

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**DISTINTAS DOSIS DE DIGESTATO COMO ACELERADOR DE LA  
DEGRADACIÓN DE RASTROJO DE MAÍZ**

CAMILA IGNACIA MERLO BRAVO

Santiago, Chile  
2016

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**DISTINTAS DOSIS DE DIGESTATO COMO ACELERADOR DE LA  
DEGRADACIÓN DE RASTROJO DE MAÍZ**

**DIFFERENT DOSES OF DIGESTATE AS ACCELERATOR OF CORN STOVER  
DEGRADATION**

CAMILA IGNACIA MERLO BRAVO

Santiago, Chile  
2016

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**DISTINTAS DOSIS DE DIGESTATO COMO ACELERADOR DE LA  
DEGRADACIÓN DE RASTROJO DE MAÍZ**

Memoria para optar al título profesional de  
Ingeniero Agrónomo

CAMILA IGNACIA MERLO BRAVO

Profesor Guía	Calificación
Sra. María Teresa Varnero M. Químico Farmacéutico	7,0
Profesores Evaluadores	
Sr. Ian Homer B. Ingeniero Agrónomo. Dr.	6,6
Sra. Loreto Prat del Río Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc. Pr.	6,5

Santiago, Chile  
2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la profesora María Teresa Varnero por haberme dado la oportunidad de trabajar en este proyecto, por su amabilidad y colaboración. También, al profesor Oscar Seguel por sus aportes y siempre buena disposición.

A mis padres, María Elena y Mario, la Memoria de título está dedicada a ustedes; gracias por su apoyo incondicional.

A mis amigos, por todos los buenos momentos compartidos y a Samuel por toda su entrega.

Gracias a ustedes y a todos quienes en cierta medida colaboraron en el desarrollo de esta investigación y en mi paso por la universidad. Los quiero

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
Hipótesis.....	5
Objetivo General .....	5
MATERIALES Y MÉTODO .....	6
Lugar de estudio .....	6
Materiales.....	6
Metodología .....	6
pH.....	7
Conductividad eléctrica.....	8
Contenido de agua.....	8
Tamaño de partícula.....	8
Porcentaje de sólidos volátiles.....	8
Relación C/N.....	8
Carbono orgánico.....	8
Nitrógeno total.....	8
Estabilidad biológica .....	8
Fitotoxicidad.....	9
Fragilidad del material .....	9
Análisis estadístico.....	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	10
Caracterización rastrojo de maíz (Zea mays).....	10
Caracterización digestato .....	11
Caracterización del material final obtenido por cada tratamiento.....	13
pH y conductividad eléctrica.....	13
Peso final de los tratamientos.....	14
Tamaño de partículas .....	15
Contenido de agua.....	16
Sólidos volátiles .....	17
Estabilidad biológica.....	18
Relación C/N.....	20
Carbono orgánico.....	21
Nitrógeno total .....	22
Índice de germinación.....	23
Fragilidad del material .....	25
CONCLUSIONES .....	28
BIBLIOGRAFÍA .....	29
APÉNDICES.....	33

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos del ensayo.....	7
Cuadro 2. Parámetros bioquímicos del rastrojo de maíz.....	11
Cuadro 3. Parámetros bioquímicos del digestato.....	11
Cuadro 4. Contenido de nitrógeno del digestato.....	12
Cuadro 5. Parámetros microbiológicos del digestato.....	12
Cuadro 6. pH y conductividad eléctrica de los tratamientos.....	13
Cuadro 7. Peso final de los tratamientos.....	14
Cuadro 8. Contenido de agua final de los tratamientos.....	16
Cuadro 9. Relación C/N final de los tratamientos.....	20
Cuadro 10. Contenido de nitrógeno total de los tratamientos.....	22
Cuadro 11. Nivel de Fitotoxicidad.....	23
Cuadro 12. Índice de germinación de los tratamientos.....	23

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disposición de los tratamientos con sus respectivas repeticiones.....	7
Figura 2. Tamaño de partícula de los tratamientos.....	15
Figura 3. Porcentaje de sólidos volátiles en función del tiempo.....	17
Figura 4. Estabilidad biológica de los tratamientos durante tercer y cuarto mes del ensayo.....	19
Figura 5. Porcentaje de carbono orgánico final de los tratamientos.....	21
Figura 6. Asentamiento(cm) por N° de golpes (log) de cada tratamiento.....	25
Figura 7. Incremento diferencial (cm) por N° de golpes de cada tratamiento.....	26

## RESUMEN

La cosecha de maíz genera alrededor de 10-20 ton ha<sup>-1</sup> de rastrojo en la superficie del suelo. La degradación de estos rastrojos puede tardar más de 4 temporadas, debido a su alto contenido ligno-celulósico, sumado a una relación C/N >60/1. La quema de rastrojos constituye una práctica agrícola habitual para despejar el terreno y disponer la preparación del suelo para la siguiente temporada, lo que genera problemas ambientales como pérdida de nutrientes, erosión del suelo, pérdida de materia orgánica y contaminación atmosférica por emisión de gases efecto invernadero y material particulado. Una alternativa a la quema es provocar una rápida degradación de este material, de modo de dejarlo en condiciones de ser incorporado al suelo, mediante el uso de digestato líquido, proveniente de biodigestores anaeróbicos, el cual contiene abundantes consorcios microbianos especializados en la degradación de moléculas orgánicas.

Se establecieron 15 parcelas piloto de 1 m<sup>2</sup> con 1 kg de rastrojo de maíz cada una, en las cuales se aplicaron tres tratamientos: 2 L de agua (T<sub>1</sub>), 1 L de digestato más 1 L de agua (T<sub>2</sub>) y 2 L de digestato (T<sub>3</sub>). Al cabo de cuatro meses de iniciado el ensayo, se evaluó la degradación del rastrojo determinando peso final, tamaño de partícula, contenido de agua, sólidos volátiles, estabilidad biológica, relación carbono-nitrógeno, carbono orgánico y nitrógeno total. Además para evaluar la calidad del rastrojo final, se midió pH, conductividad eléctrica, fitotoxicidad y fragilidad del material. Los resultados señalan que la incorporación de digestato favorece la biodegradación de los rastrojos, reduciendo el periodo de descomposición natural, obteniéndose un producto con un menor tamaño de partícula, sin compuestos fitotóxicos, de baja relación C/N y biológicamente estable. Además, se determinó que los tratamientos con aplicación de digestato presentan una mayor resistencia ante cargas mecánicas externas, previniendo procesos de asentamiento.

**Palabras claves:** Descomposición, Concentración digestato, Tamaño de partícula, Fitotoxicidad, Relación C/N, Estabilidad biológica.

## ABSTRACT

The corn crop generates about 10 to 20 t ha<sup>-1</sup> stover over soil surface. The degradation of these residues may take more than 4 seasons due to its high content lignocellulosic combined with a C/N ratio > 60/1. Stover burning is a common agricultural practice to clear the land and provides soil preparation for next season, which leads to environmental problems such as nutrient loss, soil erosion, loss of organic matter and air pollution emission through greenhouse gases and particulate matter. An alternative to stover burning is cause rapid degradation of this material, in order to leave it able to be incorporated into the soil, by means of liquid digestate from anaerobic digesters, stemming from anaerobic digesters, which contains abundant specialized microbial consortia degradation of organic molecules.

It was established 15 smallholdings of 1 m<sup>2</sup> with 1 kg of corn stover each, which were applied three treatments: 2 L of water (T<sub>1</sub>), 1 L of digestate plus 1 L of water (T<sub>2</sub>) and 2 L of digestate (T<sub>3</sub>). After four months into the trial, stover degradation was evaluated by determining final weight, particle size, water content, volatile solids, biological stability, carbon-nitrogen ratio, organic carbon and total nitrogen. In addition, in order to evaluate the quality of the final stover, it was measured pH, electrical conductivity, phytotoxicity and fragility of the material. The results indicate that the incorporation of digestate promotes biodegradation of crop residues, reducing the period of natural decomposition, yielding a product with a smaller particle size without phytotoxic compounds, low C/N and biologically stable. In addition, it was determined that treatment with application of digestate has a higher resistance to external mechanical loads, preventing settlement processes.

**Keywords:** Decomposition, digestate concentration, particle size, Phytotoxicity, C/N ratio, biological stability.

## INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.), es un cereal ampliamente producido tanto a nivel mundial como nacional. Datos de ODEPA-Chile, señalan que la producción nacional durante el periodo 2014/2015 corresponde a 1.450.537 toneladas. Este cultivo se encuentra distribuido desde la Región de Coquimbo hasta la Región de los Lagos, representando una superficie de 125.200 hectáreas (ODEPA, 2015). Este cereal es utilizado como fuente de alimento por su alto contenido energético para consumo de la población humana y ganadera, como también para la elaboración de productos procesados como bebidas, edulcorantes, aceites y alcohol industrial (Ranum et al., 2014).

Una vez cosechado el maíz quedan alrededor de 10-20 ton ha<sup>-1</sup> de rastrojo en la superficie del suelo. Esta gran cantidad, sumado a la alta relación C/N > 60/1 que posee el rastrojo, provoca una lenta descomposición que dificulta la preparación de suelo para realizar la próxima siembra de la temporada (Acevedo y Silva, 2003). Frente a esta situación, una práctica común realizada por los agricultores es la quema de rastrojo, ya que elimina rápidamente los residuos dejados en el campo. Dicha práctica trae consigo una serie de consecuencias negativas para la agricultura y medioambiente. Según Taladriz y Schwember (2012) la quema de rastrojos provoca una pérdida de nutrientes, ya que un 98% a 100% de contenido de nitrógeno es desaprovechado de los residuos dejados en el campo; 20% a 40% de fósforo y potasio y 70% a 90% de azufre. Por otra parte, el suelo producto de la quema del rastrojo queda mayormente expuesto a la erosión y a una disminución constante de la materia orgánica. Finalmente, la quema de rastrojos contribuye a la contaminación atmosférica y calentamiento global al liberarse grandes cantidades de gases nitrogenados y carbonados (Taladriz y Schwember, 2012).

Tal situación es recurrente en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, donde se concentra la mayor producción maicera de Chile. Durante el año 2015 se han producido 671.566 toneladas, abarcando un total de 53.868 hectáreas (ODEPA, 2015). Siendo entonces el maíz, el principal rastrojo quemado en dicha región, representando el 56% de la superficie, seguido por restos de frutales y de viñas con un 43% y 1% respectivamente (Astudillo y Fuentealba, 2011). Las quemas agrícolas son realizadas entre los meses de marzo a mayo fecha en que el maíz es cosechado, luego entre mayo y julio se realizan quemas para la eliminación de restos de poda y finalmente durante agosto y septiembre se registran quemas para el control de heladas (Avendaño, 2013). Según el Sistema de Asistencia a Quemadas (CONAF, 2015) son 320 hectáreas durante el año 2015 en las que se han realizado prácticas de quema de maíz, siendo Colchagua la provincia con mayor superficie quemada con 314 hectáreas.

Desde el año 2009, según el Decreto Supremo N° 7 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES) se considera el Valle Central de la VI Región como zona saturada por Material Particulado respirable (PM10) por concentración de veinticuatro horas y concentración anual. Esta zona representa el 78% del total de la población de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins afectando un total de 688.364 habitantes (Avendaño, 2013). Como medida para la reducción de emisiones, se implementa desde el año 2013 el Plan de Descontaminación atmosférica (PDA) del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins el que incluye a las comunas de Graneros, Rancagua, Doñihue, Olivar, Coltauco, Coínco, Quinta de Tilcoco, San Vicente de Tagua Tagua, Placilla, Mostazal, Codegua, Machalí, Malloa, Rengo, Requínoa, San Fernando y Chimbarongo. Este plan presenta dentro de sus principales objetivos el control de emisiones asociadas a las quemas agrícolas considerando que aportan en un 27% al PM10, luego de la combustión de leña que aporta un 64% (Avendaño, 2013).

Las medidas tomadas por el Plan de Descontaminación atmosférica del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins consideran la prohibición de quemas de rastrojo y de cualquier tipo de vegetación en terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud forestal comprendidos en la zona de saturación. Siendo el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) la entidad capaz de autorizar excepcionalmente la práctica de quema (Avendaño, 2013).

Es por esto, que se propone como alternativa a la quema de rastrojo el uso de digestato proveniente de biodigestores, el cual constituye un sistema anaeróbico de degradación de residuos tanto vegetales como animales por medio de consorcios bacterianos, produciéndose principalmente biogás y un efluente llamado digestato (FAO, 2011). Este último aplicado sobre el rastrojo de maíz podría permitir acelerar su degradación, ya que tal como indica Roper y Ladha (1995), el rastrojo corresponde a una fuente de macronutrientes para la obtención de energía de consorcios microbianos que degradan la biomasa aérea dejada en la superficie del suelo compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina.

Considerando que esta Región basa su economía en el rubro agroindustrial (Avendaño, 2013), es importante encontrar una alternativa a la práctica de la quema de rastrojos, permitiendo mejorar la calidad del aire y del suelo, la salud y calidad de vida de los habitantes de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

**Hipótesis**

El uso de digestato proveniente de biodigestores acelera la degradación de rastrojos de maíz.

**Objetivo General**

Evaluar la degradación de rastrojos de maíz con distintas dosis de digestato proveniente de un biodigestor de carga continua.

## **MATERIALES Y MÉTODO**

### **Lugar de estudio**

El estudio se realizó en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Comuna La Pintana, Región Metropolitana, Chile. Una parte de este fue llevada a cabo en terreno para la realización del ensayo y posteriormente las evaluaciones fueron realizadas en laboratorio, ambas a cargo del Centro de Agricultura y Medio Ambiente (AGRIMED) dentro de las dependencias de la Facultad.

### **Materiales**

Se utilizaron 15 kg de rastrojo de maíz Pioneer proveniente de la localidad de Placilla, ubicada en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Por otra parte, la aplicación de los tratamientos fue realizada con 15 litros diarios de digestato obtenidos del biodigestor de carga continua ubicado en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, además de 15 litros diarios de agua potable. Para la aplicación de ambos se utilizó una probeta graduada de 2 litros. Mientras que, para la realización de las parcelas se utilizó madera y plástico.

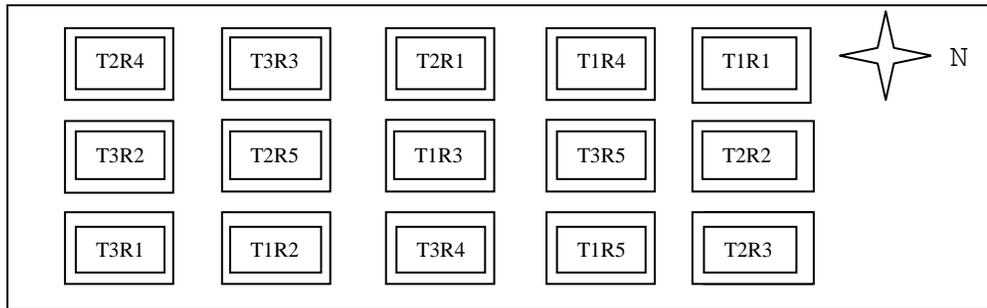
### **Metodología**

La unidad experimental consistió en una parcela de 1 m<sup>2</sup> separada a una distancia de 50 cm una de la otra, donde en éstas se aplicó 1 Kg de rastrojo de maíz, el cual fue previamente picado de tal forma de obtener un tamaño único de 8 cm (Cuadro 1). Se realizaron tres tratamientos, en un diseño completamente aleatorizado (DCA) con 15 unidades experimentales correspondiente a 5 repeticiones por tratamiento (Figura 1). Cada unidad experimental se cubrió con plástico, de modo de evitar la presencia de aves y roedores, como también el exceso de humedad por lluvia. Además, las parcelas se encontraban bajo un sombreadero con malla raschel.

La aplicación de las diferentes dosis de digestato en los tratamientos (Cuadro1) se realizó 3 veces por semana, durante cuatro meses (de julio a octubre) donde se regaron las parcelas con digestato y agua potable en un total de 48 aplicaciones. La aplicación se realizó a mediodía, mediante una probeta graduada de 2 litros; para el agua y el digestato respectivamente. El volumen aplicado de digestato y de agua potable responde a la necesidad de mantener el rastrojo bajo una condición óptima de humedad que favorezca la actividad microbiana aeróbica, ésta corresponde a un 70%. Franchi (2016) determina que para obtener dicho porcentaje de humedad en los tratamientos se requiere de la aplicación de 2 litros de digestato o agua según corresponda.

**Cuadro 1.** Tratamientos del ensayo

Tratamientos	Dosis	Tamaño rastrojo (cm)
T <sub>1</sub>	2 L de agua potable	8
T <sub>2</sub>	1 L digestato + 1 L agua potable	8
T <sub>3</sub>	2 L digestato	8

**Figura 1.** Disposición de los tratamientos con sus respectivas repeticiones.

Se evaluó la degradación del rastrojo de maíz con aplicación de distintas dosis de digestato mediante los parámetros de: Peso final, Tamaño de partícula, Contenido de agua, Sólidos volátiles, Estabilidad biológica, Relación carbono-nitrógeno, Carbono orgánico y Nitrógeno total, los cuales fueron determinados una vez finalizado el ensayo. Además, la determinación de Sólidos volátiles, Estabilidad biológica y Carbono orgánico fue también realizada durante el tercer mes de ensayo a modo de observar variaciones de estos parámetros a lo largo de la duración del ensayo.

Para determinar la calidad del rastrojo final, se realizó una medición de pH, Conductividad eléctrica, Fitotoxicidad y Fragilidad del material. Estos parámetros también fueron determinados inicialmente, de modo de comparar las características iniciales del rastrojo de maíz antes de la aplicación de los diferentes tratamientos. Por otra parte, el digestato utilizado fue analizado, midiendo propiedades como pH, Conductividad eléctrica, Sólidos volátiles y Relación carbono-nitrógeno a modo de caracterizarlo y definir su calidad según la Norma Chilena para calidad del digestato (INN, 2015b).

La metodología utilizada para la evaluación de cada parámetro fue la siguiente:

### **pH.**

Se determinó el pH de cada uno de los tratamientos como también para el rastrojo de maíz y digestato utilizado mediante el uso de pHmetro en una suspensión de dilución 1:5. Metodología propuesta por TMECC (2004).

**Conductividad eléctrica.**

Se determinó la conductividad eléctrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) de cada uno de los tratamientos como también para el rastrojo de maíz y digestato utilizado mediante el uso de conductivímetro en una suspensión de dilución 1:5. Metodología propuesta por TMECC (2004).

**Contenido de agua.**

El contenido de agua fue determinado mediante la metodología de TMECC (2004), el cual se llevó una muestra del material de cada tratamiento dentro del horno secador a  $65^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante. Se calculó la diferencia entre la masa inicial previa al secado y masa final luego de este proceso, expresada en porcentaje respecto al material seco.

**Tamaño de partícula.**

Se realizó un análisis de granulometría mediante el tamizado del material final de cada tratamiento. Para esto, se utilizó un set de tamices de diferente tamaño de abertura, los cuales fueron de 1 - 2 - 3,35 - 4,75 - 6,3 - 9,5 - 19 mm. Se tomó una muestra de rastrojo entre 50 y 200 g, tamizándolos durante dos minutos en un agitador electromagnético. Cada fracción del material que quedó en cada tamiz se pesó mediante una balanza digital y se determinó su proporción parcial en relación a la masa total de la muestra (Varnero, 2005).

**Porcentaje de sólidos volátiles.**

Para la obtención de sólidos volátiles o materia orgánica se llevó la muestra seca previamente a  $65^{\circ}\text{C}$  a una mufla a  $550^{\circ}\text{C}$  durante 2 horas y se calculó diferencia entre peso previo a la calcinación y posterior a la calcinación respecto al peso previo a la calcinación (TMECC, 2004).

**Relación C/N.**

Se establece un cociente entre el carbono orgánico y el nitrógeno total obtenido.

**Carbono orgánico.**

El carbono orgánico fue determinado a partir de la obtención de sólidos volátiles mediante la metodología TMECC (2004) y un factor de conversión de 1,8.

**Nitrógeno total.**

El nitrógeno total tanto para el rastrojo de maíz y los tratamientos fueron obtenidos mediante análisis de laboratorio Agrolab por el método de TMECC (2004)

**Estabilidad biológica.**

Se realizó un ensayo de respirometría para cada tratamiento mediante el desprendimiento de  $\text{CO}_2$  (TMECC, 2004). Esta medición que permite determinar la madurez del material fue realizada 2 veces durante el periodo de aplicación de digestato, la primera durante el tercer mes y la segunda durante el cuarto mes de aplicación.

**Fitotoxicidad.**

Para la determinación del nivel de fitotoxicidad de cada uno de los tratamientos se realizó un bioensayo de germinación in vitro con semillas de rabanito (*Raphanus sativus*). En el cual, se calculó el índice de germinación (IG), en base al porcentaje de germinación relativa (GR) y largo de radícula relativo (LR) (Varnero, 2005).

**Fragilidad del material**

Para la determinación de este parámetro se utilizaron probetas graduadas, a las cuales una vez pesadas en una balanza digital se les agregó rastrojo de cada uno de los tratamientos con sus respectivas repeticiones. Se vuelve a pesar las probetas, para calcular la masa del rastrojo que hay en esta y luego, con una masa de 1 kg amarrado de un cordel se realizaron 19 golpes sucesivos al rastrojo, dejando caer la masa desde una altura de 10 cm, y midiendo la altura (cm) en que el rastrojo fue disminuyendo. Se midieron los golpes N° 1, 4, 10 y 19.<sup>1</sup>

**Análisis estadístico**

Los resultados fueron evaluados mediante análisis de varianza (ANDEVA) a través del programa estadístico InfoStat para un diseño completamente aleatorizado (DCA) con un estadígrafo de LSD de Fisher a un nivel de confianza de 95%.

---

<sup>1</sup> Metodología propuesta por Oscar Seguel profesor del Departamento de Ingeniería y Suelos, Universidad de Chile.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización rastrojo de maíz (*Zea mays* L.)

Se realizaron diferentes análisis bioquímicos con el objetivo de caracterizar la materia prima utilizada, ya que en parte la velocidad de degradación del rastrojo dependerá de la calidad de este como fuente de alimento para los microorganismos (Corbella y Ullivarri, s.f.). En el Cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos.

**Cuadro 2.** Parámetros bioquímicos del rastrojo de maíz.

Parámetro	Unidad	Valor
pH		6,6
CE	dS m <sup>-1</sup>	1,1
Relación C/N		96,34
Contenido de agua	%	7,14
Sólidos volátiles	%	90,18
Carbono orgánico	%	50,10
Nitrógeno total	%	0,52

El rastrojo de maíz presentó un pH neutro y una baja conductividad eléctrica, según Luzio y Casanova (2006) de tipo no salino. Por otra parte, existe una alta relación C/N que se debe principalmente al encontrarse el rastrojo constituido en un 50% de carbono orgánico y un bajo porcentaje de N total. Lo que es habitual en rastrojos de maíz, donde se han descritos valores cercanos al 0,75% de N total (Varnero, 2005). Un bajo contenido de N provoca un menor desarrollo y multiplicación de microorganismos, por lo que la descomposición de residuos es mucho más lenta (FAO, 2011). Según Cabrera (2007 citado por Richmond y Rillo, 2009) ha descrito relaciones C/N para maíz de 100/1 y según FAO (2011) de 53/1. Esto depende del tipo y variedad de maíz analizado y que además, dicha relación aumenta a medida que madura la planta, principalmente al aumentar el contenido de lignina y celulosa (Corbella y Ullivarri, s.f.).

Por otra parte, el rastrojo de maíz presentó un bajo contenido de agua, menor al detallado por Varnero (2005) quien describe un 30% de humedad, esto se asocia al tiempo en que estuvo el rastrojo expuesto a la radiación solar luego de haber sido cosechado. Por otra parte, se presentó un alto contenido de sólidos volátiles o materia orgánica, lo que significa que existe una fuente importante de nutrientes como carbono y nitrógeno para los microorganismos descomponedores.

### Caracterización digestato

Además del biogás, principal producto obtenido en biodigestores mediante la degradación anaeróbica de residuos orgánicos, se obtiene un subproducto llamado digestato o efluente (FAO, 2011). El cual, constituye un material orgánico estabilizado, sin olor, libre de patógenos, con una alta actividad biológica y un alto contenido de nutrientes (Carrillo, 2003). De acuerdo a dichas características, el digestato es utilizado como acondicionador, ya que al restituir materia orgánica estabilizada al suelo mejora las propiedades físicas de este. También, puede ser usado como biofertilizante o bioabono, debido al aporte de minerales, especialmente de nitrógeno (Vásquez, 2009).

La composición química de bioabonos como es el caso del digestato es muy variable, ya que depende de la materia prima usada, las condiciones ambientales y del tiempo de estabilización de los desechos (González, 2002).

De acuerdo al Cuadro 3 se puede observar que el digestato presenta un pH moderadamente alcalino, con ligera salinidad y una baja densidad (Luzio y Casanova, 2006). Considerando que la Norma Chilena para calidad del digestato (INN, 2015b) solo solicita informar los parámetros de pH, conductividad eléctrica, relación C/N y contenido de nitrógeno disponible, es que se usó a modo de referencia los requisitos de calidad de Norma Chilena de compost (INN, 2015a). Según este, existe un rango adecuado para pH, donde el óptimo varía entre 5,5 - 8,5. En cuanto a la conductividad eléctrica en compost no existe requisito, por lo que se considera la tasa máxima de aplicación según la sensibilidad de plantas a la salinidad. En este caso, con una conductividad de  $2,7 \text{ dS m}^{-1}$  se permite una aplicación máxima de 8 y  $32 \text{ l m}^{-2}$  para plantas sensibles y tolerantes a la salinidad, respectivamente. La relación C/N debe ser menor o igual a 30, por lo que el digestato se encuentra en un nivel adecuado.

Según lo establecido por la Norma Chilena para calidad del digestato (INN, 2015b); este debe tener como mínimo entre un 30% y 40% de materia orgánica en base a materia seca; dado lo obtenido de las muestras de digestato analizadas se observa el bajo contenido que este presenta (Cuadro 3) lo que se debe a que el digestato se encuentra en forma líquida.

**Cuadro 3.** Parámetros bioquímicos del digestato.

Parámetro	Unidad	Valor
pH		8,0
CE	$\text{dS m}^{-1}$	2,7
Densidad	$\text{g cm}^{-3}$	1,0
Relación C/N		4
Sólidos volátiles	%	0,14
Carbono orgánico	%	0,08

El contenido de nitrógeno total es bajo (Cuadro 4), ya que según la NCh 2880 (INN, 2015a) se requiere de un valor mayor o igual al 0,5%. Mientras que la concentración de amonio debe ser menor o igual a 500 mg l<sup>-1</sup> y la relación NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> menor o igual a 3. Por lo que ambos valores se encuentran en condiciones óptimas. Este es un parámetro importante a considerar, ya que es usado en la NCh 2880 (INN, 2015a) como determinación de fitotoxicidad del material.

**Cuadro 4.** Contenido de nitrógeno del digestato.

	Unidad	Valor
Nitrógeno total	%	0,02
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg l <sup>-1</sup>	64
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg l <sup>-1</sup>	27
Relación NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		2,4

Como requisito sanitario la Normativa Chilena de digestato (INN, 2015b) establece como límite máximo en *Escherichia coli* y *Salmonella* sp de 1000 y 0,75 NMP (Número Más Probable) por gramo de digestato en base seca, respectivamente. El Cuadro 5 muestra que ambos se encuentran en un nivel inferior al límite establecido. Esto se atribuye gracias al proceso de digestión anaeróbica al interior del biodigestor que permite el control de microorganismos entéricos. Según Carrillo (2003), durante el proceso de digestión anaeróbica desaparece entre un 82% y 96% de *Salmonella* spp.

**Cuadro 5.** Parámetros microbiológicos del digestato.

Tipo de microorganismo	Unidad	Valor
Coliformes totales	NMP g digestato <sup>-1</sup>	0,045
Coliformes fecales	NMP g digestato <sup>-1</sup>	0,045
<i>Escherichia coli</i>	NMP g digestato <sup>-1</sup>	0,045
<i>Salmonella</i> spp		Ausencia

## Caracterización del material final obtenido por cada tratamiento.

### pH y conductividad eléctrica

El Cuadro 6 muestra los valores obtenidos de pH y conductividad eléctrica (CE) de los tratamientos al término del ensayo. Se observó un aumento de pH en todos los tratamientos respecto al rastrojo de maíz al inicio del ensayo, el cual mantenía un pH de 6,6. Esto, debido a las aplicaciones tanto de digestato como de agua. Sin embargo, los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> se mantienen en un rango neutro, mientras que T<sub>3</sub> posee un pH débilmente alcalino (Luzio y Casanova, 2006). De todas maneras, los tratamientos cumplen con la Normativa Chilena de Compost 2880 (INN, 2015a), la cual dicta un pH comprendido entre 5,5 y 8,5.

En cuanto a la conductividad eléctrica, esta se mantuvo dentro del rango no salino (Luzio y Casanova, 2006), experimentando un leve aumento en la salinidad de los tratamientos a mayor dosis de digestato, esto considerando que la conductividad eléctrica del rastrojo de maíz inicial fue de 1,1 dS m<sup>-1</sup>. Si bien la Normativa Chilena de Compost 2880 (INN, 2015a) no establece un requisito de conductividad eléctrica, esta recomienda una tasa máxima de aplicación de 15 y 60 l m<sup>-2</sup> de compost para plantas sensibles y tolerantes a la salinidad respectivamente, dado el rango de conductividad obtenido por los tratamientos.

**Cuadro 6.** pH y conductividad eléctrica de los tratamientos.

Tratamiento	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )
T <sub>1</sub>	7,3	1,2
T <sub>2</sub>	7,3	1,3
T <sub>3</sub>	7,4	1,7

### Peso final de los tratamientos

Al inicio del ensayo se aplicó un 1 kg de rastrojo de maíz por cada unidad experimental. El Cuadro 7 muestra los valores obtenidos una vez finalizado el ensayo, en este se observa que existió un aumento en el peso seco de los tratamientos con una mayor dosis de digestato. Además, el análisis estadístico realizado mostró diferencias significativas entre cada uno de estos tratamientos (Apéndice 2).

**Cuadro 7.** Peso seco final de los tratamientos.

Tratamientos	Peso (g)
T <sub>1</sub>	631,9 a
T <sub>2</sub>	1286,4 b
T <sub>3</sub>	2116,5 c

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa, según test LSD Fisher ( $p > 0,05$ )

En los tratamientos con aplicación de digestato T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, se observó un aumento en el peso seco final, siendo mayor en el caso del tratamiento T<sub>3</sub> el cual aumenta al doble su peso mostrando diferencias significativas respecto a T<sub>2</sub>, esto debido a que el digestato utilizado contenía sólidos en suspensión que fueron incorporándose a la unidad experimental a medida que se realizaban las aplicaciones de los tratamientos.

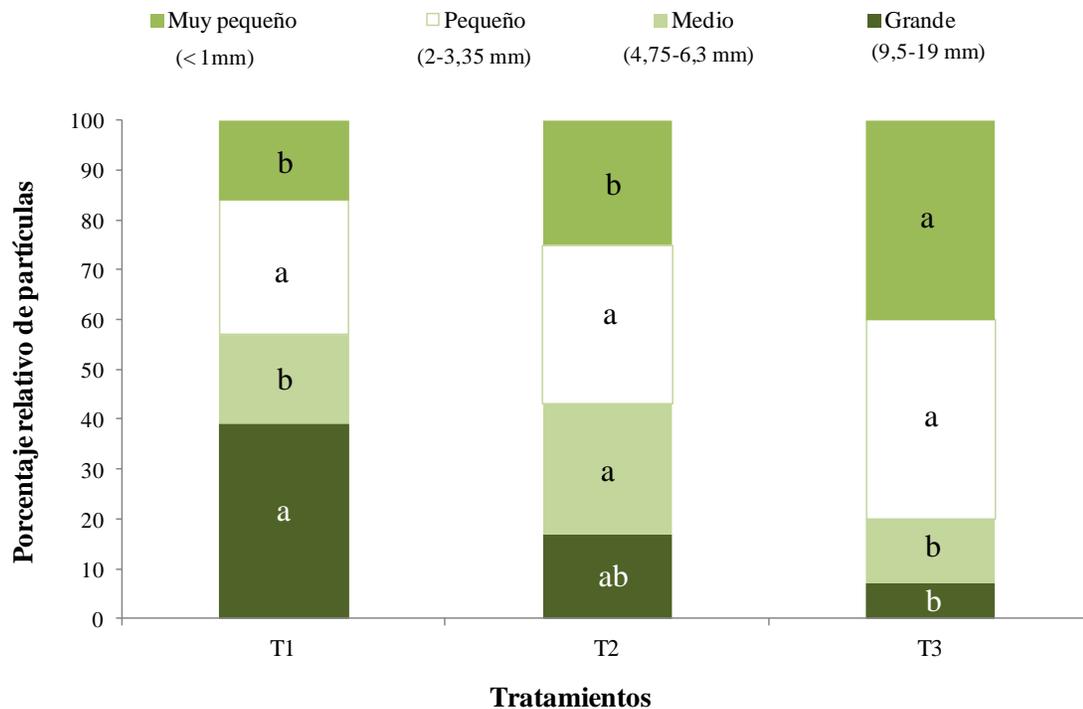
Por el contrario, en el tratamiento T<sub>1</sub> disminuyó el peso seco final, lo que se asocia a la aplicación frecuente de agua que permite la actividad microbiológica degradadora (Varnero, 2013a) y la solubilización de nutrientes y del protoplasma celular (Santibáñez, 2002). La cantidad de rastrojo degradado corresponde a la diferencia entre el material aplicado al inicio del ensayo (1 kilo de rastrojo de maíz) y lo que quedó al final de este, por lo tanto en el tratamiento T<sub>1</sub> se degradaron 368,1 g de rastrojo.

El estudio realizado por Richmond y Rillo (2009) muestra como disminuye el peso de rastrojos de cultivos en rotación de maíz, soja y trigo, siendo mayor la descomposición durante los primeros meses. Para este estudio, la tasa diaria de degradación de rastrojo de maíz fue de 17 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> durante la primera temporada.

Sin embargo, una vez finalizada las aplicaciones de digestato y agua en el tratamiento T<sub>1</sub> aún podía ser distinguible restos de maíz, principalmente de tallos con un tamaño idéntico al inicial en comparación con los tratamientos T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> que representaban un material de menor tamaño que al inicio, no siendo posible distinguir el rastrojo de maíz a simple vista (Ver Apéndice 1).

## Tamaño de partículas

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó una disminución en el tamaño de partícula a partir de una mayor dosis de digestato. Esto se ve reflejado en el tratamiento T<sub>3</sub>, el cual concentra su mayor porcentaje en el tamaño de partícula “Muy pequeño” y “Pequeño”, en contraste al tratamiento T<sub>1</sub>, que concentra su mayor porcentaje en el tamaño de partícula “Grande”, mientras que el tratamiento T<sub>2</sub> lo concentra en el tamaño de partícula “Pequeño” (Figura 2).



**Figura 2.** Tamaño de partícula de los tratamientos. Letras iguales en sentido horizontal indican diferencias estadísticas no significativas por cada categoría según test LSD Fisher ( $p > 0,05$ ).

El análisis estadístico se realizó por cada categoría de tamiz entre tratamientos, identificando que existen diferencias significativas entre los tamaño de partícula: Muy pequeño (0,05 – 1 mm), Mediano (4,75 – 6,3 mm) y Grande (9,5 – 19 mm), mientras que el tamaño de partículas Pequeño (2 – 3,35 mm) no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Apéndice 3).

Los valores obtenidos en el tamaño de partícula “Muy pequeño” para el tratamiento T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> fueron de un 16%, 25% y 40%, respectivamente, siendo T<sub>3</sub> el tratamiento que difiere estadísticamente del resto. Cabe destacar que dicho tratamiento concentra un 80% entre los tamaños de partícula “Pequeño” y “Muy pequeño”. Por el contrario, en el tratamiento que solo se aplicó agua (T<sub>1</sub>) existió una mayor cantidad de rastrojo con un tamaño de partícula “Grande”, lo que muestra una menor degradación del material al no existir un aporte del digestato.

La reducción en el tamaño de partículas muestra cómo el residuo orgánico inicial ha sido degradado, tal como expone Coberlla y Ullivarri (s.f), quienes plantean que cuanto menor es el tamaño de partícula de un residuo mayor es la velocidad de descomposición de éste, ya que aumenta la superficie de contacto para el ataque de microorganismos lo que favorece la fragmentación de paredes celulares con lignina, dejando expuesto tejidos a una mayor descomposición. Además, un menor tamaño en los residuos orgánicos incorporados al suelo permite una mayor retención de agua, un incremento en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y una mejor aireación en el suelo (Cruz-Crespo et al., 2013).

### Contenido de agua

El Cuadro 8 muestra el contenido de agua de cada uno de los tratamientos finalizado el ensayo. Se observó un aumento de este contenido en todos los tratamientos respecto al valor inicial del rastrojo de maíz, el cual fue de un 7,15%. Se entiende este aumento debido a las aplicaciones constantes tanto de agua como de digestato sobre los rastrojos. Sin embargo, el análisis estadístico indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos (Apéndice 4).

**Cuadro 8.** Contenido de agua final de los tratamientos.

Tratamientos	Contenido de agua (%)
T <sub>1</sub>	54,06 a
T <sub>2</sub>	57,50 a
T <sub>3</sub>	59,83 a

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa, según test LSD Fisher ( $p > 0,05$ )

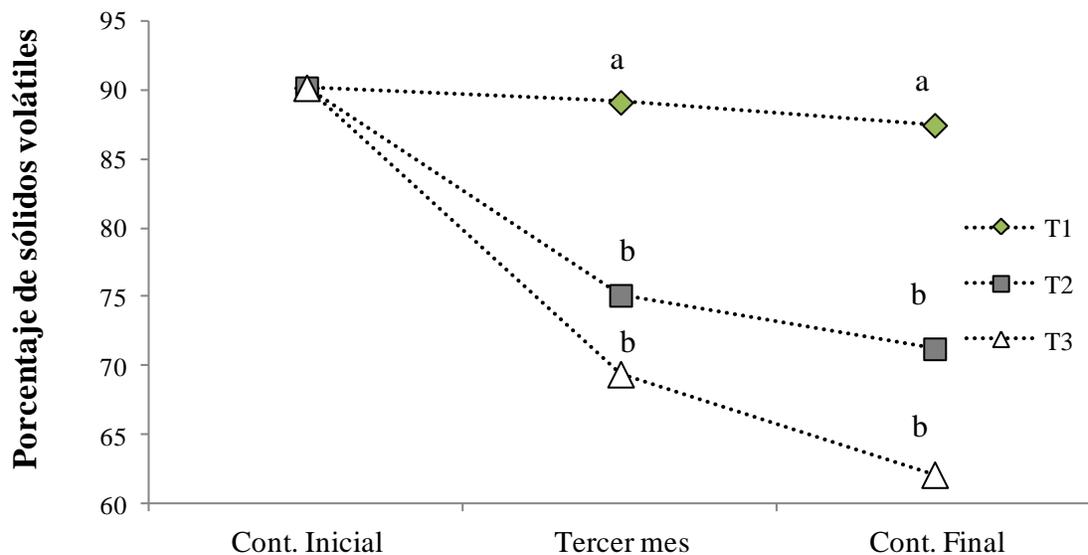
La importancia del contenido de agua radica en la relación directa que existe entre éste y la descomposición de los residuos, siendo máxima cuando el rastrojo se encuentra cercano a capacidad de campo (Maturana y Acevedo, s.f.). Además, el agua es considerada necesaria para el desarrollo de los microorganismos degradadores de residuos (Varnero, 2013a) y esencial para la solubilización de nutrientes y del protoplasma celular (Santibáñez, 2002). Varnero (2005) establece un contenido de agua óptimo para la degradación aeróbica entre un 45-50%, considerando que valores sobre los mencionados generan una menor aireación en los residuos favoreciendo el desarrollo de microorganismos anaeróbicos y mientras que valores inferiores al 10% provocan una disminución en la actividad microbiológica.

Ahora bien, finalizado el proceso de degradación según la Normativa Chilena de Compost 2880 (INN, 2015a) los materiales deben poseer un contenido de agua entre un 30-45% en base húmeda, por lo que todos los tratamientos exceden el porcentaje de humedad requerido.

### Sólidos volátiles

Existe efecto de los tratamientos para la variable sólidos volátiles o materia orgánica. Sin embargo, el tiempo resulto no ser significativo respecto a la medias de los tratamientos (Apéndice 5). Es decir, los sólidos volátiles no se ven afectados por el factor tiempo en este ensayo.

La Figura 3 muestra el contenido inicial de materia orgánica que presenta el rastrojo de maíz, el cual es de un 90,18%, este valor disminuye durante el transcurso de las aplicaciones de digestato hasta el cuarto mes de ensayo. Se observa por medio de la pendiente como T<sub>1</sub> es el tratamiento que posee una menor reducción del porcentaje de sólidos volátiles, disminuyendo solo un 2,72%, seguido de los tratamientos T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> los cuales disponen de un contenido final de materia orgánica de 71,24% y 62,11%, respectivamente. El análisis estadístico realizado muestra que existen diferencias significativas del tratamiento T<sub>1</sub> respecto a los tratamientos T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, mientras que estos últimos son estadísticamente iguales tanto para el tercer y cuarto mes del ensayo.



**Figura 3.** Porcentaje de sólidos volátiles en función del tiempo. Letras iguales en sentido vertical indica diferencias estadísticas no significativas según test LSD Fisher ( $p > 0,05$ ).

De acuerdo con la Norma Chilena de compost (INN, 2015a) se establece un contenido de materia orgánica mayor o igual al 20%, bajo este parámetro todos los tratamientos cumplen con la normativa. Esto es de gran importancia, ya que tanto la cantidad como calidad de materia orgánica influye sobre los diversos procesos físicos, químicos y biológicos en el sistema edáfico, representando la base de la fertilidad de los suelos (FAO, 2011).

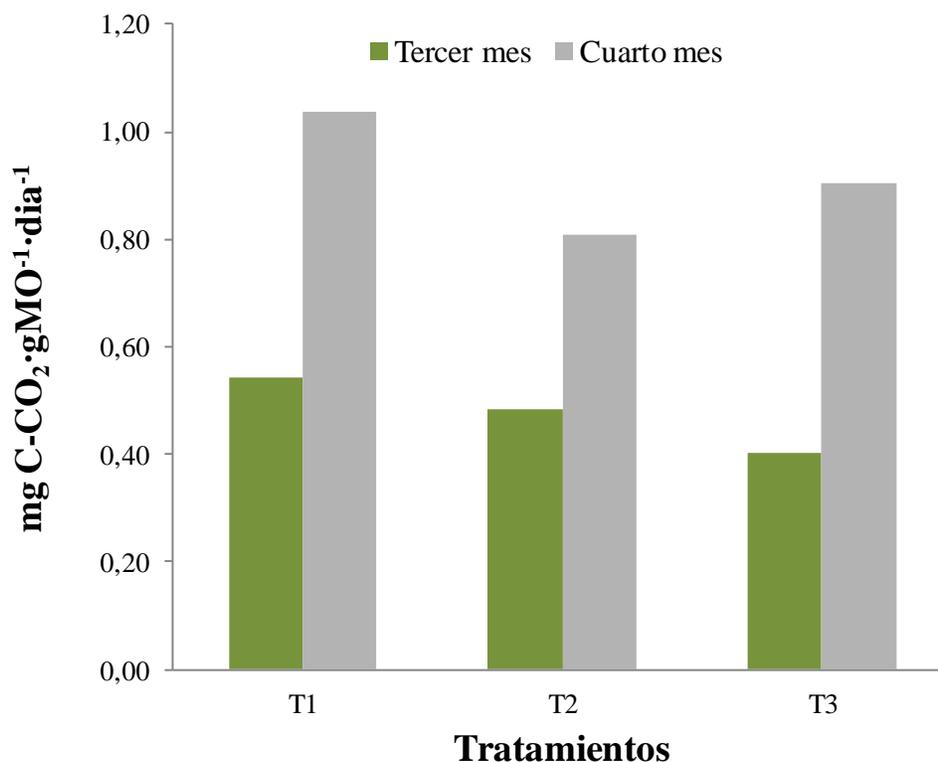
Al término del ensayo se esperaba que gracias a las aplicaciones de digestato se obtuviese un producto orgánico estable biológicamente y libre de patógenos. Por lo que para su determinación, se consideró el Índice de Madurez de Compost (Varnero, 2013b) de modo de determinar la calidad del producto final obtenido de cada tratamiento. Este índice considera la estabilidad biológica medida como desprendimiento de CO<sub>2</sub>, la relación C/N y la madurez química representada por el índice de germinación; ensayos que se muestran a continuación.

### **Estabilidad biológica**

El efecto de los tratamientos sobre la estabilidad biológica medida como desprendimiento de CO<sub>2</sub>, no mostró diferencias significativas, sin embargo existe un cambio de la estabilidad biológica en el tiempo, que resultó ser estadísticamente significativa (Apéndice 6), indicando que la actividad biológica es un factor dependiente del tiempo y que la aplicación de los tratamientos no incidiría en este parámetro.

Los resultados obtenidos representados por la Figura 4 muestran un aumento del desprendimiento de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, se esperaba una disminución de este durante el cuarto mes del ensayo, ya que según Faúndez (2005) la degradación final de residuos orgánicos consiste en una disminución en la disponibilidad de carbono lábil, un agotamiento de las fuentes nitrogenadas y resistencia a los materiales más complejos.

Ahora bien, se relaciona el aumento en el desprendimiento de CO<sub>2</sub> con el momento en que fue realizada la medición, la que puede variar si fue hecha antes o después de una aplicación de digestato, ya que este corresponde a una fuente de nutrientes y energía para el desarrollo microbiano (Saucedo, 2007) siendo el aumento del desprendimiento de CO<sub>2</sub> un reflejo de una mayor actividad biológica.



**Figura 4.** Estabilidad biológica de los tratamientos, medida en mg de carbono como CO<sub>2</sub> por gramo de materia orgánica por día, durante el tercer y cuarto mes del ensayo.

En general, la mineralización del carbono orgánico medido como desprendimiento de CO<sub>2</sub> varía de acuerdo a factores climáticos y bióticos del suelo, siendo la materia orgánica esencial, ya que corresponde a la fuente de energía que poseen los microorganismos (Varnero, 2008). Factores como temperatura y humedad también pudieron haber influido en los resultados obtenidos. De acuerdo a Richmond y Rillo (s.f), a altas temperaturas es mayor el metabolismo microbiano y por tanto la mineralización del carbono, reflejado en una mayor liberación de CO<sub>2</sub>, al igual que esto sucede en condiciones de suelo con alto contenido de humedad (Mora, 2006).

Por otra parte, se esperaba que dosis crecientes de digestato obtuvieran un mayor valor inicial en el desprendimiento de CO<sub>2</sub>, lo que finalmente se reflejara en una mayor estabilización de los residuos orgánicos. Quiroz y Varnero (2015) detallan el comportamiento de desprendimiento de CO<sub>2</sub> para la aplicación de diferentes dosis de purín de cerdo en suelos con extracción de áridos. Donde se observó un aumento en el desprendimiento de CO<sub>2</sub> con dosis crecientes de purín, ya que este corresponde a una fuente de carbono y nitrógeno fácilmente degradable para los microorganismos.

A pesar de lo anterior, al finalizar el ensayo todos los tratamientos se encuentran estables según la Normativa Chilena de Compost 2880 (INN, 2015a), la cual establece como límite un valor menor o igual a 8 mg de C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> de materia orgánica por día. Siendo los valores finales de desprendimiento medidos en mg C-CO<sub>2</sub> g MO<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para T<sub>1</sub> de 1,04, luego T<sub>3</sub> con 0,9 y finalmente T<sub>2</sub> con 0,81.

### Relación C/N

Se observó en todos los tratamientos una disminución en la relación C/N con respecto al rastrojo inicial de maíz que presentó una relación carbono/nitrógeno de 96/1. Es el tratamiento T<sub>3</sub> el que obtiene la mayor disminución, seguido de T<sub>2</sub> y T<sub>1</sub> (Cuadro 9). Siendo T<sub>1</sub> el tratamiento que presentó diferencias estadísticamente significativas respecto a T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> (Apéndice 7).

**Cuadro 9.** Relación C/N final de los tratamientos.

Tratamiento	C/N
T <sub>1</sub>	50,09 a
T <sub>2</sub>	35,08 b
T <sub>3</sub>	31,37 b

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa, según test LSD Fisher ( $p > 0,05$ )

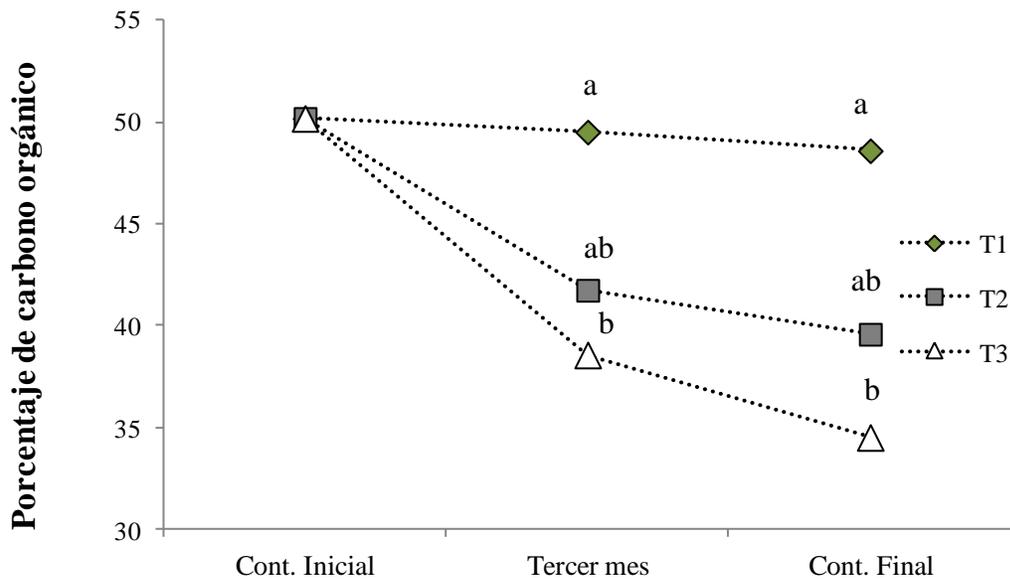
De acuerdo con FAO (sf), durante el proceso de descomposición de residuos orgánicos, el CO<sub>2</sub> es liberado y la relación C/N disminuye; además los microorganismos mineralizan el nitrógeno bajo la forma de amonio (NH<sub>4+</sub>) en el suelo, mientras que otros rápidamente convierten el amonio en nitrato (NO<sub>3-</sub>) el cual se encuentra disponible fácilmente para ser absorbido por las plantas.

La Norma Chilena de Compost 2880 (INN, 2015a) establece como criterio de madurez una relación C/N igual o menor a 30, lo que da cuenta que los tratamientos se encuentran poco estabilizados siendo mayor el caso del tratamiento T<sub>1</sub>. Cabe destacar, la alta resistencia a la descomposición que poseen residuos vegetales con una alta relación C/N como es el caso del maíz, lo que sugiere que la utilización de digestato permite una disminución más rápida de esta relación, otorgando al tratamiento T<sub>3</sub> un valor cercano a lo exigido por la normativa. Considerando al digestato como una fuente orgánica adicional que permitiría un mayor aprovechamiento para los microorganismos en la descomposición de residuos.

La importancia de que los residuos se encuentren estabilizados radica en una menor probabilidad de inmovilizar nitrógeno (Varnero, 2013b). Ya que relaciones C/N sobre 30 implica que los microorganismos utilicen el nitrógeno almacenado en el suelo provocando deficiencias de este elemento en los próximos cultivos que sean utilizados (FAO, sf).

## Carbono orgánico

En cuanto al carbono orgánico, la Figura 5 muestra el comportamiento de los tratamientos a partir del valor inicial de rastrojo de maíz utilizado el cual fue de 50,1%. Durante el tercer mes de ensayo el carbono orgánico disminuyó en 0,59%; 8,36%; 11,54% para los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, respectivamente. Mientras que, finalizado el ensayo los valores promedios de carbono orgánico para los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> fueron: 48,59%; 39,58%; 34,51%, respectivamente.



**Figura 5.** Porcentaje de carbono orgánico final de los tratamientos. Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa según test LSD Fisher ( $p > 0,05$ ).

Es el tratamiento T<sub>3</sub> el que presentó una mayor disminución en el contenido final de carbono orgánico con un total de 15,59% lo que muestra diferencias estadísticamente significativas respecto al tratamiento T<sub>1</sub> (Apéndice 8) que disminuyó solo en un 1,51%. Mientras que, el tratamiento T<sub>2</sub> disminuye en total un 10,52%.

Resultados similares fueron obtenidos por Quiroz y Varnero (2015), donde la mayor disminución de carbono orgánico fue obtenida por los tratamientos con mayor dosis de purín de cerdo. Según Plaza et al. (2007 citado por Quiroz y Varnero, 2015), la disminución de carbono orgánico se evidencia con la pérdida de carbono como CO<sub>2</sub> obtenida por la fracción lábil proporcionada por el purín de cerdo y por el carbono asimilado por la biomasa microbiana que lo utilizan como fuente de energía para el proceso de biodegradación oxidativa de moléculas orgánicas (Varnero, 1992), lo que indica una directa relación entre la disminución del carbono orgánico y una degradación en los residuos.

## Nitrógeno total

El rastrojo de maíz previo al ensayo presentaba un contenido de nitrógeno de 0,52%. Se observó un aumento de este valor en todos los tratamientos una vez finalizado el ensayo. Valores que se muestran en el Cuadro 10. Además, se observó una leve diferencia en el porcentaje de nitrógeno total en el tratamiento T<sub>1</sub> en que solo se aplicó agua.

**Cuadro 10.** Contenido de nitrógeno total de los tratamientos.

Tratamientos	Nitrógeno total (%)
T1	0,97
T2	1,1
T3	1,1

Un estudio realizado por Ernest et al. (2002) mostró como aumenta con el tiempo el contenido de N en rastrojos de maíz ubicados sobre la superficie del suelo debido a un aumento en la cantidad de nitrógeno inmovilizado. Recordar que el proceso de inmovilización ocurre en residuos con una alta relación C/N, provocando una lenta descomposición de éste, ya que al tener un bajo contenido de N, los microorganismos comienzan a utilizar el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) disponibles del suelo y del generado mediante la descomposición del rastrojo, para su transformación a N orgánico (Havlin et al., 2003). Durante la descomposición de rastrojos con alta relación C/N, el nitrógeno es liberado más lentamente que el carbono lo que produce un aumento en la concentración de N del residuo a medida que avanza el proceso (Maturana y Acevedo, s.f.).

La cantidad y duración del periodo de inmovilización dependen directamente del tipo de rastrojo presente (Maturana y Acevedo, s.f.). El estudio anterior muestra que el rastrojo de soya con una mayor concentración de N que la del maíz, le permitió una mayor tasa de descomposición, además de una disminución en el contenido de N inmovilizado (Ernest et al., 2002). Otros estudios han comprobado que la adición de N permitió una disminución en la relación C/N de trigo, lo que significó un aumento en la actividad microbiana y su tasa de descomposición (Bargar y Patil, 1980 citado por Acevedo, 2003).

A pesar de que el digestato contiene solo un 0,02% de nitrógeno total (Cuadro 4), se considera como un aporte de nitrógeno a los rastrojos. Esto, tomando en cuenta que son 200 mg l<sup>-1</sup> de nitrógeno que fueron aplicados periódicamente mediante el digestato en el caso del tratamiento T<sub>3</sub>, 3 veces por semana durante 4 meses constituyendo un aporte total de 19.200 mg de nitrógeno. Ahora bien, no se observaron diferencias en el contenido de nitrógeno entre los tratamientos T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, es decir entre aplicar 1 o 2 litros de digestato.

La Norma Chilena de Compost 2880 (INN, 2015a) establece un contenido de nitrógeno total mayor o igual a 0,5%, por lo que todos los tratamientos se encuentran en rangos adecuados.

### Índice de germinación

Todos los tratamientos presentaron un índice de germinación sobre 80%, indicando según Emino y Warman (2004) una ausencia de toxicidad (Cuadro 11), lo que para la Normativa Chilena de Compost (INN, 2015a) se encuentra también en un rango adecuado, posibilitando usar éste material como enmienda orgánica en el suelo sin afectar el desarrollo de cultivos. Sin embargo, existieron diferencias estadísticamente significativas, donde la ausencia de digestato representada por el tratamiento T<sub>1</sub> posee el menor porcentaje de germinación (Cuadro 12). Además, dicho tratamiento no muestra diferencias estadísticamente significativas respecto al tratamiento T<sub>3</sub>, diferenciándose solo de T<sub>2</sub> (Apéndice 9).

**Cuadro 11.** Nivel de Fitotoxicidad. Emino y Warman (2004)

Índice de Germinación (%)	Nivel de Fitotoxicidad
IG ≤ 50	Toxicidad severa
50 < IG > 80	Toxicidad moderada
IG ≥ 80	Ausencia de toxicidad

**Cuadro 12.** Índice de Germinación de los tratamientos

Tratamiento	Índice de Germinación (%)
T <sub>1</sub>	89,8 a
T <sub>2</sub>	100,0 b
T <sub>3</sub>	95,4 ab
Rastrojo de maíz	0

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa, según test LSD Fisher ( $p > 0,05$ )

Por otra parte, en el extracto de rastrojo de maíz no existió germinación alguna (Cuadro 12), por lo que se concluye una toxicidad severa en este tipo de rastrojo. Este alto nivel de fitotoxicidad se encuentra relacionado con la presencia de compuestos químicos llamados aleloquímicos, los cuales producen una inhibición en el crecimiento de una planta sobre otra, entre especies diferentes y entre cultivares de una misma especie (Guenzi et al., 1967 citado por Acevedo, 2003). Los aleloquímicos pueden ser liberados por la lixiviación directa de los residuos, por ejemplo durante periodos de lluvias o por la descomposición de residuos mediante la acción de microorganismos (Bhowmik y Doll, 1982).

Investigaciones anteriores, demuestran la presencia en rastrojos de maíz compuestos solubles en agua que inhiben la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de cultivos como alfalfa, avena, papa y maíz (García, 1983). Assumpcao (1979 citado por García, 1983) demostró que los residuos de maíz inhiben el crecimiento de plántulas de maíz. Según Rice (1984 citado por Acevedo 2003), son los ácidos fenólicos el principal

aleloquímico asociado al rastrojo de maíz. De los ácidos fenólicos, es el ácido p-cumárico el que se encuentra en mayor cantidad. Se estima que se acumulan alrededor de 32 Kg de ácido p-cumárico por día en rastrojo de maíz (García, 1983). También, Niemeyer (1988 citado por Acevedo, 2003) ha encontrado ácido hidroxámico, siendo el 2,4-dihydroxi-7-metoxi-1,4-benzoxazin-3-one (DIMBOA) el más abundante en maíz. Sin embargo, este ácido disminuye su contenido con la madurez de la planta siendo su mayor contenido a los pocos días después de la germinación en maíz, por lo que fue descartado como uno de los aleloquímicos causantes de la nula germinación de las semillas de rabanito en el ensayo de fitotoxicidad.

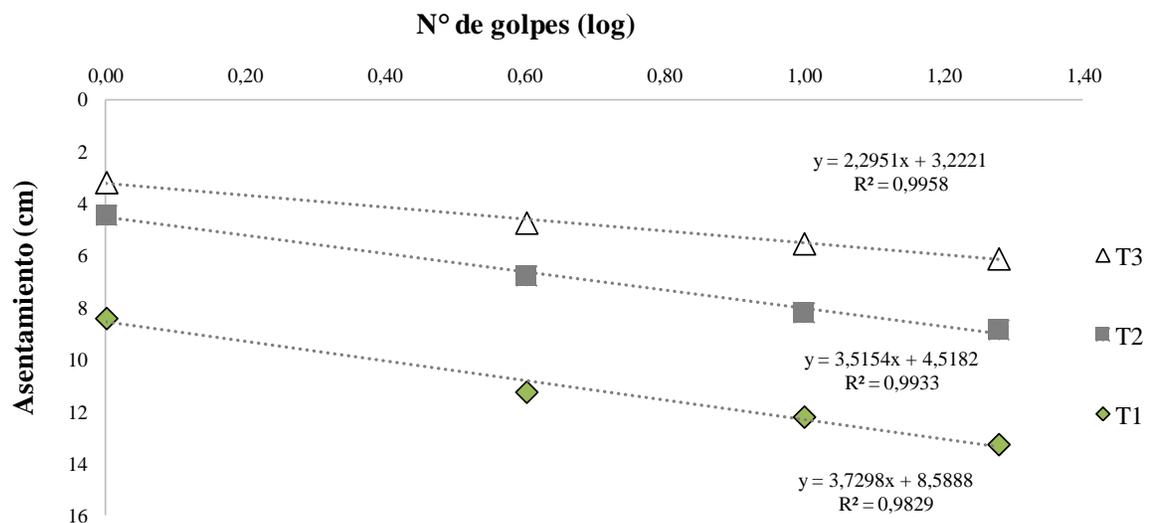
Otros 18 compuestos han sido identificados en la descomposición de rastrojo de maíz, salicilaldehído, resorcinol, p-hidroxibenzaldehído son algunos de estos, los cuales fueron fitotóxicos en bioensayos con semilla de lechuga (García, 1983).

La problemática es recurrente, en prácticas como la cero labranza donde los rastrojos son dejados sobre el suelo, se ha observado una disminución en los rendimientos de los cultivos próximos a causa del efecto alelopático de los mismos rastrojos (Acevedo, 2003). Así como también, es considerado como la principal causa en rotaciones continuas de maíz (García, 1983). Esta situación, se ve agudizada debido a la relación positiva existente entre los rendimientos de los cultivos y la fitotoxicidad de los rastrojos, sumado también a alta persistencia de toxicidad en el tiempo que presenta el maíz, siendo máxima a las 22 semanas de iniciada la descomposición del rastrojo (Guenzi et al., 1967 citado por Acevedo, 2003). Debido a lo anterior, es que los agricultores con mayor frecuencia optan por quemar los rastrojos de modo de evitar efectos alelopáticos que dificulten la germinación y establecimiento del próximo cultivo (Acevedo, 2003).

Considerando que la liberación de aleloquímicos se encuentra relacionada con la descomposición de los rastrojos (Acevedo y Silva, 2003), es posible recomendar la aplicación de digestato como manejo para acelerar dicha descomposición y con ello también la liberación y degradación de compuestos fitotóxicos.

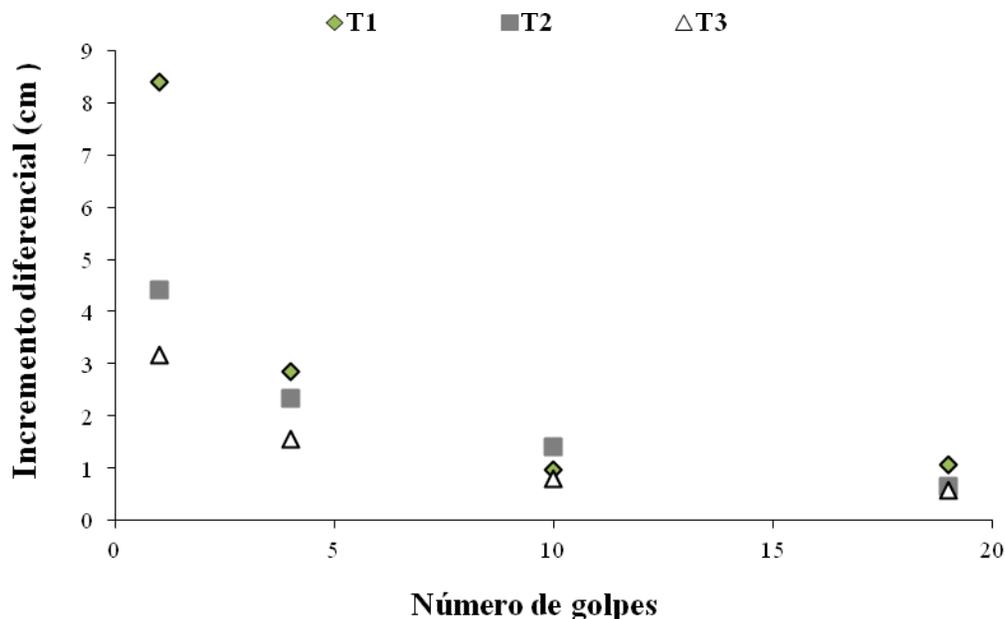
### Fragilidad del material

La Figura 6 muestra los resultados obtenidos a partir de la determinación de la fragilidad del material, como es en este caso, del rastrojo de maíz una vez finalizada la aplicación de digestato. La escala del eje X (número de golpes) se transformó logarítmicamente para linealizar la función y facilitar el análisis de los tratamientos. Se observó la sensibilidad de los tratamientos respecto al asentamiento o disminución de la altura en cm por efecto de una energía aplicada, estandarizada como un número de golpes realizados. Fue T<sub>1</sub> el tratamiento más sensible, ya que por cada golpe sucesivo tuvo un mayor asentamiento, que queda demostrado en una mayor pendiente. Además, posee un mayor asentamiento con un único golpe (log 0), disminuyendo 8,4 cm en comparación con los tratamientos T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, que disminuyeron 4,2 y 3,2 cm respectivamente. En cuanto al tratamiento T<sub>2</sub>, no existieron diferencias estadísticamente significativas respecto al tratamiento T<sub>3</sub>, solo diferenciándose ambos tratamientos, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> respecto a T<sub>1</sub> en cada uno de los golpes (Apéndice 10). Finalmente, T<sub>3</sub> fue el tratamiento con menor sensibilidad a las cargas externas, representada por una menor disminución en altura por cada golpe realizado y por tanto, una menor pendiente respecto al resto de los tratamientos.



**Figura 6.** Asentamiento(cm) por N° de golpes (log) de cada tratamiento.

Por otra parte, la Figura 7 muestra el incremento diferencial respecto el número de golpes, es decir, el aporte neto al asentamiento que realizó cada uno de los golpes, donde se observó que el primer golpe fue el más importante, ya que provoca un mayor asentamiento en todos los tratamientos. Sin embargo, a partir del golpe número 10 no existieron diferencias entre los tratamientos, observándose un incremento mínimo en el asentamiento. Por tanto, el mayor impacto en el asentamiento fue proporcionado por los primeros 10 golpes, destacando el primer golpe.



**Figura 7.** Incremento diferencial (cm) por N° de golpes de cada tratamiento.

La principal importancia de los resultados obtenidos, radica en que los tratamientos en que se utilizó digestato (tratamientos  $T_2$  y  $T_3$ ), otorgaron un material de menor fragilidad en comparación con el material obtenido del tratamiento  $T_1$ , en que solo se utilizó agua sobre el rastrojo, retardando su estabilización biológica en relación a los tratamientos con digestato. Esto se traduce en que los tratamientos  $T_2$  y  $T_3$  permitirán una mayor resistencia al asentamiento, previniendo la compactación del suelo ante la acción de labores mecánicas de labranza o tránsito de animales. Este aporte se asocia a los beneficios otorgados por los rastrojos como fuente de materia orgánica, efecto que ya había sido determinado por Zhang et al. (2005), quienes establecieron que una enmienda orgánica estabilizada genera una mayor resistencia mecánica y menor compresibilidad en relación a una enmienda fresca.

En prácticas de cero labranza, los rastrojos son dispuestos sobre la superficie del suelo. Dichos rastrojos consisten en un suministro de materia orgánica que permite un aumento en la fertilidad y una reducción en la erosión del suelo, entre otros beneficios (Acevedo y Silva, 2003; Jordán et al., 2010). Además, la materia orgánica es determinante en la estructura y porosidad del suelo, otorgando una mayor estabilidad a los agregados y una mayor aireación, infiltración y disponibilidad de agua en el suelo (Coberlla y Ullivarri, s.f; Mulumba y Lal, 2008). Por su parte, el proceso de compactación genera un deterioro en la estructura del suelo, principalmente en el sistema poroso, donde se observa una pérdida de macro poros (Seguel, 2015). El fenómeno de compactación depende de factores antrópicos, como se mencionó anteriormente, debido a la acción de labores mecánicas de labranza (Hamza y Anderson, 2005), pero también pueden existir procesos de asentamiento, en el que la densificación ocurre sin la acción de cargas mecánicas externas y corresponde a un proceso mediado por factores climáticos de humectación y secado del suelo, en el que la presencia del mulch previene el secado excesivo del suelo (Horn, 1993 citado por Poblete, 2011).

Investigaciones realizadas muestran que la aplicación de enmiendas orgánicas en conjunto con la incorporación de rastrojo de trigo sobre camellones permitieron una disminución en la compactación del suelo por medio de una disminución en la densidad aparente (Seguel, 2012). Casanova et al. (2008) señala que el primer impacto en la aplicación de materia orgánica es una disminución en la densidad aparente y con ello según Acevedo y Silva (2003) un aumento en la porosidad y una disminución en la resistencia a la penetración. Esto podría ser comparado con los tratamientos en que se aplicó digestato, los cuales podrían ser utilizados en suelo como medida preventiva al asentamiento del suelo o bien, ser utilizados en suelos compactados, mejorando las propiedades físicas de este.

## CONCLUSIONES

Los resultados señalan que los tratamientos con aplicación de digestato favorecen la degradación del rastrojo de maíz en comparación al tratamiento en que solo se aplicó agua. Sin embargo, no existe un aumento en la degradación con dosis crecientes de digestato. Por lo tanto, se recomienda usar dosis entorno a 1 litro de digestato.

El uso del digestato favorece la reducción del tamaño de partícula, materia orgánica, carbono orgánico y relación C/N. Obteniéndose un material final que bajo la Norma Chilena de Compost se encuentra estable biológicamente y en ausencia de compuestos fitotóxicos representado por un alto porcentaje en el índice de germinación. Por tanto, es posible evitar el uso del fuego en la quema de rastrojo con la aplicación de digestato, siendo además beneficiosa su posterior incorporación en el suelo para prevenir procesos de asentamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

Acevedo, E. y P. Silva. 2003. Agronomía de la cero labranza. Santiago: FIA. Universidad de Chile. 132p. (Serie Ciencias agronómicas N° 10)

Acevedo, E. 2003. Sustentabilidad en cultivos anuales: Cero labranza, Manejo de rastrojos. Santiago. Universidad de Chile. 184p. (Serie Ciencias agronómicas N° 8)

Astudillo, B. C y R. G Fuentealba. (Eds). 2011. Estrategia Regional de Desarrollo 2011-2020. [en línea]. Rancagua, Chile: División de Planificación y Ordenamiento Territorial. 205p. Recuperado en: <[http://www.delibertador.cl/documentos/ERD\\_2011-2020.pdf](http://www.delibertador.cl/documentos/ERD_2011-2020.pdf)> Consultado el: 5 de julio de 2015.

Avendaño, P. F. (Ed). 2013. PDA (Plan de Descontaminación Atmosférica) del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins. [en línea]. Rancagua, Chile: Ministerio del Medio Ambiente. 64p. Recuperado en: <[http://www.sinia.cl/1292/articles-55516\\_Libro\\_PPDA\\_Valle\\_OHiggins.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-55516_Libro_PPDA_Valle_OHiggins.pdf)> Consultado el: 5 de julio de 2015.

Bhowmik, P and J. Doll. 1982, jul, aug. Corn and Soybean response to allelopathic effects of weed and crop residues. *Agronomy Journal*, (74): 601-606.

Carrillo, L. 2003. Rumen y biogás. Microbiología agrícola. Salta, Argentina: Universidad Nacional de Salta. 16p.

Casanova, M., J, Haberland., O, Seguel., C, Kremer., W, Vera. y C, Benavides.2008. Estándares y criterios de rehabilitación de suelos sometidos a extracción de áridos. Santiago, Chile: Universidad de Chile. 16p.

Coberlla, R. y J. Ullivarri. s.f. Materia orgánica del suelo. Tucumán, Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. 10p.

CONAF (Corporación Nacional Forestal), Chile. 2015. Sistema de Asistencia a Quema. [en línea]. Santiago, Chile: CONAF, Ministerio de Agricultura. Recuperado en: <<http://saq.conaf.cl/login/index.php?nocache=165278879955d3cef3f0c34>>. Consultado el: 05 de julio de 2015.

Cruz-Crespo, E. 2013, jul, sep. Sustratos en la horticultura. *Revista Biociencias*.(2): 17-26.

Emino, E. and P. Warman. 2004. Biological Assay For Compost Quality. *Compost Science and Utilization*, 12 (4): 342-348.

Ernest, O., O, Betancur., R, Borges. 2002. Descomposición de rastrojo de cultivos en siembra sin laboreo: trigo, maíz, soja y trigo después de maíz o de soja. *Agrociencia*, 6 (1): 20-26.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Chile. 2011. Manual de biogás. Santiago, Chile: FAO. 119p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Chile. sf. Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible: Materia orgánica y actividad biológica. Santiago, Chile: FAO. 28p.

Franchi, J. 2016. Aplicación de distintas dosis de digestato para acelerar la degradación de rastrojo de trigo. Memoria Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 44h.

Faúndez, P. 2005. Actividad microbológica global en suelos acondicionados con biosólidos cloacales frescos y compostados con residuos forestales. Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención Manejo de Suelos y Aguas. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 61h

Garcia, A. 1983. Seasonal variation in allelopathic effects of corn residue on corn and cress seedlings. Iowa, United States: Iowa State University. 107p.

González, P. 2002. Obtención de acondicionadores orgánicos mediante biodigestión anaerobia a partir de desechos forestales y su evaluación como acondicionadores y biofertilizantes de suelo. Memoria Ingeniero Forestal. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. 88h.

Hamza, M. and W. Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. *Soil and tillage research*, 82: 121-145.

Havlin, J., J, Beaton., S, Tisdale., W, Nelson. 2013. Soil fertility and fertilizers. 8<sup>th</sup> Edition. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey. United State of America. 516p.

Instituto Nacional de Normalización, Chile. NCh 2880. Compost- Clasificación y requisitos. Santiago, Chile: INN, 2015a. 17p.

Instituto Nacional de Normalización, Chile. NCh 3375. Calidad de digestato. Santiago, Chile: INN, 2015b. 13p.

Jordán, A.; L. Zavala and J. Gil. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena*, 81 (1): 77-85.

Luzio, W. y M. Casanova. (Eds). 2006. Avances en el conocimiento de los suelos de Chile. Santiago: SAG. Universidad de Chile. 393p.

Maturana, M. y E. Acevedo. sf. Cambios en la fertilidad del suelo asociado a cero labranza. Santiago, Chile: Universidad de Chile. 111p.

Mora, J. 2006. La actividad microbiana: Un indicador integral de la calidad del suelo. Caldas, Columbia. Universidad de Caldas. 6p.

Mulumba, L. and R. Lal. 2008. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and tillage research*, (98): 106-111.

ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias), Ministerio de Agricultura, Chile (Ed.). 2015, jul. Maíz: producción, precios y comercio exterior. (Bol.Men.) Santiago, Chile: ODEPA. 21p.

Poblete, L. 2011. Modificación de las propiedades físicas de un suelo de textura fina de la III Región cultivado con vid, mediante la incorporación de materia orgánica en la sobre hilera. Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención Manejo de Suelos y Aguas. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 47h.

Quiroz, M. y M. Varnero. 2015, jul, sept. Microbiological activity and N transformation in a soil subject to aggregate extraction amended whit pig slurry. *Chilean Journal of Agricultural Research*, (3): 350-357

Ranum, P., Peña-Rosas, J. P., and Garcia-Casal, M. N. 2014. Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1): 105-112.

Richmond, P. y S. Rillo. 2009. Caracterización de la dinámica de incorporación de residuos de cosecha al suelo en un sistema agrícola en siembra directa en el centro-oeste de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina: INTA. 5p.

Roper, M. M., Ladha, J. K. 1995. Biological N<sub>2</sub> fixation by heterotrophic and phototrophic bacteria in association with straw. *Plant and Soil*, 174(1-2): 211-224.

Santibañez, C. 2002. Diseño y evaluación de una planta piloto de compostaje para tratamiento de residuos de origen vegetal. Memoria Químico Ambiental. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. 106h.

Saucedo, G. 2007. Degradación y estabilización acelerada de residuos sólidos urbanos (RSU) por tratamientos aerobios y anaerobios. Iztapalapa, México: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. 54p.

Seguel, O. 2012, jun. Mejoramiento de las propiedades físicas del suelo mediante ácido húmico y rastrojo de trigo. *Redagrícola*, (46): 12-13.

Seguel, O. 2015. La compactación del suelo en sistemas agrícolas. *Redagrícola*, (73): 58-59

Taladriz, A. y A. Schwember. 2012, dic. ¿Qué hacer con los rastrojos? *Agronomía y Forestal UC*, (46): 24-28.

The composting council research and education foundation (TMECC). 2004. [en línea]. Test methods for the examination of composting and compost. Recuperado en: <<http://compostingcouncil.org/test-methods-parameters/>>. Consultado el: 15 de octubre de 2014.

Varnero, M. 1992. El suelo como sistema biológico. (Cap. 2, pp. 197-214). En: Vera, W. (Ed). Suelos, una visión actualizada del recurso. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 345p.

Varnero, M. 2005. V taller de producción de compost. Aspectos técnicos, legales y desafíos. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. 25p.

Varnero, M. 2008. Nuestra diversidad biológica: Bacterias en ambiente terrestre. (Cap. 2, pp. 382-385). En: Rovira, J; J.Ugalde y M. Stutzin (Eds.) Biodiversidad de Chile, Patrimonio y desafíos. 2ª. Ed. Santiago, Chile: CONAMA. 636p.

Varnero, M. 2013a. Determinación de las necesidades de materias primas para compostar en función de la relación carbono-nitrógeno y del contenido de humedad. Santiago, Chile: Universidad de Chile. 6p.

Varnero, M. 2013b. Índice de madurez del compost. Santiago, Chile: Universidad de Chile. 4p.

Vásquez, H. 2009. El biogás como fuente de energía renovable para Chile. Memoria Ingeniero Civil Industrial. Santiago, Chile: Departamento de Industrias, Universidad Técnica Federico Santa María. 207h

Zhang, B.; R. Hom and P. Hallet. 2005. Mechanical resilience of degraded soil amended with organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, 69 (3):864-871.

## APÉNDICES

A1. Rastrojo de maíz finalizado los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> respectivamente.



**A2. Análisis de varianza y Test LSD Fisher para Peso final.****Análisis de varianza**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	5961596,12	2	2980798	55,7	<0,0001
Error	588834,12	11	53530		
Total	6550430,24	13			

**Test LSD Fisher**

Tratamiento	Medias	n	E.E
T <sub>1</sub>	631,9	5	103,47 a
T <sub>2</sub>	976,7	4	115,68 b
T <sub>3</sub>	2116,5	5	103,47 c

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa ( $p>0,05$ )

**A3. Análisis de varianza y Test LSD Fisher para tamaño de partículas.****Análisis de varianza tamaño Grande (19 - 9,5mm)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	0,28	2	0,14	5,32	0,0221
Error	0,32	12	0,03		
Total	0,61	14			

**Test LSD Fisher tamaño Grande (19 - 9,5mm)**

Tratamiento	Medias	n	E.E
T <sub>1</sub>	0,39	5	0,07a
T <sub>2</sub>	0,17	5	0,07ab
T <sub>3</sub>	0,06	5	0,07 b

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa ( $p>0,05$ )

## Análisis de varianza tamaño Mediano (6,3 - 4,75mm)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	0,04	2	0,02	6,64	0,0115
Error	0,03	12	2,9E-03		
Total	0,07	14			

## Test LSD Fisher tamaño Mediano (6,3 - 4,75mm)

Tratamiento	Medias	n	E.E
T <sub>1</sub>	0,18	5	0,02 b
T <sub>2</sub>	0,26	5	0,02a
T <sub>3</sub>	0,13	5	0,02 b

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa ( $p > 0,05$ )

## Análisis de varianza tamaño Pequeño (3,35 - 2mm)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	0,04	2	0,02	1,67	0,2288
Error	0,16	12	0,01		
Total	0,20	14			

## Test LSD Fisher tamaño Pequeño (3,35 - 2mm)

Tratamiento	Medias	n	E.E
T <sub>1</sub>	0,27	5	0,05a
T <sub>2</sub>	0,32	5	0,05a
T <sub>3</sub>	0,40	5	0,05a

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa ( $p > 0,05$ )

## Análisis de varianza tamaño Muy pequeño (1 - 0,05mm)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	0,22	2	0,11	11,75	0,0012
Error	0,12	13	0,01		
Total	0,34	15			

## Test LSD Fisher tamaño Muy pequeño (1 - 0,05mm)

Tratamiento	Medias	n	E.E
T <sub>1</sub>	0,16	5	0,04 b
T <sub>2</sub>	0,25	5	0,04 b
T <sub>3</sub>	0,43	6	0,04a

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa ( $p > 0,05$ )

**A4. Análisis de varianza y Test LSD Fisher para Contenido de agua.**

## Análisis de varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	0,01	2	3,4E-03	0,18	0,8410
Error	0,17	9	0,02		
Total	0,18	11			

## Test LSD Fisher

Tratamiento	Medias	n	E.E
T <sub>1</sub>	0,46	4	0,07a
T <sub>2</sub>	0,43	4	0,07a
T <sub>3</sub>	0,40	4	0,07a

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa ( $p > 0,05$ )

**A5. Modelo mixto y Test LSD Fisher para Sólidos Volátiles**

## Modelo mixto

	F-valor	p-valor
Tratamiento	6,38	0,0189
Tiempo	1,67	0,2318
Tratamiento: Tiempo	0,55	0,5975

## Test LSD Fisher

Tratamiento	Medias	n	E.E
T <sub>1</sub>	1,24	4	0,06a
T <sub>2</sub>	1,05	4	0,06 b
T <sub>3</sub>	0,95	4	0,06 b

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa ( $p > 0,05$ )

**A6. Modelo mixto para Estabilidad biológica**

## Modelo mixto

	F-valor	p-valor
Tratamiento	0,35	0,7168
Tiempo	9,72	0,0124
Tratamiento: Tiempo	0,17	0,8496

**A7. Análisis de varianza y Test LSD Fisher para relación C/N****Análisis de varianza**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	761,49	2	380,75	9,32	0,0064
Error	367,77	9	40,86		
Total	1129,26	11			

**Test LSD Fisher**

Tratamiento	Medias	n	E.E
T <sub>1</sub>	50,09	4	3,20a
T <sub>2</sub>	35,98	4	3,20 b
T <sub>3</sub>	31,37	4	3,20 b

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa ( $p>0,05$ )

**A8. Análisis de varianza y Test LSD Fisher para Carbono Orgánico****Análisis de varianza**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	0,16	2	0,08	2,96	0,0937
Error	0,30	11	0,03		
Total	0,46	13			

**Test LSD Fisher**

Tratamiento	Medias	n	E.E
T <sub>1</sub>	1,30	5	0,91 a
T <sub>2</sub>	1,57	4	0,91 b
T <sub>3</sub>	1,41	5	0,91 ab

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa ( $p>0,05$ )

**A9. Análisis de varianza y Test LSD Fisher para Índice de germinación.****Análisis de varianza**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	0,16	2	0,08	2,96	0,0937
Error	0,30	11	0,03		
Total	0,46	13			

## Test LSD Fisher

Tratamiento	Medias	n	E.E
T <sub>1</sub>	1,30	5	0,91 a
T <sub>3</sub>	1,41	5	0,91 a b
T <sub>2</sub>	1,57	4	0,91 b

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa ( $p>0,05$ )

**A10.** Análisis de varianza y Test LSD Fisher para Fragilidad del material.

## Análisis de varianza golpe N° 1

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	74,81	2	37,40	6,77	0,0107
Error	66,28	12	5,52		
Total	141,09	14			

## Test LSD Fisher golpe N° 1

Tratamiento	Medias	n	E.E
T <sub>1</sub>	8,4	5	1,05 a
T <sub>2</sub>	4,42	5	1,05 b
T <sub>3</sub>	3,16	5	1,05 b

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa ( $p>0,05$ )

## Análisis de varianza golpe N° 4

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	111,24	2	55,62	11,2	0,0018
Error	59,61	12	4,97		
Total	170,85	14			

## Test LSD Fisher golpe N° 4

Tratamiento	Medias	n	E.E
T <sub>1</sub>	11,24	5	1,00 a
T <sub>2</sub>	6,76	5	1,00 b
T <sub>3</sub>	4,72	5	1,00 b

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa ( $p>0,05$ )

## Análisis de varianza golpe N° 10

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	113,10	2	56,55	13,74	0,0008
Error	49,38	12	4,11		
Total	162,47	14			

## Test LSD Fisher golpe N°10

Tratamiento	Medias	n	E.E
T <sub>1</sub>	12,20	5	0,91 a
T <sub>2</sub>	8,18	5	0,91 b
T <sub>3</sub>	5,52	5	0,91 b

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa ( $p > 0,05$ )

## Análisis de varianza golpe N°19

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	130,52	2	65,26	15,59	0,0006
Error	53,68	12	4,47		
Total	184,20	14			

## Test LSD Fisher golpe N°19

Tratamiento	Medias	n	E.E
T <sub>1</sub>	13,26	5	0,95 a
T <sub>2</sub>	8,84	5	0,95 b
T <sub>3</sub>	6,10	5	0,95 b

Letras iguales en sentido vertical indican diferencia no significativa ( $p > 0,05$ )