



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

“Trabajo Final Presentado para Optar al Grado de Ingeniero
Agrónomo”

Modalidad: Proyecto

**EFFECTO RESIDUAL DE EFLUENTES DE TAMBO EN
UNA SECUENCIA SOJA-TRIGO Y BALANCE DE
FÓSFORO EN EL SUELO.**

Schachner, German Lorenzo

DNI: 35551006

Director: Ing. Agr. Dr. Degioanni Américo.

Co-director: Ing. Agr. Horodesky Silvana

Río Cuarto – Córdoba

Mayo de 2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: “EFECTO RESIDUAL DE EFLUENTES DE TAMBO EN UNA SECUENCIA SOJA-TRIGO Y BALANCE DE FÓSFORO EN EL SUELO.”.

Autor: Schachner, German Lorenzo

DNI: 35551006

Director: Ing. Agr. Dr. Degioanni Américo.

Co-Director: Ing. Agr. Horodesky Silvana

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Ing. Agr. Degioanni Américo _____

Ing. Agr. Cabrera Flavia Soledad _____

Ing. Agr. Bongiovanni Marcos Darío _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Secretario Académico

Facultad de Agronomía y Veterinaria

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	IV
SUMMARY	V
D) INTRODUCCIÓN	- 1 -
1) OBJETIVOS.....	- 4 -
A) Generales	- 4 -
B) Específicos	- 4 -
II) MATERIALES Y METODOS	- 5 -
1) DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO EXPERIMENTAL	- 5 -
2) OBSERVACIONES Y MEDICIONES	- 6 -
A) A nivel de suelo:	- 6 -
B) A nivel de cultivo:	- 6 -
3) ANALISIS DE DATOS:	- 7 -
III) RESULTADOS Y DISCUSIÓN	- 8 -
1) Stock de fósforo al inicio de la experiencia	- 8 -
2) Efecto residual de la aplicación de efluentes de tambo sobre el cultivo	- 11 -
3) Balance de Fósforo en el suelo	- 13 -
IV) CONCLUSIÓN	- 15 -
V) BIBLIOGRAFÍA	- 16 -
ANEXO I	- 22 -
ANEXO II.....	- 23 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fósforo disponible promedio (Bray-1) y comparación de medias con LSD Fisher entre tratamientos en los horizontes A1, A2, Bw y C.....	8
Tabla 2. Fósforo disponible promedio (Bray-1) en horizonte A1 y A2 y diferencia de P entre tratamientos en A1+ A2 (hasta los 20 cm) expresado en P Bray-1 y en kg/ha P.....	9
Tabla 3. Valores promedios de altura, ramas, nudos y vainas en el cultivo de soja para los dos tratamientos.....	11
Tabla 4. Comparación de medias de rendimiento (kg/ha) para los dos tratamientos de la experiencia.....	11
Tabla 5. Balance de fósforo y diferencia de Stock de P en kg/ha para el horizonte A1, A2 Y Bw (40 cm de profundidad).....	13
Tabla 6. Diferencia de Stock en kg/ha de P en los horizontes A1, A2, Bw y C, y comparación de medias con LSD Fisher para cada tratamiento.....	14
Tabla 7. Extracción de nitrógeno y fósforo en el cultivo de soja para el tratamiento sin aplicación....	22
Tabla 8. Extracción de nitrógeno y fósforo en el cultivo de soja para el tratamiento con aplicación...	22
Tabla 9. Extracción de nitrógeno y fósforo en el cultivo de trigo.....	22

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Valores promedios y comparación de medias de fósforo extractable (ppm P) en el horizonte C (60-100 cm de profundidad) para tratamiento con y sin aplicación de efluente de tambo	10
Figura 2: Fósforo disponible promedio (Bray-1) en los horizontes A1, A2, Bw y C demostrando estratificación de P	11

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto residual de la aplicación de efluentes de tambo sobre el rendimiento del cultivo de soja y en el balance de P en el suelo. Durante dos campañas (2011-12 y 2012-13) sobre un Haplustol típico franco arenoso se cultivó maíz utilizando como único fertilizante efluentes de tambo con aplicaciones a la siembra en el orden de los 200.000 L. ha⁻¹. En noviembre de 2014 fue implantado un cultivo de soja, sin fertilización orgánica ni mineral. En mayo de 2015 fue sembrado un cultivo de trigo, el cual se fertilizó con 100 Kg ha⁻¹ de Urea y 70 Kg ha⁻¹ de FMA. Se evaluó el efecto residual del efluente sobre el cultivo de soja (rendimiento, morfología y componentes del rendimiento) y el P en el suelo (variaciones de stock de fósforo) en noviembre de 2015. Los resultados muestran que hay un efecto residual de la aplicación del efluente pero no genera lixiviación de P en el suelo. En cuanto al cultivo de soja el número de nudos y de ramas no fue afectado mientras que se produjeron incrementos significativos en la altura de planta, número de vainas y rendimiento de granos. El 20% en el incremento del rendimiento se explica por efectos físicos, químicos y biológicos sinérgicos producto del uso de este residuo ganadero. Se concluye que la utilización de efluentes de la producción bovina de leche es una alternativa técnica viable para incrementar el rendimiento del cultivo y aumentar el stock de P en el suelo sin producir contaminación en profundidad en cortos períodos de tiempo.

Palabras claves: Stock de P – Rendimiento – Lixiviación – Fertilización – Sistema lechero –
Enmienda orgánica

SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the residual effect of the application of dairy effluent on the yield of soybean and the balance of P in the soil. During two campaigns (2011- 12 and 2012-13) on a typical sandy loam Haplustol corn was grown using fertilizer as the only effluent dairy applications sowing in the order of 200.000 L. ha⁻¹. In November 2014 it was introduced a soybean crop, no organic or mineral fertilizers. In May 2015 he was sown wheat crop, which was fertilized with 100 kg ha⁻¹ of urea and 70 kg ha⁻¹ of FMA. The residual effect of the effluent on soybean (yield, morphology and yield components) and soil P (phosphorus stock variations) in November 2015 was evaluated. The results show that there is a residual effect of the application of the effluent but generates no leaching of P in soil. As for the soybean the number of nodes and branches is not affected while there were significant increases in plant height, number of pods and grain yield. On 20% in the yield increase is explained by synergistic physical, chemical and biological effects resulting from the use of this livestock waste. We conclude that the use of effluents of bovine milk production is a viable option for increasing crop yield and increase the stock of P in soil without causing cross contamination for short periods of time technical alternative.

Key Words: Stock P - Performance - Leaching - Fertilization - Dairy System - organic Amendment

INTRODUCCIÓN

La producción en los sistemas lecheros trae aparejado el problema de la generación y acumulación de efluentes. El término "efluentes de tambo" define a las aguas servidas con desechos sólidos (materia fecal, restos de alimentos y barro) y líquidos (agua, orina, restos de leche y soluciones de limpieza del equipamiento de ordeño) que se originan por la faena de ordeño (Charlón, 2007). Estos efluentes generalmente se disponen en lagunas, próximas a las viviendas y al tambo, siendo fuente de olores nauseabundos, organismos patógenos, gases de efectos invernadero y contaminantes del agua subterránea (Herrero, 2010; Dido *et al.*, 2013).

Los efluentes de tambo contienen una significativa cantidad de elementos químicos que pueden ser fuente de nutrientes para las plantas o recomponer propiedades del suelo. Por cada m³ de efluente en promedio contiene 2,8 kg de C; 0,2 kg de N y K; 0,04 kg P y 0,06 kg de S (Wang *et al.*, 2004). Por lo tanto, su aplicación al suelo constituye una técnica de enmienda orgánica y brinda un principio de solución al problema de generación y acumulación de éste residuo, permitiendo recuperar la fertilidad de los suelos y aumentar la producción de los cultivos (Sosa *et al.*, 2010).

Varios trabajos destacan el efecto positivo de la incorporación de residuos orgánicos sobre las propiedades químicas de los suelos por el reciclado de nutrientes, como nitrógeno (Figueroa-Viramontes *et al.*, 2010; Salazar-Sosa *et al.*, 2009) y fósforo (Sosa *et al.*, 2014; Horodesky y Degioanni, 2014), y sobre las propiedades físicas, al aumentar el contenido de materia orgánica, la porosidad e infiltración del agua (Mónaco *et al.*, 2008). Éstas mejoras provocan efectos sobre los rendimientos de los cultivos. Sosa *et al.*, (2010) aplicando efluente de tambo líquido en un cultivo de maíz, halló diferencias significativas entre la media de los rendimientos de este cultivo, cuando son sometidos al tratamiento de efluente frente al testigo sin fertilizar. En este ensayo la enmienda orgánica produjo 3869 kg/ha de granos más que el tratamiento testigo, equivalente a una mejora en la producción del 26%. Resultados similares reportan Amín y Degioanni (2014), aplicando el mismo tipo de enmienda orgánica, con aumentos en el rendimiento de maíz entre un 24% y 35% respecto al testigo.

Debido a que uno de los elementos residuales del efluente de tambo es el fósforo, resulta de interés analizar que ocurre con el balance del mismo, en suelos donde se utiliza éste tipo de enmienda. Los balances más comunes son los denominados "parciales", es decir aquellos que no incluyen todos los ingresos o egresos (García, 2008). Esta estimación del balance de nutrientes responde al concepto de "caja negra", que no considera las transformaciones de nutrientes en el sistema suelo-planta, ni las pérdidas gaseosas, por lavado o erosión. Es importante saber que el P es un insumo limitante en diversos suelos de nuestros agroecosistemas y las reservas de roca fosfórica, principal fuente de P fertilizante económicamente explotables, son limitadas. Por lo tanto, se espera que su oferta pueda disminuir en el futuro y que su precio se incremente (García y González Sanjuan, 2013). Sumado a esto, las decisiones de fertilización son afectadas, entre otros factores, por las variaciones en los

últimos años del precio del fertilizante en relación con el precio del grano de soja (Ferraris y Couretot, 2013). Teniendo en cuenta éstos inconvenientes, la alternativa de aplicar materiales con fósforo, como son los efluentes de tambo, sería una técnica interesante debido a que no solo se dispone de un elemento de bajo costo, ya que es un residuo de la actividad, sino que también puede mitigar un problema de contaminación ambiental (García y González Sanjuan, 2013).

En general en el cultivo de soja cuando el suelo presenta niveles superiores a 15 ppm de fósforo Bray, no hay respuesta al rendimiento cuando se fertiliza con P (García *et al.*, 2009). Considerando una eficiencia de indiferencia de 11 kg de soja por kg de P aplicado, los suelos con niveles de P Bray menor de 12-13 ppm presentarían respuestas rentables a la fertilización fosfatada (García, 2005). Esta situación ocurre en los diferentes suelos de la región pampeana, debido al avance del monocultivo de soja, en donde es común la merma en la disponibilidad de P (Berardo, 2003). En estos suelos, los balances de éste nutriente, determinados como la diferencia entre el P exportado en granos, que es alrededor de 8 kg t⁻¹ de grano producido (Cruzate y Casas, 2003; García, 2004; Fontanetto *et al.*, 2011) y el P aplicado con los fertilizantes, resultan negativo (García, 2001).

La recuperación del fósforo de fertilizantes minerales es relativamente baja, entre 10-35% del P aplicado (García *et al.*, 2009). Esto puede generar en algunas situaciones exceso de aplicación de fertilizantes fosforado, pudiendo ser transferidos por erosión a los cuerpos de agua superficiales del suelo y generar contaminación por eutrofización. Por otra parte, si bien las transferencias al agua subterránea son mínimas, debido a la fuerte interacción e insolubilización del fosfato, se ha encontrado que puede lixivarse. Solórzano *et al.*, (2011) reportan migraciones de hasta un 34% de P disponible en suelos con contenidos de arcilla en el orden del 8%. Si los procesos de interacción e insolubilización no ocurren, cuando se aplican fertilizantes fosfatados en forma continua en dosis que superan la exportación, los valores de P del suelo tienden a aumentar y por tanto ser una fuente de contaminación del agua subterránea. Horodesky y Degioanni (2014) encontraron, en Haplustoles franco arenosos, que aplicaciones mayores o iguales a 137.500 L. ha⁻¹ de efluente crudo incrementan entre un 7,4 y 32 % los niveles de P disponible del suelo. Este enriquecimiento de P extractable puede ser aprovechado por cultivos posteriores, proceso denominado “residualidad”. Experiencias realizadas en trigo y soja de segunda por García (2006), muestran un efecto residual de hasta cuatro años por fertilización de reposición de NPS (nitrógeno, fósforo y azufre).

Experiencias realizadas en Vertisoles de India (Damodar *et al.*, 1999; Damodar *et al.*, 2000), registraron incrementos en el rendimiento de soja ante la aplicación de estiércol, y comprobaron un aumento significativo en el contenido de P en todas las fracciones orgánicas en el suelo (excepto el P orgánico resistente). En general, los incrementos en las fracciones de P orgánico, por adiciones de estiércol, se asocian fuertemente con un aumento en el carbono orgánico del suelo, por lo que ofrece condiciones de mejora de la fertilidad general y la calidad del suelo superando a la fertilización fosforada que tan solo es la adición del nutriente. Este antecedente, alerta sobre la posibilidad de

incrementar los contenidos de P más allá de la capacidad de extracción por lo que aumenta los riesgos de contaminación.

Debido a lo expuesto, y siendo una de las formas para contribuir a la sustentabilidad de los sistemas de producción mixtos, resulta necesario desarrollar prácticas tecnológicas localmente adaptadas para el manejo de los residuos de tambo. Teniendo en cuenta la importancia que ha cobrado en la actualidad la utilización de los efluentes, como abono orgánico, resulta fundamental ampliar el conocimiento que se tiene hasta el momento de los efectos residuales sobre el suelo, haciendo énfasis sobre las pérdidas de fósforo en profundidad y el rendimiento de los cultivos.

OBJETIVOS

Generales

- Evaluar el efecto residual de la aplicación de efluentes de tambo sobre el rendimiento de una secuencia soja - trigo y el balance del fósforo en el suelo.

Específicos

- Evaluar el efecto residual de la aplicación de efluentes de tambo sobre el stock de fósforo.
- Determinar el efecto residual de la aplicación de efluentes de tambo sobre la morfología y componentes del rendimiento del cultivo de soja.
- Calcular el balance de fósforo en el suelo y su potencial migración en profundidad.

MATERIALES Y METODOS

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO EXPERIMENTAL

El ensayo se llevó a cabo, durante la campaña 2014-2015, en un establecimiento agropecuario ubicado a 13,6 km al SO de la localidad de Canals, en la provincia de Córdoba (33° 37' 58" S y 62° 56' 29" O), propiedad de los Sres. Artusso Hnos.

El suelo donde se instaló el ensayo es un Haplustol típico de textura franca arenosa (Jarsún y Zamora 1986).

El lote tiene una pendiente menor al 0,8%, por lo que se considera de baja susceptibilidad a la erosión hídrica. No obstante, el ensayo se dispuso de manera tal que las líneas de siembra fuesen perpendiculares a la pendiente.

Durante las campañas 2011-2012 y 2012-2013, se sembró el cultivo de maíz sin fertilización química nitrogenada ni fosfatada y con la tecnología de siembra habitual del productor. Se aplicó una dosis promedio, para los dos años, de efluente de tambo sin tratamiento previo de 206300 l. ha⁻¹ junto a un testigo sin aplicación. En el lote se establecieron parcelas de 33 m de largo por 9 m de ancho, asignados a un diseño experimental completamente al azar (DCA) con tres repeticiones. La aplicación de efluente en la parcela se realizó mediante tanque presurizado sobre el suelo, sin incorporación en profundidad, tres días previos a la siembra de maíz.

Sobre el rastrojo de maíz fue implantado un cultivo de soja, a mediados de noviembre de 2014, con una distancia entre hileras de 0,525 metros, empleándose la variedad de Nidera 5009 RG. El largo de la parcela fue el mismo del anterior de 33 m y el ancho de 9 m, sin fertilización nitrogenada ni fosfatada. El ensayo fue cosechado a mediados de abril de 2015.

A finales de mayo de 2015, sobre el rastrojo de soja, fue sembrado un cultivo de trigo, con una distancia entre hileras de 0,175 metros, empleándose la variedad de Baguette 11. El cultivo se fertilizó con 100 Kg ha⁻¹ de Urea y 70 Kg ha⁻¹ de Fosfato monoamónico. El ensayo fue picado a mediados de noviembre de 2015. En éste cultivo no se pudo evaluar el rendimiento directamente, debido a la caída de granizo que se produjo en las etapas finales del cultivo. Debido a esto, se produjo el picado y embolsado de la producción. Posteriormente, sobre la base del peso de materia verde, % humedad e índice de cosecha, se estimó el rendimiento del cultivo, siendo un valor común para los dos tratamientos del ensayo.

OBSERVACIONES Y MEDICIONES

A nivel de suelo:

Se realizaron muestreos de suelo antes de la siembra de soja (julio de 2014) y luego de la cosecha de trigo (noviembre de 2015). La escala espacial de ambos muestreos responde a un esquema aleatorio simple mediante toma de muestras compuestas de suelo (3 sub-muestras). Se tomaron cuatro muestras compuestas de suelo en cuatro horizontes a profundidades de 0 a 10 cm (horizonte A1), 10 a 20 cm (horizonte A2), 20 a 40 cm (horizonte Bw) y 60 a 100 cm (horizonte C). En cada muestreo de suelo se determinó la disponibilidad de fósforo (P), en los sitios con y sin aplicación de efluente de tambo del establecimiento, con 3 repeticiones por tratamiento (24 muestras). La extracción de las muestras para los análisis a nivel del suelo, fueron realizadas mediante la utilización de un barreno.

El análisis de suelo permite conocer la capacidad de abastecimiento de P, cuantificando el P extractable a través del método Bray I (Page, 1982). Se emplearon muestras secas al aire y tamizadas por una malla de 0,5 mm usando una solución extractora, (0,03 M NH_4F + 0,025 M HCl) que evalúa principalmente la fracción inorgánica lábil.

A nivel de cultivo:

a- Caracterización del cultivo (altura, número de ramas, número de nudos, número de vainas):

El cultivo analizado es el correspondiente al lote de soja, cultivar NA 5009 de Nidera la cual es una variedad indeterminada que posee máxima capacidad compensatoria en ambientes heterogéneos y un amplio período de llenado.

El cultivo fue implantado a una distancia entre línea de 0,52 m. Los muestreos comprenden 1 m^2 y para obtener la distancia lineal de muestreo se divide por 0,52, arrojando como resultado 1,92 m lineales. En la siguiente fórmula se muestra el cálculo efectuado:

$$\text{metro lineal} = \frac{1 \text{ m}^2}{0,52 \text{ m}} = 1,92 \text{ m}$$

Para determinar altura, número de ramas, nudos y vainas de cada planta de soja se extrajeron plantas de 1,92 metros lineales (1 m^2) de surco con tres repeticiones por tratamiento.

b- Rendimiento

La cosecha se realizó de forma manual, extrayéndose las plantas de 3 muestras de 1,92 metros lineales (1 m^2) de surco por tratamiento. La trilla se ejecutó de manera manual. Se empleó una balanza de precisión para pesar las muestras de 1 m^2 e inferir el peso de 10.000 m^2 . Posteriormente, se extrajo

una alícuota de granos de cada muestra, con el objetivo de realizar determinaciones de humedad para corregir el peso de los granos, calculando el rendimiento con un contenido de humedad de 13,5%.

ANALISIS DE DATOS:

La información obtenida se analizó estadísticamente mediante ANAVA y separación de medias según el test de Fisher al 5% de probabilidad, para ello se utilizó el paquete de análisis estadísticos InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Stock de fósforo al inicio de la experiencia

Los resultados del análisis de fósforo disponible (Bray-1) en el suelo (Tabla 1), determinan que existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para el horizonte A1 (0-10 cm), A2 (10-20 cm) y Bw (40 cm de profundidad). A partir de los 60 cm de profundidad (horizonte C) no se observaron diferencias entre el sitio con y sin aplicación de efluente de tambo.

Tabla 1: Fósforo disponible promedio (Bray-1) y comparación de medias con LSD Fisher entre tratamientos en los horizontes A1, A2, Bw y C antes de la siembra de soja (julio de 2014).

Tratamiento	Profundidad (cm)							
	(A1) 0-10		(A2) 10-20		(Bw) 20-40		(C) 60-100	
	ppm P	DS	ppm P	DS	ppm P	DS	ppm P	DS
Sin aplicación	33,9	A	17,2	A	8,6	A	6,6	A
Con aplicación	58,5	B	30,8	B	14,7	B	6,4	A

DS: Diferencias significativas en comparación de medias a través del Test LSD Fisher Alfa=0,05. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Los niveles adicionales de P extractable del suelo (P Bray), que se observan comparando los dos tratamientos antes de la siembra de soja (julio de 2014), son el resultado de la aplicación de efluente de tambo en ensayos previos. En el lugar de la experiencia durante el ciclo agrícola 2011-2012 y 2012-2013, se llevó a cabo un cultivo de maíz, sin fertilización mineral, utilizando una dosis promedio de 206.300 L ha⁻¹ de efluente y otra sin aplicación (testigo). La cantidad de P aportada por el efluente según Horodesky y Degioanni, (2014) fue de 27 mg/100ml, equivalentes a 55,7 kg P ha⁻¹. Sin embargo, otros autores han reportado aportes de P en el efluente de tambo entre 8 y 14mg/100ml (Diez, 2010; Imhoff *et al.*, 2011; Gambaudo *et al.*, 2011; Gambaudo *et al.*, 2014) lo que aportarían entre 16 y 36 Kg de P para la dosis aplicada. Independientemente de las discrepancias en los contenidos de P del efluente, es evidente que son una fuente importante de nutriente y que, para el caso que se analiza ha significado un aumento en el stock de P soluble en el suelo. Por otra parte, los resultados de la Tabla 1 también muestran que el aporte de P por parte del efluente ha sido mayor al ritmo de exportación, formando productos de mediana a alta solubilidad (Picone *et al.*, 2007). Esta característica genera que dicho nutriente manifieste residualidad en el suelo.

Los resultados obtenidos demostrando el aumento de P disponible y su efecto residual en la nutrición de cultivos, concuerdan con experiencias realizadas en Argentina y otras regiones (Berardo y Marino, 2000; Salvagiotti *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2009; Fontanetto *et al.*, 2009; Vivas *et al.*, 2011; Ferraris *et al.*, 2015). Berardo (2003), luego de una aplicación de 25 kg P, reportó aumentos en los niveles de fósforo soluble y respuesta en los cultivos dentro de la rotación y

de pasturas bajo corte, en los cuatro años posteriores a su aplicación, con respecto al testigo sin fertilizar.

El incremento de P en los dos horizontes más superficiales A (20 cm) fue de 38 ppm respecto al testigo (Tabla 2). Esto representa una diferencia de 51,8 kg de P/ha, equivalente a 259 kg de fosfato diamónico, en las parcelas que se aplicó efluentes, con respecto a las parcelas que no se aplicó. La cantidad de P aplicada supera considerablemente el valor de dosis modal empleada en el sur de Córdoba por los productores en forma de fertilizantes inorgánicos (De Prada y Penna, 2008).

Tabla 2: Fósforo disponible promedio (Bray-1) en horizonte A1 y A2 y diferencia de P entre tratamientos en A1+ A2 (hasta los 20 cm) expresado en mg. kg⁻¹ P y en kg/ha P.

Tratamiento	0-10 cm (A1)	10-20 cm (A2)	Total (A1 + A2)	Diferencia de P entre tratamientos de los horizontes A1+A2	
				mg. kg ⁻¹ P	kg P/ha
Sin aplicación de efluente mg. kg⁻¹ P	33,93	17,22	51,15	38,12	51,87
Con aplicación de efluente mg. kg⁻¹ P	58,48	30,79	89,27		

Resultados similares fueron encontrados por Sosa *et al.*, (2014), aplicando 30.000 kg ha⁻¹ de residuo de tambo. Estos autores encontraron un incremento de 27,2 ppm de P extractable residual en los primeros 20 cm del suelo respecto al testigo. Ello representa una diferencia de 70 kg de P, equivalentes a la utilización de 355 kg de FDA. Por su parte Gambaudo *et al.*, (2011), aplicando 71.400 l/ha de efluente de tambo, encontraron aumentos de P muy marcados en el orden de 20 ppm promedio. Ambos trabajos fueron realizados sobre un suelo Argiudol típico.

Los resultados antes expuestos, reflejan que los niveles de P disponible del suelo se incrementaron de forma considerable, situación que puede inducir a riesgos de lixiviación. Esto se debe a la fertilización con purines, que se realiza generalmente ajustando la dosis por contenido de nitrógeno a la demanda del cultivo, sin cuantificar otros nutrientes, como el fósforo, que podría convertirse en contaminante (Herrero *et al.*, 2010). En este sentido, en los últimos años, diversos trabajos han puesto de manifiesto la movilidad de ciertas cantidades de fósforo en suelos arenosos y ha crecido el interés desde un punto de vista ambiental (McDowell y Sharpley, 2001; Ulén y Jakobsson, 2005).

En esta experiencia, los contenidos de fósforo en el horizonte C (60-100 cm de profundidad) no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Gráfico 1). Esto indicaría que no se genera transferencia de fósforo soluble a profundidades elevadas del perfil al menos en los dos años de aplicación de efluentes. Díaz-Zorita y Grove (2003) y Sharpley, (1999), mencionan que los riesgos de pérdida de P por lixiviación ocurren luego de la saturación de los sitios de fijación, bajo condiciones de muy altas aplicaciones de P. Por tanto, en suelos arenosos, con reducida fijación de P y altas aplicaciones de estiércol existe el riesgo latente de pérdida de fósforo por lixiviación, efecto que en

principio no se produjo en esta experiencia, realizada precisamente en un Haplustol franco arenoso (9.8% arcilla, 18.8% limo, 58.8% arena muy fina y 10% arena fina) para dos aplicaciones consecutivas de efluente de tambo.

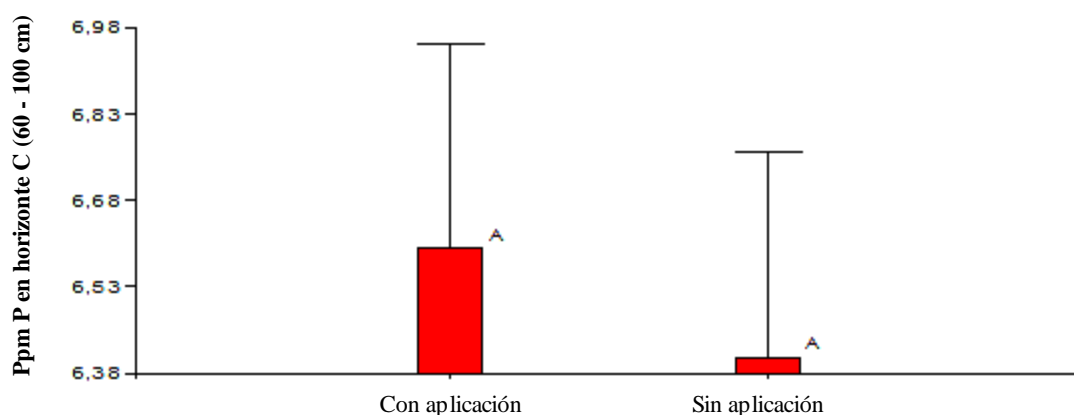


Figura 1: Valores promedios y comparación de medias de fósforo extractable (ppm P) en el horizonte C (60-100 cm de profundidad) para tratamiento con y sin aplicación de efluente de tambo. (Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,13357. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)).

Estos resultados son diferentes a los encontrados por Solórzano *et al.*, (2011), en suelos con bajo contenido de arcilla, similares al Haplustol del ensayo (en el orden del 8%). Según estos autores, las fuentes solubles de P, incrementaron marcadamente los niveles de fósforo aprovechable a lo largo del perfil de suelo, evidenciando movimiento vertical de P. Por su parte, Zamudio *et al.*, (2011), también evidenció aumentos en el fósforo disponible a 70 cm de profundidad en suelos de textura arenosa por efecto de la aplicación de fósforo soluble. Por otro lado, experiencias similares, realizadas por Herrero *et al.*, (2010) reportan mayor concentración de P en lixiviados extraídos desde los 50 cm de profundidad. Estos resultados se obtuvieron utilizando efluentes de tambo sólido aplicados en pre-siembra sobre un cultivo de raigrás.

En los resultados obtenidos en esta experiencia, se puede observar (Gráfico 2), mayor concentración de fósforo en los primeros centímetros de suelo para los dos tratamientos, con una disminución gradual en profundidad. La estratificación de P en función de la profundidad de suelo, ha sido señalada con anterioridad para sistemas de labranza cero o SD (Calviño, *et al.*, 2000; Díaz-Zorita y Grove, 2003; Imhoff *et al.*, 2011). En esta experiencia, si bien la aplicación no fue incorporada al suelo, todas las parcelas fueron sometidas a labranza superficial de 15 cm de profundidad con rastra doble acción al finalizar la cosecha de maíz. Esta labor parece no haber alterado la estratificación de P.

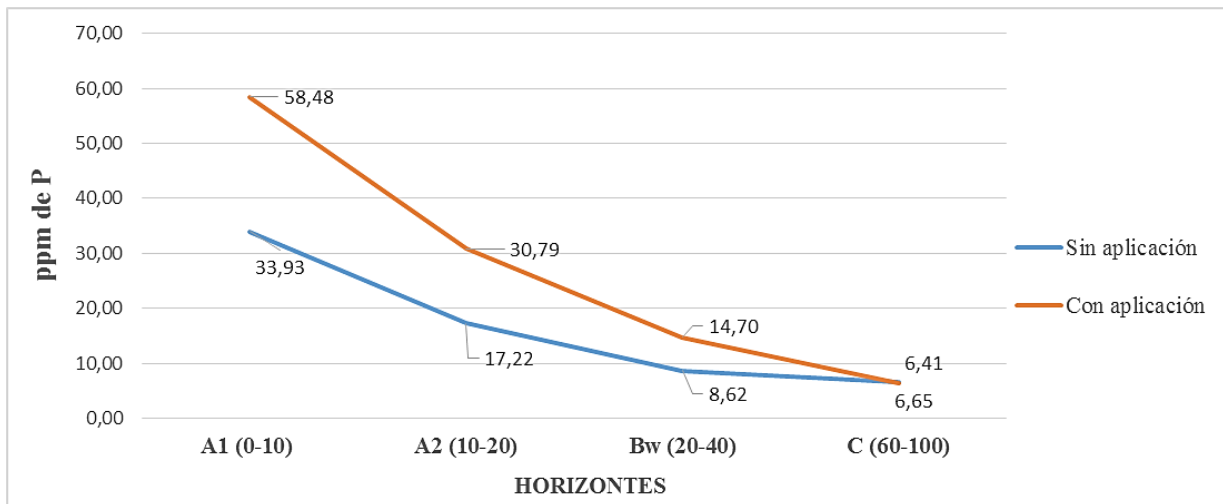


Figura 2: Fósforo disponible promedio (Bray-1) en los horizontes A1, A2, Bw y C demostrando estratificación de P.

Efecto residual de la aplicación de efluentes de tambo sobre el cultivo

Los resultados obtenidos en esta experiencia indican que la aplicación de efluentes de tambo en el cultivo de soja, produce incrementos estadísticamente significativos en la altura de la planta y en el número de vainas, y no produce efectos sobre el número de nudos y el número de ramas (Tabla 3).

Tabla 3: Valores promedios de altura, ramas, nudos y vainas en el cultivo de soja para los dos tratamientos.

Tratamiento	Altura (cm)	Ds	Numero de ramas	Ds	Numero de nudos	Ds	Numero de vainas	Ds
Con aplicación	43,2	A	3,1	A	28,9	A	58,2	A
Sin aplicación	37,5	B	2,6	A	25,8	A	43,2	B

DS: diferencias significativas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Como puede observarse en la Tabla 3, la altura en el tratamiento con aplicación es de 43,2 cm, mientras que en el tratamiento testigo es de 37,5 cm en promedio, arrojando una diferencia promedio de 5,7 cm. El número de vainas presenta valores de 58,2 y 43,2 vainas en el tratamiento con aplicación y testigo respectivamente, 15 vainas de diferencia en promedio. En cuanto al número de nudos y número de ramas, no hay diferencias significativas entre tratamientos.

Quevedo, (2005) reportan para soja que el agregado de P mineral en suelos con bajos niveles de P extractable, aumentó la altura de la planta, número de vainas, número de granos y rendimiento de este cultivo. Si bien no es comparable con esta experiencia se ha de aceptar que el P afecta los componentes de rendimiento. Por otro lado Gambaudo *et al.*, (2014) demostraron en sorgo como afecta la aplicación de efluente de tambo en la producción de tallos, hojas y panojas del cultivo. Aplicando 160.000 L ha⁻¹ midieron incrementos de un 30% en tallo; 27% en hojas, 81% en panojas con respecto al testigo.

En la Tabla 4 se presenta el efecto residual de la aplicación de efluentes de tambo sobre el rendimiento de soja.

Tabla 4: Comparación de medias de rendimiento (kg/ha) para los dos tratamientos de la experiencia.

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=674,27608

Tratamiento	Rendimiento	DS
Sin aplicación	3468,03	A
Con aplicación	4162,43	B

DS: diferencias significativas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los resultados de rendimiento reflejan diferencias estadísticamente significativas (Tabla 4) entre los dos tratamientos. El rendimiento promedio del cultivo en el tratamiento con aplicación de efluente fue de 4.162 kg ha⁻¹, mientras que en el tratamiento testigo fue de 3.468 kg ha⁻¹. Esto representa una diferencia de 694,2 kg ha⁻¹, equivalente al 20% de aumento del rendimiento en el tratamiento con efluente, con respecto al testigo. Trabajos realizados, en suelos con bajo contenido de P-Bray, demuestran que una única aplicación de 22 y 11 kg de P ha⁻¹ generó incrementos en el rendimiento de cultivos de grano durante 7 y 4 años respectivamente (Berardo *et al.*, 1997).

El contenido de P disponible, antes de la siembra de soja (julio de 2014), en los primeros dos horizontes (A1+A2) fue de 51 y 89 mg kg⁻¹ para el testigo y con aplicación de efluente, respectivamente. Estos valores superan el umbral crítico de 9-14 mg kg⁻¹ de P extractable (Bray I) para el cultivo de soja en los primeros 20 cm de suelo (García *et al.*, 2009). Por su parte, Díaz Zorita (2002) no encontró respuesta a la fertilización fosfatada de la soja en suelos con más de 20 mg kg⁻¹ de P en los primeros 20 cm de suelo.

De esta manera es de suponer, que el incremento del rendimiento no es debido a una respuesta al contenido de fósforo en el suelo, sino una suma de efectos positivos por la incorporación de estos residuos, sobre las propiedades químicas y físicas del suelo. En este sentido, diversos trabajos destacan que los efluentes líquidos de tambo producen efectos integrados por aportes de nitrógeno (Figueroa-Viramontes *et al.*, 2010; Sosa *et al.*, 2010; Salazar-Sosa *et al.*, 2009; Diez, 2010) y fósforo (Fontanetto *et al.*, 2009, Sosa *et al.*, 2014; Horodesky y Degiovani, 2014; Gambaudo *et al.*, 2011). Por otra parte, no sólo genera aportes en lo inmediato, sino que sus efectos positivos, de cara a la producción de los cultivos, se extienden en el tiempo gracias a la fracción orgánica que posee el efluente, que se mineraliza posteriormente a su aplicación (Joshi *et al.*, 1994; Herrero, 2010; Castellano *et al.*, 1996).

Además, experiencias en aplicaciones de residuos ganaderos han constatado mejoras en las propiedades físicas del suelo, al aumentar el contenido de materia orgánica, la porosidad e infiltración del agua en el suelo y la retención de humedad (Fontanetto *et al.*, 2009; Mónaco *et al.*, 2008; Schröder *et al.*, 2007, Khan *et al.*, 2007).

Otro aspecto importante a destacar es el aumento de la microbiota edáfica, ya que tienen un papel importante en la actividad del suelo. Este efecto favorable es debido al uso de materiales orgánicos, que proveen la energía necesaria para la actividad biológica de la biomasa microbiana y adsorben compuestos (pesticidas) que afectarían a esta actividad (La Manna, 1995). Al mismo tiempo, alrededor de una tercera a una cuarta parte de la materia orgánica del estiércol consiste en

microorganismos, los cuales estimulan la descomposición de la materia orgánica (Del pino *et al.*, 2008; Miner, 1971).

Por otra parte, las comunidades microbianas pueden ser utilizadas como parámetros de la salud del suelo, debido al equilibrio ecológico entre los patógenos y agentes de biocontrol que suprimen naturalmente la incidencia de enfermedades. Los agentes de control biológico, mejoran la resistencia de las plantas a enfermedades causadas por hongos transmitidas por el suelo, a través de la producción de antibióticos, activación de genes resistentes y parasitando otros hongos, resultando en un mayor vigor del cultivo. Como aporte adicional, los microorganismos también reducen la gravedad de algunas enfermedades aéreas (Singh y Nain, 2014; Gil *et al.*, 2009).

En síntesis, se presume que el efecto sobre el rendimiento estaría vinculado no tanto el aporte de nutrientes por parte del efluente, sino al efecto sinérgico sobre la biología del suelo y las propiedades físicas, que cubrieron las necesidades del cultivo y generaron condiciones bióticas favorables para el desarrollo de la planta. Se trata entonces de un interesante campo de investigación a trabajar.

Balance de Fósforo en el suelo

El balance de fósforo en el suelo, fue calculado como la diferencia entre el ingreso y egreso del nutriente al agro-sistema.

En cuanto a las “entradas” en el balance nutricional, los nutrientes aportados por fertilizante mineral, es de 100 kg de Urea y 70 kg de fosfato monoamónico antes de la siembra de trigo.

En la Tabla 5 se presenta el balance de fósforo disponible, hasta los 40 cm de profundidad. El mismo, fue calculado a partir del stock inicial, extracción del cultivo según los rendimientos medidos en soja y estimados en trigo, aportes vía fertilizante y stock final. El período del balance abarca desde el 3 de julio de 2014 hasta el 5 de noviembre de 2015 (487 días). Los cálculos de los ingresos y egresos están en el Anexo I.

Tabla 5: Balance de fósforo en kg/ha para el horizonte A1, A2 Y Bw (40 cm de profundidad).

Tratamiento	Stock inicial Kg/ha	Extraccion kg/ha	Aporte kg/ha	Stock final medido Kg/ha	Diferencia de stock kg/ha
Sin aplicación	91,5	27,5	15,9	90,0	-1,5
Con aplicación	158,8	31,4	15,9	139,1	-19,7

Adición de P: 70 kg Fosfato monoamónico. **Extracción de P:** requerimiento de soja y trigo (kg P/ tonelada de grano) x índice de cosecha de fósforo. **Rendimientos:** 2000 kg ha⁻¹ trigo, 4162,28 kg ha⁻¹, soja con aplicación, 3468,05 kg ha⁻¹ soja sin aplicación.

Cuando se compara el stock inicial y final de fósforo asimilable para ambos sitios experimentales se comprueba que en ambos tratamientos ha disminuido, pero con diferente magnitud. En el tratamiento sin aplicación de efluente, el balance fue prácticamente neutro. El mecanismo responsable de que se produzca un equilibrio en el stock de P en el tratamiento sin aplicación de efluente, podría atribuirse a la reposición de P de fracciones moderadamente lábiles y/o liberación de P a partir de una fuente adicional de P orgánico proveniente de la mineralización de la materia orgánica (Zhang *et al.*, 2004; Ciampitti, 2009). Blake *et al.*, (2003) reportan situaciones similares donde

balances positivos de P no siempre fueron acompañados por un incremento en los niveles de P en los primeros cm del suelo y que en situaciones de saldo negativo presentaron incrementos en los niveles de P.

Para la situación con aplicación de efluente, la disminución de stock es de 19,7 kg ha⁻¹ de P. En coincidencia con estos resultados, Vivas *et al.*, 2006 y Ferraris *et al.*, 2010 observaron en las situaciones con aplicación de 16 y 20 kg ha⁻¹ de P, respectivamente, balances negativos de fósforo para diferentes rotaciones de trigo/soja.

Como puede observarse en la Tabla 6, en ninguno de los horizontes se produce una disminución marcada en el fósforo disponible para el tratamiento sin aplicación de efluente.

Tabla 6: Diferencia de Stock en kg/ha de P en los horizontes A1, A2, Bw y C y comparación de medias con LSD Fisher para cada tratamiento.

Tratamiento	(A1) 0-10 cm		(A2) 10-20 cm		(Bw) 20-40 cm		(C) 60-100 cm	
	Kg/ha	DS	Kg/ha	DS	Kg/ha	DS	Kg/ha	DS
Sin aplicación	0,63	A	-2,97	A	0,83	A	-2,46	A
Con aplicación	-15,98	B	-4,67	A	0,96	A	1,91	A

Diferencia de stock (medición inicial (antes de la siembra de Soja) – medición final (una vez finalizado la secuencia de soja y trigo) a través del método Bray I)

La mayor disminución se produjo en el primer horizonte (0-10 cm) con un valor negativo de 15,98 kg ha⁻¹ de P. Sin embargo, este balance negativo en las condiciones de este ensayo no debe ser considerado necesariamente como “malo” dado los altos niveles de P soluble disponibles. Es más, si bien en este caso no se ha detectado lixiviación de P el riesgo siempre está latente, al igual que posibles migraciones por erosión por lo que, “consumir” la disponibilidad de P es una medida correcta desde el punto de vista del manejo del cultivo.

En la medida en que nos acercamos a niveles de disponibilidad críticos para los cultivos, los balances deberían ser neutros o positivos. (Ciampitti y García, 2008).

CONCLUSIONES

- La utilización de efluentes de la producción bovina de leche incrementó el stock de P al inicio de la experiencia para el horizonte A1, A2 y Bw con respecto al testigo, por lo que se comprueba residualidad del nutriente ante el uso de éste abono orgánico.
- Las dosis aplicadas de efluentes durante dos campañas agrícolas en un Haplustol típico franco arenoso no generan transferencia de P en el horizonte C (60-100 cm de profundidad).
- La aplicación de efluentes no modificó el número de nudos y de ramas en el cultivo de soja pero produjo diferencias positivas significativas en altura de la planta, número de vainas y rendimiento en granos.
- El incremento en el rendimiento no puede ser explicado por efecto de la nutrición fosforada sino que se presupone efectos físicos, químicos y biológicos sinérgicos producto del uso de este residuo ganadero.
- El balance de P es negativo en ambos tratamientos aunque en el testigo el balance fue prácticamente neutro.
- La utilización de los efluentes de tambo como enmienda orgánica es una práctica recomendable porque aumenta la producción de grano y resuelve en buena medida el problema que generan la gestión de estos residuos en la producción lechera.

BIBLIOGRAFÍA

AMIN, S. y A. DEGIOANNI. 2014. Uso de efluentes de tambo en la producción de maíz. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo II Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas”. Bahía blanca. Argentina.

BERARDO, A. 2003. Manejo del fósforo en los sistemas de producción pampeanos. En Simposio “El fósforo en la agricultura argentina”. *INPOFOS* Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires (pp. 38-44).

BERARDO, A. y M. A. MARINO. 2000. Efecto de la fertilización fosfatada sobre la disponibilidad de P y su relación con la producción de forraje en molisoles del sudeste bonaerense. II-ALFALFA.

BERARDO, A., F. GRATTONI, R. RIZZALLI y F. GARCIA. 1997. Long-term effects of phosphorus fertilization in wheat yields, efficiency and soil test levels. *Better Crops International*, 12(2), 18-20.

BLAKE, L., A.E. JOHNSTON, P.R. POULTON y K.W.T. GOULDING. 2003. Changes in soil phosphorus fractions following positive and negative phosphorus balances for long periods. *Plant and Soil* 254: 245-261.

CALVIÑO, P., H.E. ECHEVERRÍA y M. REDOLATTI. 2000. Estratificación de fósforo en el suelo y diagnóstico de la fertilización fosfatada en trigo en siembra directa. In *Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACCS, Mar del Plata, Argentina*.

CASTELLANO, R., J. ETCHEVERS, A. AGUILAR S. y R. SALINAS. 1996. Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades de un suelo en una región irrigada del norte de México. *Terra* 14: 151-158.

CHARLÓN, V. 2007. Residuos en las instalaciones de ordeño. *Idia XXI* N°, 9: 80-85.

CIAMPITTI, I. A., y F.O. GARCÍA. 2008. Balance y eficiencia de uso de los nutrientes en sistemas agrícolas. *R. Horiz. A*, 18, 22-28.

CIAMPITTI, I. A. 2009. Dinámica del fósforo del suelo en rotaciones agrícolas en ensayos de nutrición a largo plazo (Doctoral dissertation, MS thesis. Univ. of Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina).

CRUZATE, G. y R. CASAS. 2003. Balance de nutrientes. *Revista fertilizar INTA*, vol. 8, p. 7-13.

DAMODAR REDDY, D., A. SUBBA RAO, K. SAMMI REDDY y P.N. TAKKAR. 1999. Yield sustainability and phosphorus utilization in soybean-wheat system on Vertisols in response to integrated use of manure and fertilizer phosphorus. *Field Crops Research*, 62, 181-190.

DAMODAR REDDY, D., A. SUBBA RAO y T.R. RUPA. 2000. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. *Bioresource Technology*, 75 (2): 113-118.

DE PRADA, J. D y J. A. PENNA. 2008. Percepción económica de los productores agropecuarios de los problemas en el sur de Córdoba, Argentina. Ed. INTA. Bs As, Argentina. p: 42-43.

DEL PINO, A., C. REPETTO, C. MORI, y C. PERDOMO. 2008. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 26(1), 43-52.

DI RIENZO, J.A., F. CASANOVES, M.G BALZARINI, L. GONZALEZ, M. TABLADA y C.W. ROBLEDO. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

DÍAZ ZORITA, M. 2002. La fertilización de soja y trigo/soja en la región pampeana: Red del proyecto Fertilizar INTA. Actas de la Jornada de actualización para profesionales “Fertilidad 2002”, *INPOFOS*. Cono Sur, Rosario, Argentina.:37-42. En: Espósito, G. P., Castillo, C. A., Balboa, G. R., y Balboa, R. G. 2008. Nivel crítico de fósforo y azufre en suelos del sur de Córdoba para el cultivo de soja. *Agronómicas#* 43, 16.

DÍAZ-ZORITA, M., y J.H. GROVE. 2003. Manejo del fósforo en sistemas de siembra directa. *Génesis*, 15(48), 22-27.

DIDO, C., F. MIERES, G. RINALDI, P. BENEDETTI y H. CAMPAÑA. 2013. Evaluación técnica económica del tratamiento anaeróbico de los efluentes de un tambo de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(4), 65-74.

DIEZ, M. 2010. Manejo de los efluentes originados en tambo: Una experiencia en el este de La Pampa. *Agronómicas#* 47, 16.

FERRARIS, G. N., L. COURETOT, M. TORIBIO, y R. FALCONI. 2010. Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos. *Informaciones agronómicas del Cono Sur*.

FERRARIS, G. N. y L. A. COURETOT. 2013. Respuesta a la fertilización en diferentes grupos de madurez de soja en campañas climáticamente contrastantes. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*.N°9:17-20.

FERRARIS. G.N., M. TORIBIO, R. FALCONI y F. MORIONES. 2015. Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos en el largo plazo. *IAH 19 - Septiembre 2015. Versión Cono Sur*

FIGUEROA-VIRAMONTES, U., J. A. CUETO-WONG, J.A. DELGADO, G. NÚÑEZ-HERNÁNDEZ, D.G. RETA-SÁNCHEZ, H.M. QUIROGA-GARZA, y J.L. MÁRQUEZ-ROJAS. 2010. Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 361-369.

FONTANETTO, H., S. GAMBAUDO, V. CHARLÓN, M. TAVERNA, S. IMHOFF, y O. ZEN. 2009. Manejo y utilización de los efluentes de sistemas ganaderos. *AAPRESID Revista Técnica en SD Planteos ganaderos 2009*.

FONTANETTO, H., O. KELLER, M. SILLON, J. ALBRECHT, D. GIAILEVRAI, C. NEGRO y L. BELOTTI. 2011. Manejo de la Fertilización de la Soja en Regiones Templadas. In Resumen de Ecofisiología y Climatología del Quinto Congreso de la Soja del Mercosur y 1er foro de la Soja Asia-Mercosur. Mercosoja.

GAMBAUDO, S., H. FONTANETTO, N. SOSA, G. GIANINETTO y E. WEDER. 2011. Enmiendas orgánicas para mejorar la fertilidad de los suelos. Planteos ganaderos en siembra directa. *Revista técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa*.

GAMBAUDO, S., S. IMHOFF, M.E. CARRIZO, M. MARZETTI, y S. RACCA. 2014. Uso de efluentes líquidos de tambo para mejorar la productividad de cultivos anuales y la fertilidad del suelo. *Ciencia del suelo*, 32(2), 197-208.

GARCÍA, F.O. 2001. Balance de fósforo en los suelos de la región pampeana. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*.Nº9:1-3

GARCÍA, F. O. 2004. Soja: Criterios para la fertilización del cultivo. *INPOFOS/PPI/PPIC Cono Sur*. Paper. Argentina.

GARCÍA, F. O. 2005. Soja: Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo. *Informaciones Agronómicas*, 27: 1-6.

GARCÍA, F. O. 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. *Informaciones Agronómicas*, 29, 13-16.

GARCÍA, F. O. 2008. Mejores prácticas de manejo de la nutrición y de los fertilizantes en cultivos de cosecha gruesa. Jornada de Cosecha Gruesa, Región CREA Mar y Sierras. Tres Arroyos, 22 de Agosto de 2008.

GARCÍA, F. O., I.A. CIAMPITTI, G. RUBIO y L.I. PICONE. 2009. La fertilización fosfatada en la Argentina: Actualidad, Manejo y Perspectivas. Jornadas Nacionales “Sistemas Productivos Sustentables: Fósforo, Nitrógeno y Cultivos de Cobertura”. Bahía Blanca- Buenos Aires, Argentina.

GARCÍA, F., y M.F. GONZÁLEZ SANJUAN. 2013. La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes: ¿Cómo estamos? *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*.Nº9:1-7.

GIL, S.V., S. PASTOR, y G.J. MARCH. 2009. Quantitative isolation of biocontrol agents *Trichoderma* spp., *Gliocladium* spp. and actinomycetes from soil with culture media. *Microbiological research*, 164(2), 196-205.

HERNÁNDEZ, C. F., F.A. SOSA, G.A. SANZANO, M. MORANDINI, H. ROJAS QUINTEROS, y M.R. DEVANI. 2009. Efecto de distintas alternativas de fertilización fosfatada en la secuencia trigo-soja sobre el fósforo asimilable y los rendimientos en la provincia de Tucumán, Argentina. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, 86(2), 31-36.

HERRERO, M.A., L. CARBÓ, G. GUTIERREZ, S. VOLPE, G. SARDI, L. CALCAGNO, F. PASTORINO, J. DORCAZBERRO y M. FLORES. 2010. Balance, disponibilidad en suelos y lixiviados de fósforo en raigrás anual fertilizado con purines. *Revista Argentina de Producción Animal*. Vol 30. Supl. 1: 109-158.

HERRERO, M.A. 2010. Efluentes del tambo, ¿Algo molesto a eliminar o un recurso a utilizar? *Producir XXI*, Bs. As., 19(230):68-71. <http://www.produccion-animal.com.ar>. Consultado: 15-09-2013.

HORODESKY, S y A. DEGIOANNI. 2014. Efecto de la aplicación de efluentes de tambo sobre el stock de fósforo. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Bahía blanca. Argentina.

IMHOFF, S., P. GHIBERTO, M.E. CARRIZO, V. CHARLÓN, O. ZEN y S. GAMBAUDO. 2011. Uso alternativo de efluentes de tambo para disminuir el impacto ambiental. En V Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Ambiente de REDIBEC y V Jornadas de la Asociación Argentino-Uruguay de Economía Ecológica, Santa Fe. Resumen en CD de V CISDA.

JARSÚN, B., J y E. ZAMORA.1986. Carta de suelos de la republica argentina. Hoja 3363-28 CANALS.

JOSHI, J.R, JF. MONCRIEF, J.B. SWAN y P.M. BURFORD. 1994. Long-term conservation tillage and liquid dairy manure effects on corn. I. Nitrogen availability. *Soil and Tillage Research* 31: 211-224

KHAN, A.U, M. IQBAL, y K.R. ISLAM. 2007. Dairy manure and tillage effects on soil fertility and corn yields. *Bioresource technology*, 98 (10), 1972-1979.

LA MANNA, A. 1995. Manejo de residuos orgánicos en tambos. Número de volúmenes, 1. 2° Edición ampliada y corregida. Boletín de divulgación 53. INIA.

LEE, C.H., C.Y. PARK, K.D. PARK, W.T. JEON y P.J. KIM. 2006. Long-term effects of fertilization on the forms and availability of soil phosphorus in rice paddy. *Chemosphere* 56 (3): 299-304.

MCDOWELL, R.W y A.N. SHARPLEY. 2001. Phosphorus losses in subsurface flow before and after manure application to intensively farmed land. *Sci. Total Environ.* 278, 113-125. En: Fernández-marcos, m. l. Contaminación por fósforo procedente de la fertilización orgánica de suelos agrícolas.

MINER, J. 1971. Farm animal - waste management. Ames. Iowa. Agriculture and Home economics Experiment Station. Iowa State University of Science and Technology. North Central Regional publication 206. 44p.

MONACO, S., D.J. HATCH, D. SACCO, C. BERTORA, y C. GRIGNANI. 2008. Changes in chemical and biochemical soil properties induced by 11-yr repeated additions of different organic materials in maize-based forage systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 40 (3), 608-615.

PAGE, A. L. 1982. Methods of soil analysis Part 1 Number 9. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of American, Inc. Segunda edición. Madison, Wisconsin. USA. 1159 p.

PICONE, L., I. CAPOZZI, E. ZAMUNER, H. ECHEVERRÍA y H. SAINZ ROZAS. 2007. Transformaciones de fósforo en un Molisol bajo sistemas de labranza contrastantes. *Ci Suelo* 25(2): 99-107.

QUEVEDO, C. C. 2005. Fertilización con fósforo y con potasio en soya en la Zona Norte-Integrada de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. *Informaciones Agronómicas*. No.28. (19-22).

SALAZAR-SOSA, E., H.I. TREJO-ESCAREÑO, C. VÁZQUEZ-VÁZQUEZ, J.D. LÓPEZ-MARTÍNEZ, M. FORTIS-HERNÁNDEZ, R. ZUÑIGA-TARANGO, y J.P. AMADO-ÁLVAREZ. 2009. Distribución de nitrógeno disponible en suelo abonado con estiércol bovino en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 373-382.

SALVAGIOTTI, F., G. GERSTER, S. BACIGALUPPO, J. CASTELLARÍN, C. GALARZA, N. GONZÁLEZ, y P. VALLOTE. 2005. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. *Ciencia del Suelo*, 22(2), 92-101.

SCHRÖDER, JJ, H.F.M. AARTS, J.C. VAN MIDDELKOOP, R.L.M. SCHILS, G.L. VELTHOF, B. FRATERS, y W.J. WILLEMS. 2007. Permissible manure and fertilizer use in dairy farming systems on sandy soils in The Netherlands to comply with the Nitrates Directive target. *European Journal of Agronomy*, 27 (1), 102-114.

SHARPLEY, A.N. 1999. Agricultural phosphorus, water quality, and poultry production: Are the compatible. *Poultry Sci.* 78:660-673.

SINGH, S. y L. NAIN. 2014. Microorganisms in the Conversion of Agricultural Wastes to Compost. In *Proc Indian Natn Sci Acad* (Vol. 80, pp. 473-81).

SOLÓRZANO, P. R., R.GIMENEZ y O. SILVA. 2011. Movimiento vertical de diferentes fuentes de fósforo en dos suelos de texturas contrastantes. *Venesuelos*, 2(2), 86-89.

SOSA, N., M. ALLADIO, F. PAGNAN, J.M. ORCELLET, y S. GAMBAUDO. 2014. Evaluación de aplicación de residuos sólidos de tambo en cultivo de maíz. *Planteos Ganaderos 2015*, Aapresid, p. 54-58.

SOSA, N., S. GAMBAUDO, H. FONTANETTO Y O. KELLER. 2010. Aplicación de enmienda orgánica en un cultivo de maíz. *Publicación miscelánea. EEA Rafaela*, (118).

ULÉN, B. y JAKOBSSON, C. 2005. Critical evaluation of measures to mitigate phosphorus losses from agricultural land to surface waters in Sweden. *Sci. Total Environ.* 344, 37-50. En: Fernández-marcos, m. I. Contaminación por fósforo procedente de la fertilización orgánica de suelos agrícolas.

VIVAS, I. A. H. S., R. ALBRECHT, J. L. HOTIAN y A. R. L. GASTALDI. 2006. Fertilización con fósforo y azufre. Residualidad para una secuencia de cultivos. *Anuario 2006. EEA Rafaela. Agronomía, Suelos*. 2006.

VIVAS, H. S., N.V. CANDIOTI, R. ALBRECHT, L. MARTINS y J. L. HOTIÁN. 2011. Fertilización con fósforo y Azufre en rotación de cultivos del centro de Santa Fe, Argentina: Beneficios productivos y económicos y evolución del P extractable. *Entrenamiento y crédito como generadores de cambios sociales y ambientales en el cultivo de café—cuatro años después*, 17.

WANG, P., CHANGA, C. M., WATSON, M. E., DICK, W. A., CHEN, Y. y HOITINK, H. A. J. 2004. Maturity indices for composted dairy and pig manures. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(5), 767-776.

ZAMUDIO-GONZÁLEZ, B., A. VÁZQUEZ, G.A. GONZÁLEZ, J.E. BARRA y T.M. ROBLEDO. 2011. Movimiento vertical de fósforo en suelos arenosos con fertirriego y uso de mejoradores. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 249-258.

ZHANG, T.Q., A.F. MACKENZIE, B.C. LIANG y C.F. DRURY. 2004. Soil Test Phosphorus and Phosphorus Fractions with Long-Term Phosphorus Addition and Depletion. *Soil Science Society America Journal* 68:519-528.

ANEXO I

Entradas de nutrientes por fertilizante:

- 70 kg FMA y 100 kg Urea
- Composición FMA: 12:52:0, es decir, 12% Nitrógeno (N) amoniacal, 52% Pentóxido de fósforo (P₂O₅), equivalente a 22% de P, y 0% de potasio.
- Composición Urea: 46 % Nitrógeno (N)

100 kg FMA _____ 12 kg N

100 kg FDA _____ 22 kg P

70 kg FDA _____ **x** = 8.4 kg N

70 kg FDA _____ **x** = 15.4 kg

P

100 kg Urea _____ **x** = 46 kg N

Salida de nutrientes por parte de los cultivos de soja y trigo

Tabla 7. Extracción de nitrógeno y fósforo en el cultivo de soja

Tratamiento sin aplicación de efluente			
Rendimiento = 3475,80 kg ha ⁻¹		Humedad = 13,5%	
Nutriente	Requerimiento (kg tn ⁻¹)	IC (%)	Extraccion (kg tn ⁻¹)
Nitrogeno	80	0,75	208,5
fosforo	7	0,84	20,4

Tabla 8. Extracción de nitrógeno y fósforo en el cultivo de soja

Tratamiento con aplicación de efluente			
Rendimiento = 4166,38 kg ha ⁻¹		Humedad = 13,5%	
Nutriente	Requerimiento (kg tn ⁻¹)	IC (%)	Extraccion (kg tn-1)
Nitrogeno	80	0,75	250,0
fosforo	7	0,84	24,5

Tabla 9. Extracción de nitrógeno y fósforo en el cultivo de trigo

Tratamiento con y sin aplicación de efluente			
Rendimiento = 2000 kg ha ⁻¹		Humedad = 13,5%	
Nutriente	Requerimiento (kg tn ⁻¹)	IC (%)	Extraccion (kg tn-1)
Nitrogeno	30	0,65	39
fosforo	5	0,7	7

ANEXO II

STOCK DE FÓSFORO AL INICIO DE LA EXPERIENCIA

Análisis de la varianza Y Comparación de medias

0

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0	6	0,98	0,97	4,99

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	903,81	1	903,81	169,96	0,0002
PRIMER AÑO	903,81	1	903,81	169,96	0,0002
Error	21,27	4	5,32		
Total	925,08	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,22764

Error: 5,3177 gl: 4

PRIMER AÑO	Medias	n	E.E.	
D	58,48	3	1,33	A
T	33,93	3	1,33	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

10

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10	6	0,90	0,88	11,47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	276,35	1	276,35	36,48	0,0038
PRIMER AÑO	276,35	1	276,35	36,48	0,0038
Error	30,31	4	7,58		
Total	306,66	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,23980

Error: 7,5763 gl: 4

PRIMER AÑO	Medias	n	E.E.	
D	30,79	3	1,59	A
T	17,22	3	1,59	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

20

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
20	6	0,89	0,86	11,40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	55,33	1	55,33	31,30	0,0050
PRIMER AÑO	55,33	1	55,33	31,30	0,0050
Error	7,07	4	1,77		
Total	62,40	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,01397

Error: 1,7676 gl: 4

PRIMER AÑO	Medias	n	E.E.	
D	14,70	3	0,77	A
T	8,62	3	0,77	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

70

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
70	6	0,02	0,00	15,30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,09	1	0,09	0,09	0,7803
PRIMER AÑO	0,09	1	0,09	0,09	0,7803
Error	3,99	4	1,00		
Total	4,08	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,26431

Error: 0,9977 gl: 4

PRIMER AÑO	Medias	n	E.E.	
T	6,65	3	0,58	A
D	6,41	3	0,58	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

LIXIVIACION

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ppm P a 70 cm	12	0,01	0,00	13,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,11	1	0,11	0,14	0,7142
MUESTRA	0,11	1	0,11	0,14	0,7142
Error	7,76	10	0,78		
Total	7,88	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,13357

Error: 0,7765 gl: 10

MUESTRA	Medias	n	E.E.
Con tratamiento	6,60	6	0,36 A
Sin tratamiento	6,41	6	0,36 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ESTRATIFICACION DE FÓSFORO EN PROFUNDIDAD

TESTIGO

1º MUESTREO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1º MUESTREO	12	0,99	0,98	8,76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1390,36	3	463,45	219,21	<0,0001
PROFUND	1390,36	3	463,45	219,21	<0,0001
Error	16,91	8	2,11		
Total	1407,28	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,73771

Error: 2,1142 gl: 8

PROFUND	Medias	n	E.E.
0,00	33,93	3	0,84 A
10,00	17,22	3	0,84 B
20,00	8,62	3	0,84 C
70,00	6,65	3	0,84 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

CON APLICACION

1º MUESTREO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1º MUESTREO	12	0,99	0,99	8,66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		
Modelo.	4738,21			3	1579,40	276,34	<0,0001
PROFUND	4738,21			3	1579,40	276,34	<0,0001
Error	45,72	8	5,72				
Total	4783,93		11				

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=4,50131

Error: 5,7154 gl: 8

PROFUND	Medias	n	E.E.	
0,00	58,48	3	1,38	A
10,00	30,79	3	1,38	B
20,00	14,70	3	1,38	C
70,00	6,41	3	1,38	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

VALORES PROMEDIOS DE ALTURA, RAMAS, NUDOS Y VAINAS EN EL CULTIVO DE SOJA PARA LOS DOS TRATAMIENTOS.

VAINAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
VAINAS	142	0,07	0,06	52,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		
Modelo.	7583,89			1	7583,89	10,7	0,0014
MUESTREO	7583,89			1	7583,89	10,7	0,0014
Error	99254,59	140	708,96				
Total	106838,48		141				

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=8,84308

Error: 708,9614 gl: 140

MUESTREO	Medias	n	E.E.	
D	58,43	68	3,23	A
T	43,8	74	3,1	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

NUDOS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NUDOS	142	0,01	0,01	44,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	275,48	1	275,48	1,9	0,1699
MUESTREO	275,48	1	275,48	1,9	0,1699
Error	20262,35	140	144,73		
Total	20537,83	141			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,99552

Error: 144,7311 gl: 140

MUESTREO	Medias	n	E.E.	
D	28,72	68	1,46	A
T	25,93	74	1,4	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

RAMAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RAMAS	142	0,02	0,01	60,45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7,24	1	7,24	2,46	0,1191
MUESTREO	7,24	1	7,24	2,46	0,1191
Error	412,04	140	2,94		
Total	419,27	141			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,56977

Error: 2,9431 gl: 140

MUESTREO	Medias	n	E.E.	
D	3,07	68	0,21	A
T	2,62	74	0,2	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ALTURA

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALTURA	142	0,08	0,07	22,99

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1026,44	1	1026,44	11,99	0,0007
MUESTREO	1026,44	1	1026,44	11,99	0,0007
Error	11981,42	140	85,58		
Total	13007,86	141			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,07243

Error: 85,5816 gl: 140

MUESTREO	Medias	n	E.E.	
D	43,04	68	1,12	A
T	37,66	74	1,08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

RENDIMIENTO

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RENDIMIENTO	6	0,67	0,59	7,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	723287,04	1	723287,04	8,18	0,0460
Columnal	723287,04	1	723287,04	8,18	0,0460
Error	353874,07	4	88468,52		
Total	1077161,11	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=674,27608

Error: 88468,5183 gl: 4

Columnal	Medias	n	E.E.	
D	4162,43	3	171,73	A
T	3468,03	3	171,73	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIFERENCIA DE STOCK

Análisis de la varianza

0

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0	6	0,92	0,90	38,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	414,30	1	414,30	46,77	0,0024
MUESTRA	414,30	1	414,30	46,77	0,0024
Error	35,43	4	8,86		
Total	449,74	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,74718

Error: 8,8585 gl: 4

MUESTRA	Medias	n	E.E.	
T	0,63	3	1,72	A
D	-15,98	3	1,72	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

10

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10	6	0,04	0,00	136,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	4,45	1	4,45	0,16	0,7055	
MUESTRA		4,45	1	4,45	0,16	0,7055
Error	107,96	4	26,99			
Total	112,40	5				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,77709

Error: 26,9891 gl: 4

MUESTRA	Medias	n	E.E.	
T	-2,95	3	3,00	A
D	-4,67	3	3,00	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

20

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
20	6	1,7E-04	0,00	723,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	0,03	1	0,03	6,8E-04	0,9804	
MUESTRA		0,03	1	0,03	6,8E-04	0,9804
Error	167,72	4	41,93			
Total	167,75	5				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=14,67931

Error: 41,9300 gl: 4

MUESTRA	Medias	n	E.E.	
D	0,96	3	3,74	A
T	0,83	3	3,74	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

70

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
70	6	0,12	0,00	2649,67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	28,64	1	28,64	0,55	0,5007	
MUESTRA		28,64	1	28,64	0,55	0,5007
Error	209,56	4	52,39			
Total	238,20	5				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=16,40826

Error: 52,3888 gl: 4

MUESTRA	Medias	n	E.E.	
D	1,91	3	4,18	A
T	-2,46	3	4,18	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)