

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA

TRABAJO DE INTENSIFICACION



**DIGERIDO ANAEROBICO DE  
ESTIERCOL BOVINO COMO  
SUSTITUTO DE LA  
FERTILIZACION SINTETICA:  
SU EFECTO SOBRE EL  
CULTIVO DE LECHUGA  
(*Lactuca sativa* L.)**

**AGOSTINA BELEN BLAZQUEZ**

**Docente tutor:**

Dr. Gastón Alejandro Iocoli

**Docentes consejeros:**

Dra. María Celina Zabaloy

Dra. Jessica Basualdo

**AÑO: 2020**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi profundo y sentido agradecimiento a mis padres en primer lugar, Patricia y Cesar quienes forjaron en mí el deseo de estudiar y pusieron a disposición todos sus recursos, amor y apoyo necesario para concretarlo.

A mis abuelas, siempre predispuestas a ayudar, escuchar y acompañarme a lo largo de este camino y a mis abuelos, dos angelitos que me guiaron hasta poder concretar mi mayor deseo.

A mis hermanos, Macarena y Gonzalo que en todo momento se hicieron presentes para manifestar su pleno acompañamiento y que gracias a ellos esta etapa fue más sencilla de transitar.

A mi novio Nazareno, que me ayudo a transitar un camino maravilloso y lleno de amor.

A mis amigos, de la facultad, del colegio y de la vida, que fueron grandes pilares a lo largo de toda la carrera y sin ellos nada hubiese sido posible, en particular a mi amiga María José que a pesar de la distancia me brindo siempre su contención y cariño durante todos estos años.

También agradezco a Gastón Iocoli, por el gran entusiasmo que demostró durante el trabajo de intensificación y por su generosidad en el seguimiento de la evolución del trabajo, siempre predispuesto a escuchar y ayudar.

A la empresa Argentierra por el estiércol bovino.

A la Universidad Nacional del Sur y al Departamento de Agronomía por las instalaciones.

Al CERZOS (UNS-CONICET) por la financiación del ensayo a través del proyecto PUE-2016.

## RESUMEN

En los últimos años el incremento de la intensificación del sector ganadero en Argentina dio origen a la instalación de gran cantidad de *feedlots*. Este aumento generó un riesgo ambiental debido a que los residuos generados no son adecuadamente manejados.

Estos podrían ser tratados anaeróbicamente para producción de biogás y obtener como subproducto el digerido que podría utilizarse como fertilizante. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial fertilizante del digerido obtenido por digestión anaeróbica de los residuos provenientes de *feedlot* sobre el cultivo de lechuga bajo condiciones controladas.

Los tratamientos fueron: control (C) sin fertilizar; fertilización química con urea aplicada previo a la siembra (U1) y fraccionada (U2), fertilización orgánica: estiércol bovino (FL) y digerido anaeróbico de estiércol bovino aplicado previo a la siembra (DF1) y fraccionado (DF2). Se utilizaron dos tipos de suelo, uno de textura franco-arenosa y otro de textura franca. Durante el desarrollo del cultivo se evaluó el área de cobertura y a cosecha el peso fresco y seco de hojas, peso de raíces y número de hojas. El diseño experimental fue completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. El análisis se realizó con ANOVA doble con parcelas divididas en el tiempo y la comparación de medias con el test DMS de Fisher.

Los digeridos y el estiércol presentaron mayores rendimientos que la urea en el suelo franco arenoso y similares en el suelo franco. La aplicación fraccionada del digerido (DF2) mejoró el aprovechamiento del nitrógeno por el cultivo. Ambas formas de aplicación del digerido presentaron una dinámica de crecimiento similar en ambos suelos.

El digerido es una alternativa para reemplazar a los fertilizantes sintéticos y presenta mejores características que el estiércol sin procesar. La aplicación fraccionada mejora la eficiencia de utilización de nutrientes en el suelo, produce un incremento en el desarrollo radical y contribuye al cuidado del medio ambiente.

**Palabras claves:** Residuos de *feedlot*, impacto ambiental, enmienda orgánica, fertilización nitrogenada, *Lactuca sativa* L., dinámica de crecimiento.

# INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	I
<b>RESUMEN</b> .....	II
<b>1. INTRODUCCION</b> .....	1
1.1. Sistema de producción ganadero.....	1
1.1.1. Problemáticas del manejo inadecuado de los residuos en <i>feedlots</i> .....	3
1.1.2. Regulaciones sobre el vertido de los efluentes.....	4
1.1.3. Manejo actual de los efluentes. ....	5
1.2. Fertilizantes .....	7
1.2.1. Fertilizantes sintéticos.....	7
1.2.2. Fertilizantes orgánicos.....	8
1.3. El cultivo de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.).....	17
1.4. La producción de lechuga en Argentina .....	19
1.5. Objetivo general.....	20
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	21
2.1. Suelos y enmiendas utilizados .....	21
2.2. Desarrollo del ensayo.....	22
2.3. Diseño experimental y análisis estadístico.....	27
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....	29
3.1. Evaluación de la dinámica del área de cobertura del cultivo de lechuga .....	29
3.2. Evaluación a cosecha.....	33
3.2.1. Número de hojas.....	33
3.2.2. Peso del cultivo .....	34
3.2.3. Efecto de los tratamientos sobre la biomasa de raíces de lechuga .....	38
<b>4. CONCLUSIONES</b> .....	39
<b>5. BIBLIOGRAFIA</b> .....	40
<b>ANEXO. Listado de tablas</b> .....	49
Tabla A1. <i>Análisis de varianza doble con parcela dividida SxTxF.</i> .....	49
Tabla A2. <i>Análisis de varianza con parcela dividida TxF, para el suelo S1</i> .....	49
Tabla A3. <i>Análisis de varianza con parcela dividida TxF, para el suelo S2</i> .....	50
Tabla A4. <i>Análisis de varianza con parcela dividida SxF, para el tratamiento DF1</i> ...50	
Tabla A5. <i>Análisis de varianza con parcela dividida SxF, para el tratamiento DF2</i> ...50	
Tabla A6. <i>Análisis de varianza con parcela dividida FxT, para los tratamientos DF1 y DF2 en el suelo S1</i> .....	51
Tabla A7. <i>Análisis de varianza con parcela dividida FxT, para los tratamientos DF1 y DF2 en el suelo S2</i> .....	51

Tabla A8. <i>Análisis de varianza doble SxT, para número de hojas.</i> .....	51
Tabla A9. <i>Análisis de varianza doble SxT, para la variable peso fresco.</i> .....	52
Tabla A10. <i>Análisis de varianza doble SxT, para la variable peso seco.</i> .....	52
Tabla A11. <i>Análisis de varianza doble SxT, para la variable peso de raíces.</i> .....	52

# 1. INTRODUCCION

## 1.1. Sistema de producción ganadero

En nuestro país desde la antigüedad el sistema de producción ganadero se ha desarrollado bajo una modalidad extensiva. Hace algunos años, debido al avance de cultivos como la soja, las superficies destinadas a la cría y engorde de ganado fueron reduciéndose y el sistema comenzó a adaptarse a superficies más pequeñas y de menor productividad. A comienzos de la década del 90' la ganadería sufrió un cambio en la modalidad de producción que llevó a una intensificación del sector, dando origen a la instalación de gran cantidad de establecimientos que llevan adelante la práctica de engorde a corral con suplementación alimentaria, desde el más básico corral de engorde dentro de un campo hasta los altamente tecnificados (Veizaga, 2015).

Se denomina engorde a corral o *feedlot* a los establecimientos acondicionados para recibir y alojar animales que serán alimentados intensivamente a través del suministro de distintas raciones formuladas a base de concentrados energéticos (granos), sin permitir el acceso a pastoreo directo y voluntario, con el objetivo de lograr la mayor producción de carne en diferentes etapas de desarrollo de los animales como recría, engorde o terminación. El término *feedlot* no incluye aquellos modelos que, teniendo como base la alimentación a pasto, suplementan parcial y/o temporalmente a la invernada (Robert *et al.*, 2009).

Según datos actuales obtenidos de la Dirección de Ejecución Sanitaria y Control de Gestión de SENASA (SENASA, 2019), existen en Argentina alrededor de 1.205 establecimientos dedicados a la actividad de engorde a corral, que suman 1,5 millones de cabezas de ganado, de los cuales la mayor parte de los establecimientos se encuentran en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe (Tabla 1).

El número de *feedlots* va aumentando a través de los años y de manera conjunta incrementan el número de animales en cada uno de ellos dando como resultado oportunidades y riesgos en los sistemas de producción intensiva del país. Por un lado, se obtienen menores costos de producción, y por otro si no se tienen en cuenta determinadas prácticas de manejo sustentable, se generan gran cantidad de desechos orgánicos concentrados en pequeñas áreas que implican un importante riesgo ambiental, generando en algunos casos graves eventos de contaminación (Kunz *et al.*, 2009).

Tabla 1. Existencias bovinas en establecimientos de engorde a corral (SENASA, 2019).

PROVINCIA	Establecimientos	Vaca	Vaquillona	Novillo	Novillito	Ternero	Ternera	Toro	Bueyes	Toritos	Total Bovinos
BUENOS AIRES	306	23.406	91.801	48.424	105.672	97.291	105.145	1.006	-	1.318	474.063
CATAMARCA	15	3.785	5.152	765	2.744	5.734	1.287	126	-	145	19.738
CHACO	14	2.114	1.451	358	1.673	4.129	3.520	172	-	343	13.760
CHUBUT	16	638	3.328	1.952	4.349	2.171	2.112	80	1	457	15.088
CORDOBA	297	26.255	73.330	26.547	98.315	47.352	31.872	1.514	-	2.413	307.598
CORRIENTES	8	229	972	375	631	224	183	2	-	3	2.619
ENTRE RIOS	77	2.938	11.990	3.239	10.598	7.458	10.104	374	-	136	46.837
JUJUY	6	179	423	349	729	764	319	5	-	3	2.771
LA PAMPA	19	3.638	8.571	2.053	6.027	864	1.360	32	-	32	22.577
LA RIOJA	9	3.595	7.816	3.107	4.672	1.503	1.279	439	-	89	22.500
MENDOZA	16	1.263	2.908	1.930	3.028	2.442	876	228	-	23	12.698
MISIONES	5	270	1.224	387	621	130	108	-	-	20	2.760
NEUQUEN	13	831	959	62	2.131	3.226	1.942	30	-	241	9.422
RIO NEGRO	23	1.561	2.221	756	1.434	7.262	5.383	128	1	1.132	19.878
SALTA	36	1.707	26.210	13.378	26.611	40.966	41.581	254	10	2.809	153.526
SAN JUAN	7	143	953	1.062	899	1.388	463	87	-	4	4.999
SAN LUIS	23	4.801	13.101	4.778	16.757	18.210	7.570	157	-	260	65.634
SANTA CRUZ	3	79	156	343	18	297	304	-	-	342	1.539
SANTA FE	259	20.094	64.763	22.018	70.994	53.952	51.321	666	3	751	284.562
SANTIAGO DEL ESTERO	34	5.994	9.738	4.373	17.609	14.727	11.602	196	3	1.620	65.862
TIERRA DEL FUEGO	1	15	389	-	-	33	110	1	-	4	552
TUCUMAN	18	1.658	3.681	1.370	5.814	6.597	2.447	200	-	1.807	23.574
Total	1.205	105.193	331.137	137.626	381.326	316.720	280.888	5.697	18	13.952	1.572.557

En 1998-1999, sólo 17,5% de la faena vacuna anual provenía de sistemas intensificados; en 2004, la participación había aumentado a 21%, y en 2005 alcanzaba entre 23 y 25%. Hoy, ese porcentaje supera el 70% de la faena anual de bovinos (Giusti, *et al.*, 2018).

Según lo publicado por el Instituto de Promoción de la Carne Vacuna Argentina (IPCVA), en el segundo trimestre del año 2019, ingresaron aproximadamente 1,3 millones de cabezas de ganado bovino a *feedlots*, una cantidad levemente superior, a los 1,29 millones ingresados entre abril y junio de 2018. Las existencias al cierre de junio de 2019 fueron significativamente inferiores a las del cierre del sexto mes de 2018, ubicándose en valores cercanos a 1,74 millones de cabezas.

A continuación, en la Figura 1, se presenta la evolución del número de animales ingresados a *feedlots* en los últimos once años hasta el tercer trimestre del año 2019.

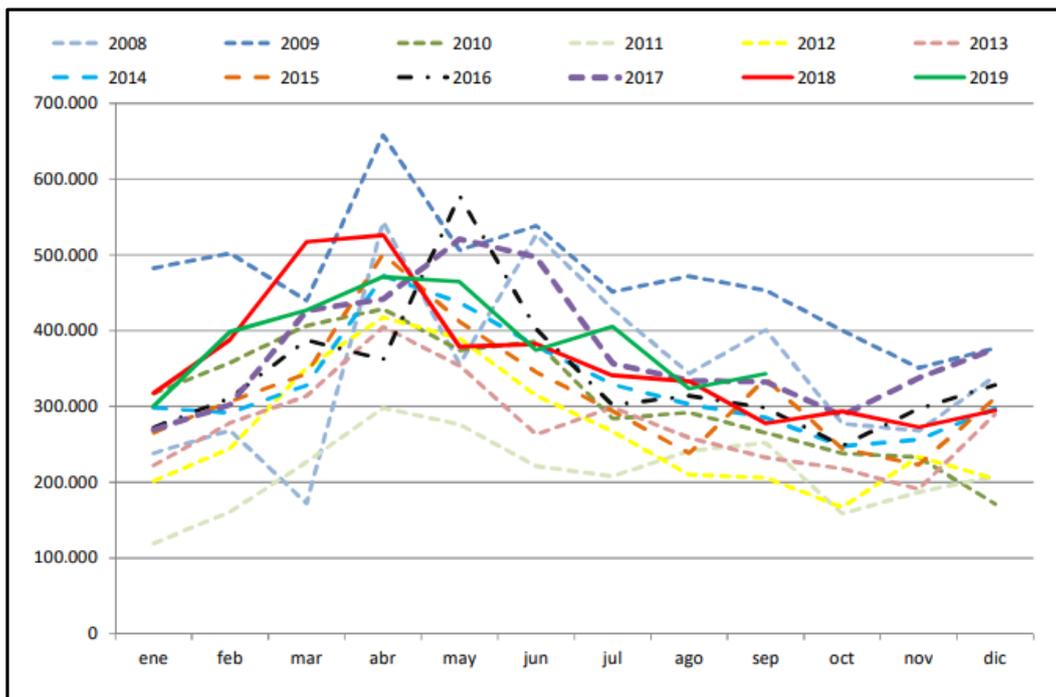


Figura 1. Bovinos ingresados a feedlots (IPCVA).

### 1.1.1. Problemáticas del manejo inadecuado de los residuos en *feedlots*

El avance de la actividad de *feedlots* ha generado preocupaciones debido a que constituyen focos potenciales de contaminación puntual del aire, suelos y aguas, producto de la acumulación de heces de los animales en áreas reducidas, siendo éstos fuente principal de materia orgánica, nutrientes, metales pesados, antibióticos y otras drogas veterinarias que impactan directamente sobre los recursos naturales (García *et al.*, 2015). Cuando hablamos de contaminación puntual, nos referimos a aquella que procede de cualquier punto de descarga identificable.

Durante el tiempo en que los animales permanecen encerrados, depositan sus heces sobre el suelo de los corrales, estando sujetas a alteraciones físicas como el pisoteo, alteraciones fisicoquímicas y alteraciones biológicas como la biodegradación.

La contaminación atmosférica que se genera por los gases de efecto invernadero producidos en los corrales es uno de los tantos problemas a considerar al momento de evaluar los riesgos ambientales. La emisión de metano, amoníaco y óxido nitroso asociada a la dieta de los animales sumado al manejo inadecuado del estiércol en las producciones intensivas provocan efectos negativos sobre la calidad del aire que impactan a nivel global (SAyDS, 2007).

Por otro lado, en la superficie de los corrales expuesta a los fenómenos atmosféricos, se genera escurrimiento de agua con arrastre de desechos por lavado superficial después de cada evento de precipitación, que fluye hacia afuera de los corrales en dirección a la pendiente topográfica (García *et al.*, 2015). A este líquido residual se lo denomina efluente, y presenta concentraciones elevadas de sólidos suspendidos, materia orgánica biodegradable, nutrientes (N y P) y sales. Además, contiene constituyentes menores como metales (Cu, Zn y Fe) y compuestos orgánicos (antibióticos, antiparasitarios, hormonas y otros ionóforos), así como también diferentes patógenos de los géneros *Giardia* y *Escherichia* entre otros (Herrero & Gil 2008).

El exceso de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, provenientes de la degradación de la materia orgánica de los efluentes desencadena un proceso que se denomina eutrofización. En este proceso se genera una carga nutritiva que distorsiona por completo el funcionamiento del ecosistema, algunos de los eventos que ocurren son: aumento de la biomasa algal, disminución de la diversidad de flora y fauna, alteración de las especies dominantes, aumento de los microorganismos heterótrofos, cambios metabólicos generales, alteración de los ciclos biogeoquímicos, entre otros. Bajo estas características, las sustancias tóxicas provenientes de las cianobacterias potencian los efectos negativos y restringen el uso del agua como recurso (García & Iorio, 2003).

El volumen de residuos sólido/líquido que produce esta actividad es significativo. A modo de ejemplo, si se considera un establecimiento de 5.000 animales, con un promedio de 250 kg/animal, se generarían entre 42.500 y 47.500 kg de estiércol fresco, y entre 15.000 y 22.500 kg de orina por día, lo que es equivalente a 15 y 22 m<sup>3</sup> de líquido, aproximadamente. Anualmente se extrae la capa superficial de estiércol acumulada en los corrales, que puede tener hasta 30-40 cm de espesor según el tiempo de acumulación (Cole *et al.*, 2009).

Por lo comentado anteriormente surge la necesidad de tomar medidas para controlar la contaminación provocada por el mal uso de los efluentes y así reducir el riesgo ambiental.

### 1.1.2. Regulaciones sobre el vertido de los efluentes

El carácter contaminante de los residuos generados por la producción ganadera intensiva, conduce a la necesidad de contar con normativas claras que regulen el manejo y la disposición final de estos desechos. La normativa existente a nivel nacional que vincula las actividades con el cuidado del ambiente es la Ley General del Ambiente (Ley 25.675). Esta ley no es exclusiva para las actividades ganaderas intensivas y, por

ende, carece de pautas específicas. Establece la obligación de realizar un estudio de impacto ambiental, aunque no especifica los aspectos técnicos a considerar. A su vez, existen instrumentos de control a nivel provincial y municipal que no responden a un mismo marco general, dando lugar a una variedad de criterios que guían el manejo de los residuos.

En la provincia de Buenos Aires, la ley 5.965 (de la década del sesenta) establece los principios fundamentales para la protección de las fuentes de provisión de agua y los cursos receptores de agua y la atmósfera. Prohíbe la descarga de efluentes a la atmósfera o a cualquier cuerpo de agua superficial o sub-superficial que signifique la degradación de su calidad. En su decreto reglamentario 2009/60, se describen los criterios de vuelco, basados en la capacidad asimilativa del curso de agua receptor. Este decreto fue reemplazado por otro (3970/90), de manera tal que generan inseguridad ya que establecen dos valores de concentración de sustancias flotantes que pueden cambiar el aspecto natural del cuerpo receptor, 50 mg/L y 150 mg/L.

### 1.1.3. Manejo actual de los efluentes.

Gran parte de los países cuentan con normativas estatales con pautas y requisitos para el diseño y la aprobación de la instalación de *feedlots* en función de la escala productiva, las características del sitio y del entorno ambiental y social. El Estado aprueba la instalación y monitorea la generación de emisiones y sus efectos. En todos los casos para el inicio de la actividad se requiere de una evaluación previa con aprobación técnica por parte de agencias oficiales pertinentes (García, *et al.*, 2015).

En la Argentina, la legislación de las provincias es casi inexistente con respecto a la instalación de *feedlots*, por lo que los proyectos iniciados, en su gran mayoría, no han tenido en cuenta aspectos ambientales o sociales más que los directamente asociados a la calidad del producto o a la eficiencia de producción.

La realidad económica del país, excesivamente competitiva en esta producción, y los pequeños márgenes de ganancia hacen que los productores no consideren los costos ambientales de su producción. La mayoría de los *feedlots* argentinos no cuentan con un sistema eficiente para el tratamiento de los efluentes.

Los establecimientos de *feedlot* de donde provienen los efluentes, no siempre están ubicados en el lugar más apropiado del paisaje como para evitar o disminuir la contaminación, tampoco presentan un diseño para que el agua escurra lo más clara y rápidamente posible, sumado a un mantenimiento precario de las instalaciones.

Según el manual de “Gestión ambiental en el *feedlot*, Guía de buenas prácticas”, publicado por el INTA de Anguil, provincia de La Pampa, la proximidad a cuencas hídricas, superficiales y sub-superficiales, debería superar los 5 km, teniéndose en cuenta además el gradiente de las pendientes.

En la mayoría de los casos no se presentan sedimentadores o canales diseñados para el vertido de los efluentes. Tampoco se tiene en cuenta el diseño del lugar apropiado para apilar el estiércol que se extrae desde los corrales, ni la construcción de pilas que favorezcan el compostado. Otro factor que debería tenerse en cuenta es la estimación del volumen de estiércol generado para luego planificar su manejo de acuerdo a pautas que permitan maximizar la retención de nutrientes y elementos con potencial contaminante en la masa de estiércol y, minimizar la movilización no controlada, prepararlo para su traslado fuera de los corrales y su posterior uso (Pordomingo, 2003).

Giusti, *et al.*, (2018) establece que para el correcto manejo de los efluentes se requiere de la contención de los mismos en lagunas de sedimentación donde se procura separar físicamente las partículas orgánicas e inorgánicas en suspensión. El área del *feedlot*, las precipitaciones y las condiciones del suelo o piso de los corrales (textura, compactación y pendientes) definen el volumen de líquido. Estas obras de contención (lagunas) en general no están impermeabilizadas; son construidas sin tener en cuenta los factores generadores del escurrimiento o sin tener en cuenta un estudio previo del régimen hídrico característico de la zona, resultando muchas veces en sistemas incapaces de contener los volúmenes escurridos.

Tampoco está asociada a esta práctica la reutilización del efluente o estiércol sólido como fertilizante orgánico en la agricultura. La falta de integración está dada por la desvalorización de este residuo como recurso, que se refleja en la ausencia de lineamientos de las reglamentaciones.

Por lo expuesto hasta el momento, no podríamos pensar en una producción de carne sustentable en el tiempo sin tener en cuenta el manejo de los residuos que se generan. Se debe considerar que dentro de los costos de producción se encuentran englobados el manejo, tratamiento, reutilización y/o disposición final de los residuos para evitar la degradación del recurso ambiental, siendo esto además una responsabilidad que deberíamos considerar como ciudadanos (Locoli, 2018).

En algunos casos, reacciones sociales han impulsado algunos cambios o ajustes del manejo de efluentes y olores en establecimientos en producción. Sin embargo, se carece de una historia de adecuación y ajustes permanentes para remediar o prevenir efectos posteriores (Pordomingo, 2003).

Nuestro país es reconocido por la falta de inclusión de residuos sólidos orgánicos en el ordenamiento del espacio rural, esto llevó a procesos de deterioro socio-ambientales. Son comunes los problemas de erosión de los suelos, la pérdida de barreras biológicas y la contaminación del agua, aire y suelo que impactan sobre el medio ambiente y que en algunos casos produce el abandono de la actividad por parte de los productores. Buena parte de los problemas son generados por la acumulación de residuos, que se ha vuelto exponencial debido a la intensificación de la producción ganadera. Por tanto, una forma de evitar o disminuir los perjuicios que genera el mal manejo de los residuos es mediante su reutilización como abonos orgánicos en los sistemas agrícolas que, son una buena alternativa para reemplazar los fertilizantes sintéticos ya que en las últimas décadas también han generado problemas medioambientales por su mal uso.

Desde hace algunos años, Argentina ha comenzado a generar conciencia de la necesidad inmediata de emprender acciones concretas para mitigar los impactos negativos del sistema agroalimentario y agroindustrial en el ambiente. Esto provocó un aumento de la demanda por productos originados en sistemas de producción sustentables, al tiempo que se incrementa la necesidad de los productores y empresas por encontrar soluciones técnicas y económicamente viables para el buen uso y/o valorización de los residuos en los sistemas productivos (Saval, 2012).

## 1.2. Fertilizantes

### 1.2.1. Fertilizantes sintéticos

Son materiales inorgánicos que pasan por un proceso industrial. La fabricación supone el enriquecimiento mecánico, el triturado o las transformaciones químicas más elaboradas de una o más materias primas (FAO, 2010). Es importante mencionar que no siempre los fertilizantes inorgánicos provienen de procesos industriales, los mismos pueden ser naturales provenientes de fuentes no vivas como sales o rocas. Algunos de los fertilizantes sintéticos utilizados comúnmente son: Urea, Sulfato amónico, Superfosfato simple, Cloruro potásico, entre otros.

El uso desmedido de este tipo de fertilizantes sumado a la falta de conocimiento por parte de los productores del costo ambiental que generan, condujo al deterioro de recursos naturales obligando a la sociedad a pensar en otras alternativas donde comienza a tomar importancia una mirada generalizada del sistema de producción en el que se tenga en cuenta además del beneficio económico, la salud social y medioambiental.

### 1.2.2. Fertilizantes orgánicos

Se puede definir como abono o fertilizante orgánico al producto procedente de restos de animales y/o vegetales, sometidos a un proceso de transformación que le otorga la madurez necesaria para cumplir con su función, dentro de un plan de fertilización (Labrador, 2006). Para ello es necesario que sea un producto de composición equilibrada, capaz de proveer materia orgánica al suelo en cantidad y calidad, activador de la vida edáfica beneficiosa, no fitotóxico y no contaminante para el medio (Colachagua Canales, 2011).

Ventajas del uso de fertilizantes orgánicos:

- Aporte de gran variedad de macro y micronutrientes a los suelos agrícolas favoreciendo su recuperación luego de continuos ciclos de producción (Piacente, 2009).
- Mejora la estructura del suelo, facilitando la formación de agregados estables con lo que se mejora la permeabilidad de los mismos, aumenta la fuerza de cohesión en los suelos arenosos y la disminuye en los suelos arcillosos. También mejora la retención de humedad, favoreciendo la velocidad de infiltración del agua y disminuyendo la erosión producida por escurrimiento superficial (Félix-Herrán, *et al.*, 2008).
- Mejora las características biológicas de los suelos. Su aporte casi siempre resulta en un incremento de la actividad biológica, favoreciendo la producción de materia orgánica, indispensable para mantener y mejorar la fertilidad de los suelos. Los microorganismos influyen en muchas propiedades del suelo y también ejercen efectos directos en el crecimiento de los cultivos.
- Generan un efecto inhibitor de patógenos en el suelo, previenen y controlan la presencia y severidad de las enfermedades a través del incremento de la capacidad biológica del suelo para amortiguar a los patógenos. También puede reducir el número de patógenos por la competencia que se establece con los microorganismos no patógenos, es decir, aumentar la capacidad de los hospedantes para provocar rechazo de los patógenos (Trinidad Santos, 2013).

El uso de abonos orgánicos no es una práctica novedosa ya que, antes de que aparecieran los fertilizantes sintéticos, en sus diferentes formas, la única manera de abastecer con nutrientes a las plantas y reponer aquellos extraídos del suelo por los cultivos, era mediante la utilización de este tipo de enmiendas. El uso de fertilizantes sintéticos aumentó el rendimiento de los cultivos, pero sin tener en cuenta el riesgo ambiental que generan a largo plazo, pudiendo provocar agotamiento acelerado de la

materia orgánica y un desbalance de nutrientes desencadenando la erosión de los suelos y consecuentemente la pérdida de fertilidad y capacidad productiva de los mismos (Trinidad Santos, 2013).

Existe una gran variedad de fertilizantes orgánicos, pueden ser de efecto lento (como el estiércol) o rápido (como orina o cenizas) o combinar los dos efectos. Entre ellos podemos destacar:

- ⇒ Excrementos de animales: palomina, guano (murcielaguina), bosta, gallinaza.
- ⇒ Purines y estiércoles
- ⇒ Compost: De la descomposición de materia vegetal o desechos orgánicos.
- ⇒ Humus de lombriz: Materia orgánica descompuesta por lombrices.
- ⇒ Cenizas: Si proceden de madera, huesos de frutas u otro origen completamente orgánico, contienen mucho potasio y carecen de metales pesados y otros contaminantes. Sin embargo, tienen un pH muy alto y es mejor aplicarlos en pequeñas dosis o tratarlos previamente.
- ⇒ Resaca: El sedimento de ríos. Solo se puede usar si el río no está contaminado.
- ⇒ Lodos de depuradora: muy ricos en materia orgánica, pero es difícil controlar si contienen alguna sustancia perjudicial, como los metales pesados y en algunos sitios está prohibido usarlos para alimentos humanos. Se pueden usar en bosques.
- ⇒ Abono verde: Cultivo vegetal, generalmente de leguminosas que se cortan y dejan descomponer en el propio campo a fertilizar.
- ⇒ Digerido: Líquido resultante de la producción de biogás (Guía de abonos orgánicos IPADE, 2009).

A continuación, se ampliará la información sobre dos de los fertilizantes orgánicos previamente mencionados, el estiércol sin procesar y el residuo de la producción de biogás, denominado en el presente trabajo como digerido.

- *Estiércol sin procesar*

Muchos agricultores con gran experiencia en esta actividad consideran al estiércol como el mejor de los abonos. El estiércol bovino, fermenta lento y demuestra una acción más prolongada, por lo que se adapta bien a suelos arenosos y zonas áridas. Estos abonos se han utilizado desde hace mucho tiempo para aumentar la fertilidad y modificar las características de los suelos. El contenido de nutrientes de los mismos es muy variable y depende de la especie que los produce, edad del animal, tipo de alimentación y manejo al que ha sido sometido desde su recolección (Macías, *et al.*, 2012).

De los diferentes tipos de estiércoles la gallinaza y el purín de cerdo son los más ricos en nutrientes y con mayor tasa de liberación de nutrientes en el primer año, mientras que los estiércoles más pobres son el de bovino y el equino (Romero, 1997).

Por otro lado, Eghball *et al.* (2004) mencionan que los efectos residuales del estiércol fresco o compostado pueden durar por varios años como es el caso del fósforo, el cual puede ser absorbido del suelo hasta cuatro años después de la aplicación de estiércol.

Longoria Garza (2000) indica en su trabajo que el estiércol bovino al ser incorporado al suelo agrícola tiene un impacto positivo actuando sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas:

- Favorece la producción de materia orgánica.
- Al descomponerse produce sustancias y aglutinantes microbianos que ayudan a mejorar la estructura del suelo aportando mayor aireación y permeabilidad.
- Amortigua y regula la temperatura del suelo.
- Aporta al mineralizarse diferentes nutrientes necesarios para la nutrición de las plantas, mejorando el balance de nutrientes de los suelos.
- Los suelos presentan mayor capacidad de almacenamiento de agua útil.
- Los ácidos liberados durante la descomposición de la materia orgánica ayudan a reducir la alcalinidad del suelo.
- Funciona como fuente de energía para el desarrollo de los microorganismos del suelo.

No se puede dejar de señalar que existen ciertos inconvenientes, al menos en forma temporal en la aplicación del estiércol sin procesar al suelo; asimismo, tales efectos no son privativos de esta fuente de materia orgánica, sino que, ocurren con todo tipo de abonos frescos o secos en mayor o menor grado (Longoria Garza, 2000). Algunos de ellos son:

- Bloquea los elementos fertilizantes en particular al nitrógeno, pasándolo a una forma orgánica que no está inmediatamente disponible para las plantas.
- Puede producir efectos tóxicos debido a productos formados en el curso de fermentaciones reductoras, o simplemente al consumo del oxígeno de la atmósfera del suelo, así mismo, se incluye el desarrollo de la fauna fitoparásita, esporas o micelios de los hongos que causan enfermedades en las plantas.

Cruz (1986), menciona en su trabajo otros efectos nocivos en el caso de que el abono no haya sido procesado adecuadamente:

- Fijación de amonio, zinc y cobre.
- Proliferación de malezas.
- Producción de inhibidores del crecimiento de las plantas.

Dicho esto, existen diversas formas de utilización o reciclado del estiércol además de su uso directo, las que se usan con mayor frecuencia son:

- Digestión anaeróbica para la producción de biogás y digerido.
- Producción de compost: mediante una degradación aeróbica

A modo de ejemplo se presentará la composición de un residuo de *feedlot* vacuno (Laurent, 2019):

- 20 t ha<sup>-1</sup> de estiércol bovino fresco (80% H<sup>o</sup>) aportan al suelo:  
51 kg N ha<sup>-1</sup>, 34 kg K ha<sup>-1</sup> y 33kg P ha<sup>-1</sup>.
- 1 t de estiércol seco equivale a:  
13 kg N, 8,5 kg K y 8 kg P.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, en este tipo de abonos es importante tener en cuenta la dosis a aplicar, que va a depender de: características físicas y químicas del suelo, composición del abono, necesidades del cultivo, etc. Para evitar o minimizar los efectos perjudiciales que se podrían ocasionar al medioambiente realizando un uso inadecuado y de esta manera aprovechar al máximo su capacidad fertilizante.

A continuación, se desarrollará el proceso de degradación anaeróbica para la obtención de biogás y la enmienda orgánica como subproducto llamado digerido, su efecto sobre el ambiente y posibles usos.

- *Degradación anaeróbica: Biometanización*

La biometanización es un proceso de degradación anaeróbica en el que una selección natural de microorganismos descompone la materia orgánica en ausencia de oxígeno y en condiciones controladas de humedad y temperatura, con el objetivo de producir metano y/o tratar efluentes. Este proceso se desarrolla a partir de diferentes etapas que ocurren simultáneamente dentro del mismo reactor (comúnmente denominados biodigestores) generando productos y subproductos que salen del mismo en forma gaseosa o líquida (Locoli, 2018).

Principalmente lo que se obtiene como producto es el biogás, compuesto por CH<sub>4</sub> (50-75%), CO<sub>2</sub> (25-45%), H<sub>2</sub>S (0-1%), H<sub>2</sub> (0-1%), CO (0-2%), N<sub>2</sub> (0-2%), NH<sub>3</sub> (0-1%), O<sub>2</sub> (0-2%) y H<sub>2</sub>O (2-7%) (De Graaf, *et al.*, 2010). Las proporciones varían de acuerdo al sustrato utilizado, a la temperatura de biometanización y al tiempo de retención. Como subproducto se genera el digerido (fase líquida). Este se compone de material lignocelulósico no degradado, compuestos intermediarios del proceso como ácidos orgánicos y alcoholes, nutrientes disponibles y biomasa microbiana (Iocoli, 2018).

Los digeridos son capaces de incrementar y/o preservar la fertilidad del suelo si son utilizados de forma adecuada. Mediante su aplicación al suelo, contribuyen con el aporte de materia orgánica, estimulando las comunidades microbianas y regulando el ciclo de nutrientes en los suelos agrícolas (Walsh *et al.*, 2012).

El material digerido posee materia orgánica generalmente más estable microbiológicamente que los materiales originales. Además, el proceso conserva los nutrientes esenciales presentes en el material de partida, aunque los transforma en formas inorgánicas, fácilmente asimilables por las plantas. Así el nitrógeno orgánico procedente de proteínas, aminoácidos, etc., se mineraliza formando amonio que va a estar rápidamente disponible para los cultivos o será transformado rápidamente en nitratos en el suelo (Moreno, *et al.*, 2014).

- *Valor fertilizante del digerido*

Independientemente de las variaciones que pudieran ocasionar el origen del sustrato y el proceso de digestión, todos los digeridos presentan ciertos beneficios en común (Iocoli, 2018): favorecen las comunidades microbianas generando materia orgánica, regulan el ciclo de nutrientes de los suelos con el aporte de gran variedad de macro y micronutrientes, presentan una alta concentración de nitrógeno en forma amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) importante para el crecimiento de los cultivos, reducen malos olores por la degradación de compuestos volátiles, menor contenido de patógenos y semillas en comparación con los estiércoles, y utilizados en forma adecuada, son una alternativa natural que contribuye al cuidado del medio ambiente.

El valor fertilizante de estos materiales debe evaluarse no solo respecto a la concentración total de nutrientes, sino también a su disponibilidad para las plantas, que incluye los procesos de transformación que se producen en el suelo, como la mineralización y nitrificación del nitrógeno o aporte de fósforo (Bernal Calderón *et al.*, 2011). La mineralización varía según la naturaleza de la enmienda, los principales factores que influyen en este proceso son: la temperatura, humedad y textura del suelo.

En la mayoría de los suelos, a medida que aumenta la temperatura, también lo hace la mineralización del nitrógeno (Eghball, 2000), alcanzando valores más altos cuando la humedad está cerca de la capacidad de campo y disminuye con el secado del suelo (Cassman & Munns, 1980). La textura del suelo también es importante para la estabilización de la materia orgánica ya que la arcilla puede formar complejo con el humus reduciendo la mineralización de carbono y nitrógeno.

Diversos estudios han demostrado que el digerido contiene fitohormonas, sobre todo, giberelinas, ácido indol acético, auxinas, moléculas disueltas en la materia orgánica y otros compuestos bioactivos que tienen el potencial para promover el crecimiento de las plantas, aumentando la tolerancia al estrés biótico y abiótico (Liu *et al.*, 2009; Scaglia *et al.*, 2017; Yu *et al.*, 2010). Otros estudios destacaron efectos positivos sobre la germinación y el crecimiento (Gell *et al.*, 2011; Ronga *et al.*, 2016; Sánchez *et al.*, 2008).

Sin embargo, cabe aclarar que no todos son efectos benéficos, varios autores confirmaron que el digerido causó reacciones fitotóxicas en algunos casos (Abdullahi *et al.*, 2008; Poggi-Varaldo *et al.*, 1999; Salminen & Rintala, 2002). Por esta razón, al igual que con resto de los fertilizantes ya sea orgánicos o sintéticos su correcta utilización implica el conocimiento de las dosis óptimas que se aplicarán, lo que depende de las características de los digeridos, la disponibilidad de nutrientes en el suelo, las necesidades del cultivo y las condiciones ambientales, para evitar que dosis excesivas se transformen en un perjuicio para el sistema productivo.

- *Posibles usos del digerido*

La aplicación de digeridos y su impacto en el medio ambiente y la salud humana están aún poco explorados (Nkoa, 2014). Existen diferentes estrategias de gestión de este abono y la idoneidad de una u otra dependerá de las condiciones del entorno, los objetivos planteados, y la escala del tratamiento.

La valorización agrícola de los digeridos se centra fundamentalmente en dos aspectos: la utilización directa del digerido como fertilizante y la separación sólido-líquido, con utilización de la fracción sólida para la preparación de abonos de alto valor añadido mediante compostaje y el uso de la fracción líquida como fertilizante líquido (Bernal Calderón *et al.*, 2011).

En el caso de la utilización directa, es esencial determinar las características de los digeridos, debido fundamentalmente a la alta variabilidad que presentan en su composición, a fin de asegurar una correcta gestión y uso de los mismos (dosis, necesidad de post-tratamientos, adecuación a legislación o buenas

prácticas, etc.). La calidad del digerido debe determinarse en función de ciertos parámetros como: estabilidad, nivel de higienización, presencia de compuestos contaminantes e impurezas, y del contenido en nutrientes y de materia orgánica. De este modo, materiales altamente biodegradables no resultan adecuados para su uso agrícola de forma directa, ya que provocan una elevada producción de CO<sub>2</sub>, (gran actividad microbiana) e inmovilización de nitrógeno (temporal), reduciendo su potencial fertilizante y siendo necesario un proceso de estabilización previo a su uso (Bernal Calderón *et al.*, 2011).

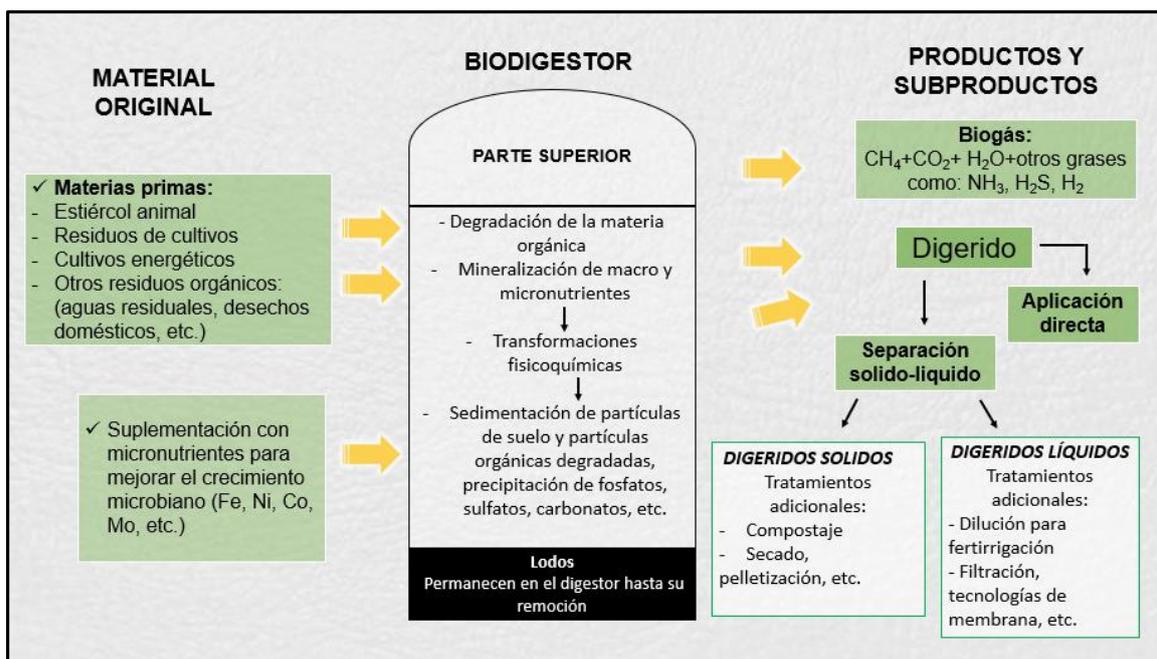


Figura 4. Resumen de flujos y procesos durante la digestión anaeróbica y posibles usos de los digeridos obtenidos (Adaptado de Möller & Müller, 2011).

De acuerdo con Mandujano (1981), un metro cúbico de digerido producido y aplicado diariamente, puede fertilizar más de 2 ha por año y proporcionar hasta 200 kg N ha<sup>-1</sup> de los que estarán disponibles en el primer año entre 60 y 70 kg. Este tipo de enmienda no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad del mismo y puede considerarse como un buen fertilizante compitiendo o complementándose con los fertilizantes químicos.

Por tanto, una de las formas más directas de reciclado del digerido es su utilización en la agricultura para el aprovechamiento de los nutrientes por parte de los cultivos y la mejora de los suelos por el aporte de materia orgánica. Dicha mejora afectará las características físicas, químicas y biológicas del suelo directamente relacionadas con la materia orgánica y su fertilidad. Sin embargo, un uso agrícola inadecuado puede implicar un riesgo de contaminación del suelo, el agua y el aire. Por ello se debe minimizar los

riesgos ambientales asociados al uso del digerido para poder obtener los beneficios que esta enmienda provee (Moreno, *et al.*, 2014).

- *Criterios exigibles de calidad en diversos países*

Una adecuada gestión de los materiales digeridos en el ámbito agrícola, exige que estos deban cumplir una serie de requisitos mínimos que aseguren su calidad agronómica. Los países europeos con mayor tradición en el desarrollo de los sistemas de digestión anaeróbica, como Alemania, Reino Unido, Suecia y Suiza, han fijado límites máximos y condiciones de operación para certificar la calidad para el uso agrícola de los digeridos. Estas normas remarcan la necesidad de que los materiales hayan atravesado un proceso de digestión anaeróbica completa. Por ejemplo, en el Reino Unido indican la necesidad de someterlos a un tiempo de maduración o de almacenamiento antes de su uso (Moreno, *et al.*, 2014). A nivel europeo se está trabajando sobre el criterio “final de residuo” y su adaptación a los compost y digeridos. Actualmente el tercer borrador del trabajo sobre los criterios final de residuo para los residuos biodegradables sujetos a tratamiento biológico (IPTS-JRC, 2012), establece varios elementos complementarios para el concepto final de residuos, basados en:

- Requisitos de calidad del producto.
- Requisitos de los materiales originales de partida.
- Requisitos de los procesos y técnicas de tratamiento.
- Requisitos de información a proporcionar.
- Requisitos de los procedimientos para asegurar la calidad.

Así los requisitos de la calidad del producto se rigen por el riesgo directo que pudieran provocar al medioambiente y que el producto sea adecuado para su uso directo. Los criterios de calidad directa de los digeridos coinciden con los indicados en otros países europeos, e indican que deben incluirse límites de concentraciones de ciertos elementos: mínimo de elementos fertilizantes y mejoradores del suelo (nutrientes y materia orgánica); máximo de elementos potencialmente tóxicos (metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes); máximo de macro elementos extraños (ej. Metal, vidrio, plástico) y máximo de patógenos (Moreno, *et al.*, 2014).

En Argentina se está comenzando a evaluar la legislación para el uso agrícola de los digeridos. A principios del año pasado (2019) se aprobó la norma técnica para la aplicación agrícola de digerido proveniente de plantas de digestión anaeróbica (RESOL-2019-19-APN-SGAYDS#SGP) que genera el marco regulatorio para su gestión y tratamiento, pero su puesta en marcha depende de la adhesión de las diferentes provincias donde cada una de ellas deberá incorporar entes de control y personal

capacitado para garantizar el cumplimiento de dicha resolución. Dicha norma tiene como objetivo fijar los criterios generales y establecer los requisitos mínimos que debe cumplir el digerido, a fines de asegurar que su aplicación agrícola sea sustentable. Además, busca promover la valorización agronómica de este abono orgánico debido a su contenido de nutrientes y otras propiedades intrínsecas que lo hacen potencialmente benéfico para suelos y cultivos, protegiendo la salud de las personas, animales y el ambiente (Información legislativa, 2019).

El biogás producido durante el proceso de digestión anaeróbica es considerado dentro la Ley N.º 27.191 como una fuente renovable de energía, lo que deriva en un aumento de la instalación de este tipo de plantas en todo el país con la consecuente generación de digerido. Para poder ser utilizados en agricultura, los digeridos deben cumplir con los parámetros de calidad establecidos en la Norma que figuran en la Tabla N.º 2. La periodicidad para informar los parámetros de calidad del digerido deberá establecerla cada jurisdicción.

Tabla 2. *Parámetros de calidad de los digeridos (Adaptado de Norma técnica para la aplicación agrícola de digerido proveniente de plantas de digestión anaeróbica, ANEXO V).*

PARAMETRO	INDICADOR	VALOR LIMITE
PATOGENOS	Coliformes fecales	< 1000 NMP/g MF
	Escherichia coli	Ausencia (*)
	Heimintos	1 huevo viable/litro de digerido
	Salmonella	< 3 NMP/4g MF
MATERIA ORGANICA Y NUTRIENTES	pH (upH)	6,5-8,5
	CE (dS/m)	declarar
	Materia orgánica	> 40%
	N-total	declarar
	P-total	declarar
	K <sup>+</sup> -total	declarar
	Na <sup>+</sup> soluble	declarar
	Cl <sup>-</sup> soluble	declarar
ESTABILIDAD (Se deben presentar al menos dos)	Acidos organicos totales	≤ a 1500 mg/L
	Acidos grasos volatiles	< 0,43 g DQO/g MO
	AT <sub>4</sub>	<10 mg O <sub>2</sub> /g MS
	Biogás residual	< 0,25 L/g MO
	Indice Respirométrico Dinamico	<1 mg O <sub>2</sub> /g MO/h
	Indice Respirométrico Estatico	≤ 0,5 mg O <sub>2</sub> /g MO/h
IMPUREZAS(> 2mm)	Vidrio, metal, plástico	≤ 0,5 % MS
ELEMENTOS POTENCIALMENTE TOXICOS (mg/Kg MS)	Arsénico	15
	Cadmio	1,5
	Zinc	300
	Cobre	150
	Cromo total	100
	Mercurio	0,7
	Níquel	30
	Plomo	100

Referencias: MF: materia fresca; MS: materia seca; CE: conductividad eléctrica; AT<sub>4</sub>: consumo acumulado de oxígeno en 4 días.

### 1.3. El cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.)

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una especie anual perteneciente a la familia Asteráceas (Burba *et al.*, 2004). Originaria de las costas del Mediterráneo, los egipcios la cultivaban 4.500 años a.C. En América se introdujo en 1494. Desde un punto de vista agronómico, en el ciclo del cultivo se distinguen tres fases (Maroto, 1995):

1. Formación de una roseta de hojas.
2. Formación de una cabeza más o menos compacta.
3. Reproducción o emisión de un tallo floral.

El ciclo del cultivo que corresponde a las dos primeras fases, varía según la época; en otoño-inverno es de 100-115 días y en primavera-verano es de 70-80 días (Vigliola, 2003). Es una especie que crece en suelos diversos; los más adecuados son arcillo arenosos, sin problemas de drenaje y con buen contenido de materia orgánica. Presenta sensibilidad al anegamiento de los suelos. Resiste a valores medios de salinidad (CE del extracto de saturación 1,3 dS. m), 2-4 ppm de B y el pH óptimo oscila entre 6,8 y 7,4

(Anstett, 1967; Maroto, *et al.*, 2000). El cultivo de lechuga absorbe más del 70% del total de nutrientes tres semanas antes de la cosecha; por consiguiente, es necesario mantener un nivel elevado de nutrientes hasta ese momento (Zink & Yamaguchi, 1962).

La principal fuente de nitrógeno para las especies no leguminosas, cultivadas en suelos que no recibieron ninguna fertilización nitrogenada es la liberación de  $\text{NH}_4^+$  por los microorganismos que descomponen la materia orgánica del suelo, y que es posteriormente oxidado a  $\text{NO}_3^-$ . El nitrógeno disponible para los cultivos se presenta en el perfil del suelo como  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  al comienzo de la estación de crecimiento, más las cantidades añadidas con los fertilizantes y el mineralizado en el suelo durante el desarrollo, menos el que se pierde por lixiviación y desnitrificación (Wild, 1992).

Las deficiencias de nitrógeno en lechuga en medios carentes del elemento, ocurren una semana después de la emergencia, los síntomas que pueden observarse son: follaje verde pálido y las hojas son anormalmente lisas, en las variedades “de cabezas”, la formación de ésta se retarda. Cuando la deficiencia es severa las hojas son pequeñas y amarillentas, especialmente en las puntas, y las hojas más viejas se amarillean prematuramente, se secan y no se forman cabezas. No obstante, puede presentarse deficiencia de nitrógeno sin que el cultivo presente síntomas visibles, pero esta carencia hace que el cultivo no logre un buen rendimiento, este tipo de deficiencia es llamada “apetito latente” (Añez Roverol & Tavira, 1981).

- *Valor nutritivo*

Entre los vegetales, la lechuga se caracteriza por ser una excelente fuente de minerales, vitaminas y fibra dietaria con un alto contenido de agua (90-95%). Las propiedades saludables de la lechuga son atribuidas a un gran número de antioxidantes, como las vitaminas A, C, E, B1, B2, B3, B9 y K; minerales: fósforo, hierro, calcio, potasio y aminoácidos. Las hojas exteriores más verdes son las que tienen mayor contenido de vitamina C y hierro (Tusek, 2010).



Figura 5. Información nutricional de la Lechuga (USDA).

#### 1.4. La producción de lechuga en Argentina

El cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en nuestro país ocupa el tercer lugar dentro de las hortalizas cultivadas, después de la papa y el tomate. Es cultivada en casi todo el país con sus distintas variedades, en los cinturones verdes de los centros urbanos (Vigliola, 1988). Las principales provincias productoras son Buenos Aires, Santa Fe y Mendoza (Figura 6). Según estadísticas del INTA, se cultivan en Argentina aproximadamente 40.000 hectáreas, con un promedio de rendimiento de 10 Tn ha<sup>-1</sup>, lo que hace a una producción nacional de 400.000 Tn. (Tortarolo, 1998).

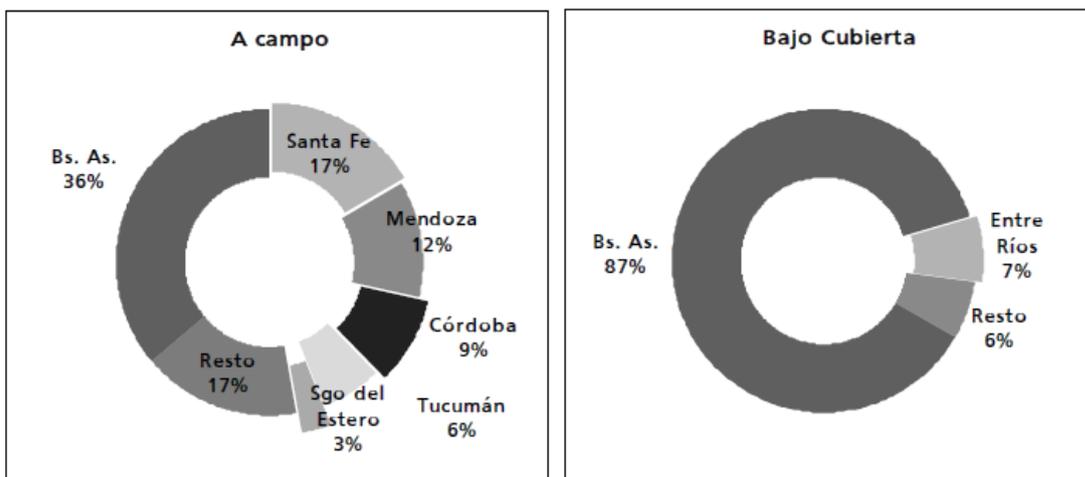


Figura 6. Participación por Provincias en la Superficie Cultivada de Lechuga. (Viteri, *et al.*, 2013).

En el presente trabajo de investigación se eligió al cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*. L) como indicador debido a su rápido desarrollo y elevada bioacumulación de sustancias tóxicas (Felipó, 2001; López Mosquera *et al.*, 2003; Aruani *et al.*, 2008; Rotondo *et al.*, 2009; Montemurro *et al.*, 2010). Adicionalmente la lechuga posee un ciclo corto y demanda una gran cantidad de nitrógeno, convirtiéndola también en un cultivo indicador de fertilidad (Iocoli, 2018).

### 1.5. Objetivo general

Debido a la escasa información disponible sobre el uso de digeridos en los suelos y su efecto en el rendimiento de los cultivos, el objetivo principal del presente trabajo fue:

*Evaluar el potencial fertilizante del digerido de feedlot aplicado a la siembra o fraccionado, en comparación con urea (fertilizante sintético), estiércol sin procesar y un control sin enmendar, sobre dos suelos contrastantes del sudoeste bonaerense bajo condiciones controladas utilizando el cultivo de lechuga como indicador.*

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un ensayo en el invernáculo del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, ubicado en el partido de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. Se utilizaron dos suelos contrastantes del Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires (SOB) previamente homogeneizados antes de comenzar el ensayo.

### 2.1. Suelos y enmiendas utilizados

Se extrajo suelo de la capa superficial (0-20 cm) para ambos tipos de suelos, un suelo (S1) Haplustol éntico, franco-arenoso, perteneciente a la serie "La Merced" de la Estación Experimental Agropecuaria H. Ascasubi (Codagnone, 1991) y otro (S2) Paleustol petrocalcico, franco, del campo de la UNS en Colonia Napostá.

Sobre una submuestra se determinó pH (potenciométrico en agua 1:10), CE (conductimetría, 1:10), Carbono (C, combustión seca, 1500 °C LECO C Analyser), N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NTK (semi micro Kjeldahl), fosforo extractable (PE, Bray & Kurtz, 1945) y los resultados obtenidos se representan en la Tabla 3.

Tabla 3. *Caracterización de los suelos.*

Muestra	CO	NTK	pH	CE	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PE	TEXTURA
	%	%		dS/m	mg/kg <sup>-1</sup>			
S1	1,73	0,13	7,6	0,83	20,3	3,2	9,5	Franco-arenoso
S2	2,36	0,20	7,8	0,73	21,3	10,2	13	Franco

S1: Haplustol éntico, franco-arenoso; S2: Paleustol petrocalcico, franco; CO: Carbono orgánico; NTK: Nitrógeno total Kjeldahl; CE: Conductividad eléctrica; N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: amonio; N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrato; PE: fosforo extractable.

Las enmiendas utilizadas fueron estiércol bovino colectado en una explotación de engorde a corral (FL) de la zona de Las Oscuras y digerido anaeróbico (DF) producido en un digestor tipo batch de 20 L a 35°C con una concentración de sólidos totales (ST) del 3%, bajo condiciones de laboratorio. La caracterización de las enmiendas se representa en la Tabla 4.

Tabla 4. Caracterización de enmiendas.

	C	NTK	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ST	Norg	Ni	NT	C/NT	C/Norg
	%		ppm		%	ppm				
<b>DF (base húmeda)</b>	0,34	0,024	130,75	3,25	2,13	109,25	134	3,25	13,98	31,12
<b>FL (base seca)</b>	13,18	1,006	43,17	422,9	25,84	10016,8	466,07	422,9	12,57	13,16

DF: Digerido anaeróbico de feedlot; FL: Estiércol bovino; C: Carbono; NTK: Nitrógeno total (semi micro Kjeldhal); N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: amonio; N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrato; ST: sólidos totales; Norg: nitrógeno orgánico; Ni: nitrógeno inorgánico; NT: nitrógeno total; C/NT: relación carbono/nitrógeno total; C/Norg: relación carbono/nitrógeno orgánico.

Nota: Digerido: valores expresados en base húmeda. Estiércol: valores expresados en base seca.

## 2.2. Desarrollo del ensayo

Esta experiencia se realizó a lo largo de 49 días desde el mes de septiembre del 2018. Se utilizaron cuarenta y ocho (48) macetas plásticas de boca redonda de 4 L de capacidad. A veinticuatro (24) de ellas se les incorporó suelo franco-arenoso (S1) y a la mitad restante suelo franco (S2), previamente homogeneizados. Las macetas fueron rotuladas y seguidamente se aplicaron al azar los tratamientos con cuatro réplicas cada uno y se humedecieron hasta capacidad de campo. Las dosis se nivelaron en función del contenido de NTK (54 mg kg<sup>-1</sup>, equivalente a 140 kg N ha<sup>-1</sup>). Los tratamientos establecidos se describen en la Tabla 5.

Tabla 5. Tratamientos aplicados.

TRATAMIENTOS	Pre trasplante	DOSIS	
		21 días	35 días
		Post trasplante	Post trasplante
<b>C</b> : Control, solo se aplicó agua.	-		
<b>DF1</b> : Digerido de <i>feedlot</i> aplicado previo al trasplante	900 ml		
<b>DF2</b> : Digerido de <i>feedlot</i> aplicado de forma fraccionada	300 ml	300ml	300ml
<b>U1</b> : Urea aplicada previo al trasplante (solución al 15,7 %)	300 ml		
<b>U2</b> : Urea aplicada de forma fraccionada (solución al 15,7 %)	100 ml	100ml	100ml
<b>FL</b> : Estiércol de <i>feedlot</i> aplicado previo al trasplante	74g		



Figura 7. Disposición de las unidades experimentales en el invernáculo del Departamento de Agronomía, UNS.

El día 12 de septiembre del 2018 se realizó la homogenización de los suelos, su incorporación en las macetas y el rotulado de las mismas. Para evitar la saturación del suelo durante la aplicación previo al trasplante, el tratamiento DF1 se fracciona en dos, una primera aplicación de 600 ml, 6 días previo al trasplante y otra de 300 ml 3 días previo al trasplante junto con el resto de los tratamientos.

Tres días después de la aplicación de los tratamientos en las macetas, se trasplantaron los plantines de lechuga colocando uno por maceta. A los 21 días se realizó la segunda aplicación de 100 ml de U2 y 300 ml del tratamiento DF2, se realizó la última aplicación de estos tratamientos 35 días post trasplante, 100 ml y 300 ml respectivamente. Semanalmente se rotaron las macetas al azar y se tomó una imagen aérea de cada planta colocándolas sobre un aro de 0,25 m<sup>2</sup>, utilizando la cámara de un celular Huawei P9 Lite con una resolución de 13 MP para posteriormente calcular el área de cobertura. Para la determinación del área de cobertura se utilizó el programa CobCal v2.0 desarrollado por el INTA (Ferrari *et al.*, 2006) a partir de las imágenes aéreas tomadas de cada planta en forma semanal.

La evaluación de la dinámica de crecimiento se realizó a partir del área de cobertura debido a que es una determinación fácil, rápida y no destructiva y es proporcional a la biomasa acumulada (Iocoli *et al.*, 2019).

A cosecha, 49 días post trasplante, se determinó el peso fresco y peso seco de la parte aérea (PFA y PSA respectivamente), el porcentaje de humedad (%H) y el número de hojas. Al día siguiente se realizó la extracción de raíces por tamizado en húmedo y se determinó el peso seco de las raíces (PSR). Para la determinación de los pesos secos (PSA y PSR), las muestras se secaron en estufa a 70°C durante 48 hs.



Figura 8. Disposición de las unidades experimentales el día de trasplante.

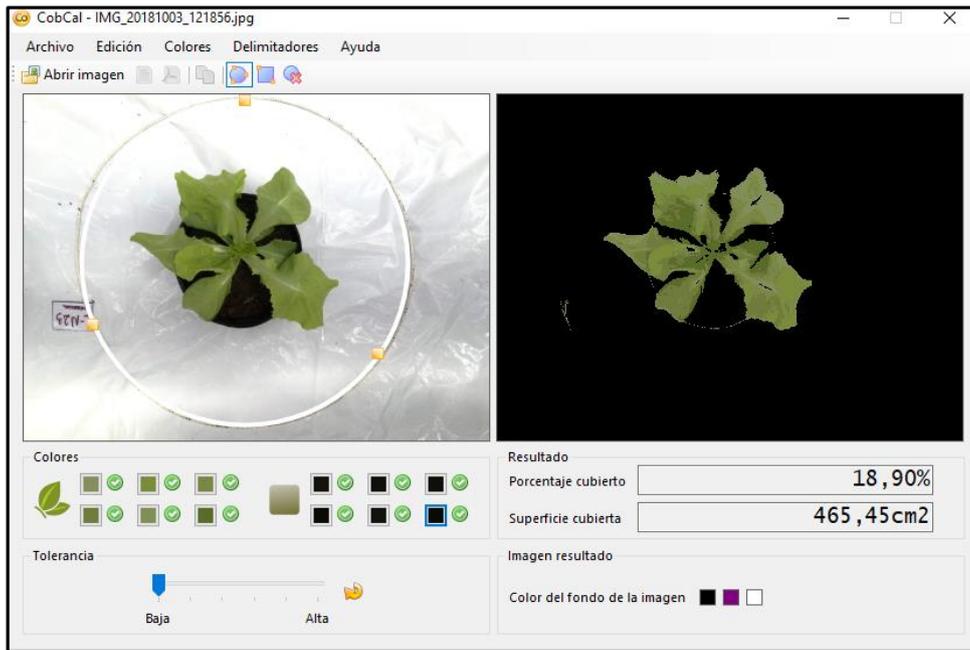


Figura 9. Imagen de una planta de lechuga y cálculo del área de cobertura con el software CobCal 2.0.



Figura 10. Disposición del cultivo de lechuga a cosecha.



Figura 11. Cosecha de las plantas de lechuga y determinación del número de hojas.



Figura 12. Sistema radicular de una planta de *Lactuca sativa* L.

### 2.3. Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. Los datos de área de cobertura se analizaron a través de un ANOVA doble (suelo [S] y tratamiento [T]) con parcelas divididas en el tiempo (toma de imágenes [F]). Las variables determinadas a cosecha se analizaron a través de un ANOVA doble (suelo y tratamiento). Para la comparación de medias se utilizó el test de diferencias mínimas significativas de Fisher (DMS). Para los análisis descriptos se utilizó el software estadístico Infostat versión estudiantil 2017 (Di Rienzo *et al.*, 2017).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1. Evaluación de la dinámica del área de cobertura del cultivo de lechuga

Se observó interacción entre los factores analizados (Tabla A1, Anexo) lo que indica que los tratamientos generaron un efecto diferente en cada suelo sobre la variable dependiente. Por esta razón se realizó un ANOVA con parcela dividida para cada suelo observándose interacción en ambos casos (Tablas A2 y A3, Anexo), confirmando que los tratamientos generaron una dinámica diferente en el tiempo con respecto al área de cobertura en los distintos suelos. Finalmente se realizaron ANOVA simples para cada fecha y tipo de suelo.

En el análisis realizado a la fecha de trasplante se verificó la homogeneidad de los plantines. Durante el desarrollo del cultivo todos los tratamientos incrementaron el área de cobertura en ambos suelos, pero a diferente tasa por lo que se observaron diferentes dinámicas (Figura 13 y 14).

Al analizar los diferentes suelos por separado, a los 7 días el tratamiento DF1 presentó mayor área de cobertura para el caso del suelo S1 ( $153,87 \text{ cm}^2$ ) en comparación con el resto de los tratamientos que no se diferenciaron del control. En el día 14 DF1 mantuvo el valor más elevado ( $477,68 \text{ cm}^2$ ), seguido de DF2 ( $211,26 \text{ cm}^2$ ) y FL ( $269,85 \text{ cm}^2$ ) que presentaron mayor cobertura que los tratamientos control, U1 y U2 ( $109,10 \text{ cm}^2$ ,  $93,84 \text{ cm}^2$  y  $101,14 \text{ cm}^2$  respectivamente). A partir de esta fecha DF1, DF2 y FL mantuvieron mayores valores que el resto de los tratamientos y a partir de la fecha 35 no se diferenciaron significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ), pero todos se diferenciaron del control (Figura 13).

Con respecto al suelo S2, a los 7 días los tratamientos DF1 y FL presentaron los mayores valores ( $112,84 \text{ cm}^2$  y  $147,92 \text{ cm}^2$  respectivamente) diferenciándose estadísticamente del C, DF2 y U1 ( $61,61 \text{ cm}^2$ ,  $61,12 \text{ cm}^2$  y  $46,48 \text{ cm}^2$  respectivamente,  $p < 0,05$ ), mientras que DF2, U1 y U2 no se diferenciaron del control ( $p > 0,05$ ) (Figura 14).

Esta dinámica se mantiene hasta el día 28 donde los tratamientos con mayor área de cobertura fueron DF1, DF2 y FL diferenciándose significativamente del control y U1 ( $1072,18 \text{ cm}^2$ ,  $1001,46 \text{ cm}^2$  y  $870,11 \text{ cm}^2$  respectivamente,  $p < 0,05$ ), pero no con el tratamiento U2 ( $762,06 \text{ cm}^2$ ,  $p > 0,05$ ). A partir del día 35 todos los tratamientos se diferenciaron significativamente del control ( $p < 0,05$ ), pero entre ellos no se observaron diferencias significativas hasta el último muestreo realizado el día 49 ( $p > 0,05$ ). En esta

fecha, DF2 alcanzó la mayor área de cobertura (1674,15 cm<sup>2</sup>) seguido de DF1, FL, U1 y U2 que no se diferenciaron entre sí (1291,77 cm<sup>2</sup> – 1519,50 cm<sup>2</sup>, p>0,05, Figura 14).

A partir del día 14 los tratamientos que presentaron un mayor crecimiento en ambos suelos fueron DF1, DF2 y FL marcando una diferencia de varios cm<sup>2</sup> por encima del resto de los tratamientos (p<0,05) (Figura 13 y 14).

El crecimiento observado con el tratamiento FL coincide con el trabajo realizado por Núñez Tapia, (2015) donde el tratamiento con estiércol bovino, fue el que registró mayor rendimiento en un ensayo con el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.), mostrando que cantidades adecuadas de estiércol de buena calidad son capaces de suplir las necesidades de las plantas en cuanto a macronutrientes, debido a la disponibilidad de los mismos (N, P y K) tal como lo señala Machado *et al.* (1983).

Otros autores como Luzón & Izaguirre (2002) también obtuvieron rendimientos elevados en el cultivo de la lechuga con las aplicaciones de estiércol bovino, corroborando así que esta enmienda orgánica es una alternativa frente a los abonos convencionales.

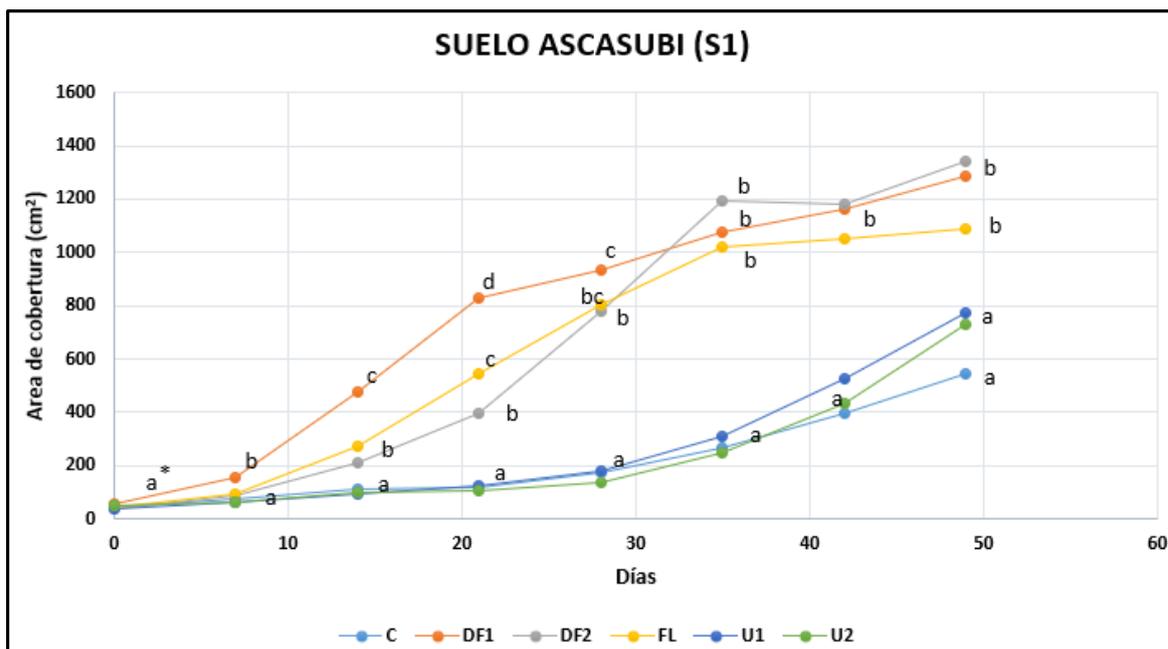


Figura 13. Área de cobertura para los tratamientos correspondientes al S1.

C: Control; DF1: Digerido de feedlot aplicado previo al trasplante; DF2: Digerido de feedlot aplicado en forma fraccionada; FL: Estiércol de feedlot aplicado previo al trasplante; U1: Urea aplicada previo al trasplante; U2: Urea aplicada de forma fraccionada. S1: Haplustol éntico, franco-arenoso.

\* Letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05) entre los tratamientos dentro de cada fecha.

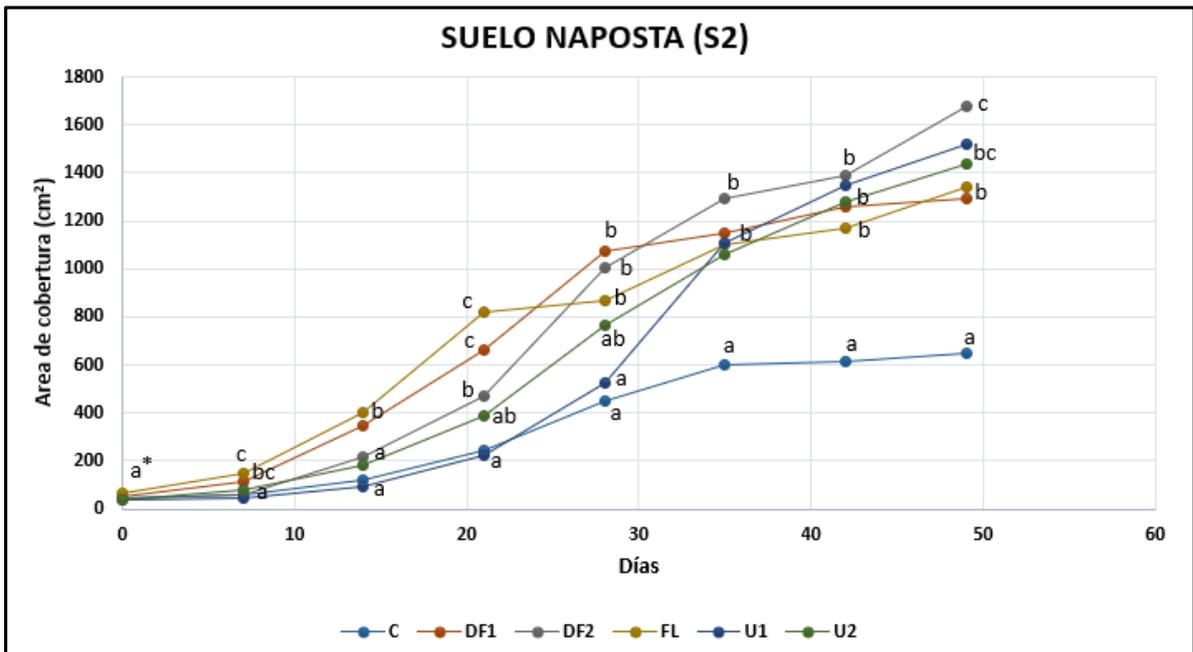


Figura 14. Área de cobertura para los tratamientos correspondientes al S2.

C: Control; DF1: Digerido de feedlot aplicado previo al trasplante; DF2: Digerido de feedlot aplicado en forma fraccionada; FL: Estiércol de feedlot aplicado previo al trasplante; U1: Urea aplicada previo al trasplante; U2: Urea aplicada de forma fraccionada. S2: *Paleustol petrocalcico*, franco.

\*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos dentro de cada fecha.

En función de la similitud en la dinámica de desarrollo del cultivo de lechuga observada entre los suelos tratados con digeridos, se realizaron nuevos análisis considerando ambos digeridos para cada suelo y cada digerido para ambos suelos.

Para los tratamientos DF1 y DF2 no se observó interacción entre los factores suelo (S1 y S2) y fechas, indicando que cada forma de aplicación del digerido presentó una dinámica similar en ambos suelos (Tabla A4 y A5, Anexo). Al analizar los digeridos en conjunto (DF1 y DF2) se observó interacción entre los factores Tratamiento y Fecha para cada suelo, indicando que la aplicación a la siembra (DF1) y fraccionada (DF2) presentaron diferentes dinámicas entre sí en ambos suelos (Tablas A6 y A7).

Se observaron resultados similares en cuanto a rendimiento en un estudio realizado por Bernal Calderón *et al.* (2011) utilizando sandía (*Precious petite*) como cultivo indicador, en el primer año no encontraron diferencias entre los tratamientos (Tratamientos: control, urea, digerido de estiércol bovino, estiércol bovino), mientras que en el segundo año del ensayo, observaron que los tratamientos que presentaron el mayor rendimiento fueron el fertilizante mineral aplicado y el digerido, proponiendo que el digerido es una alternativa viable para sustituir a los fertilizantes sintéticos ya que el rendimiento fue igual o superior.

Se han encontrado resultados contradictorios con respecto a las aplicaciones del digerido principalmente en condiciones de campo donde se observaron tanto efectos negativos como positivos sobre el rendimiento de los cultivos, y en otros casos no se observó respuesta ante su aplicación (Möller & Müller 2012).

Las diferencias en cuanto a los resultados obtenidos utilizando digeridos como enmienda orgánica tanto en ensayos con macetas como en condiciones de campo probablemente se deban a diferentes razones metodológicas, dependiendo del cultivo utilizado como indicador y la técnica de aplicación.

Algunas de ellas son:

- ↪ En los ensayos con macetas, los digeridos generalmente se mezclan inmediatamente con el suelo, reduciendo pérdidas de N hacia la atmosfera (Möller, *et al.*, 2008).
- ↪ En ocasiones puede haber mayores pérdidas de amoníaco después de esparcir el digerido, debido a que la digestión anaeróbica del estiércol aumenta la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , así como también el valor del pH, y ambos factores promueven las pérdidas de N hacia la atmosfera (Pötsch, 2005; Möller *et al.*, 2008; Möller, *et al.*, 2009; Dahlberg, *et al.*, 1988).
- ↪ Los ciclos de los cultivos en ensayos con macetas a menudo son cortos y el volumen del suelo generalmente es limitado para expresar el máximo crecimiento radicular, lo que reduce los efectos de la fertilización (Möller *et al.*, 2008; Morris, *et al.*, 2004; Svensson, *et al.*, 2004).

Con respecto a los distintos tipos de suelo, la mayor respuesta a la fertilización nitrogenada (U1 y U2) en el suelo de Napostá (S2) puede deberse a un mejor balance de nutrientes. El suelo de H. Ascasubi probablemente tenga otros nutrientes limitantes que condicionen el rendimiento.

## 3.2. Evaluación a cosecha

### 3.2.1. Número de hojas

Es importante destacar que las hojas son partes comestibles de esta hortaliza, por lo tanto, el número y tamaño son parámetros importantes.

No se observó interacción entre los factores suelo y tratamiento para la variable analizada (Tabla A8, Anexo), por lo tanto, se analizaron ambos suelos en conjunto.

Al momento de cosecha (49 días desde el trasplante) se observó que los tratamientos que presentaron mayor cantidad de hojas fueron DF1, DF2 y FL (28, 27 y 28 respectivamente) diferenciándose significativamente del C (21) pero no de U1 y U2 (25 y 26 respectivamente) (Figura 15). En lo que respecta a los distintos tipos de suelos se observó un mejor desarrollo en el suelo S2 (S1= 23, S2= 29; Figura 16). Probablemente esto pueda atribuirse a una mayor disponibilidad de nutrientes presentes en este suelo y mayor porcentaje de CO con respecto al suelo S1 (Tabla 3).

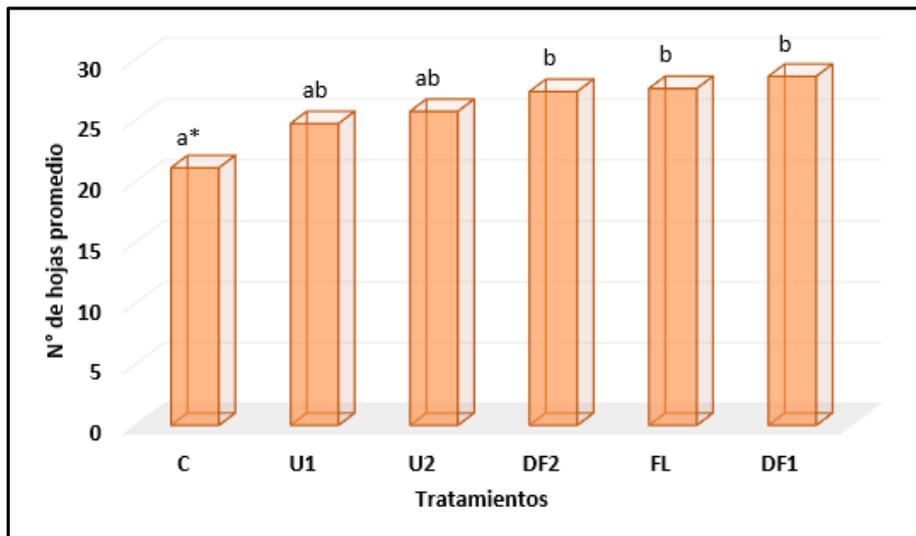


Figura 15. Comparación entre el número de hojas promedio para cada tratamiento en ambos suelos.

\*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos.

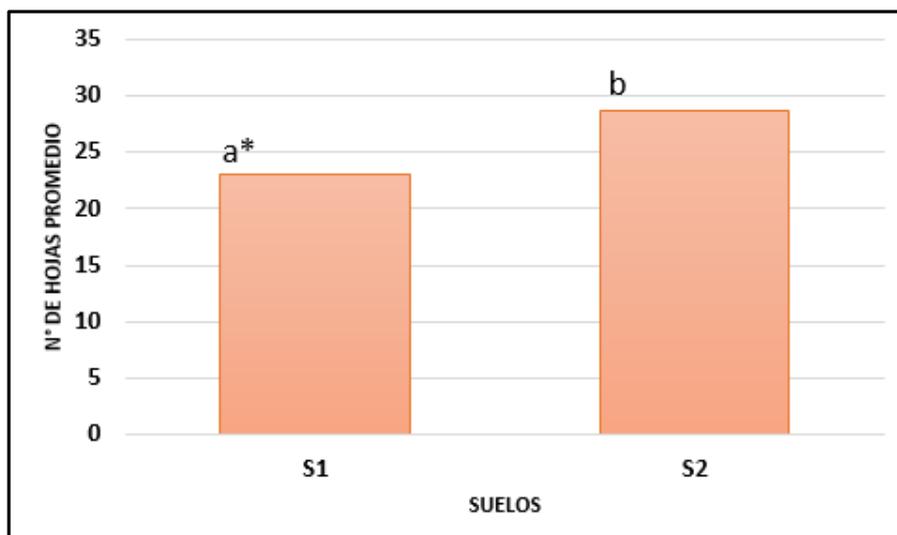


Figura 16. Comparación entre el número de hojas promedio observado en cada suelo para la media entre tratamientos.

\*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los suelos.

Los resultados de este análisis difieren a los obtenidos por Bernal Calderón, *et al.* (2011) pero en este caso utilizando la coliflor como cultivo indicador, donde se observó que con los tratamientos digerido y estiércol vacuno las hojas del cultivo presentaron color más claro, con poca frondosidad y ligera coloración rojiza. Esto puede deberse a que el cultivo podría mostrar cierta sensibilidad al aporte de materia orgánica mediante estos tipos de enmiendas.

### 3.2.2. Peso del cultivo

#### ○ Peso fresco

Para el peso fresco (PFA) se observó interacción entre suelo y tratamiento para la variable analizada (Tabla A9, Anexo), por lo tanto, se analizaron cada suelo por separado.

Para el suelo S1 todos los tratamientos, a excepción de U2, difirieron significativamente del control ( $p < 0,05$ ). DF2 presentó el mayor valor (122,11 g,  $p < 0,05$ ), entre los tratamientos DF1 y FL no se observaron diferencias significativas (83,8 y 75 respectivamente,  $p > 0,05$ ) y presentaron mayor valor que las aplicaciones con fertilizante sintético (U1: 30,88 y U2: 27,72,  $p < 0,05$ ) (Figura 17). El menor rendimiento generado con el fertilizante sintético en relación a las otras enmiendas pudo ser consecuencia del déficit de otros nutrientes.

En cuanto al suelo S2 todos los tratamientos presentaron mayor peso fresco que el control ( $p < 0,05$ ). DF1 y DF2 no se diferenciaron significativamente de U1 y U2 ( $p > 0,05$ )

posiblemente como consecuencia del mayor contenido de nutrientes y CO de este suelo (Tabla 3). La aplicación fraccionada de digerido (DF2) presentó mayor peso fresco que la aplicación previa al trasplante (156,30 g y 107,46 g respectivamente,  $p < 0,05$ ) (Figura 18) posiblemente como consecuencia de una mayor eficiencia en el uso del N. Esto coincide con el ensayo realizado por Marinozzi, (2013) utilizando digerido de cerdo y cebolla donde no observó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre este tratamiento y el inorgánico para el mismo tipo de suelo.

En otro estudio realizado por Iocoli, (2018) donde se utilizaron digeridos provenientes de purín de cerdo como materia prima en un suelo arenoso-franco, el purín de cerdo crudo obtuvo los mayores valores seguido por el digerido para la variable PFA, pero éste último al igual que en el presente ensayo no se diferenció de los fertilizantes sintéticos.

La aplicación de digerido previo al trasplante y fraccionado generó rindes iguales o mayores a los tratamientos de urea al trasplante y fraccionada como se puede observar en las Figuras 17 y 18. Los incrementos de rendimiento posiblemente se deban a un mejor balance de nutrientes, CIC y mayor aporte de materia orgánica por parte del digerido y el estiércol a diferencia del fertilizante sintético (urea) que solo aporta nitrógeno.

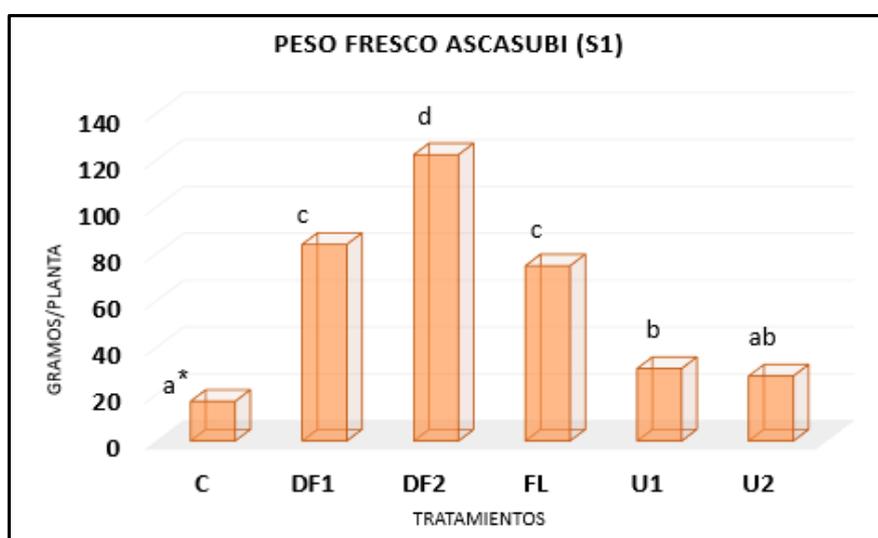


Figura 17. Peso fresco de la biomasa aérea correspondiente al suelo S1.

C: Control; DF1: Digerido de feedlot aplicado previo al trasplante; DF2: Digerido de feedlot aplicado de forma fraccionada; FL: Estiércol de feedlot aplicado previo al trasplante; U1: Urea aplicada previo al trasplante; U2: Urea aplicada de forma fraccionada. S1: Haplustol éntico, franco-arenoso.

\*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos.

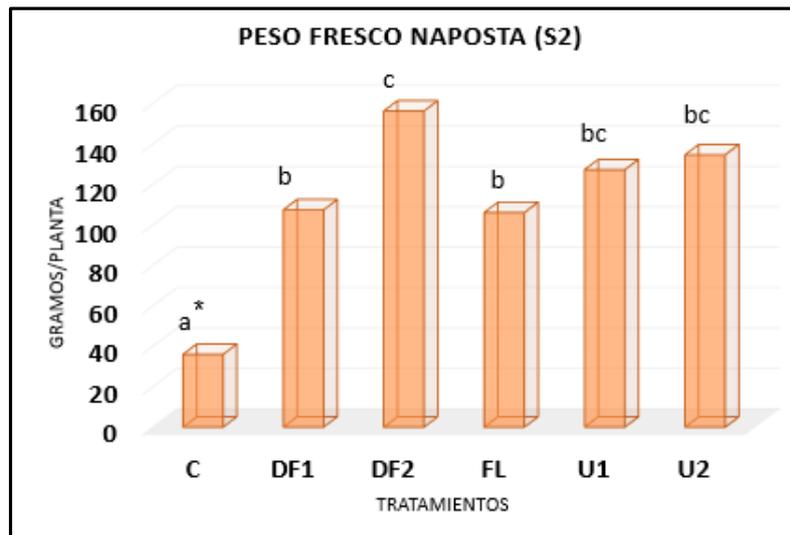


Figura 18. *Peso fresco de la biomasa aérea correspondiente al suelo S2.*

*C: Control; DF1: Digerido de feedlot aplicado previo al trasplante; DF2: Digerido de feedlot aplicado de forma fraccionada; FL: Estiércol de feedlot aplicado previo al trasplante; U1: Urea aplicada previo al trasplante; U2: Urea aplicada de forma fraccionada; S2: Paleustol petrocalcico, franco.*

*\*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos.*

○ *Peso seco*

Para el peso seco (PSA) se observó interacción entre los factores Suelo y Tratamiento (Tabla A10, Anexo), por lo tanto, se analizaron por separado.

Con respecto al PSA del suelo S1, los tratamientos DF1 y DF2 presentaron los mayores valores (7,75 y 7,42 respectivamente,  $p < 0,05$ ) seguidos de FL (5,41 g) con mayores valores que el resto de los tratamientos (1,83 g y 2,36 g,  $p < 0,05$ ). Los tratamientos con urea no se diferenciaron del control ( $p > 0,05$ ) ( $DF1 = DF2 > FL > U1 = U2 = C$ ) (Figura 19).

Para el suelo S2 todos los tratamientos presentaron diferencias significativas respecto al control ( $p < 0,05$ ) pero no se diferenciaron entre sí ( $p > 0,05$ ) (Figura 20). En concordancia con lo observado en PFA, estas diferencias observadas posiblemente se deban a que el suelo de H. Ascasubi presenta otros nutrientes limitantes que no son aportados con la urea y que pueden ser aportados por el digerido y el estiércol. Adicionalmente, el bajo aporte de nitrógeno disponible en el estiércol puede ser compensado por una rápida mineralización como consecuencia de la alta aireación por la textura del suelo (arenosa) y las condiciones del ensayo (alta humedad y temperatura) que incrementan la actividad microbiana del suelo.

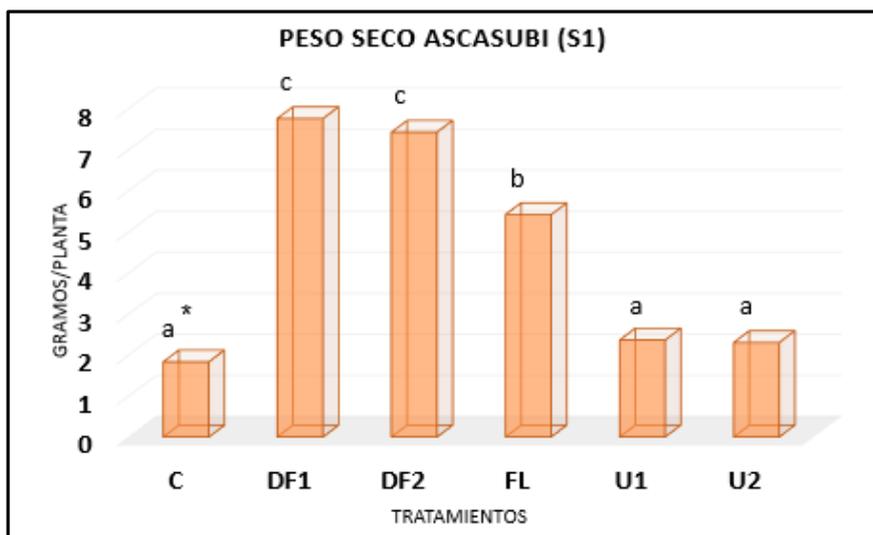


Figura 19. *Peso seco de la biomasa aérea correspondiente al suelo S1.*

C: Control; DF1: Digerido de feedlot aplicado previo al trasplante; DF2: Digerido de feedlot aplicado de forma fraccionada; FL: Estiércol de feedlot aplicado previo al trasplante; U1: Urea aplicada previo al trasplante; U2: Urea aplicada de forma fraccionada. S1: Haplustol éntico, franco-arenoso.

\*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos.

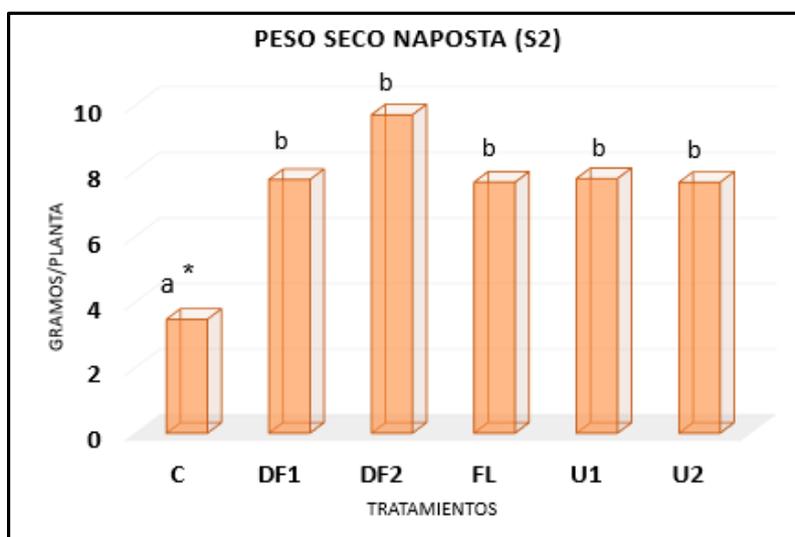


Figura 20. *Peso seco de la biomasa aérea correspondiente al suelo S2.*

C: Control; DF1: Digerido de feedlot aplicado previo al trasplante; DF2: Digerido de feedlot aplicado de forma fraccionada; FL: Estiércol de feedlot aplicado previo al trasplante; U1: Urea aplicada previo al trasplante; U2: Urea aplicada de forma fraccionada. S2: Paleustol petrocalcico, franco.

\*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos.

### 3.2.3. Efecto de los tratamientos sobre la biomasa de raíces de lechuga

Para el peso del sistema radicular (PSR) no se observó interacción entre ambos factores Suelo y Tratamiento (Tabla A11, Anexo), por lo tanto, se analizaron juntos.

DF1, DF2 y FL presentaron mayor desarrollo del sistema radicular que el resto de los tratamientos (23,83 g, 18,17 g y 20,83 g respectivamente,  $p < 0,05$ ) para ambos suelos como se observa en la Figura 21. Los tratamientos U1 y U2 no se diferenciaron del control (9,21 g y 8,67 g,  $p > 0,05$ ). Es importante mencionar que, al ser un ensayo realizado en macetas, el desarrollo radical puede verse limitado por el tamaño de las macetas. En un ensayo realizado por locoli, (2018) el digerido de purín de cerdo, presentó el mayor valor de PSR, pero no se diferenció significativamente del control ni de los tratamientos químicos, mientras que el purín de cerdo crudo se diferenció de todos los demás tratamientos.

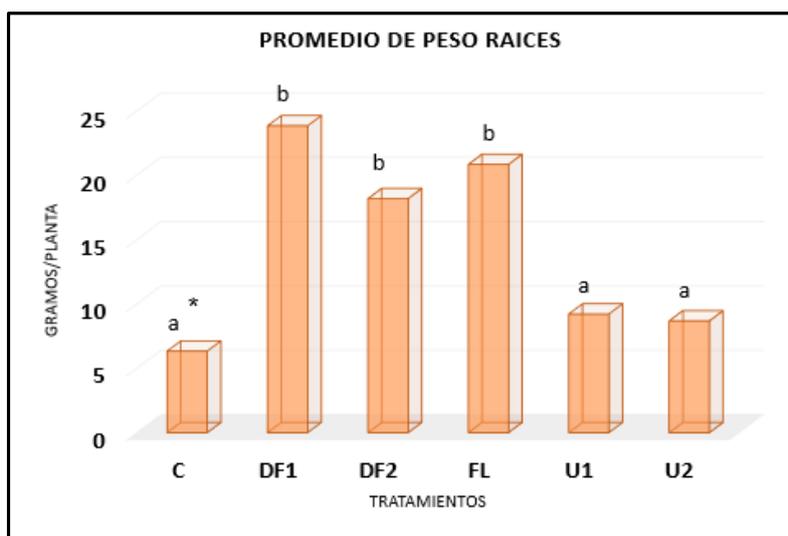


Figura 21. Peso promedio de raíces para ambos suelos.

C: Control; DF1: Digerido de feedlot aplicado previo al trasplante; DF2: Digerido de feedlot aplicado de forma fraccionada; FL: Estiércol de feedlot aplicado previo al trasplante; U1: Urea aplicada previo al trasplante; U2: Urea aplicada de forma fraccionada.

\*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos

## 4. CONCLUSIONES

A través de los datos obtenidos en el presente trabajo se demostró que:

- ✓ El digerido presenta el potencial de reemplazar a los fertilizantes sintéticos debido a que se obtuvieron resultados superiores o iguales en las variables analizadas respecto a la urea.
- ✓ La digestión anaeróbica mejora las propiedades fertilizantes del estiércol sin procesar.
- ✓ La aplicación fraccionada de digerido mejora la eficiencia de utilización de los nutrientes en el suelo por parte del cultivo de lechuga.
- ✓ El digerido produce un incremento del desarrollo radical en comparación con el fertilizante sintético.
- ✓ La aplicación del digerido genera una respuesta similar en suelos contrastantes lo que sugiere que los resultados son extrapolables a distintos suelos.
- ✓ El PFA fue la variable que muestra claramente más diferencias entre los tratamientos.

De acuerdo al objetivo planteado puede concluirse que los digeridos son una alternativa para reemplazar a los fertilizantes sintéticos.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Abdullahi, Y.A., Akunna, J.C., White, N.A., Hallett, P.D. & Wheatley, R., (2008). *Investigating the effects of anaerobic and aerobic post-treatment on quality and stability of organic fraction of municipal solid waste as soil amendment*. Bioresour. Technol, volume 99, 8631–8636.
- Agüero, M. V. (2011). *Modelado de la evolución de índices de calidad integral de lechuga mantecosa desde la precosecha hasta el consumidor*. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Alcalá A., Fernández, N. N. & Aguirre, C. M. *Respuesta del cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) a la fertilización nitrogenada*. Instituto Agrotécnico “Pedro M. Fuentes Godo” Facultad de Cs. Agrarias (UNNE). Resistencia, Chaco.
- Anstett, A. (1967). *El abono de lechuga en función de las técnicas del cultivo. La lechuga: su cultivo y comercialización*. Adapt. de García Palacios. Vilassar de Mar, Barcelona: Ed. Oikos Tau, 174-167.
- Añez Reverol, B. & Tavira D. (1981). *Aplicación de nitrógeno y de estiércol al cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.)*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Universidad de los Andes, Merida, Venezuela: Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ), p-14.
- Aruani, M. C., Gili, P., Fernández, L., González Junyent, R., Reeb, P. & Sánchez, E. (2008). *Utilización del nitrógeno en diferentes manejos de fertilización en lechuga (Lactuca sativa L.) y su efecto sobre algunas variables biológicas del suelo*. Ago Sur, vol. 36 (3), 147-157.
- Asmus, F., Linke, B., Dunkel, H., *Eigenschaften und Dungerwirkung von ausgefauter Gülle aus der Biogasgewinnung*. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. Berl. 1988, 32, 527–532.
- Bernal Calderón M. P., Alburquerque Méndez J. A. & Clemente Carrillo, R. (Ed). (2011). *Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización*. Murcia, España: Tipografía San Francisco, S.A.
- Bernal Calderón, M. P., Alburquerque Méndez, J. A., Bustamante Muñoz, M. A., Albiach Vila, R., Bonmati Blasi, A. & Moral Herrero, R. (2014). *Uso agrícola de materiales digeridos: Situación actual y perspectivas de futuro*. España: Mundi-prensa.
- Bray R. H. & Kurtz LT., (1945). *Determination of total, organic and available forms of phosphorous in soils*. Soil Sci. 59: 39-45.

- Burba, J. N., Roig, J. M. Urabayen, J. P., Pérez Pascal, E.E., Cielle, A. & Galmarini, C. R. (2004). *Diseño de un jardín hortícola y florícola con fines didácticos*. Libro de resúmenes del XXVII. Congreso de horticultura, San Luis, Argentina. HD4-26.
- Calderón, F. J., McCarty, G. W. & Reeves, J. B. (2005). *Pyrolysis-MS and FT-IR analysis of fresh and decomposed dairy manure*. J. Anal. Appl Pyrolysis, vol. 76, 14-23.
- Cardoso, C., Laurent, G., Rodríguez R. A., Miglierina A. M., Minoldo G., Dagna, N. & Orden, L. (2013). *Potentially crop-N supply from different organic amendments to a soil from the low valley of the Río Negro province, Argentine*. En C. Cardoso (Presidencia), *Organic Matter Management And Compost Use In Horticulture*. II Simposio Internacional llevado a cabo en Santiago, Chile.
- Codagnone R. 1991. *Carta detallada de suelos de la EEA INTA Hilario Ascasubi Prov. de Bs. As.* CIRN INTA Castelar.
- Colachagua Canales, C. C. (2011). *Fertilizantes orgánicos e inorgánicos en la producción de papa (solanum tuberosum l.) var. canchán, en las localidades de Hualahoyo y el Mantaro*. Universidad Nacional del Centro de Perú, El Mantaro, Jauja.
- Cole, N., A. Mason, R. Todd, M. Rhoades, & D. Parker. (2009). Chemical composition of pen Surface layers of beef cattle feedyards, *The Professional Animal Scientist*, 25(5), 541–552.
- Cruz M., S. (1986). *Abonos orgánicos*. Universidad Autónoma de Chapingo. Ed. Imprenta Universitaria. UACH. México, volumen 9,104-110.
- Dahlberg, S. P., Lindley, J. A. & Giles, J. F. (1988). *Effect of anaerobic digestion on nutrient availability from dairy manure*. Trans. ASAE, 31, 1211-1216.
- De Graaf D R, Fendler R. 2010. Biogas production in Germany. SPIN Background Paper. Federal Environment Agency. Germany. [http://www.spin-project.eu/downloads/0\\_Background\\_paper\\_biogas\\_Germany\\_en.pdf](http://www.spin-project.eu/downloads/0_Background_paper_biogas_Germany_en.pdf)
- Di Rienzo J A, Casanoves F, Balzarini M G, González L, Tablada M, Robledo C W. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Doñate, M. T. (2013). *Efecto de diferentes enmiendas orgánicas sobre el rendimiento y la concentración de nitrato en un cultivo ecológico de espinaca (Spinacia oleracea L.) en invernadero*. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

- Eghball, B., Ginting, D. & Gilley, J.E. (2004). *Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties*. Agron. J. 96:442-447.
- Elsasser, R. M., Kunz, H. G. & Briemle, G. (1995). *Unterschiedliche technische Behandlung von Gülle und deren Auswirkungen auf intensiv genutztes Gunland*. J. Agron. Crop Sci., 174, 253-264.
- Felipó Oriol M. T. (2001). *Los elementos potencialmente tóxicos (EPT) como criterio en la aplicación de residuos orgánicos al suelo*. En: Aplicación agrícola de residuos orgánicos. Boixadera J, Teira MR, (Eds). Universidad de Lleida, pag. 159-174.
- Félix-Herrán, J. A., Sañudo-Torres, R. R, Rojo-Martínez, G. E., Martínez Ruiz, R. & Olalde-Portugal, V. (2008). *Importancia de los abonos orgánicos*. Ra Ximhai, volumen 4, 57-67.
- Ferrari H, Ferrari C, Ferrari F. 2006. CobCal v 2.1. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Paraguay. <http://www.cobcal.com.ar> (accessed: 03.2014).
- García, A, R., Fleite, S, N., Ciapparelli, I., Velázquez Pugliese, D., Weigant C. & Fabrizio De Oirio, A. (2015). *Observaciones, desafíos y oportunidades en el manejo de efluentes de feedlot en la provincia de Buenos Aires, Argentina (revisión)*. Ecología Austral, vol. 25, 255-262.
- García, A. R. & Iorio A. F. (2003). *Phosphorus distribution in sediments of Morales Stream (tributary of the Matanza-Riachuelo River, Argentina)*. The influence of organic point source contamination. *Hydrobiology*, volume 492, 129 -138.
- Garde, C. (1997). *Dormancia en semilla de lechuga*. Horticultura Argentina, 4, 8-10.
- Gell, K., van Groenigen, J.W. & Cayuela, M.L. (2011). *Residues of bioenergy production chains as soil amendments: immediate and temporal phytotoxicity*. J. Hazard. Mater, volume 186, 2017–2025.
- Gericke, D., Bornemann, L., Kage, H. & Pacholski, A. (2012). *Modelling ammonia losses after field application of biogas slurry in energy crop rotations*. Water Air Soil Pollut., 223, 29-47.
- Giusti, M. C. & Recuero, A. R. (2018). *Residuos en sistemas intensivos y concentrados de producción animal bovina*. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Gutser, R., Nitschke, A., Klasink, A., *Umweltschonende Verwertung von Reststoffen verschiedener Gulleauf- " bereitungsverfahren*. In: KTBL-Arbeitspapier 242, 1997: Umweltvertragliche G " ulleaufbereitung und –Verwertung, " p, 97-108.

- Herrero, M. A. & Gil, S. (2008). *Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal*. *Ecol. Austral*, volumen 18, 273-289.
- Instituto para el Desarrollo y la Democracia (IPADE) (2009). *Guía Técnica Abonos Orgánicos*. Nicaragua. p. 14.
- Iocoli, G. A., Zabaloy, M. C., Pasdevicelli, G. & Gómez, M. A. (2019). *Use of biogás digestates obtained by anaerobic digestion and co-digestion as fertilizers: Characterization, soil biological activity and growth dynamic of Lactuca sativa L.* *Science of the Total Environment*, 647, 11-19.
- Iocoli, G. A. (2018). *Estudio integrado sobre la reutilización de residuos agropecuarios: Caracterización, mineralización y capacidad fertilizante en suelos frágiles*. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Iocoli, G. A. & Gómez, M. A. (2015). *Utilización de digerido anaeróbico de purín de cerdo: actividad biológica del suelo y desarrollo vegetal*. *Ciencia del Suelo*, 33 (1), 1-9.
- Instituto de Promoción de Carne Vacuna Argentina. Faena y producción de carne vacuna. (IPCVA), junio 2019. Disponible en [http://www.ipcva.com.ar/documentos/2036\\_1565364358\\_informedefaenayproduccion2\\_trimestre2019.pdf](http://www.ipcva.com.ar/documentos/2036_1565364358_informedefaenayproduccion2_trimestre2019.pdf)
- Instituto de Promoción de Carne Vacuna Argentina. Faena y producción de carne vacuna. (IPCVA), septiembre 2019. Disponible en [http://www.ipcva.com.ar/documentos/2060\\_1572291633\\_informedefaenayproduccion3\\_trimestre2019.pdf](http://www.ipcva.com.ar/documentos/2060_1572291633_informedefaenayproduccion3_trimestre2019.pdf)
- Kirchmann, H. & Lundvall, A. (1993). *Relationship between N immobilization and volatile fatty acids in soil after application of pig and cattle slurry*. *Biol. Fertil. Soils*, 15, 161-164.
- Knott, J. E. (1957). *Handbook for vegetables growers*. Wiley and Sons, Inc., p-245.
- Koriath, H., Herrmann, V., Vollmer, G. R. & Franz, J. (1985). *Nährstoffdynamik w "ährend der anaeroben Fermentation " von Gülle und Wirkung auf den Ertrag und Inhaltsstoffe " von Mais im Gefäßversuch. "* *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.*, 29, 741–747.
- Kunz, A., Miele, M. & Steinmetz R. LR. (2009). *Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil*, volumen (100), 5485-5489. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.10.039>
- Labrador J. (2006). *Conocimientos, técnicas y productos para la agricultura y la ganadería ecológica*. Ed. Sociedad Española de Agricultura Ecológica. España, 423 pp

- Laurent, G. C. (2019). *Residuos agroindustriales, disposición final*. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Liu, W.K., Yang, Q. & Du, L. (2009). *Soilless cultivation for high-quality vegetables with biogas manure in China: feasibility and benefit analysis*. *Renew. Agric. Food Syst*, volume 24, 300–307.
- Lombardi, B. (2016). *Medición de Gases de Efecto Invernadero en efluentes de feedlot*. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina.
- Longoria Garza, C. S. (2000). *Fertilización orgánica con estiércol bovino en diferentes fechas y dosis de aplicación en maíz blanco hualahuises*. Universidad Autónoma de nuevo León, Departamento de Agronomía, México.
- López-Mosquera M E, Carballo M E, Cabaleiro F, Carral E, Lema M J, López-Fabal A. & Sainz M J. (2003). *Valorización agronómica de estiércol de pollo deshidratado y granulado en el cultivo de lechuga (tipo trocadero) bajo invernadero*. *Actas de Horticultura N° 39*. X Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas Pontevedra.
- Loria, E. R. & Sawyer, J. E. (2005). *Extractable soil phosphorus and inorganic nitrogen following application of raw and anaerobically digested swine manure*. *Agron. J.*, 97, 879-885.
- Macías D. R., Gijalva, C. R.L. & Robles, C. F. (2012). *Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño*. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, vol. XIV (3), 32-38.
- Mandujano M., I. 1981. *Biogás: Energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología*. Organización Latinoamericana de Energía. Cuernavaca, Morelos, México.
- Mallar, A. (1978). *La lechuga*. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina: p-61.
- Maroto, B. (1995). *Hortalizas aprovechables por sus hojas 4.5 lechuga*. *Horticultura herbácea especial*. 4 Ed, Madrid: Mundi-Prensa, 247, 215-233.
- Maroto, J., Gómez, A. & Soria, C. (2000). *Taxonomía y fisiología botánica y adaptabilidad de la lechuga. La lechuga y la escarola*. Coedición caja rural valencia. España: Mundi-prensa, p-242.
- Marinozzi, L, A. (2013). *Influencia del efluente de la producción de biogás sobre el cultivo de lechuga*. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

- Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, Presidencia de la Nación. *Información Legislativa* (InfoLEG). Disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/315000-319999/319167/norma.htm>
- Minoldo, G. M., Laurent G. C., Miglierina A. M., García R. & Diez, J. P. (2017). *Efecto de la aplicación de estiércol vacuno sobre un cultivo de cebada*. En G. C. Laurent (Presidencia), Más allá de la próxima cosecha. Simposio llevado a cabo en el Dpto. Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Argentina.
- Morris, D. R. & Lathwell, D. J. (2004). *Anaerobically digested dairy manure as fertilizer for maize in acid and alkaline soils*. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 35, 1757-1771.
- Möller, K. & Müller T. (2012). *Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth (review)*. *Eng. Life Sci.*, vol. 12 (3), 242-257.
- Möller, K., Stinner, W., Deuker, A. & Leithold, G. (2008). *Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on nitrogen cycle and crop yield in mixed organic dairy farming systems*. *Nutr. Cycl. Agroecosys*, 82, 209-232.
- Möller, K. & Stinner, W. (2009). *Effects of different manuring systems " with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides)*. *Eur. J. Agron.*, 30, 1-16.
- Montemurro F, Ferri D, Tittarelli F, Canali S. & Vitti C. (2010). *Anaerobic Digestate and On-Farm Compost Application: Effects on Lettuce (Lactuca sativa L.) Crop Production and Soil Properties*. *Compost Sci Util*, volume 18, 184-193.
- Moreno, J., Moral, R., García Morales, J. I., Pascual, J. A. & Bernal, M. P. (2014). El camino hacia la sostenibilidad. *Uso agrícola de materiales digeridos: Situación actual y perspectivas de futuro*.
- Muñoz, V, F. (2007). *Efecto de la aplicación de una enmienda orgánica sobre la productividad de lechuga y sobre algunas propiedades químicas edáficas*. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Nieto, M. I., Guzmán M. L. & Steinaker, D. (2014). *Emisiones de gases de efecto invernadero: simulación de un sistema ganadero de carne típico de la región central Argentina*. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*, vol. 40, (1), 92-101. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86430499015>
- Nkoa, R., 2014. *Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review*. *Agron. Sustain. Dev*, volume 34, 473–492.

- Nuñez Tapia, M. A. (2015). *Respuesta del cultivo de cebolla colorada (Allium cepa L.) a tres abonos orgánicos y tres niveles de fertilización edáfica*. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Odlare, M. (2005). *Organic residues: a resource for arable soils*. PhD thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Orden, L. (2018). *Evaluación del proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos. Respuesta agronómica de su utilización en un cultivo de cebolla (Allium cepa L.)*. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Piacente, P. (2009). *Fertilizantes orgánicos: Beneficios productivos y ecológicos*. Ecogestos. 23 de octubre, <http://www.ecogestos.com/fertilizantes-organicos-beneficios-productivos-y-ecologicos/> (17 de julio 2013).
- Poggi-Varaldo, H.M., Trejo-Espino, J., Fernández-Villagómez, G., Esparza-García, F., Caffarel-Méndez, S. & Rinderknecht-Seijast, N. (1999). *Quality of anaerobic compost from paper mill and municipal solid wastes for soil amendment*. Water Sci. Technol, volume 40, 179–186.
- Pordomingo, A, J. (2003). *Gestión ambiental en el feedlot: Guía de buenas prácticas*. La Pampa, Argentina.
- Pötsch, E.M. (2005). *Nutrient content offermentation residues from " agricultural biogas systems and their utilization on permanent gassland*. Final report, pp. 32.
- Robert, S., F. Santangelo, I. Albornoz, & G. Dana. (2009). *Estructura del feedlot en argentina-nivel de asociación entre la producción bovina a corral y los titulares de faena*.
- Romero, L. M. R. L. (1997). *Abonos orgánicos y químicos en producción, sanidad y absorción nutricional de papa y su efecto en el suelo*. Colegio de Postgraduados, México.
- Ronga, D., Pane, C., Zaccardelli, M. & Pecchioni, N. (2016). *Use of spent coffee ground compost in peat-based growing media for the production of basil and tomato potting plants*. Commun. Soil Sci. Plant Anal, volume 47, 356–368.
- Rotondo R., Firpo I. T., Ferreras L., Toresani S., Fernández S. & Gómez E. (2009). *Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y fertilizante nitrogenado sobre propiedades edáficas y productividad en cultivos hortícolas*. Horticultura Argentina, volumen 28, 18-25.

- Rubæk, G. H., Henriksen, K., Petersen, J. & Rasmussen, B. (1996). *Effects of application technique and anaerobic digestion on gaseous loss from animal slurry applied to ryegrass (Lolium perenne)*. J. Agric. Sci. Camb., 126, 481-492.
- Salminen, E. & Rintala, J. (2002). *Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste. A review*. Bioresour. Technol, volume 83, 13–26.
- Sánchez, M., Gomez, X., Barriocanal, G., Cuetos, M.J. & Morán, A. (2008). *Assessment of the stability of livestock farm wastes treated by anaerobic digestion*. Int. Biodeterior. Biodegrad, volume 62, 421–426.
- Scaglia, B., Pognani, M. & Adani, F. (2017). *Science of the Total Environment The anaerobic digestion process capability to produce biostimulant: the case study of the dissolved organic matter (DOM) vs. auxin-like property*. Sci. Total Environment, volumen 589, 36–45.
- Servicio de Investigación Agrícola del departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). National Nutrient. Database. Disponible en <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/?query=Lechuga>
- SENASA, (2019). Informe IF-2019-IF-2019-99277455-APN-DESYCG#SENASA. \_Dirección de Ejecución Sanitaria y Control de Gestión.
- Soria Fregoso, M. J., Ferrera Cerrato, R., Etchevers Barra, J., Alcántar González, Ga., Trinidad Santos, J., Borges Gómez, L. & Pereyda Pérez, G. (2001). *Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo*. Terra Latinoamericana, vol. 19 (4), 353-362. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57319408>
- Svensson, K., Odlare, M. & Pell, M. (2004). *The fertilizing effect of compost and biogas residues from source separated household waste*. J. Agric. Sci. Camb., vol. 142 (4), 461-467.
- Świątczak, P. & Cydzik- Kwiatkowska, A. (2018). *Treatment of Ammonium-Rich Digestate from Methane Fermentation Using Aerobic Granular Sludge*. Water Air Soil Pollut, 229: 247. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3887-x>
- Tortarolo, G. A. (1998). *Cultivo de la lechuga*. Informe técnico. E.E.A. del I.N.T.A. Colonia Benítez, Chaco.
- Trinidad Santos, A. (2013). *Abonos orgánicos*. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación.

- Tusek, L. (2010). *Huerta familiar, cultivo de lechuga*. Escuela Agrotécnica. Concepción, Tucumán, Argentina. Disponible en <http://www.slideshare.net/jhptucumano/cultivo-de-la-lechuga>
- Veizaga, E, A. (2015). *Estudio de la dinámica del nitrato en el suelo proveniente de la actividad ganadera intensiva*. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- Vigliola, M. (1988). *Manual de horticultura 1° ed.* Buenos Aires, Argentina. Editorial Hemisferio Sur. p 81 - 89.
- Vigliola, M. (2003). *Manual de horticultura*. Catedra de horticultura, facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina: Editorial Hemisferio Sur, 236, 81-89.
- Viteri, M. L., Ghezán, G. & Iglesias, D. (2013). *Proyecto Específico AEES 302421: Economía de las Cadenas Agroalimentarias y Agroindustriales*. INTA, Argentina.
- Walsh J J, Rousk J; Edwarda-Jones G, Jones D L. & Prysor Williams A. 2012. *Fungal and bacteria growth following the application of slurry and anaerobic digestate of livestock manure to temperate pasture soils*. *Briol Fertil Silos* 48: 889-897.
- Wild, A. (1992). *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Madrid, España. Ediciones Mundi Prensa. p 716 - 721.
- Yu, F.B., Luo, X.P., Song, C.F. & Shan, S.D. (2010). *Concentrated biogas slurry enhanced soil fertility and tomato quality*. *Acta Agric. Scand. Sect. B: Soil Plant Sci*, volume 60, 262–268.
- Zink, F. W. & Yamaguchi, M. (1962). *Studies on the growth rate and nutrient absorption of head lettuce*. *Hilgardia*, volume 32, 471-500.

## ANEXO A. Listado de tablas

Tabla A1. *Análisis de varianza doble con parcela dividida SxTxF.*

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Aj</b>	<b>CV</b>	
<b>Sup. cubierta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>384</b>	<b>0,97</b>	<b>0,95</b>	<b>19,65</b>	
<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	89923764	131	686440,94	58,91	<0,0001
Tratamiento	11295130	5	2259026	38,82	<0,0001
Suelo	3440451,8	1	3440451,8	59,12	<0,0001
Tratamiento*Suelo	2081798,9	5	416359,78	7,16	0,0001
Tratamiento*Suelo>UE	2094866,6	36	58190,74	4,99	<0,0001
Fecha	59714435	7	8530633,6	732,05	<0,0001
Fecha*Tratamiento	6627228,6	35	189349,39	16,25	<0,0001
Fecha*Suelo	2555309,1	7	365044,15	31,33	<0,0001
Fecha*Tratamiento*Suelo	2114543,4	35	60415,53	5,18	<0,0001
Error	2936589,8	252	11653,13		
Total	92860353	383			

Tabla A2. *Análisis de varianza con parcela dividida TxF, para el suelo S1.*

<b>Suelo</b>	<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Aj</b>	<b>CV</b>
<b>H. Ascsubi</b>	<b>Sup. cubierta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>192</b>	<b>0,96</b>	<b>0,95</b>	<b>22,05</b>
<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	33908016,45	65	521661,79	51,92	<0,0001
Tratamiento	9412827,45	5	1882565,5	52,94	<0,0001
Tratamiento>UE	640094,3	18	35560,79	3,54	<0,0001
Fecha	19153349,66	7	2736192,8	272,33	<0,0001
Tratamiento*Fecha	4701745,04	35	134335,57	13,37	<0,0001
Error	1265958,47	126	10047,29		
Total	35173974,92	191			

Tabla A3. *Análisis de varianza con parcela dividida TxF, para el suelo S2.*

<b>Suelo</b>	<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Aj</b>	<b>CV</b>
<b>Naposta</b>	<b>Sup. cubierta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>192</b>	<b>0,97</b>	<b>0,95</b>	<b>17,88</b>
<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	52575295,37	65	808850,7	61	<0,0001
Tratamiento	3964101,36	5	792820,27	9,81	0,0001
Tratamiento>UE	1454772,26	18	80820,68	6,1	<0,0001
Fecha	43116394,81	7	6159485	464,55	<0,0001
Tratamiento*Fecha	4040026,94	35	115429,34	8,71	<0,0001
Error	1670631,36	126	13258,98		
Total	54245926,73	191			

Tabla A4. *Análisis de varianza con parcela dividida SxF, para el tratamiento DF1.*

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Aj</b>	<b>CV</b>	
<b>Sup. cubierta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>64</b>	<b>0,95</b>	<b>0,93</b>	<b>17,25</b>	
<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	13810160	21	657626,69	39,82	<0,0001
Suelo	417,9	1	417,9	0,01	0,9173
Suelo>UE	213930,66	6	35655,11	2,16	0,0664
Fecha	13434661	7	1919237,25	116,21	<0,0001
Suelo*Fecha	161151,16	7	23021,59	1,39	0,2333
Error	693642,13	42	16515,29		
Total	14503803	63			

Tabla A5. *Análisis de varianza con parcela dividida SxF, para el tratamiento DF2.*

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Aj</b>	<b>CV</b>	
<b>Sup. cubierta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>64</b>	<b>0,97</b>	<b>0,95</b>	<b>18,72</b>	
<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	20646569	21	983169,93	55,45	<0,0001
Suelo	211537,9	1	211537,9	2,36	0,1752
Suelo>UE	537247,31	6	89541,22	5,05	0,0006
Fecha	19674630	7	2810661,4	158,52	<0,0001
Suelo*Fecha	223153,56	7	31879,08	1,8	0,1131
Error	744672,64	42	17730,3		
Total	21391241	63			

Tabla A6. Análisis de varianza con parcela dividida FxT, para los tratamientos DF1 y DF2 en el suelo S1.

Suelo	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
H. Ascasubi	Sup. cubierta (cm <sup>2</sup> )	64	0,95	0,94	17,53
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14308010,64	15	953867,38	63,22	<0,0001
Fecha	13705215,76	7	1957888	129,76	<0,0001
Tratamiento	140541,57	1	140541,57	9,31	0,0037
Fecha*Tratamiento	462253,3	7	66036,19	4,38	0,0008
Error	724260,07	48	15088,75		
Total	15032270,7	63			

Tabla A7. Análisis de varianza con parcela dividida FxT, para los tratamientos DF1 y DF2 en el suelo S2.

Suelo	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Naposta	Sup. cubierta (cm <sup>2</sup> )	64	0,93	0,91	23,13
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	19337253,5	15	1289150,2	42,23	<0,0001
Fecha	18845996,35	7	2692285,2	88,2	<0,0001
Tratamiento	11127,35	1	11127,35	0,36	0,5488
Fecha*Tratamiento	480129,8	7	68589,97	2,25	0,0463
Error	1465232,66	48	30525,68		
Total	20802486,16	63			

Tabla A8. Análisis de varianza doble SxT, para número de hojas.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
Número de hojas	48	0,41	0,22	22,57	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	837,25	11	76,11	2,23	0,0345
Suelo	374,08	1	374,08	10,97	0,0021
Tratamiento	293,75	5	58,75	1,72	0,1545
Suelo*Tratamiento	169,42	5	33,88	0,99	0,4355
Error	1228	36	34,11		
Total	2065,25	47			

Tabla A9. *Análisis de varianza doble SxT, para la variable peso fresco.*

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Aj</b>	<b>CV</b>	
<b>Peso fresco</b>	<b>48</b>	<b>0,9</b>	<b>0,87</b>	<b>20,62</b>	
<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	100074,91	11	9097,72	29,39	<0,0001
Suelo	32367,97	1	32367,97	104,57	<0,0001
Tratamiento	52466,09	5	10493,22	33,9	<0,0001
Suelo*Tratamiento	15240,85	5	3048,17	9,85	<0,0001
Error	11143,56	36	309,54		
Total	111218,47	47			

Tabla A10. *Análisis de varianza doble SxT, para la variable peso seco.*

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Aj</b>	<b>CV</b>	
<b>Peso seco</b>	<b>48</b>	<b>0,81</b>	<b>0,75</b>	<b>24,53</b>	
<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	325,07	11	29,55	14,02	<0,0001
Suelo	94,84	1	94,84	44,98	<0,0001
Tratamiento	183,93	5	36,79	17,45	<0,0001
Suelo*Tratamiento	46,31	5	9,26	4,39	0,0032
Error	75,9	36	2,11		
Total	400,97	47			

Tabla A11. *Análisis de varianza doble SxT, para la variable peso de raíces.*

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Aj</b>	<b>CV</b>	
<b>Peso de raíces</b>	<b>48</b>	<b>0,49</b>	<b>0,33</b>	<b>60,57</b>	
<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2670,87	11	242,81	3,14	0,0046
SUELO	349,76	1	349,76	4,53	0,0403
Tratamiento	2154,25	5	430,85	5,58	0,0007
Suelo*Tratamiento	166,85	5	33,37	0,43	0,8233
Error	2781,4	36	77,26		
Total	5452,26	47			