

TRABAJO DE INTENSIFICACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA

Luis Pablo Celestino

***EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE UNA ENMIENDA ORGÁNICA
SOBRE PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO Y LA
PRODUCTIVIDAD DE CEBADA EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA
PAMPEANA***

DOCENTE TUTOR

Mg. Gabriela V. Minoldo

DOCENTE CONSEJERO

Ing. Agr. Julio O. Iglesias

Bahía Blanca

RESUMEN

En sistemas de producción agrícolas intensivos como el tambo, el manejo de los residuos resulta un aspecto fundamental para la preservación del ambiente. En Argentina, la mayor proporción de establecimientos de este tipo destinados al ordeño, producción y venta de leche cruda se concentra en la región pampeana. Uno de los inconvenientes que presenta esta actividad es la generación de un alto volumen de efluentes cuya concentración en la superficie del suelo puede producir su contaminación directa y de las napas freáticas. La utilización de los efluentes de tambo como enmienda orgánica es una práctica muy recomendada, ya que mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas edáficas. Paralelamente, el uso continuo de los suelos de la región en sistemas agrícolas convencionales, ha ocasionado la disminución de la materia orgánica y el deterioro de su estructura disminuyendo notablemente su capacidad productiva. El objetivo de este ensayo fue estudiar el efecto combinado de la aplicación de estiércol bovino y fertilizante inorgánico sobre algunas propiedades químicas del suelo y la productividad de un cultivo posterior. Para ello, en un *Calciustol Petrocálcico* perteneciente a un campo en el departamento de Guatraché, se utilizaron diferentes dosis de estiércol semicompostado (D1; 8,139 t ha⁻¹ y D2; 16,279 t ha⁻¹) como enmienda y urea en dosis de 0, 25, 50 y 100 kg N ha⁻¹, como fertilizante en un cultivo de cebada. Se evaluaron materia orgánica total (MOT), nitrógeno de nitratos y amonios (N-NO₃⁻ + N-NH₄⁺), pH y fósforo extraíble (Pe) de 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad. Se determinaron, materia seca (MS), rendimiento en grano, contenido de N y calibre de los granos. De 0-20 cm del suelo se detectaron aumentos en la concentración de MOT producto de la enmienda. Durante el ciclo del cultivo, se observó la disminución progresiva del N disponible en general, D2 ≥ D1 ≥ T. La escasa variación del pH entre tratamientos indicó una cierta estabilidad del sistema, aunque la tendencia mostró un aumento de pH desde las capas superiores hasta las más profundas, en concordancia con la disminución de la MO. Variaciones en el pH relacionadas a cambios climáticos estacionales y a la dinámica de los residuos orgánicos mostraron su disminución al momento del macollaje de la cebada. Treinta

días luego de agregadas D1 y D2, sin diferencias entre sí el suelo mostró cambios positivos de Pe de 0-20 cm, efecto que se mantuvo hasta macollaje. La producción de MS de la cebada sin fertilización resultó $T < D1 < D2$. Dosis crecientes de N, en T y D1, produjeron incrementos en la biomasa aérea del cultivo. El rendimiento en grano mostró cambios similares a los obtenidos en MS. Sin aplicación de urea, los rendimientos fueron en T: $1673 \leq D1: 2168 \leq D2: 2569$. En promedio, los porcentajes de proteína en grano en T estuvieron 2,4 puntos por debajo de los granos con D1. Solo en T, la producción relativa de granos de primera calidad, disminuyó a medida que aumentó la dosis de N. Independientemente del agregado de estiércol, el porcentaje de granos de mayor tamaño disminuyó su participación dentro del rango de granos de primera calidad a medida que aumentó la fertilización nitrogenada.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y MÉTODOS	10
Sitio experimental	10
Características climáticas	10
Características edáficas	12
Historia del lote	13
Diseño experimental	13
Cronograma de actividades	15
Determinaciones realizadas	16
Análisis estadístico	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
Caracterización fisicoquímica del suelo al inicio del ensayo	18
Efectos de la enmienda sobre propiedades químicas del suelo	18
<i>Materia orgánica</i>	18
<i>Nitrógeno disponible</i>	20
<i>pH</i>	24
<i>Fósforo extraíble</i>	28
Efectos de la enmienda sobre el cultivo	32
<i>Rendimiento en materia seca</i>	32
<i>Rendimiento en grano</i>	33
<i>Proteína en grano</i>	35
<i>Calibre de los granos</i>	39
CONCLUSIONES	41
BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXO 1. Variables climáticas promedio mensuales Guatraché (1941-1970).	47
ANEXO 2. Cantidad de horas mensuales de vientos Guatraché (1941-1970).	48
ANEXO 3. Precipitación mensual del año 2016 en Guatraché.	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Historia del lote	13
Tabla 2. Composición química de estiércol bovino.	14
Tabla 3. Valores de humedad, nitrógeno disponible ($N-NO_3^- + N-NH_4^+$), pH, fósforo extraíble (Pe) y materia orgánica total (MOT).	18
Tabla 4. Valores "p" de significancia de los ANAVA ($\alpha=10\%$) de la concentración de materia orgánica del suelo a distintas profundidades de 0-60 cm, para los efectos del agregado al suelo de distintas dosis de estiércol.	19
Tabla 5. Valores "p" de significancia de los ANAVA ($\alpha=5\%$) del N disponible ($N-NO_3^- + N-NH_4^+$, $\mu g\ g^{-1}$) en el suelo a distintas profundidades de 0-60 cm, en diferentes fechas, para los efectos del agregado al suelo de distintas dosis de estiércol.	23
Tabla 6. Valores "p" de significancia de los ANAVA ($\alpha=10\%$) de pH del suelo a distintas profundidades de 0-60 cm en diferentes fechas.	25
Tabla 7. Valores "p" de significancia de los ANAVA ($\alpha=10\%$) del pH del suelo a distintas profundidades de 0-60 cm, en diferentes fechas, para los efectos del agregado de distintas dosis de estiércol bovino.	26
Tabla 8. Valores medios de pH del suelo a distintas profundidades de 0-60 cm y fechas de muestreo.	26
Tabla 9. Valores "p" de significancia de los ANAVA ($\alpha=10\%$) de fósforo extraíble en el suelo a distintas profundidades de 0-40 cm, en diferentes fechas, para los efectos del agregado al suelo de distintas dosis de estiércol.	31
Tabla 10. Valores "p" y DMS para el ANAVA ($\alpha=5\%$) de la variación de MS por efecto de la aplicación de estiércol y dosis de urea.	33
Tabla 11. Valores "p" y DMS para el ANAVA ($\alpha=5\%$) de la variación de rendimiento en grano por efecto de la aplicación de estiércol y dosis de urea.	35
Tabla 12. Valores "p" de significancia de los ANAVA ($\alpha=5\%$) de los valores proteína en grano con distintas dosis de nitrógeno para los efectos del agregado al suelo de distintas dosis de estiércol.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de los tambos en Argentina (SENASA, 2015).	1
Figura 2. Existencias bovinas en establecimientos declarados con actividad de tambo (SENASA, 2015).	3
Figura 3. Evolución de la superficie sembrada y la producción de cebada cervecera en la República Argentina (MAGyP, 2016).	8
Figura 4. Evolución de la superficie sembrada y la producción de cebada cervecera en la provincia de La Pampa (MAGyP, 2016).	9
Figura 5. Ubicación del sitio experimental	10
Figura 6. Precipitación media y temperaturas máxima, media y mínima mensual de Guatraché.	11
Figura 7. Frecuencia de vientos según Estación Guatraché (1941-1970).	12
Figura 8. Esquema descriptivo de los diferentes tratamientos.	15
Figura 9. Línea de tiempo detallando cronológicamente los manejos realizados a campo durante el año 2016.	16
Figura 10. Precipitación mensual para el año 2016 en Guatraché.	17
Figura 11. Contenido de MOT de 0–20, 20–40 y 40-60 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de estiércol: T; testigo sin estiércol, D1; dosis I y D2; dosis II al momento de la siembra. Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=10\%$) y ns: diferencias no significativas.	20
Figura 12. Evolución de los niveles de N disponible ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$, $\mu\text{g g}^{-1}$) en los primeros 20 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de residuos de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$).	21
Figura 13. Evolución de los niveles de N disponible ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$, $\mu\text{g g}^{-1}$) de 20 a 40 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de residuos de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$).	22
Figura 14. Evolución de los niveles de N disponible ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$, $\mu\text{g g}^{-1}$) de 40 a 60 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de residuos de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$).	23
Figura 15. Contenido de N disponible ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$, $\mu\text{g g}^{-1}$) de 0-20 cm y 0-60 cm de profundidad de suelo incluyendo la totalidad de las muestras analizadas (n = 81).	24
Figura 16. Evolución en los niveles de pH en los primeros 0-20 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de residuo de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre fechas ($p<0,1$).	27
Figura 17. Evolución en los niveles de pH en los primeros 20-40 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de residuo de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre fechas ($p<0,1$).	27

Figura 18. Evolución en los niveles de pH en los primeros 40-60 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de residuo de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre fechas ($p < 0,1$).	28
Figura 19. Evolución en los niveles de fósforo extraíble (Pe) en los primeros 0-20 cm de suelo enmendado con diferentes dosis de residuo de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,1$).	30
Figura 20. Evolución en los niveles de fósforo extraíble (Pe) de 20 a 40 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de residuo de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,1$).	31
Figura 21. Producción de materia seca (MS kg ha^{-1}) de cebada con distintas dosis de estiércol y N inorgánico. Para el promedio entre dosis de estiércol, letras distintas para entre dosis de N indican diferencias significativas ($p \leq 0,5$).	32
Figura 22. Rendimiento de grano (t ha^{-1}) de cebada con distintas dosis de estiércol y N inorgánico. Letras distintas para cada dosis de estiércol indican diferencias significativas entre aplicaciones de N inorgánico ($p < 0,10$).	34
Figura 23. Rendimiento de materia seca y de grano (kg ha^{-1}) junto al índice de cosecha de cebada con distintas dosis de estiércol y N inorgánico.	35
Figura 24. Proteína (%) en grano de cebada con distintas dosis de estiércol y N inorgánico. Para el promedio entre T y D1, letras distintas indican diferencias significativas entre aplicaciones de N inorgánico ($p < 0,05$).	36
Figura 25. Rendimiento y proteína en grano de cebada cervecera en función de diferentes niveles de disponibilidad de N en el suelo. Fuente: Rausch, A (2015) adaptada de Stone & Savin (1999).	38
Figura 26. Rendimiento y proteína en granos de cebada cervecera en función de diferentes niveles de disponibilidad de N (N disp.), en suelo enmendado con estiércol y fertilizado con diferentes dosis de urea.	39
Figura 27. Rendimiento (kg ha^{-1}) y composición porcentual de granos según calibre (mm) de un cultivo de cebada cervecera enmendado con distintas dosis de estiércol y fertilizado con urea.	40

INTRODUCCIÓN

Las principales actividades económicas de Argentina, históricamente, han estado relacionadas a la minería, la energía, el turismo, la pesca y primordialmente a la agricultura y la ganadería. Dentro de la producción agropecuaria, la producción de leche y sus derivados constituye uno de los subsistemas agroalimentarios de mayor importancia estratégica en nuestro país (Castignani., 2009). Las instalaciones ganaderas, destinadas al ordeño, producción y venta de leche cruda se denominan “tambo”. Este constituye una fuente de producción primaria que ofrece a la industria y al comercio leche fluida y sus subproductos entre otros, como leche en polvo, queso pasta blanda, semidura o dura, manteca, yogur, dulce de leche, leche condensada, postres y flanes, crema, queso fundido, suero, caseína y caseinatos (OCLA, 2020).

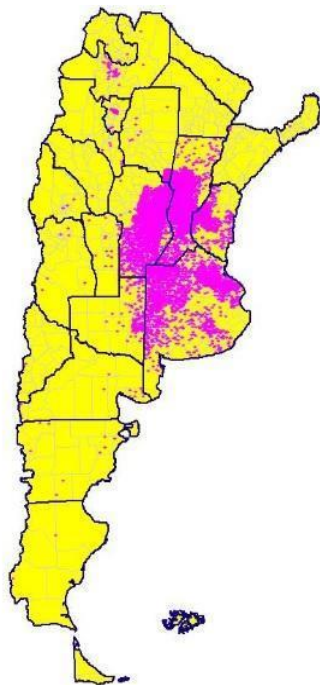


Figura 1. Distribución de los tambos en Argentina (SENASA, 2015).

Asimismo, Argentina incide escasamente en el nivel de producción láctea mundial y el 74,5% de su producción se consume internamente (OCLA, 2020). Se debe destacar que la cantidad de leche producida ha aumentado a pesar de las épocas desfavorables; no así la cantidad de tambos, que ha disminuido, advirtiendo un mayor nivel de eficiencia y concentración de la producción (Taverna *et al.*, 2013). Se ha registrado un aumento de la cantidad de vacas por tambo, en la producción individual y por consiguiente en la producción diaria por tambo (Castignani, 2009). El sistema de agronegocio lácteo argentino se ha caracterizado históricamente por la recurrencia de ciclos económicos asociados a las alzas y bajas en la demanda interna, y a la existencia de mercados internacionales distorsionados por subsidios y prácticas proteccionistas, no sólo de los países destino sino también a nivel local (Senesi *et al.*, 2008). Estos procesos, sumados a las contingencias climáticas (sequías e inundaciones), impactaron sobre los diferentes productores y comerciantes, por lo que el mercado se vio sucesivamente alcanzado por periodos de excesos y déficits en la oferta de leche (Gutman *et al.*, 2003).

En el año 2019, Argentina contaba con 10411 unidades productivas de tambo distribuidas en diferentes provincias y principalmente concentradas en la región pampeana húmeda (Figura 1). Cuando observamos la mayor cantidad de bovinos en establecimientos dedicados al tambo, la provincia de La Pampa se encuentra en el quinto lugar (Figura 2).

En los sistemas de producción animal intensivos, el manejo de los residuos es un aspecto fundamental para la preservación del ambiente (FAO-INTA, 2012). Uno de los inconvenientes que presenta la actividad lechera es la generación de un alto volumen de efluentes; dicha fracción está compuesta mayoritariamente por estiércol, orina, agua, restos de alimentos y suelo, estos poseen cantidades importantes de materia orgánica (MO), microorganismos (muchos de ellos patógenos), así como cantidades significativas de macronutrientes, principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P). Todos estos componentes se encuentran principalmente en la fracción sólida (García *et al.*, 2013).

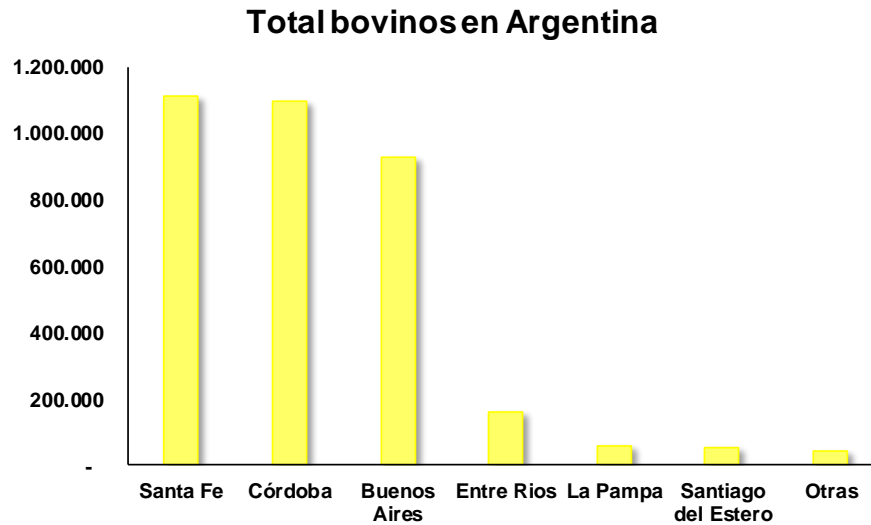


Figura 2. Existencias bovinas en establecimientos declarados con actividad de tambo (SENASA, 2015).

En el tambo, los efluentes se agrupan por sus características y por el sector de la instalación de ordeño donde se originaron. Las características químicas, físicas y biológicas de cada tipo de residuo son aspectos que definen las posibles alternativas de manejo. La fracción sólida corresponde a restos de heces, alimentos, barro, etc. La fracción líquida, a leche no comercializada (calostro, leche producida por animales tratados y leche de primeros chorros), agua de lluvia, de lavado de pisos, de higienización de pezones, de limpieza de equipos junto con restos de detergentes y/o desinfectantes y agua de la placa de refrescado (directamente proporcional al volumen de leche a refrescar) (Charlón *et al.*, 2008). La cantidad de efluentes generados en cada establecimiento es variable y depende de muchos factores como por ejemplo del número de vacas en ordeño (VO), el tipo de alimentación del rodeo y las prácticas de manejo realizadas. Sin embargo, se puede tomar como un valor de referencia $50 \text{ L VO}^{-1} \text{ día}^{-1}$ (Yapur, 2011).

La concentración de los efluentes en superficie del suelo puede generar efectos ambientales desfavorables como la contaminación directa y de las napas freáticas a través del drenaje, sobre todo en aquellos casos en que se encuentra a escasa

profundidad. La acumulación superficial puede llevar a un crecimiento de insectos, proliferación de plagas y roedores.

La contaminación del agua involucra aquellos procesos que deterioran de forma apreciable su calidad física, química y microbiológica. Algunos de los contaminantes que alteran estas propiedades, son el N, P, los metales pesados, y también microorganismos patógenos, hormonas y drogas de uso veterinario. En las aguas subterráneas, la alta concentración de MO nitrogenada, puede elevar la concentración de nitratos (NO_3^-) hasta límites inaceptables para los usos posteriores de este recurso. El P, poco frecuente como contaminante del agua subterránea porque los fosfatos se fijan a las partículas coloidales del suelo. En cambio, en las aguas superficiales; la fuente principal de contaminación son los fertilizantes y los desechos animales. La llegada por escurrimiento de estos contaminantes, en ecosistemas acuáticos, produce la eutrofización, lo que disminuye la concentración de oxígeno y provoca la mortalidad de peces (Herrero y Gil, 2008).

Relevamientos realizados en nuestro país destacan que en la gran mayoría de los tambos los efluentes tienen como destino final el vuelco a cuerpos superficiales de agua y que sólo una baja proporción de los mismos hace reutilización de los efluentes líquidos o sólidos, ya sean crudos o tratados aplicándolos al suelo (Herrero *et al.*, 2009). Esta afirmación nos indica que el manejo de los residuos mencionados, es determinante para limitar su efecto negativo sobre el ambiente y la salud humana y animal.

Las producciones agropecuarias pueden convivir con y en el medio ambiente sin dañarlo, siempre y cuando las emisiones no superen la capacidad de neutralización de los mismos ecosistemas (Sánchez Gómez, 2006). El Código Alimentario Argentino en lo referente a las “Condiciones Generales de los Tambos”, establece en los artículos 43 y 59 que “de no existir un estercolero correctamente construido y con cierre hermético aprobado para su utilización por una autoridad competente, será obligatoria la extracción diaria del estiércol y demás residuos, trasladándose a una distancia mayor de 50 m de la sala de ordeño, además de tomar las medidas necesarias para evitar la propagación de moscas (CAA, 2010).

La utilización de los efluentes líquidos de tambo como enmienda orgánica es una práctica recomendable, ya que aportan una solución al manejo de los residuos que se generan diariamente en una instalación de ordeño. (Gambaudo *et al.* 2014). Existen diferentes métodos de almacenamiento, tratamiento y distribución. El almacenamiento puede ser temporario o permanente, este último mayormente se lleva a cabo en forma de lagunas. Tanto el almacenamiento como el tratamiento de efluentes en laguna/s incluye procesos controlados (biológicos, químicos o físicos) que mejoran las propiedades. El tratamiento puede ser anaeróbico, aeróbico o facultativo (CREA, 2018). En las lagunas se produce la degradación biológica a través de diferentes tipos de microorganismos (Taverna *et al.*, 2004).

Una de las alternativas más simples es apilar el residuo, estacionarlo y luego transportarlo al campo; esta práctica es muy común cuando se almacena este desecho en forma sólida (LaManna, 1992). La ventaja de apilar es una menor inversión comparada con el manejo de estiércol en forma líquida ya que los volúmenes a utilizar son menores y por lo tanto menores los requerimientos de capacidad para una cantidad determinada de estiércol (LaManna, 1992). Generalmente la mayoría de las pilas se preparan al aire libre con lo que están expuestas a la acción de las lluvias que ocasionan el lavado de los nutrientes de la misma (Grundey, 1982). El compostaje de este tipo de residuos, resulta útil para incrementar la concentración y disponibilidad de nutrientes y conseguir la remoción de patógenos (Pordomingo, 2013).

Otra forma de utilización de estos residuos es a través de biodigestores, en el cual puede realizarse el tratamiento anaeróbico de los efluentes con la finalidad de producir biogás. Además, los residuos orgánicos o biosólidos que se generan en dicho proceso pueden aplicarse al suelo como enmiendas y/o fertilizantes naturales (LaManna, 1992). Las ventajas de este sistema son, la reducción de la producción de olores, un proceso de degradación más eficiente y controlada, y una mayor cantidad de nutrientes en el producto final. La desventaja es que se requieren estructuras relativamente costosas (Hilbert, 2006).

Las aplicaciones de residuos de estiércol pueden realizarse en forma superficial o bien semienterrada, si bien no hay un consenso amplio en cuál es mejor. Así pueden mejorar no solo las propiedades químicas del suelo, sino también verse afectadas las propiedades físicas y biológicas (Del Pino *et al.*, 2008). El agregado de compuestos orgánicos con numerosas cargas negativas incrementa la cantidad de sitios de intercambio de cationes y, por ende, la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC), y la disponibilidad de los mismos para el cultivo (Gao y Chang, 1996). La fracción líquida del estiércol ayuda a disminuir las pérdidas de N, C y S en sus formas gaseosas. (Rodríguez *et al.*, 2002).

Con respecto a las propiedades físicas se logran disminuciones importantes de la densidad aparente, aumentos de la macroporosidad y la porosidad total, mejoras en la capacidad de almacenaje de agua, mayor estabilidad estructural y reducción de la erosión (Sosa, 2005). Dentro de las propiedades biológicas, la incorporación de estiércol aumenta la concentración de carbono orgánico del suelo (Chen *et al.*, 2010). Las normativas actuales argentinas no contemplan específicamente el aprovechamiento agronómico de los efluentes y/o purines y/o estiércol en el predio productivo (CREA, 2018).

En la región semiárida pampeana, en las últimas décadas, los sistemas de producción agrícola evolucionaron hacia ciclos cada vez más prolongados e incluso en algunos casos hacia la agricultura continua, en reemplazo de la alternancia entre cultivos de cosecha y pasturas (Darwich, 1991). En general, las tendencias indican una caída de la MO, a medida que aumentan los periodos con agricultura (Casanovas *et al.*, 1995). El uso continuo de las tierras, año tras año, en sistemas convencionales sin reposición, ha llevado al consumo de los nutrientes del suelo, así como también un deterioro en su estructura debido al laboreo, disminuyendo notablemente su capacidad productiva (Glave, 1988; Galantini *et al.*, 2001; Minoldo, 2010).

El término fertilidad hace referencia a la capacidad de un suelo para proveer, en cantidades óptimas y balanceadas, todos los nutrientes que las plantas requieren y

en el momento que los requieran (Galantini *et al.*, 2001). La fertilización es el proceso de reposición de estos nutrientes y se lleva a cabo, mayormente, mediante fertilizantes inorgánicos con P y N. De esta manera, sólo se responde a los problemas de insuficiencia o carencia de estos dos elementos, sin tener en cuenta otras propiedades edáficas que suelen ser tan o más importantes. Una de éstas es la estructura del suelo, la cual, como se expresó anteriormente, suele deteriorarse con manejos inadecuados o ausencia de buenas prácticas agrícolas.

La región pampeana argentina es una de las áreas de producción de granos más importantes del mundo en las que se cultiva, entre otros, cebada. (MAGyP, 2016). La superficie destinada a este cultivo es la cuarta a nivel mundial después de la de maíz, arroz y trigo (FAO, 2019), y es el quinto en superficie y cantidad en la República Argentina. Es un cereal de invierno y se utiliza como forraje o en la industria alimenticia, tanto para animales como humanos.

El cultivo de cebada presenta en general ciertas ventajas respecto a otros cereales de invierno: posee mínimos requerimientos térmicos; temperatura (T) mínima de germinación 6°C, floración a partir de 16°C y madurez fisiológica a partir de 20°C, además de su tolerancia a T de hasta -8°C. Se adapta a suelos relativamente poco profundos y pedregosos, y es tolerante a la salinidad, soporta altos niveles de conductividad eléctrica en el extracto de saturación sin que se vea afectado el rendimiento (Tomaso, 2004).

En Argentina, la cebada se destina especialmente a la elaboración de cerveza (MAGyP, 2016). La mayor parte se comercializa mediante un contrato con la industria, concertado con anterioridad a la cosecha (incluso previo a la siembra) (Moreyra *et al.*, 2020).

De las características requeridas por la industria, resultan relevantes el contenido proteico y calibre de los granos, aspectos muy importantes al momento de planificar la fertilización. El contenido de proteínas suele estar inversamente relacionado con el extracto de la malta (Smith, 1990). Esto se debe a que las principales proteínas de reserva de los granos de cebada cervecera (hordeínas)

forman una matriz que rodea a los gránulos de almidón, disminuyendo la actividad de las enzimas amilolíticas. Es por esto que en las transacciones comerciales no se aceptan valores mayores al 13% de proteína en grano (SENASA, 2014). Por otro lado, valores muy bajos pueden interferir en el crecimiento de las levaduras durante la fermentación y reducir la estabilidad de la espuma obtenida, produciendo maltas de baja calidad.

Respecto al tamaño y uniformidad, la industria demanda granos de calibre grande y homogéneo. El estándar comercial argentino exige que el 85% se encuentre por encima de los 2,5 mm y menos del 4% por debajo de 2,2 mm. Granos pequeños son descartados ya que suelen presentar un mayor nivel de dormición e hidratarse más rápidamente que los grandes, determinando así una heterogeneidad indeseada al momento del procesamiento (Briggs, 1998).

La producción argentina de cebada se incrementó notablemente como consecuencia de un aumento de la superficie sembrada y de un evidente incremento del rendimiento por unidad de superficie (Figura 3).

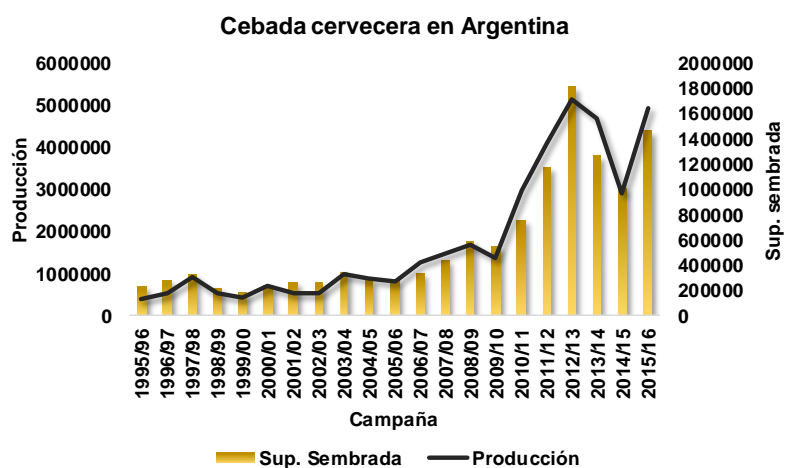


Figura 3. Evolución de la superficie sembrada y la producción de cebada cervecedora en la República Argentina (MAGyP, 2016).

Los factores que más favorecieron este incremento fueron el recambio varietal que implicó la posibilidad de utilizar mayor tecnología (fertilización) sobre cultivares con mayor potencial de rendimiento, la mayor cantidad de recursos destinados a la investigación del cultivo lo que permitió mejorar el manejo y el mejoramiento genético del cultivo, la expansión del cultivo de soja, siendo la cebada mejor antecesor que el trigo para soja, debido a que permite anticipar la cosecha respecto del trigo y las restricciones a las exportación de trigo impuestas entre los años 2008 a 2015, cultivo que liberó la mayor parte de la superficie ocupada con cebada en los últimos años (Moreyra *et al.*, 2020).

Este aumento en la producción de cebada se vio reflejado en la provincia de La Pampa (Figura 4) y dentro de esta, en el departamento de Guatraché (MAGyP, 2016). Allí, los sistemas ganaderos y mixtos son preponderantes, ambos presentan un número de explotaciones muy cercano, con superficies y orientaciones productivas muy similares. Estas unidades en un 80% resultan menores a 500 ha, y no se registran explotaciones por encima de las 2000 ha. Las actividades más importantes son la ganadería bovina y el trigo. El tambo resulta una actividad con presencia importante en el área (25%), pero en escalas menores, tanto en superficie como en cantidad de vacas en ordeño (Caviglia *et al.*, 2009).

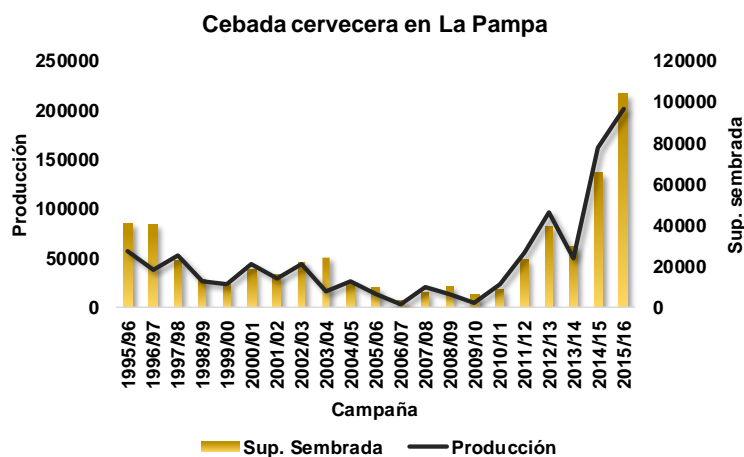


Figura 4. Evolución de la superficie sembrada y la producción de cebada cervecedora en la provincia de La Pampa (MAGyP, 2016).

El objetivo del presente estudio fue estudiar el efecto de la aplicación de una enmienda orgánica sobre algunas propiedades químicas del suelo y la productividad de un cultivo posterior. Para ello se evaluó el efecto combinado de la aplicación de estiércol bovino proveniente de tambo y fertilización inorgánica sobre un cultivo de cebada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El estudio se realizó en el establecimiento “La Sultana” ubicado en el Partido de Guatraché, provincia de La Pampa, a 187 km de la ciudad de Bahía Blanca (37° 42' 20,8" S, 63° 32' 44,0" O) (Figura 5).

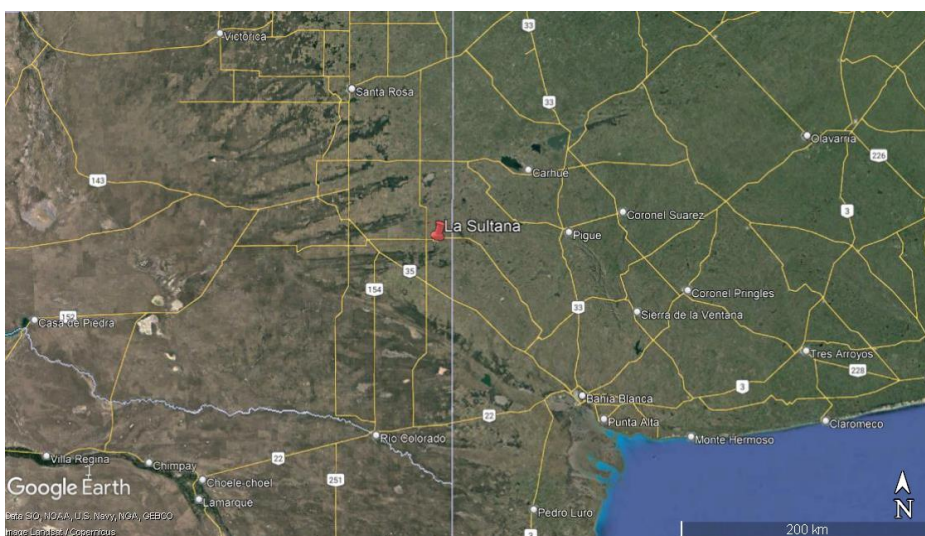


Figura 5. Ubicación del sitio experimental

Características climáticas

La localidad de Guatraché se encuentra en una región extrema de la Pampa húmeda, cercana geográficamente al comienzo de la Pampa seca. Es una zona de

clima semiárido templado, con un régimen hídrico *ústico*. La precipitación media anual es de 769,1 mm; con una estación seca invernal, y una semiseca estival. Las temperaturas medias mensuales varían entre 6, 9 y 23,2 ° C en Julio y Enero, respectivamente (Figura 6). El clima predominante es semiárido templado, con un régimen térmico que responde al clima continental, pero atenuado por la influencia marítima.

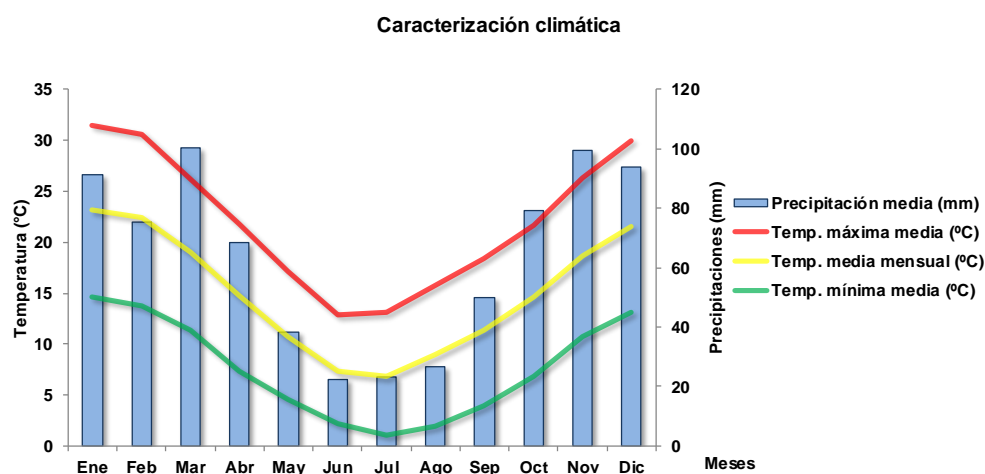


Figura 6. Precipitación media y temperaturas máxima, media y mínima mensual de Guatraché.

En cuanto al balance hídrico, en las estaciones de otoño-invierno, se produce una reposición de agua en el suelo, y a partir del mes de noviembre comienza una situación deficitaria que se agudiza en los meses de enero y febrero. El balance hidrológico medio anual define al clima como subhúmedo-seco, con nulo o pequeño exceso de agua (Anexo 1). Razón por la que los cultivos de invierno tienen un buen comportamiento agronómico cuando son sembrados en tierras barbechadas.

Los vientos predominantes son del NNO, con mayor intensidad en los meses de primavera y verano, principalmente en diciembre y enero (INTA, 1981). La velocidad promedio de los vientos es de 11 km h⁻¹ (Anexo 2). La frecuencia de los vientos

registrados en la estación Guatraché en un periodo de 29 años se muestra en la Figura 7.

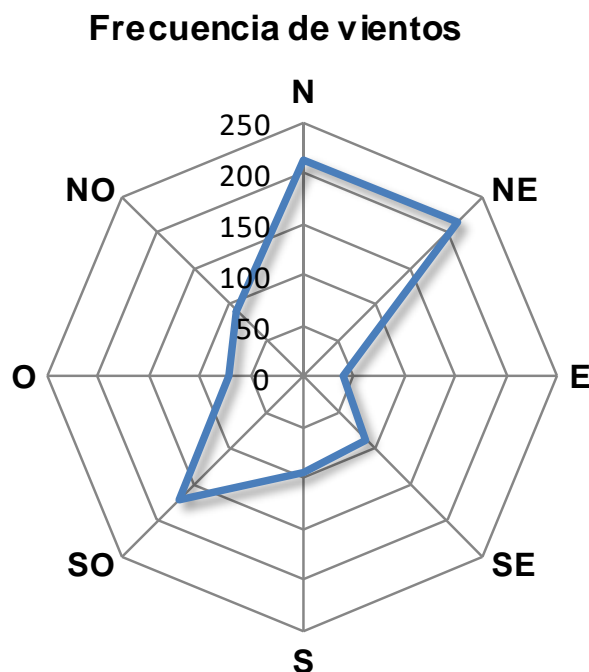


Figura 7. Frecuencia de vientos según Estación Guatraché (1941-1970).

Existe un período libre de heladas de 180 días, entre los meses de noviembre y marzo, factor limitante para la producción agrícola (INTA, 1981).

Características edáficas

Los suelos de Guatraché se clasifican, según Soil Taxonomy de USDA, como *Calciustol Petrocálcico* (Soil Survey Staff, 1999). Esta área está compuesta por una gran planicie ondulada, en la cual los suelos están representados por una gran heterogeneidad y baja evolución; debido a esto, tienen pocos horizontes (generalmente A-AC-C Tosca o A-B-C Tosca) con niveles de MO bajos, el índice de lavado de bases es bajo y tienen poco contenido de arcillas desarrolladas “in situ”. Estos suelos evolucionaron sobre una capa de carbonato de calcio bien consolidada (tosca) que a veces puede aflorar limitando la profundidad de los mismos,

impidiendo el normal desarrollo de determinados cultivos. Son de textura franco arenosa muy fina con 16% de arcilla y hasta un 32% de limo. Poseen fertilidad disminuida, tanto química como física. Los nutrientes críticos son el nitrógeno y el fósforo (INTA, 1981). Poseen baja capacidad de retención de humedad que en épocas de sequía prolongada los hacen susceptibles a erosión eólica (Cano *et al.*, 1980).

Historia del lote

El lote utilizado en esta experiencia estuvo dedicado a una sucesión de gramíneas para verdeo y grano bajo siembra convencional con rastra de disco y fertilizado con urea a la siembra, y también con 20 kg de PDA en el año 2015. La historia del lote previo al ensayo se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Historia del lote

Año	Labor	Mes	Cultivo	Mes siembra	Fertilización
2010	Rastra de discos	enero/mayo	trigo	junio	60 kg urea
2011	Rastra de discos	enero	centeno	febrero	30 kg urea
2012	Rastra de discos	enero	cebada	febrero	30 kg urea
2013	Rastra de discos	marzo	maíz	octubre	30 kg urea
2014	Rastra de discos	enero	avena	marzo	35 kg urea
2015	Rastra	marzo	maíz	noviembre	60 kg urea + 20 kg PDA

PDA: fosfato di amónico.

Diseño experimental

En junio de 2016, se demarcó una parcela de 46m x 39m, donde se ensayaron distintas dosis de estiércol semicompostado en franjas, en forma superficial, al voleo: T; sin estiércol, D1; 8,139 t ha⁻¹ y D2; 16,279 t ha⁻¹, (Figura 8). El estiércol

provino del tambo del establecimiento. La Tabla 2 muestra la caracterización química del estiércol.

Tabla 2. Composición química de estiércol bovino.

	C	N	P	K	Mg	Ca	B	Mn	Na	Fe	S
	%						$\mu\text{g g}^{-1}$				
Estiércol	23	3,1	0,8	1,125	0,61	2,43	6,25	301	6950	6850	3415

Se utilizó una fertilizadora Fertec 6000 (capacidad 6000 L). Con el propósito de calibrar la maquinaria y cuantificar las dosis de estiércol, se distribuyeron 10 bolsas de superficie conocida (de fertilizante) sobre el suelo ocupando el ancho de labor de la estercolera. Luego, se aplicó la D1 mediante cuatro pasadas de estercolera y D2 con ocho. Se pesaron las bolsas posteriormente y se calculó, en promedio, la cantidad de enmienda aplicada en kg ha^{-1} .

Pasados 30 días, se sembró un cultivo de cebada (*Hordeum vulgare var. Scarlett*) densidad de siembra de 98 kg ha^{-1} , P1000 de 42 g y PG 98%.

Al momento del macollaje, la parcela se subdividió en tres bloques perpendiculares a las dosis de Factor Principal estiércol (T y D1), y en cada una se aplicaron al azar, en forma de urea y al voleo, dosis crecientes de N inorgánico (0, 25, 50 y 100 kg N ha^{-1}). La superficie de cada subparcela fue de $45,5 \text{ m}^2$.

Se tomaron muestras compuestas de suelo en todos los tratamientos y bloques en profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm.

	Dosis I 8 t ha⁻¹	Dosis II 16 t ha⁻¹	Testigo
B III	0 N	0 N	100 N
	25 N		50 N
	50 N		25 N
	100 N		0 N
B II	50 N	0 N	0 N
	100 N		25 N
	25 N		100 N
	0 N		50 N
B I	0 N	0 N	50 N
	25 N		100 N
	100 N		25 N
	50 N		0 N

Figura 8. Esquema descriptivo de los diferentes tratamientos.

Cronograma de actividades

En las siguientes fechas se realizaron las actividades en el presente ensayo, las cuales además se muestran (Figura 9) en una línea de tiempo:

15/05: 1º muestreo, previo a la siembra se realizó un muestreo compuesto del área para caracterizar el estado inicial del suelo.

15/06: aplicación de estiércol

15/07: 2º muestreo al momento de la siembra del cultivo.

23/09: 3º muestreo durante el macollaje. Además, se fertilizó con nitrógeno: 0, 25, 50 y 100 kg de N ha⁻¹.

15/12: 4º muestreo a cosecha, se tomaron muestras de suelo y del cultivo en madurez fisiológica (2 muestras de 1 m lineal por tratamiento en todas las dosis de estiércol y de N).

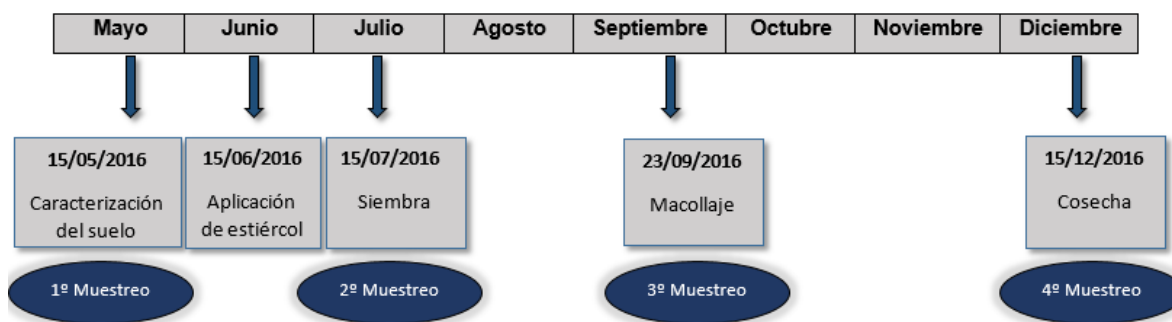


Figura 9. Línea de tiempo detallando cronológicamente los manejos realizados a campo durante el año 2016.

Determinaciones realizadas

En el suelo:

Se secó al aire, se homogeneizó y tamizó por 2 mm, se determinó N-NO₃, N-NH₄ (Mulvaney, 1996), fósforo extraíble (Bray y Kurtz, 1945), pH (método potenciométrico, suelo:agua 1:2,5) y MO por combustión seca (550 °C) (Davies, 1974).

En el material vegetal:

Las muestras tomadas en madurez fisiológica, se secaron en estufa de aire forzado a 60°C, y se pesaron para determinar la producción de materia seca total aérea (MSta) y el rendimiento en grano para los cual previamente las espigas fueron trilladas, separando el grano del resto de la MSta. Se determinó el calibre a través de un juego de zarandas estandarizado por la “NORMA V – CEBADA” de SENASA, (2014) y el N total en grano (Bremner, 1996).

Análisis estadístico

Utilizando el programa INFOSTAT (Di Rienzo, 2020), los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente a través del ANAVA y test de Diferencias Mínimas Significativas de Fisher (DMS) para la comparación de valores medios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En 2016 las precipitaciones en Guatraché alcanzaron los 666 milímetros, 103 mm por debajo del promedio histórico (Anexo 3). Durante el otoño previo al comienzo de ensayo (15/06; aplicación de estiércol) el total de precipitaciones fue 185 mm, recargando el suelo luego del cultivo de maíz (Tabla 1). En el invierno subsiguiente, las lluvias fueron escasas, coincidiendo con el comportamiento histórico zonal, para luego concentrarse en primavera (286 mm) particularmente en octubre (Figura 10).

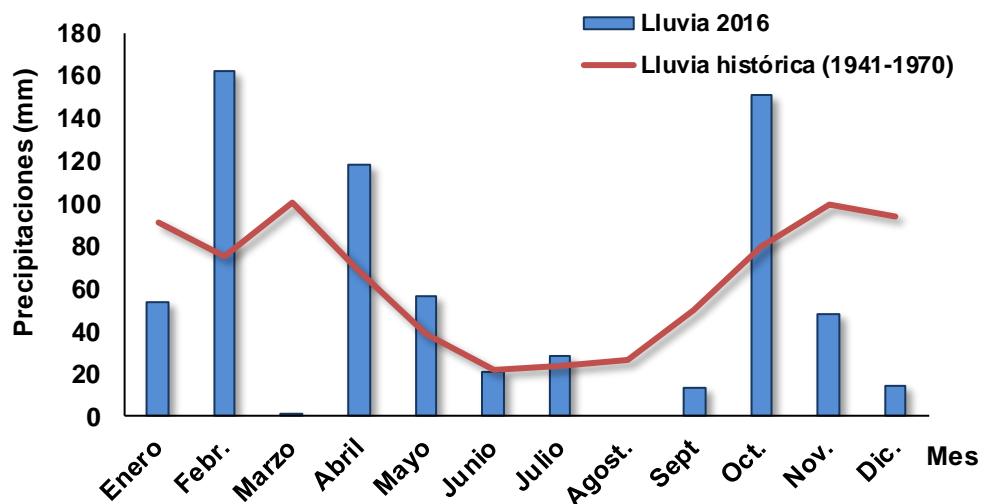


Figura 10. Precipitación mensual para el año 2016 en Guatraché.

Caracterización fisicoquímica del suelo al inicio del ensayo

En la Tabla 3 se presentan valores de distintas determinaciones que se realizaron en el suelo en estudio para la caracterización del mismo.

Tabla 3. Valores de humedad, nitrógeno disponible ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$), pH, fósforo extraíble (Pe) y materia orgánica total (MOT).

Profundidad (cm)	Humedad (%)	Ndisp ($\mu\text{g g}^{-1}$)	pH	Pe (ppm)	MOT (%)
0 - 20	18,6	12,5	7	7,13	3,05
20 - 40	14,7	16,9	8	4,72	2,88
40 - 60	15,5	9,7	8,3	-	2,70

N disponible ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$)

Efectos de la enmienda sobre propiedades químicas del suelo

Materia orgánica

Desde el punto de vista productivo y de la calidad del suelo, la dinámica de la materia orgánica total (MOT) aporta muy poco al estudio de los efectos de las prácticas agronómicas de corto plazo. Esto se debe principalmente a que las fracciones orgánicas edáficas más abundantes son aquellas de ciclado más lento, por lo que se necesitan gran cantidad de años para observar variaciones (Tan *et al.*, 2007, Haynes, 2000). En este estudio, en particular, el agregado de cantidades considerables de estiércol bovino junto con las condiciones ambientales anteriormente mencionadas, ejercieron un efecto directo sobre las concentraciones de MOT detectadas generando diferencias cuantificables.

Al momento de la siembra de la cebada, luego de 31 días de la aplicación, en los primeros 20 cm del suelo se detectaron cambios positivos en la concentración de MOT producto de la enmienda. Las parcelas testigo mostraron valores inferiores, intermedios las que recibieron una dosis y superiores aquellas con doble aporte de enmienda ($p=0,0006$) (Figura 11). En el resto de las profundidades no se observaron

cambios en la MOT producto de la enmienda ($p=0,3742$ y $p=0,8376$ de 20-40 cm y 40-60 cm, respectivamente) (Tabla 4), lo que se atribuyó a que la enmienda se aplicó en superficie. Sin embargo, estudios similares en la zona de Puán no mostraron diferencias entre los efectos de la enmienda incorporada y sin incorporar (Duckardt, 2016).

Tabla 4. Valores “p” de significancia de los ANAVA ($\alpha=10\%$) de la concentración de materia orgánica del suelo a distintas profundidades de 0-60 cm, para los efectos del agregado al suelo de distintas dosis de estiércol.

Profundidad (cm)	p Valor	DMS	CV (%)
0 – 20	0,0006	0,07016	1,37
20 – 40	0,3742	0,06412	1,40
40 - 60	0,8376	0,08577	1,91

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

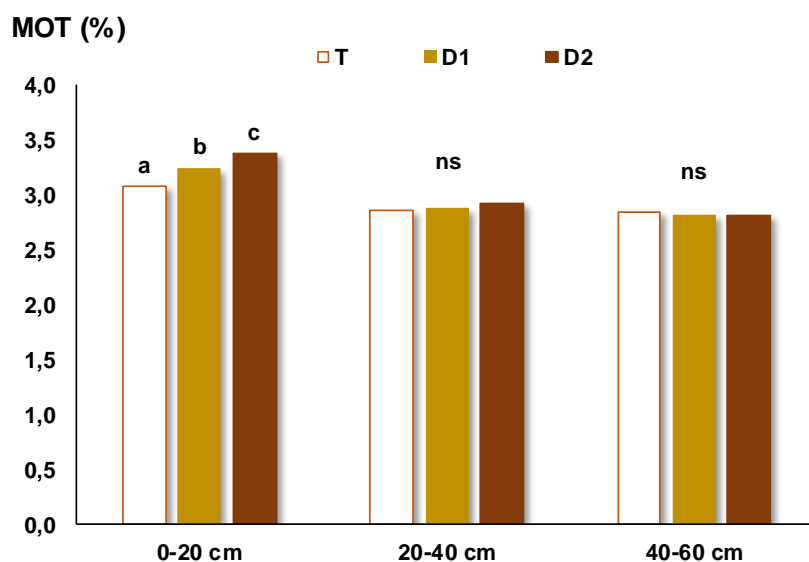


Figura 11. Contenido de MOT de 0–20, 20–40 y 40-60 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de estiércol: T; testigo sin estiércol, D1; dosis I y D2; dosis II al momento de la siembra. Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=10\%$) y ns: diferencias no significativas.

Nitrógeno disponible

Al inicio del ensayo, a mediados de mayo de 2016, los porcentajes de humedad determinados de 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad fueron 18,6, 14,7 y 15,5 %, y los contenidos de N disponible determinados como la suma de $N-NO_3^- + N-NH_4^+$, 12,5, 16,9 y 9,7 $\mu g\ g^{-1}$, respectivamente (Tabla 3). Luego de 31 días, al momento de la aplicación del estiércol, las precipitaciones sumaron 32 mm al perfil, y a la siembra de la cebada 30 días después, 27 mm. Es probable que estas condiciones de humedad hayan contribuido a la transformación de la MO existente y la adicionada como estiércol, generando cambios en los niveles de N disponible determinados a posteriori.

Cuando se analizó los primeros 20 cm del suelo, durante el ciclo de cebada, en todos los tratamientos se observó una disminución del N disponible ($N-NO_3^- + N-NH_4^+$) hasta el último muestreo, a cosecha. En general, dichos niveles se mantuvieron, superiores en el suelo con D2, intermedios cuando recibió D1, e inferiores en el T ($T \leq D1 \leq D2$). Los niveles máximos y mínimos determinados de N

disponible fueron 57,4 y 32,1 $\mu\text{g g}^{-1}$ para D2, 48,8 y 27,4 $\mu\text{g g}^{-1}$ para D1, y 37,1 y 25,4 $\mu\text{g g}^{-1}$ en el suelo T, respectivamente. En particular, hasta inicios del macollaje de la cebada (principio de primavera), el N disponible de 0-20 cm no mostró diferencias entre dosis de estiércol, sí detectadas a cosecha (Figura 12). Probablemente estas diferencias fueron causadas por una mayor tasa de mineralización del N, debido al aumento de las temperaturas.

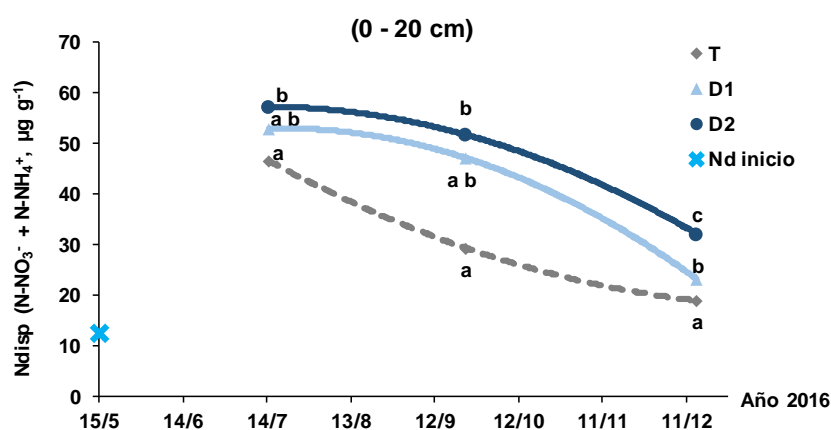


Figura 12. Evolución de los niveles de N disponible ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$, $\mu\text{g g}^{-1}$) en los primeros 20 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de residuos de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En cambio, en el resto de las profundidades y momentos del ciclo de cultivo, las diferencias fueron más notorias a favor de la D2 (Figura 13 y 14).

A la siembra de la cebada, de 20 a 40 cm de profundidad, no hubo diferencias de N disponible entre tratamientos D1 y D2 ($p < 0,3220$) aunque el D2 fue diferente del testigo, mostrando que la D1 sería el límite de estiércol aplicado para aumentar el N sin diferenciarse del T. Al macollaje, las parcelas con D2 contaban con mayor nivel de N disponible que las parcelas con D1, y estas que las testigo ($p = 0,0041$). Esta diferencia continuó hasta finalizar el ensayo, mostrando que los niveles de N disponible fueron menores ($p < 0,0001$) (Figura 13) probablemente a causa del consumo por parte del cultivo.

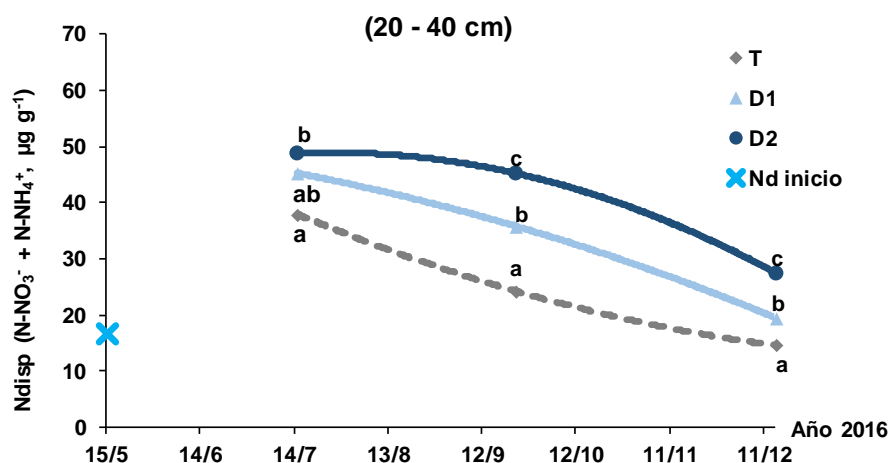


Figura 13. Evolución de los niveles de N disponible ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$, $\mu\text{g g}^{-1}$) de 20 a 40 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de residuos de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la capa más profunda analizada, de 40 a 60 cm, los niveles de N disponible en la fecha de siembra fueron diferentes entre dosis (Tabla 5). El suelo con D2 contó con un mayor nivel de N disponible ($p=0,0124$). Tanto al macollaje como en la cosecha, el N del suelo presentó valores menores a los obtenidos a la siembra, mostrando $T < D1 < D2$ (23/9/2016: $p=0,0005$ y 15/12/2016: $p=0,0021$) (Figura 14). Estos valores reflejaron posiblemente una mayor lixiviación del N con las mayores dosis del estiércol aplicado. Estos efectos son de vital importancia al momento de la evaluación de las eficiencias de la práctica y/o la probable contaminación de la napa.

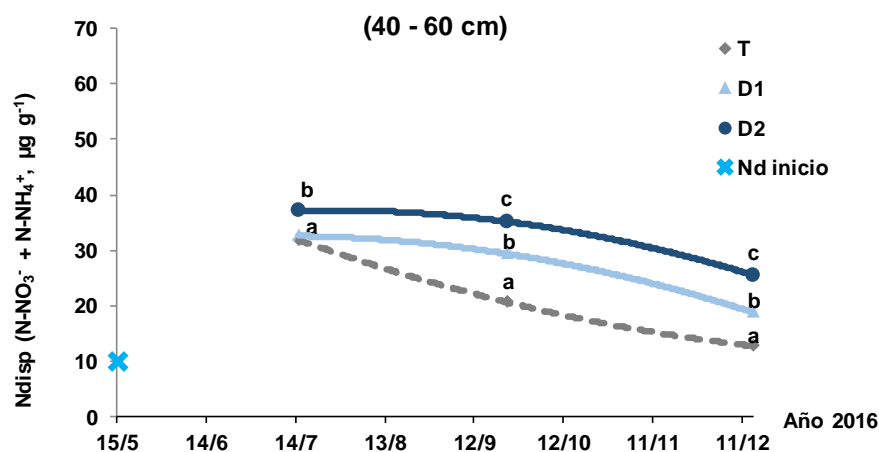


Figura 14. Evolución de los niveles de N disponible ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$, $\mu\text{g g}^{-1}$) de 40 a 60 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de residuos de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tabla 5. Valores “p” de significancia de los ANAVA ($\alpha=5\%$) del N disponible ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$, $\mu\text{g g}^{-1}$) en el suelo a distintas profundidades de 0-60 cm, en diferentes fechas, para los efectos del agregado al suelo de distintas dosis de estiércol.

Fecha	Profundidad (cm)	p Valor	DMS	CV (%)
15/07/2016	0 – 20	0,0197	6,3322	6,35
	20 – 40	0,3220	16,34684	18,61
	40 - 60	0,0124	3,13667	4,64
23/9/2016	0 – 20	0,0799	20,56398	24,05
	20 – 40	0,0041	9,17922	13,11
	40 - 60	0,0005	4,36605	7,70
15/12/2016	0 – 20	0,0002	3,31925	6,72
	20 – 40	<0,0001	1,89010	4,62
	40 - 60	0,0021	4,88521	12,88

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

A partir de los datos de N-NO_3^- y N-NH_4^+ , integrando la información de todas las fechas de muestreo, se emuló el modelo de estimación de nitratos en profundidad en suelos de la región semiárida y subhúmeda pampeana de Bono y Álvarez (2007). En este estudio, la relación establecida entre el N disponible de 0-20 cm y 0-60 cm presentó un valor de ordenada al origen diferente a 0 y pendiente distinta de 1. Este modelo pudo explicar el 95% de la variabilidad para todas las condiciones, en el que el contenido de N disponible sería en promedio 2,33 veces + 20,8 kg ha^{-1} mayor de 0-60 cm que el del estrato 0-20 cm (Figura 15).

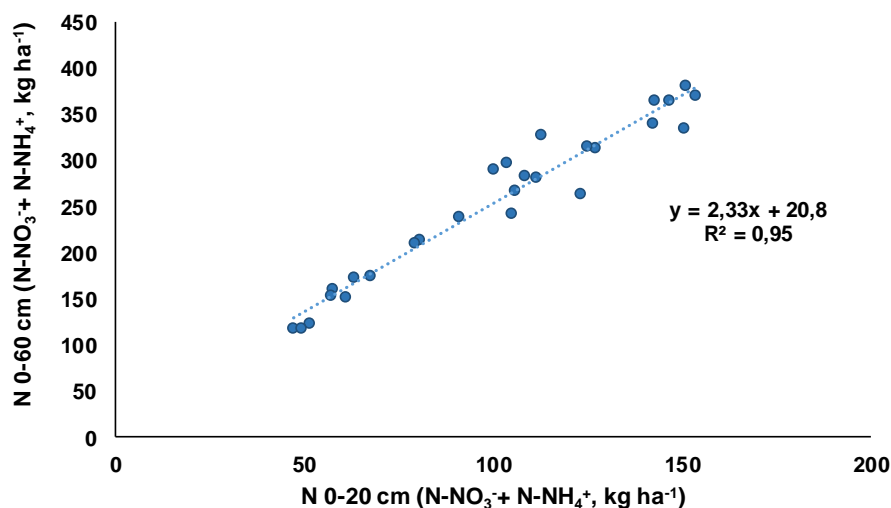


Figura 15. Contenido de N disponible ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$, $\mu\text{g g}^{-1}$) de 0-20 cm y 0-60 cm de profundidad de suelo incluyendo la totalidad de las muestras analizadas ($n = 81$).

pH

Se observó una tendencia de aumento de pH desde las capas superiores hasta las más profundas (Tabla 6). Los valores promedio determinados de 0-20, 20-40 y 40-60 cm fueron de 6,4, 6,8 y 7,7 respectivamente en concordancia con la tendencia

de disminución de la MO en profundidad (Figura 11). En general, se observaron las variaciones estacionales de pH típicas relacionadas a cambios climáticos y la dinámica de los residuos orgánicos (Baravalle, 1992). Desde el inicio del ensayo (15/5/2016) hasta iniciada la primavera (23/9/2016), en general, se observó una disminución neta del valor de pH (Figura 16, 17 y 18). Este descenso se debe al aumento de las temperaturas que provocan la descomposición de los residuos orgánicos liberando protones (Campillo *et al.*, 2006) junto con la extracción de bases por parte del cultivo (Casas, 2005).

La Tabla 7 muestra los valores “p” de significancia de los ANAVA ($\alpha=10\%$) del pH en las distintas profundidades para los efectos del agregado de enmienda orgánica, los coeficientes de variación y las diferencias mínimas significativas entre tratamientos. Los valores mínimos y máximos en los diferentes tratamientos y fechas fueron de 5,8 a 7,0 de 0-20 cm, de 6,3 a 7,1 de 20-40 cm, y de 7,4 a 8,1 de 40-60 cm de profundidad.

El pH edáfico mostró cambios en los primeros 20 cm al momento de la siembra de la cebada ($D1 = T < D2$) y de 20-40 cm en macollaje ($D2 = D1 < T$) (Tabla 8). Para el resto de las fechas y profundidades analizadas, no se observaron variaciones de pH del suelo lo que indicaría una cierta estabilidad del sistema.

Tabla 6. Valores “p” de significancia de los ANAVA ($\alpha=10\%$) de pH del suelo a distintas profundidades de 0-60 cm en diferentes fechas.

Profundidad (cm)	p Valor	DMS	CV (%)
0 - 20	<0,0001	0,28080	3,37
20 - 40	<0,0001	0,20614	2,24
40 - 60	<0,0001	0,14967	1,60

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

Tabla 7. Valores “p” de significancia de los ANAVA ($\alpha=10\%$) del pH del suelo a distintas profundidades de 0-60 cm, en diferentes fechas, para los efectos del agregado de distintas dosis de estiércol bovino.

Fecha	Profundidad (cm)	p Valor	DMS	CV (%)
15/07/2016	0 – 20	0,0101	0,13992	1,35
	20 – 40	0,8801	0,25364	2,34
	40 - 60	0,3692	0,17541	1,41
23/9/2016	0 – 20	0,9033	0,49329	5,10
	20 – 40	0,0101	0,13992	1,35
	40 - 60	0,3966	0,18320	1,52
15/12/2016	0 – 20	0,7908	0,49045	4,66
	20 – 40	0,3732	0,34274	3,13
	40 - 60	0,3566	0,27339	2,01

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

Tabla 8. Valores medios de pH del suelo a distintas profundidades de 0-60 cm y fechas de muestreo.

Profundidad (cm)	Fecha	T	D1	D2	
0-20	Siembra	6,5 a	6,4 a	6,7 b	
	Macollaje	6,1	6,1	6,2	ns
	Madurez fisiológica	6,7	6,5	6,7	ns
20-40	Siembra	6,9	6,8	6,8	ns
	Macollaje	6,7 b	6,5 a	6,4 a	
	Madurez fisiológica	7,0	6,8	6,9	ns
40-60	Siembra	7,8	7,8	7,9	ns
	Macollaje	7,5	7,7	7,6	ns
	Madurez fisiológica	7,5	7,7	7,8	ns

ns: no significativo ($\alpha=5\%$).

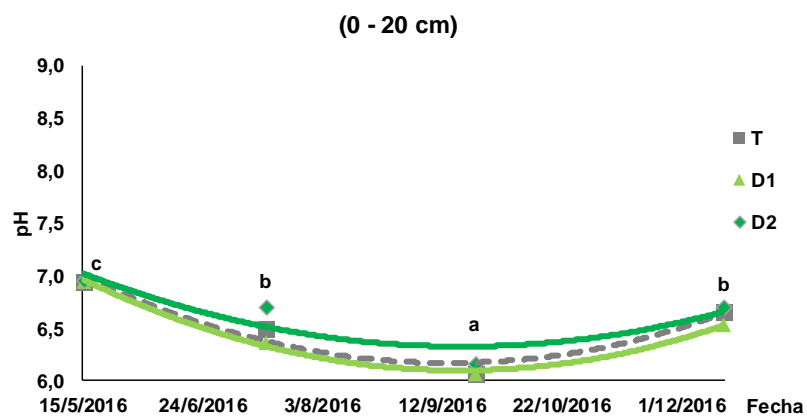


Figura 16. Evolución en los niveles de pH en los primeros 0-20 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de residuo de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre fechas ($p < 0,1$).

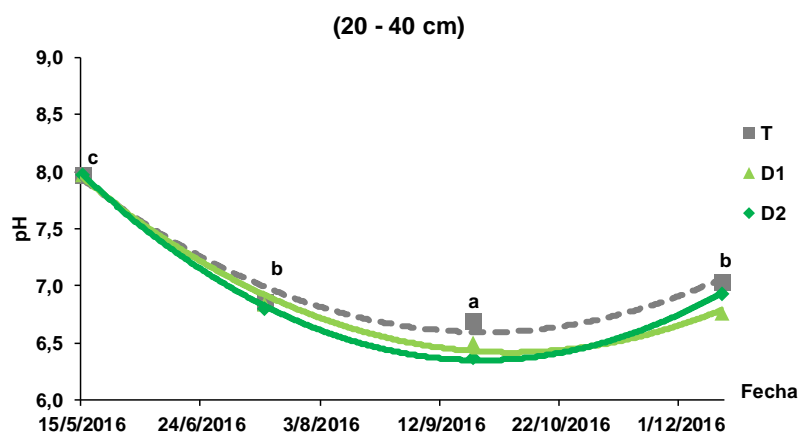


Figura 17. Evolución en los niveles de pH en los primeros 20-40 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de residuo de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre fechas ($p < 0,1$).

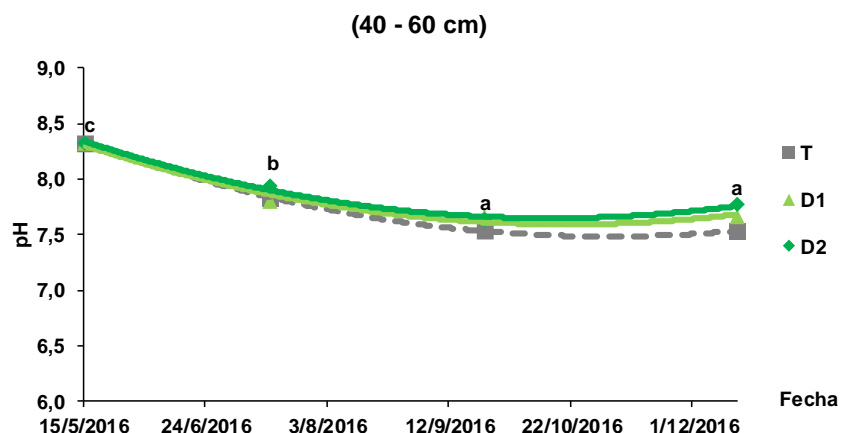


Figura 18. Evolución en los niveles de pH en los primeros 40-60 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de residuo de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre fechas ($p < 0,1$).

Fósforo extraíble

El pH del suelo ha sido indicado como el factor más importante en la región en la regulación del fósforo disponible (Sharpley, 2000). Considerando que la disponibilidad de P es óptima entre 6 y 7, podría afirmarse que los niveles de pH determinados de 0-40 cm en este estudio resultarían propicios a nivel productivo. Particularmente, la zona de Guatraché cuenta con grandes limitaciones de P disponible para los cultivos (Romano y Roberto, 2007). Allí, en general, la cantidad de P extraído del sistema por la cosecha de granos, henos o pastoreo, es de mayor magnitud que sus posibles vías de entrada, por ejemplo en forma de fertilizantes. Estos niveles críticos se confirmaron con las concentraciones de fósforo extraíble (Pe) determinadas al inicio de esta experiencia; 7,13 de 0-20 cm de profundidad y 4,72 $\mu\text{g g}^{-1}$ de 20-40 cm (Tabla 3). Para la segunda fecha de muestreo (15/07/2016), treinta días posteriores al agregado de enmienda, el Pe mostró cambios positivos en todos los estratos en los suelos que recibieron estiércol. Este efecto se observó en el suelo en los primeros 20 cm hasta macollaje (Figura 19), lo que se reflejó directamente en mejoras en la producción de MSta de la gramínea (Figura 21).

Al momento de la siembra de la cebada, en los primeros 20 cm del suelo los niveles máximos de Pe ($12,32 \mu\text{g g}^{-1}$) se determinaron en las parcelas con doble dosis de estiércol, con una diferencia máxima de $2,45 \mu\text{g g}^{-1}$ respecto al suelo testigo. En macollaje, estas diferencias se mantuvieron $10,93 \mu\text{g g}^{-1}$ en D2 vs $8,0 \mu\text{g g}^{-1}$ en T. Durante todo el ciclo, los suelos con D1 y D2 no mostraron diferencias significativas entre sí en los niveles de Pe (Tabla 9). En madurez fisiológica, el Pe edáfico no reflejó efectos residuales por el agregado de la enmienda manteniendo en un nivel promedio de $7,8 \mu\text{g g}^{-1}$.

En la profundidad 20-40 cm, las diferencias atribuidas al agregado de enmienda se mantuvieron hasta final del ciclo del cultivo (Figura 20) donde solo D2 presentó diferencias significativas .

A la siembra y en madurez fisiológica el nivel superior de Pe se encontró en las parcela enmendadas con D2, sin diferencias entre D1 y T ($p=0,0168$ y $p=0,0390$, respectivamente). Durante el macollaje los tres tratamientos se diferenciaron ($T < D1 < D2$) ($p=0,0042$), probablemente debido a la demanda de P por parte de una gramínea como la cebada.

Las concentraciones de Pe observadas en general se situaron cercanas al límite de los niveles críticos de respuesta a la fertilización en suelos de la región (Ron y Loewy, 1996). En este sentido, como se mencionó anteriormente, es importante destacar la mayor producción de MStá (paja+grano) obtenida en los suelos enmendados (Figura 21 y 22), lo que se asoció directamente con la mayor extracción de P del sistema. La determinación del origen del P así exportado, no resulta sencilla, ya que la degradación de la MO uno de los factores que principalmente controla la disponibilidad en el suelo de este nutriente de forma orgánica u inorgánica. Una vez liberado luego de la descomposición de la enmienda, es factible que el exceso de P inorgánico pueda precipitar en compuestos de baja solubilidad como la apatita (Suñer, 2007). Los análisis convencionales de extracción de Pe del suelo no miden la contribución potencial de los residuos y de las formas orgánicas de mayor labilidad (Suñer, 2007; Minoldo, 2010).

Suñer (2007) estudió el comportamiento de diecinueve suelos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeanas cultivados con trigo (*Triticum aestivum*) y fertilizados con superfosfato triple. Realizó regresiones lineales entre el Pe del suelo y las dosis de fertilización determinando una dosis equivalente promedio de 2,7 kg P ha⁻¹ (variable entre 1,2 y 4,8) para aumentar una unidad de Pe (µg g⁻¹). En su estudio las propiedades edáficas que mejor correlacionaron con esta dosis equivalente fueron la MO asociada a la fracción mineral del suelo y el nivel inicial de Pe.

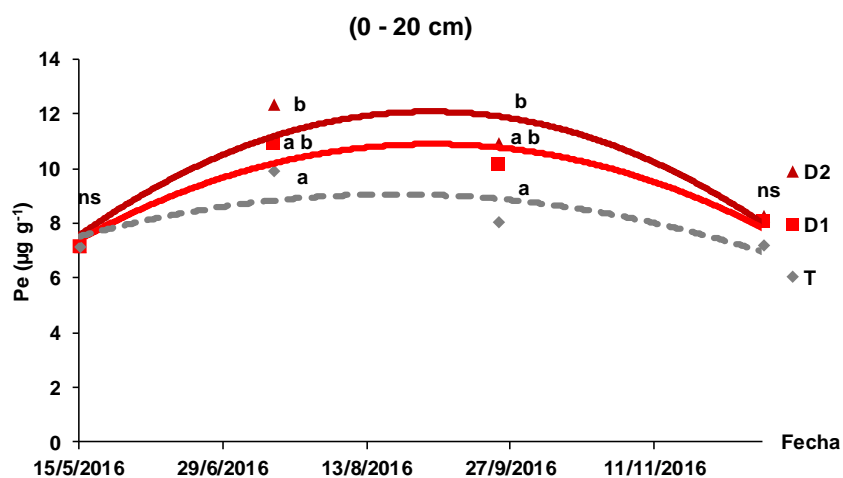


Figura 19. Evolución en los niveles de fósforo extraíble (Pe) en los primeros 0-20 cm de suelo enmendado con diferentes dosis de residuo de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,1$).

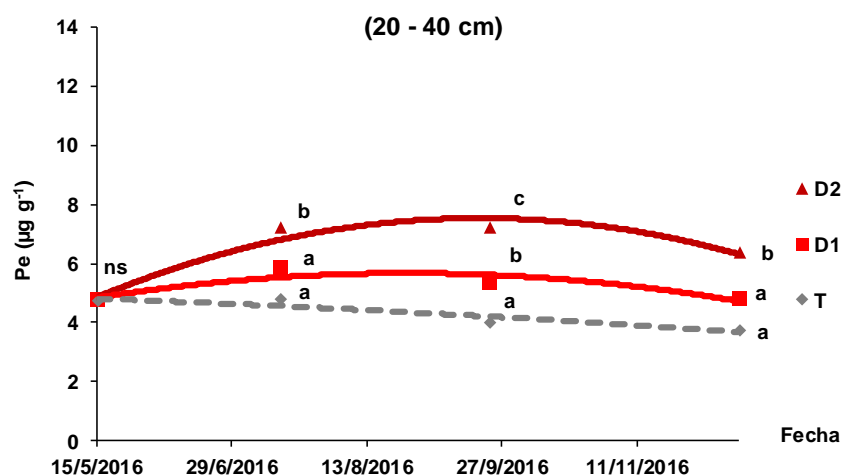


Figura 20. Evolución en los niveles de fósforo extraíble (Pe) de 20 a 40 cm de profundidad de suelo enmendado con diferentes dosis de residuo de tambo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,1$).

Tabla 9. Valores “p” de significancia de los ANAVA ($\alpha = 10\%$) de fósforo extraíble en el suelo a distintas profundidades de 0-40 cm, en diferentes fechas, para los efectos del agregado al suelo de distintas dosis de estiércol.

Fecha	Profundidad (cm)	p Valor	DMS	CV (%)
15/07/2016	0 – 20	0,1317	1,99	12,4
	20 – 40	0,0168	1,12	11,8
23/09/2016	0 – 20	0,1577	2,6	16,9
	20 – 40	0,0042	0,12	12,8
15/12/2016	0 – 20	0,4219	1,53	12,3
	20 – 40	0,0390	1,53	19,3

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

Efectos de la enmienda sobre el cultivo

Rendimiento en materia seca

La producción de MS de la cebada sin fertilización inorgánica, fue menor en T (4029 kg ha⁻¹), intermedia con D1 (5097 kg ha⁻¹) y superior con D2; (5843 kg ha⁻¹) (T ≤ D1 ≤ D2; p=0,0386). Además, dosis crecientes de N como urea, independientemente de la aplicación de estiércol, produjeron incrementos en la biomasa aérea del cultivo en el orden 0N ≤ 25N ≤ 50N ≤ 100N (Tabla 10 y Figura 21). Las producciones mínima y máxima de MS de la cebada fueron 4029 kg ha⁻¹ y 7209 kg ha⁻¹ correspondientes a los tratamientos extremos, T+0 N, y D1+100 N, respectivamente.

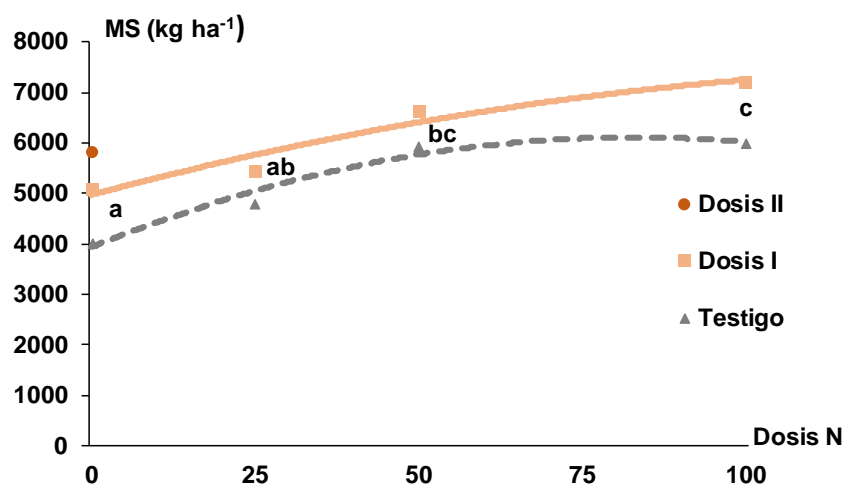


Figura 21. Producción de materia seca (MS kg ha⁻¹) de cebada con distintas dosis de estiércol y N inorgánico. Para el promedio entre dosis de estiércol, letras distintas para entre dosis de N indican diferencias significativas (p ≤ 0,5).

Tabla 10. Valores "p" y DMS para el ANAVA ($\alpha=5\%$) de la variación de MS por efecto de la aplicación de estiércol y dosis de urea.

	p Valor	DMS (kg ha ⁻¹)	CV (%)
Modelo	0,0461	929,9	19,03
Estiércol	0,0555	1315,0	
Dosis N	0,0141	1859,7	
Estiércol * Dosis N	0,9583		

Duckardt (2016), a partir de experiencias similares en Puán, concluyó que la respuesta a la aplicación de N en la región depende en gran medida de las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo y que los mayores rendimientos se obtienen con dosis relativamente elevadas y en años con abundantes lluvias y sin heladas tardías. Estas dependencias climáticas generan riesgos económicos que dificultan la adopción de tecnologías de este tipo.

Rendimiento en grano

En concordancia a lo observado en MS, se detectó un incremento en la productividad de granos (88%) entre los dos tratamientos extremos; T sin N inorgánico (1652 kg ha⁻¹) y D1+100 kg N ha⁻¹ (3159 kg ha⁻¹) (Figura 22). En nuestro caso, el rendimiento máximo resultó acorde al promedio de rendimiento de la variedad Scarlett para la zona sudoeste en la misma campaña (CREA Sudoeste, 2017).

Bundy *et. al.* (1993), señalan una forma simple de estimar el aporte de N de leguminosas calculando el "Valor de Reemplazo del Fertilizante", que representa la dosis de fertilizante a la cual el trigo en monocultivo iguala en rendimiento al trigo sin fertilización con antecesor leguminosa. En forma análoga, en esta experiencia se estudió la dosis creciente de N al cultivo de cebada en sistemas con diferentes

dosis de estiércol para cuantificar el efecto de esta enmienda sobre el rendimiento y el N presente en grano.

El rendimiento en grano de la cebada reflejó los resultados obtenidos para la producción de MS, con aumentos progresivos en función del aporte creciente de urea e independientemente de las dosis de estiércol (Tabla 11).

Sin aplicación de urea, los rendimientos fueron $T \leq D1 \leq D2$. Las diferencias fueron máximas entre el T y D2, con un valor de reemplazo de fertilizante de 78 kg N ha^{-1} , equivalentes a 169 kg de urea. Si bien entre T y D1 las diferencias fueron no significativas, alcanzaron 495 kg de grano ha^{-1} (30%) y el valor de reemplazo 29 kg N ha^{-1} , o 63 kg de urea.

Los índices de cosecha determinados entre 0,29-0,31, reflejaron las condiciones climáticas particulares del año con precipitaciones por debajo de la media histórica, particularmente en los meses agosto, septiembre, noviembre y diciembre (Figura 23).

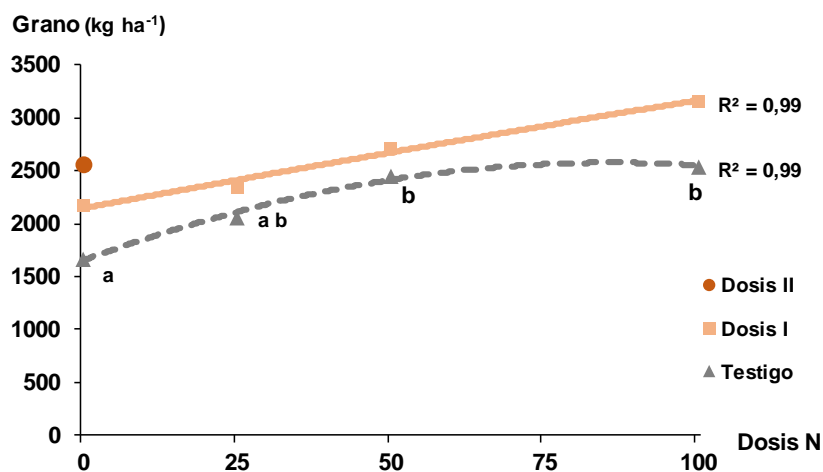


Figura 22. Rendimiento de grano (t ha^{-1}) de cebada con distintas dosis de estiércol y N inorgánico. Letras distintas para cada dosis de estiércol indican diferencias significativas entre aplicaciones de N inorgánico ($p < 0,10$).

Tabla 11. Valores "p" y DMS para el ANAVA ($\alpha=5\%$) de la variación de rendimiento en grano por efecto de la aplicación de estiércol y dosis de urea.

	p Valor	DMS (kg ha ⁻¹)	CV (%)
Modelo	0,0582		20,38
Estiércol	0,0530	0,422	
Dosis N	0,0211	0,597	
Estiércol * Dosis N	0,9116		

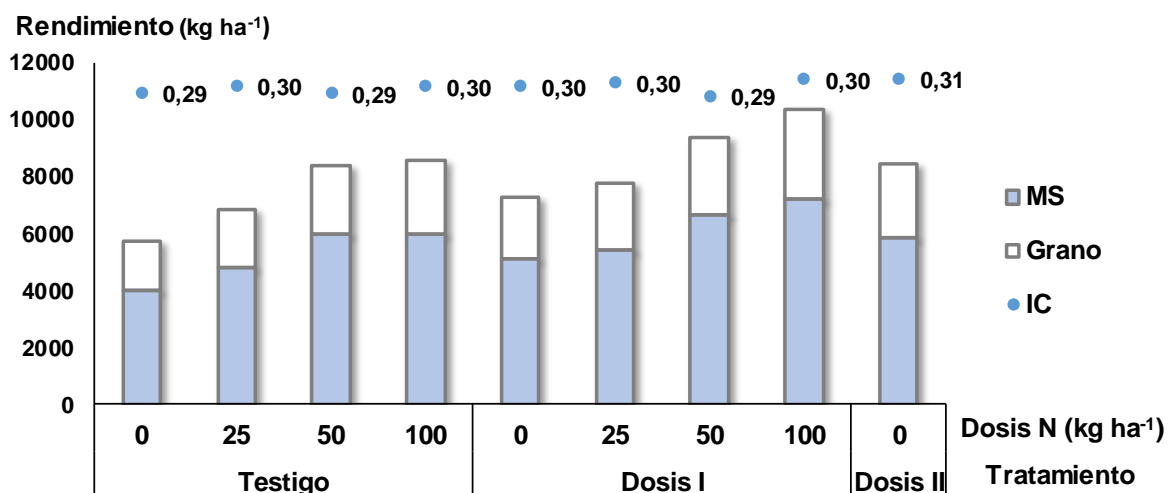


Figura 23. Rendimiento de materia seca y de grano (kg ha⁻¹) junto al índice de cosecha de cebada con distintas dosis de estiércol y N inorgánico.

Proteína en grano

La aplicación de estiércol sin N inorgánico incrementó los niveles de proteína en grano de la cebada ($p=0,0035$). Las diferencias respecto del tratamiento T (6,9%) fueron del 1,9%, y 5,1%, atribuidas a D1 y D2, respectivamente (Figura 24).

En promedio, los porcentajes de proteína de los granos en T estuvieron 2,4 puntos por debajo de los granos en D1 ($p=0,0019$, Tabla 12). En ningún caso, la cebada en el T fertilizado con urea alcanzó los valores de proteína generados con la dosis doble de estiércol (12,2%).

Al mismo tiempo, las dosis crecientes de urea al macollaje, independientemente del agregado de enmienda, generaron cambios similares en la proteína de los granos, ($p=0,0030$, Tabla 12), con aumentos significativos a partir de la dosis 50 N (Figura 24). Matthiess *et al.* (2002), en una red de ensayos con la variedad Scarlett en el sur de la provincia de Buenos Aires observaron que disponibilidades de hasta 150 kg N ha⁻¹ el contenido proteico no superó el 12%. En nuestro caso, el mayor incremento se logró en la parcela enmendada con D1 y 100 kg de N (12,8%). La combinación de la dosis mínima de estiércol D1 y urea garantizó la inserción de los granos producidos dentro del rango de tolerancia de proteína (Mínimo: 9,5%; Máximo: 13%), reglamentado por la Norma de calidad para la comercialización de Cebada Cervecera (SENASA, 2014).

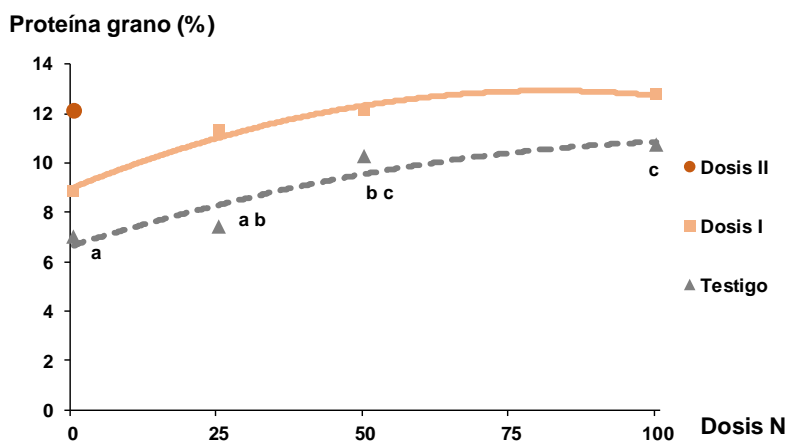


Figura 24. Proteína (%) en grano de cebada con distintas dosis de estiércol y N inorgánico. Para el promedio entre T y D1, letras distintas indican diferencias significativas entre aplicaciones de N inorgánico ($p<0,05$).

Tabla 12. Valores “p” de significancia de los ANAVA ($\alpha=5\%$) de los valores proteína en grano con distintas dosis de nitrógeno para los efectos del agregado al suelo de distintas dosis de estiércol.

	p Valor	DMS (%)	CV (%)
Modelo	0,0028		15,88
Estiércol	0,0019	1,382	
Dosis N	0,0030	1,954	
Estiércol * Dosis N	0,6447		

Stone & Savin (1999) establecieron la relación entre el rendimiento y la proteína en función del N disponible identificando tres zonas. En la primera (niveles bajos de disponibilidad), la aplicación de N tiende a incrementar el rendimiento y disminuir el porcentaje de proteína, por un efecto de dilución. En situaciones de disponibilidad media (zona II) el rendimiento exhibe la clásica curva de respuesta con retornos decrecientes, mientras que el porcentaje de proteína aumenta en forma lineal. En la zona III el cultivo alcanza el rendimiento máximo y el agregado de fertilizante no afecta a la cantidad de almidón en el grano, pero aumenta el contenido de proteína (Figura 25). En la Región Pampeana, Loewy & Ron, 2000; Savin & Aguinaga, 2011 confirmaron dicha relación.

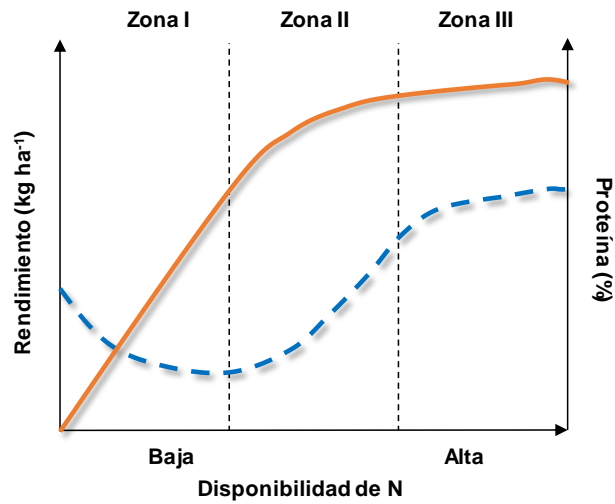


Figura 25. Rendimiento y proteína en grano de cebada cervecera en función de diferentes niveles de disponibilidad de N en el suelo. Fuente: Rausch, A (2015) adaptada de Stone & Savin (1999).

Los resultados de los diferentes tratamientos de este ensayo se vieron reflejados en distintas zonas del diagrama de Stone & Savin. La producción de granos y proteína de la cebada no enmendada se vio representada en la zona II y III con un límite entre zonas establecido aproximadamente en 150 N. En suelos enmendados con una dosis de estiércol, la producción de cebada mostró una respuesta similar, aunque en este caso se produjo una mayor cantidad de granos y de calidad superior (Figura 26).

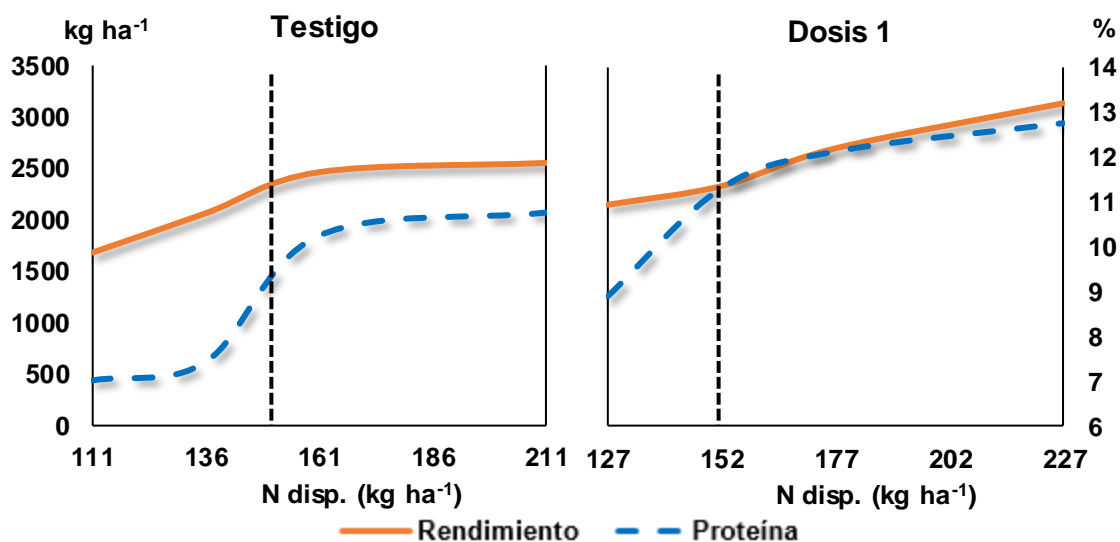


Figura 26. Rendimiento y proteína en granos de cebada cervecera en función de diferentes niveles de disponibilidad de N (N disp.), en suelo enmendado con estiércol y fertilizado con diferentes dosis de urea.

Calibre de los granos

La clasificación de los granos por calibre los separa en cuatro fracciones: aquellos retenidos sobre una zaranda de 2,8 mm (fracción I) y entre 2,8 y 2,5 mm (fracción II) ambas clasificadas como de primera calidad, entre 2,5 y 2,2 mm (fracción III) de segunda calidad y menores a 2,2 mm (fracción IV) de descarte. La Norma V-Cebada Cervecera (SENASA, 2014) determina que cada partida debe tener más de 85% de los granos de primera calidad y menos del 4% de descarte para evitar descuentos.

En este ensayo, la proporción de granos de primera calidad en todos los tratamientos superó la base del 85% (Figura 27). Sin embargo, el aumento de la dosis de N produjo efectos variables dependiendo de la aplicación de enmienda. En T, la producción relativa de granos de primera calidad disminuyó a medida que aumentó la dosis de N. Esto, a expensas del aumento del porcentaje de granos de segunda (de 3,5% a 8,5%) y de descarte (de 0,5% a 3,2%) entre dosis extremas de N. Simultáneamente, dentro de la primera clasificación, se observó la variación de

la relación entre las fracciones I y II. El porcentaje de granos de mayor tamaño pasó de representar el 79,7% al 59,1% cuando se fertilizó con 100 kg de N. En forma análoga, con la aplicación de estiércol, también se observaron cambios dentro en la proporción relativa de granos de primera calidad al aumentar la dosis de N (de 68,5% a 49,7%) aunque en este caso, sin cambios en el porcentaje de los granos de descarte que se mantuvieron alejados de valor límite del 4%.

Estos resultados son congruentes con lo expuesto por Prystupa *et al.*, (2008) quienes señalaron que el menor calibre en granos provenientes de tratamientos con mayor fertilización, puede explicarse a partir de una mayor oferta de nutrientes impactando en el desarrollo vegetativo de la planta, promoviendo el macollaje y la tasa de expansión foliar; esto, traducido en una mayor cantidad de espigas provenientes de macollos secundarios con granos de menor tamaño que aquellos provenientes de espigas generadas por macollos principales.

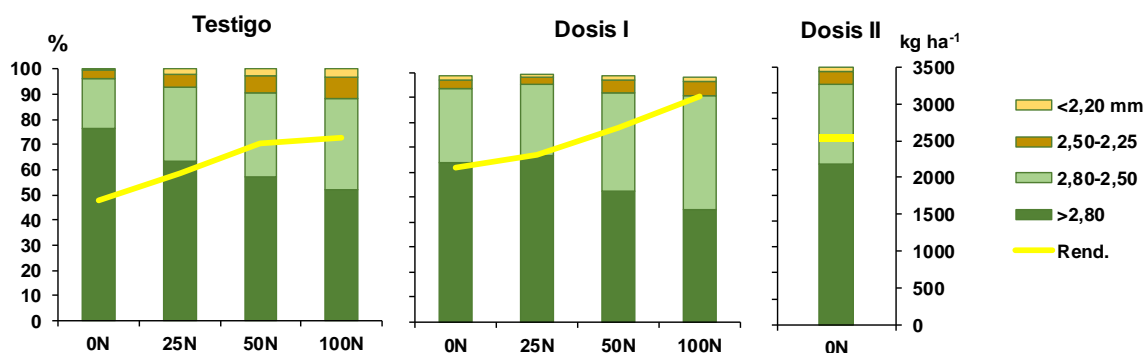


Figura 27. Rendimiento (kg ha^{-1}) y composición porcentual de granos según calibre (mm) de un cultivo de cebada cervecera enmendado con distintas dosis de estiércol y fertilizado con urea.

CONCLUSIONES

En la región semiárida pampeana, zona de Guatraché, donde coexisten sistemas productivos agrícola-ganaderos, el efecto combinado de la aplicación de la enmienda orgánica y la fertilización nitrogenada produce efectos variables sobre las propiedades químicas del suelo y la productividad de los cultivos posteriores.

El estado edáfico inicial y las condiciones climáticas eventuales, entre diversos factores, influyen ampliamente la magnitud de dichos efectos.

La utilización como enmienda de residuos de tambo en sistemas productivos mixtos constituye una opción factible para contrarrestar los efectos negativos de su acumulación tanto a nivel ecológico como económico y social.

En dosis adecuadas produce cambios favorables de distinta magnitud sobre el estado orgánico y la salud de los suelos.

En sistemas productivos de la región de Guatraché el uso de estiércol bovino semicompostado como enmienda mejora el rendimiento y calidad de la cebada cervecera.

Los resultados obtenidos sugieren a esta práctica como alternativa promisoriosa tanto a nivel productivo como ambiental.

Restan aún estudios complementarios sobre la magnitud de los efectos de este tipo de enmiendas a mayores profundidades, tanto a nivel edáfico como sobre la calidad de las aguas subterráneas y, además, referentes a su viabilidad económica en la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguinaga, A. 2004. "Análisis de las relaciones entre proteínas de reserva, calidad maltera y ambiente de cultivo en cebada cervecera" Tesis de Magíster. UNS.
- Archivo del Ministerio de minería (2015). Provincia de La Pampa – Clima y meteorología.
<https://web.archive.org/web/20150707114212/http://www.mineria.gob.ar/estudios/irn/lapampa/tablaclima.asp?nro=tabla1#tabla1>
- Baravalle, R. A. (1992). Dinámica del fósforo edáfico en *Haplustoles énticos* de la región semiárida pampeana. Tesis Magister en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Sur, 70 pp.
- Bono, A. y Álvarez, R. 2007. Estimación de nitratos en profundidad en suelos de la región semiárida y subhúmeda pampeana. International Plant Nutrition Institute (IPNI), pp 25-26.
- Bray, R.H. and Kurtz, L.T. (1945) Determination of Total Organic and Available Forms of Phosphorus in Soils. Soil Science, 59, 39-45.
<http://dx.doi.org/10.1097/00010694-194501000-00006>
- Bremner, J.M. (1996) Nitrogen Total. In: Sparks, D.L., Ed., Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods, SSSA Book Series 5, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 1085-1122.
- Briggs, D.E., 1998. Malts and malting. Blackie Academic & Professional. Londres.
- Bundy, L., Andraski T. and R. Wolkowski. 1993. Nitrogen credits in soybean-corn crop sequences on three soils. Agron. J. 85:1061-1067.
- Campillo, R. y Sadzawka A. 2006. La acidificación de los suelos. Origen y mecanismos involucrados. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Carillanca, Temuco, Chile.
- Cano, E. y otros. 1980. "Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de La Pampa". INTA, Provincia de La Pampa y Universidad Nacional de La Pampa. Instituto Salesiano de Artes Gráficas (ISAG), Buenos Aires. 493 pp.
- Casanovas, E.M., G.A Studdert y H.E. Echeverría. 1995. Materia orgánica del suelo bajo rotaciones de cultivos. II Efecto de los ciclos de agricultura y pastura. Ciencia del Suelo 13: 21-27.
- Casas, R. R. 2005. Efecto de la intensificación agrícola sobre los suelos. Ciencia Hoy. Vol. XV. 87:42-43.
- Castignani, H.A. 2009. Competitividad relativa de la lechería y la agricultura en la cuenca central de Santa Fe – Córdoba. Tesis de Maestría en Agronegocios. UBA.
- Caviglia, J.; Lorda, H.; Lemes, J. (2009) Caracterización Agroproductiva de La Provincia de La Pampa. Informe del proyecto nacional AEES 1731: Economía de los sistemas de producción. Caracterización y prospectiva.
- Charlón, V.; Serrano, P.; García, K. 2008. Efluentes en las instalaciones de ordeño. EEA Rafaela y AER Brandsen, 1-30.
- Código Alimentario Argentino (2010). Ministerio de Salud.
- Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (2018).
<https://www.crea.org.ar/mapalegal/efluentes/>

- Chen, Y.; Zhang, X.; He, H.; Xie, H.; Yan, Y.; Zhu, P.; Ren, J.; Wang, L. 2010. Carbon and nitrogen pools in different aggregates of a Chinese Mollisol as influenced by long-term fertilization. *J Soils Sediments*. 10: 1018-1026.
- CREA Sudoeste, 2017. Analisis de Campaña 2016. <https://www.creasudoeste.org.ar>
- Darwich, N.A. 1991. Estado actual y manejo de los recursos naturales en la región pampeana húmeda sur. Pp. 51-62, en: Seminario Juicio a Nuestra Agricultura. Hacia el desarrollo de una agricultura sostenible. Buenos Aires, 1991. Buenos Aires, Ed. Hemisferio Sur.
- Del Pino, A., C. Repetto, C. Mori y C. Perdomo. 2008. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana* 26: 43-52.
- Di Rienzo, J.A.; F. Casanoves; M.G. Balzarini; L. González; M. Tablada & C.W. Robledo. 2020. InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, UNC.
- Duckardt, E.G. 2016. Efecto de la aplicación de estiércol vacuno sobre algunas propiedades químicas del suelo y la productividad de un cultivo de cebada en la región semiárida bonaerense. Tesina de grado. Dpto. Agronomía, UNS. pp 57.
- FAO – INTA 2012. Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar ISBN 978-92-5-306794-7. Higiene y manejo integrado de plagas. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina (11). Pp 221-236.
- Galantini, J.A. 2001. Contenido y calidad de las fracciones orgánicas del suelo bajo rotaciones con trigo en la región semiárida pampeana. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA-INTA)* 30 (1) 125-146.
- Gambaudo, S., Imhoff S., Carrizo M.E., Marzetti M., Racca S. 2014. Uso de efluentes líquidos de tambo para mejorar la productividad de cultivos anuales y la fertilidad del suelo. *Ciencia del suelo*, 32(2). Pp 197-208.
- Gao, G.; Chang, C. 1996. Changes in CEC and particle size distribution of soils associated with long-term annual applications of cattle feedlot manure. *Soil Sci*. 161: 115-120.
- García, K.; Charlon, V.; Walter E. G.; Taverna M. A. 2013. Evaluación de un tamiz estático para la separación y recuperación de sólidos de los efluentes de tambo. INTA.
- Glave, A. 1988. Manejo de suelos y agua en la región semiárida pampeana. En: Fundación Cargil (Ed.), *Erosión: sistemas de producción, manejo y conservación del suelo y del agua*, pp. 1-69.
- Gutman, G; Guiget, E y Rebolini, J. 2003. Los ciclos en el complejo lácteo argentino.
- Grundey, K. 1982. El tratamiento de los residuos agrícolas. Ediciones GEA, Barcelona. Pp. 301.
- Haynes, R.J., 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biol. Biochem*. 32: 211-219.
- Herrero, A.; Aguirre G.; Camoletto J.; Charlon V. 2009. Uso del agua, manejo de efluentes e impacto ambiental. Buenos Aires, Memorias JICAL III, pp 98-128.
- Herrero, M.A. y GIL, S.B. 2008. Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecol. austral [online]*. 18, (3) pp. 273-289.
- Hilbert, J. A. 2006. Manual para la producción de Biogás. INTA Castelar, pp 45-52.

- INTA; Provincia de La Pampa y Universidad Nacional de La Pampa. 1981. "Inventario integrado de los recursos naturales de la Provincia de La Pampa". Ed. Instituto Salesiano de Artes Gráficas (ISAG), Buenos Aires. 493 pp.
- La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2019) [http://www.fao.org/in-action/inpho/crop-compendium/cereals-grains/es/?page=2&ipp=7&no_cache=1&tx_dynalist_pi1\[par\]=YToxOntzOjE6Ikwio3M6MToiMil7fQ==](http://www.fao.org/in-action/inpho/crop-compendium/cereals-grains/es/?page=2&ipp=7&no_cache=1&tx_dynalist_pi1[par]=YToxOntzOjE6Ikwio3M6MToiMil7fQ==)
- LaManna, A. 1992. Manejo de residuos orgánicos en tambos. Boletín de Divulgación N° 23 INIA Editado por la Unidad de Difusión e Información Tecnológica del INIA Montevideo-Uruguay, 31.
- Loewy, T & MM Ron. 2000. Fertilización de cebada cervecera con nitrógeno y fósforo en el S. O. bonaerense. I Comparación directa con el trigo. XVII congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata.
- Matthiess, W, Serre M, Cattáneo M, 2002. Fertilización nitrogenada en una variedad de cebada cervecera de alto potencial de rendimiento en la argentina. Anuales de la XXII reunión anual de pesquisa de cebada. Passo Fundo, Brasil. 9-11/4/2002
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2016. <https://magyp.gob.ar/new/0-0/programas/dma/granos/Informe-de-cebada.pdf>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Estimaciones Agrícolas (2016). <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>
- Minoldo, G.V. 2010. Impacto de largo plazo de diferentes secuencias de cultivos del sudoeste bonaerense sobre algunas propiedades químicas del suelo y la productividad del trigo. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. UNS, 154 pp.
- Moreyra, Federico., Abbate, Pablo E. 2020. Rendimiento y estabilidad de los cultivares de cebada en Argentina. INTA, 11 p.
- Mulvaney, R. L. 1996. Nitrogen-Inorganic Forms. In D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpoor, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, & M. E. Sumner (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods (pp. 1123-1184). SSSA Book Series No. 5, Madison, WI: SSSA.
- Observatorio de la cadena láctea argentina. 2020. <https://www.ocla.org.ar/>
- Policía de la provincia de La Pampa. Sistema de Actualización de Registro de Lluvias (2016). <https://aplicaciones-policia.lapampa.gob.ar/Lluvias/lluvias.htm>
- Pordomingo, A.J. 2013. Feedlot. Alimentación y diseño. EEA INTA Anguil. UNLPam, 128-153.
- Prystupa P., G. Ferraris, R. Bergh, T. Loewy, L. Ventimiglia, L. Couretot y F. H. Gutierrez Boem. 2008. Fertilización de cebada cervecera cv. Scarlett: IV. Estimación de la respuesta del contenido proteico a la fertilización Nitrogenada. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina. En CD.
- Rausch, A. F. 2015. Modelos empíricos de fertilización nitrogenada en cebada cervecera. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. UNS, 116 pp.
- Rodríguez, C. 2002. Residuos ganaderos. Cursos de Introducción a la Producción Animal. FAV, UNRC.

- Romano N. F y Z. Roberto. 2007. Contenido de Fósforo extractable, pH y Materia orgánica en los suelos del este de la provincia de La Pampa. International Plant Nutrition Institute (IPNI), pp 1-6.
- Ron M. M. y T. Loewy. 1996. Recomendaciones de fertilización fosfórica para trigo en suelos del sudoeste bonaerense (Argentina). *Ciencia del Suelo* 14: 16-19.
- Sánchez Gómez, L. 2006. Estrategias nutricionales para reducir la magnitud de la contaminación ambiental. Universidad Nacional de Colombia.
- SENASA, 2014. Resolución 27/2013 S.A.G.P.y A. Norma V - cebada, Anexo A – Cebada Cervecera. Disponible en: <http://www.senasa.gov.ar/resolucion-272013>.
- SENASA. 2015. Sistema de Gestión Sanitaria/SIGSA - Dirección de Control de Gestión y Programas Especiales - Dirección Nacional de Sanidad Animal.
- Senesi, S. V. F. et al., 2008. Strategic Management in the Argentine Dairy Supply Chain. Ede, The Netherlands., s.n.
- Sharpley, A. 2000. Phosphorus availability. En: Handbook of Soil Science (Ed. M.E. Sumner). CRC Press. Boca Ratón, EE.UU. D18-D38.
- Schulte, E.E. and Hopkins, B.G. 1996. Estimation of Organic Matter by Weight Loss-on-Ignition. In: Magdoff, F.R., et al., Eds., Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation, SSSA Special Publication Number 46, SSSA, Madison, 21-31.
- Smith, D.B. 1990. Barley seed protein and its effects on malting and brewing quality. *Plant varieties and seeds* 3:63-80
- Soil Survey Staff. 1999. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.
- Sosa, O. 2005. Los estiércoles y su uso como enmiendas orgánicas. Catedra de Manejo de Tierras Facultad de Ciencias Agrarias. UNR.
- Stone, P.J. & R Savin. 1999. Grain quality and its physiological determinants, R. Editors Satorre, E. H.; Slafer, G. A. Book Wheat: ecology and physiology of yield determination. pp. 85-120 ISBN 1-56022-874-1.
- Suñer, L.G. 2007. Dinámica del fósforo en suelos agrícolas de la Región Semiárida Pampeana. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. UNS, 120 pp.
- Tan, Z.; R. Lal, L. Owens and R.C. Izaurralde. 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil Till. Res.* 92: 53-59.
- Taverna, M. y S. Fariña. 2013. La producción de leche en Argentina. Anuario de la Lechería Argentina 2013. Fundación para la Promoción y el Desarrollo de la Cadena Láctea Argentina – FunPEL, pp. 5 -30.
- Taverna, M.; Charlón, V.; Panigatti, V.C.; Castillo, A. y Serrano, P. 2004. Manejo de los residuos originados en las instalaciones de ordeño. INTA (ed.). Rafaela, Argentina, 75.
- Tomaso J.C. 2004. Cebada Cervecera en la Argentina, Idia XXI; Revista de información sobre investigación y desarrollo agropecuario. Buenos Aires; INTA. Año IV, N° 6, junio 2004.
- Yapur, M.C. 2011. Evaluación de un sistema de riego por aspersion de efluentes de tambo. Trabajo Final. Facultad de Ciencias Agrarias, UCA.

<http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/evaluacion-sistema-riego-aspersion-efluentes.pdf>.

ANEXO 1. Variables climáticas promedio mensuales Guatraché (1941-1970).

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Temp. media mensual (°C)	23,2	22,4	19	14,8	10,7	7,4	6,9	9	11,4	14,6	18,6	21,5	15
Temp. máxima media (°C)	31,5	30,6	26,2	21,8	17,1	12,9	13,1	15,7	18,4	21,7	26,3	29,9	22,1
Temp. mínima media (°C)	14,6	13,7	11,3	7,3	4,6	2,2	1,1	2	4	6,9	10,7	13,1	7,6
Temp. máx. absoluta (°C)	44.7	43.5	40.6	36.0	30.5	24.5	24.0	29.7	32.8	35.7	40.1	42.5	44.7
Temp. mín. absoluta (°C)	2,8	1,7	-3,4	-4.3	-7.1	-11.0	-12.8	-11.2	-8.5	-3.9	-1.3	0.7	-12.8
Humedad Relat. media (%)	47	51	62	67	74	80	76	66	63	64	59	50	63
Precipitación media (mm)	91,4	75,2	100,5	68,4	38,3	22,2	23,4	26,8	49,9	79,4	99,5	94	769,1
Presión atmosférica (hPa)	991,2	990	993	994,8	995,1	996,6	997,2	995,9	995,4	993	990,3	990,5	993,6
Velocidad de viento (km / h)	12	12	11	11	10	10	12	13	13	12	12	13	11
Evaporación (mm)	215,1	181,1	133,3	75,1	47,1	31,4	37,9	67,6	104,9	119,5	146,9	196,2	1357
Nº de días con heladas	0	0	0.1	1,4	4,7	10,2	12,3	10	5	1	0,1	0	44,8
Heliofanía relativa (%)	72	72	66	61	53	45	44	53	51	58	62	66	59

Fuente: Ministerio de Minería.

ANEXO 2. Cantidad de horas mensuales de vientos Guatraché (1941-1970).

Dir.	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
N	219	230	235	292	227	232	236	195	158	183	189	196	213
NE	159	199	227	192	226	219	212	232	237	224	216	190	215
E	58	35	45	38	27	29	27	31	42	51	46	48	39
SE	111	103	90	73	64	56	70	79	111	115	100	105	89
S	87	104	103	88	74	81	97	102	108	96	88	99	94
SO	179	151	107	126	170	177	171	189	200	160	170	176	170
O	67	61	63	83	80	98	81	79	51	76	72	68	73
NO	102	98	77	95	117	87	90	75	75	83	99	99	91
Calma	21	18	19	13	14	20	21	16	9	12	17	18	14

Fuente: Ministerio de Minería.

ANEXO 3. Precipitación mensual del año 2016 en Guatraché.

Mes	Precipitaciones (mm)
Enero	54
Febrero	162
Marzo	1
Abril	118
Mayo	56
Junio	21
Julio	28
Agosto	0
Septiembre	13
Octubre	151
Noviembre	48
Diciembre	15
Total	666

Fuente: Policía de la provincia de La Pampa.