			
Tukey's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff

Testigo vs FQ	0,1733	3,456	No	ns	-0.04426 to 0.3909
Testigo vs CP	-0,2100	4,188	No	ns	-0.4276 to 0.007591
FQ vs CP	-0,3833	7,644	Yes	**	-0.6009 to -0.1657

**Tabla 10:** ANOVA CE Ensayo Hortícola a campo

Table Analyzed		CE cosecha de parcela			
One-way analysis of variance					
P value	0,0207				
P value summary	*				
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes				
Number of groups	3				
F	7,919				
R squared	0,7252				
ANOVA Table		SS	df	MS	
Treatment (between columns)		0,02886	2	0,01443	
Residual (within columns)		0,01093	6	0,001822	
Total		0,03980	8		
Tukey's Multiple Comparison Test		Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary 95% CI of diff
Testigo vs FQ		-0,1290	5,234	Yes	* -0.2359 to -0.02206
Testigo vs CP		-0,1087	4,409	Yes	* -0.2156 to -.001723
FQ vs CP		0,02033	0,8250	No	ns -0.08661 to 0.1273

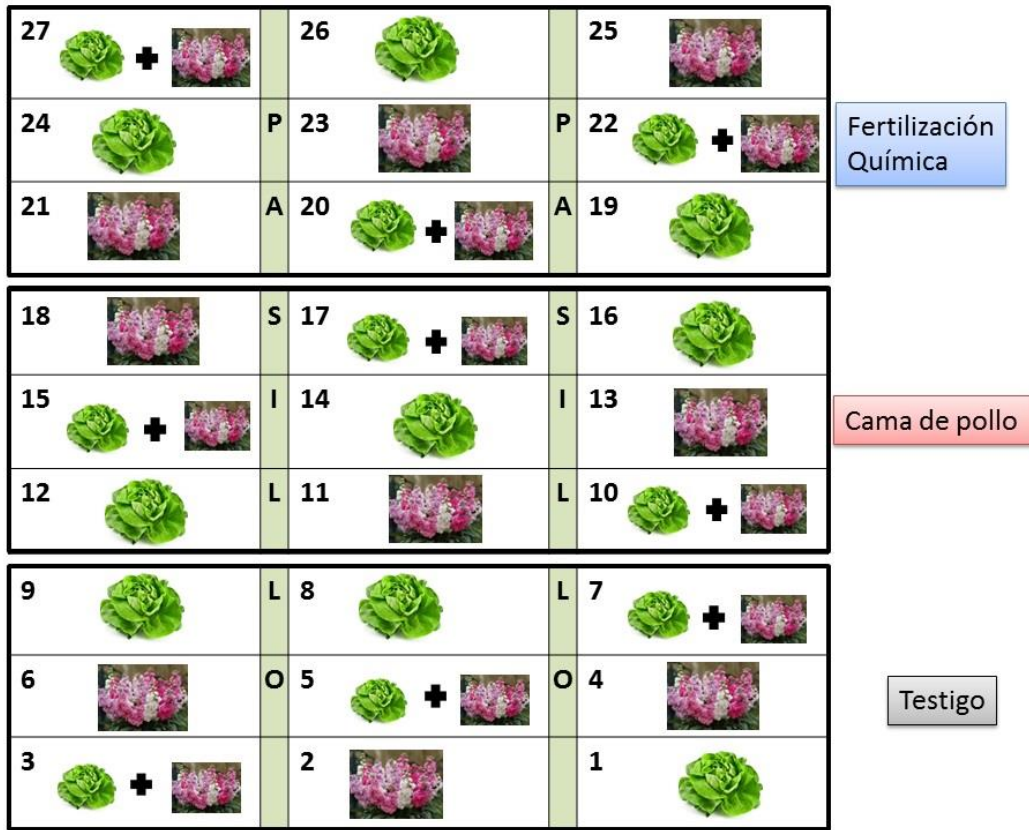
Table Analyzed		CE labranza			
One-way analysis of variance					
P value	0,0247				
P value summary	*				
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes				
Number of groups	3				
F	7,301				
R squared	0,7088				
ANOVA Table		SS	df	MS	
Treatment (between columns)		0,003574	2	0,001787	
Residual (within columns)		0,001469	6	0,0002448	
Total		0,005043	8		
Tukey's Multiple Comparison Test		Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary 95% CI of diff
Testigo vs FQ		0,01333	1,476	No	ns -0.02586 to 0.05253
Testigo vs CP		-0,0340	3,764	No	ns -0.07319 to 0.005194
FQ vs CP		-0,04733	5,240	Yes	* -0.08653 to -0.008140

**Tabla 11:** ANOVA Fósforo Extractable Ensayo Hortícola a campo

Table Analyzed		P cosecha			
One-way analysis of variance					
P value	0,0055				
P value summary	**				
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes				
Number of groups	3				
F	14,02				
R squared	0,8237				
ANOVA Table		SS	df	MS	
Treatment (between columns)		64800	2	32400	
Residual (within columns)		13870	6	2312	
Total		78670	8		
Tukey's Multiple Comparison Test		Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary 95% CI of diff

Testigo vs FQ	-5,054	0,1821	No	ns	-125.5 to 115.4
Testigo vs CP	-182,5	6,574	Yes	**	-302.9 to -62.03
FQ vs CP	-177,4	6,391	Yes	**	-297.9 to -56.97

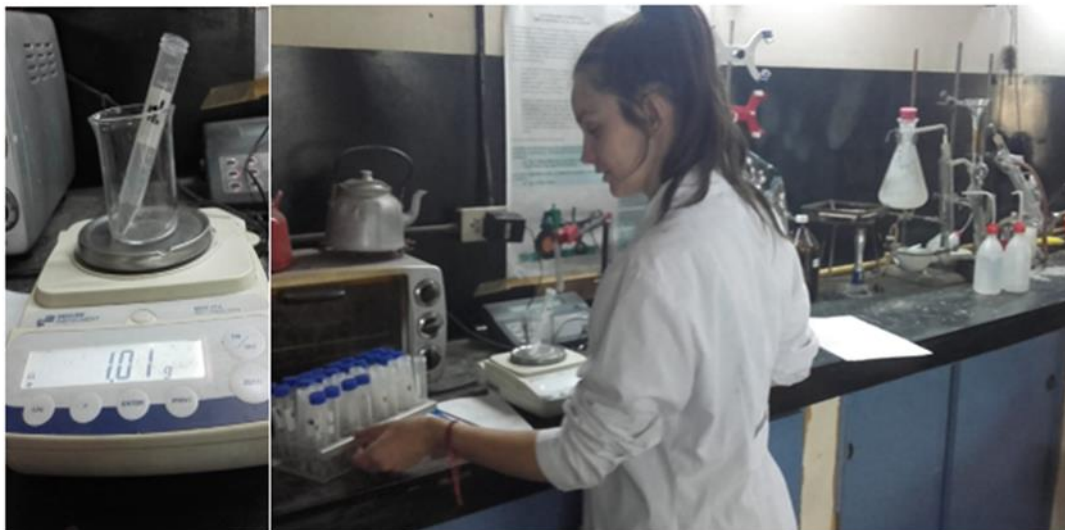
Table Analyzed		P labranza			
One-way analysis of variance					
P value	0,0912				
P value summary	ns				
Are means signif. different? (P < 0.05)	No				
Number of groups	3				
F	3,666				
R squared	0,5499				
ANOVA Table	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	8003	2	4002		
Residual (within columns)	6550	6	1092		
Total	14550	8			
Tukey's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
Testigo vs FQ	50,24	2,634	No	ns	-32.53 to 133.0
Testigo vs CP	-20,80	1,090	No	ns	-103.6 to 61.97
FQ vs CP	-71,04	3,724	No	ns	-153.8 to 11.73



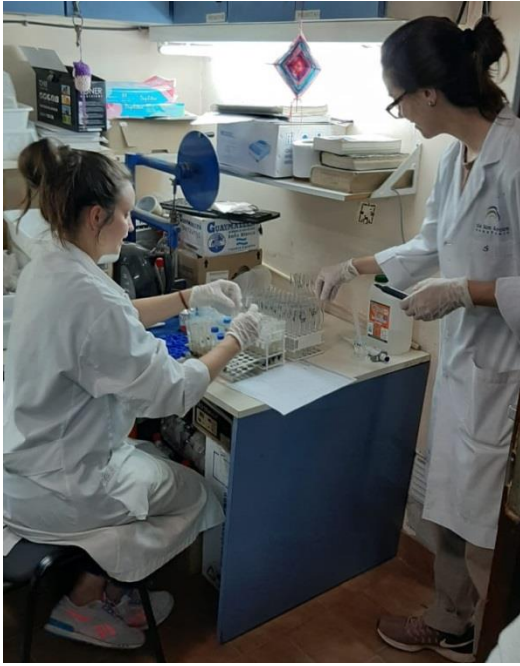
**Figura 20:** Designación de tratamientos y ubicación de cultivos del ensayo hortícola a campo.



**Figura 21:** Estación Experimental Santa Catalina Ensayo hortícola a campo.



**Figura 22:** Preparación de muestras para análisis de Fosforo



**Figura 23:** Preparación de muestras, para análisis de Fósforo



**Figura 24:** Preparación de muestra y análisis de pH