



UNIVERSIDAD DE CHILE



Ministerio del  
Medio  
Ambiente

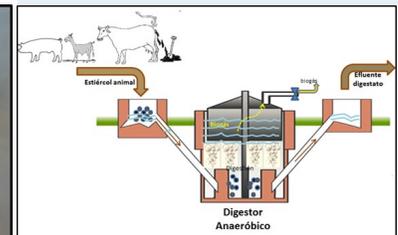
Gobierno de Chile

MANUAL DE APLICACIÓN

# ALTERNATIVA A LA QUEMA DE RASTROJOS MEDIANTE INOCULANTES PROVENIENTES DE BIODIGESTORES

Proyecto financiado por  
Fondo de Protección Ambiental  
Ministerio del Medio Ambiente

[www.fpa.mma.gob.cl](http://www.fpa.mma.gob.cl)





# **ALTERNATIVA A LA QUEMA DE RASTROJOS MEDIANTE INOCULANTES PROVENIENTES DE BIODIGESTORES**

Proyecto financiado por  
Fondo de Protección Ambiental  
Ministerio del Medio Ambiente

[www.fpa.mma.gob.cl](http://www.fpa.mma.gob.cl)

## **EDITORES:**

**María Teresa Varnero Moreno**

**Hugo Sierra Goldberg**

**Fernando Santibáñez Quezada**

**Ian Homer Bannister**

**EQUIPO EJECUTOR**  
**PROYECTO NAC –I-023-2014**

**Directora Proyecto:**  
Prof. María Teresa Varnero Moreno

**Coordinador Proyecto:**  
Ing. Agr. Dr. Hugo Sierra Goldberg

**Asesores :**  
Ing. Agr. Dr. Ian Homer Bannister  
Ing. Agr. Dr. Fernando Santibáñez Quezada.

**Memorantes:**  
Javier Franchi Pérez            Camila Merlo Bravo  
Pietro Delucchi Squirell       Catalina Durán Lefimil  
René Medina López            Claudia Quintanilla Jaure

**Coordinador Logístico:**  
Ing. Agr. Plutarco Dinamarca Vásquez

**CENTRO AGRIMED:**  
**Facultad Ciencias Agronómicas**  
**Universidad de Chile**  
**Santiago Chile,**  
**2015**

**ISBN: 978-956-19-0952-6**  
**P.I.: 264294**

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra sin la autorización expresa de sus autores.

**Diseño y diagramación:**  
**Hugo Sierra G.**

*www.fpa.mma.gob.cl*

# INDICE

INTRODUCCIÓN	5
1. ANTECEDENTES GENERALES SOBRE PRÁCTICAS DE QUEMA DE RASTROJOS.	7
2. ALTERNATIVAS A LA QUEMA RASTROJOS: SOLUCIONES VIABLES CON DIGESTATO	13
3. DIGESTIÓN ANAERÓBICA O FERMENTACIÓN	15
4. DEFINICIÓN DE BIOGÁS	17
5. COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS	18
6. USOS Y APLICACIONES	19
7. BIOGÁS COMO UNA ERNC	20
8. PROCESO DE PRODUCCIÓN	20
9. FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO	25
La temperatura	25
Naturaleza y composición de las materias primas	27
Rangos de pH y alcalinidad	28
10. MATERIAS PRIMAS PARA SU PRODUCCIÓN	29
11. QUE ES UN BIODIGESTOR	31
Tipos de biodigestores	24
Funcionamiento de biodigestor	33
Operación digestor de carga semi continua con fermentación en una etapa	34
12. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - QUÍMICAS DEL DIGESTATO	35
Calidad del digestato	37
Estabilidad biológica de los rastrojos orgánicos	37
Determinación de fitotoxicidad en residuos orgánicos procesados	38
Usos del digestato	40
Resultados de análisis químico en muestra de digestato	42
Resultados de análisis bacteriano en muestra de digestato	43
Experiencias con uso de digestato en Chile, y desarrollo de cartillas y posters	44

## INDICE (continuación)

13. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DEGRADACIÓN RASTROJOS DE CEREALES EN LABORATORIO	52
Efecto de tratamientos de rastrojos de cereales y otros rastrojos con diversas dosis de digestato	54
14. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN RASTROJO DE CEREALES EN PARCELAS PILOTO	56
15. DIFUSIÓN A USUARIOS AGRICULTORES Y ALUMNOS	59
Tríptico para agricultores	59
Tríptico Escuela	60
16. CONCLUSIONES	61
17. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	63
18. ANEXOS	67

## INTRODUCCION

El uso del fuego en la quema de rastrojos es una práctica ancestral muy arraigada en Chile, donde entre julio 2013 y junio 2014 se quemaron 243.788 ha de rastrojos de origen agrícola (Ruiz et al, 2015).

Los rastrojos son las partes de los cultivos anuales que quedan en el campo después de la cosecha, constituyendo entre un 55% y un 75% de la biomasa total, estimándose en Chile para trigo, avena y maíz en cuatro millones de toneladas por año, lo que representa 113 mil toneladas equivalentes de los principales nutrientes (CONAF, 2003).

Aunque existe disposición de los agricultores para llegar a algún acuerdo que permita una solución a este problema, para ellos es un tema económi-

co que los afecta sobre todo en los sectores de secano: “Enfardar o amontonar los rastrojos resulta caro, y los rastrojos no se pueden incorporar al suelo, ya que se requiere de humedad para que esto se pueda hacer.”

Por otro lado, no se puede sembrar con mucha paja en el suelo, ya que se inhibe el crecimiento de los cultivos de rotación (PORTAL DEL CAMPO, 2013).

En este sentido es clave que los procesos productivos se realicen de manera sostenible, lo que incluye la implementación de técnicas y tecnologías que permitan una mejor relación con el medio ambiente.

Una alternativa al fuego es provocar una rápida degradación de este material de modo de dejarlo

en condiciones de ser incorporado al suelo.

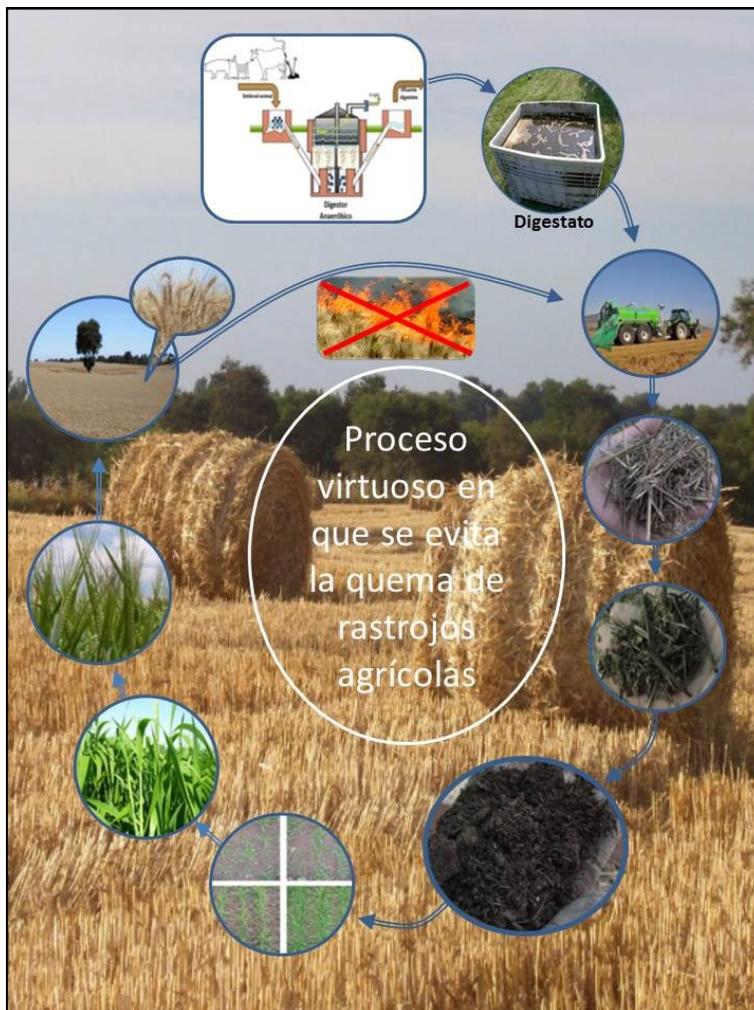
Un acelerante de la degradación del material orgánico es el digestato proveniente de digestores anaeróbicos, el cual dispone de abundantes consorcios microbianos especializados en la degradación de las moléculas orgánicas. Por eso, a través del proyecto “*Desarrollo de una tecnología alternativa a la quema de rastrojos mediante inoculantes provenientes de biodigestores*” se validó el uso de digestatos como acelerador del proceso de biodegradación de los residuos orgánicos agrícolas, permitiendo su reuso y disminuyendo con ello, la quema y emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

# 1. ANTECEDENTES GENERALES SOBRE PRÁCTICAS DE QUEMAS DE RASTROJOS



*“Evitando quemar los residuos respiraremos aire más puro....*

*El guano de los animales puede tener una utilidad insospechada.....*



*Con un digestor podemos convertirlo en energía y en un líquido que nos ayuda a degradar los residuos...*

*Con los residuos podemos hacer más productivo el suelo y obtendremos mejores rendimientos agrícolas.*



Dentro de las prácticas agrícolas en la producción de cereales y granos, la quema de rastrojos constituye la forma más económica de eliminar los residuos, sobre todo para los productores de bajos recursos. Pero, esa práctica contribuye fuertemente al deterioro ambiental, siendo una de las

fuentes principales de emisiones de gases y material particulado (MP). Además, genera riesgo de incendio, impactando la calidad de vida, y el funcionamiento del ecosistema (INE, 2007).

*“Evitando quemar los residuos respiraremos aire más puro”*

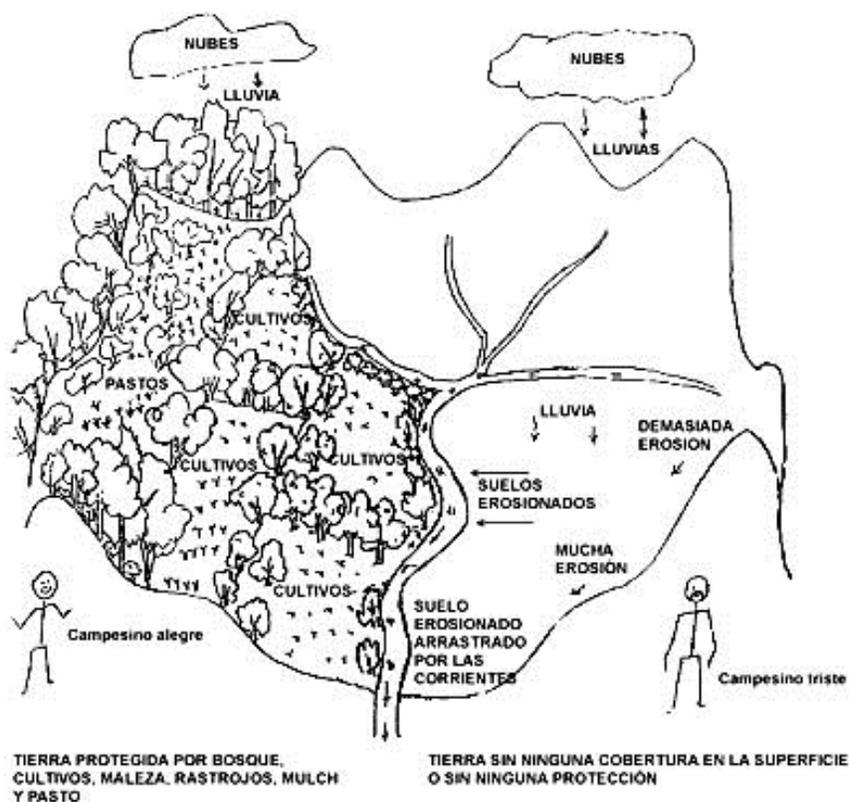
*Chile cuenta con 955.593 hectáreas de cereales y otras 52.000 con leguminosas (ODEPA, 2015), donde entre el 80 y 90% de los rastrojos se quema.*

Chile cuenta con 955.593 hectáreas (ha) de cereales y otras 52.000 con leguminosas (ODEPA, 2015), donde entre el 80 y 90% de los rastrojos se quema.

Estudios en la Región de O’Higgins han demostrado que las quemas agrícolas aportan el 29% del total de MP10 y el 46,5% de MP2,5 presentes en el aire. De acuerdo con esto, la autoridad regional ha trabajado para normar

esta práctica por medio de los DS 100 y DS 276, que prohíben la quema en ciertos meses del año y establecen la práctica de “quemas controladas” (CONAMA, 2009 y 2013).

El resultado es que localmente la superficie dañada por quema de rastrojos en suelos agrícolas en el período 2003-2008 sumó 56.032 ha, con promedio anual de 11.392 ha. De eso, el 58%



en superficie en quemas agrícolas lo llevó la provincia de Colchagua, seguido de 33% por provincia de Cachapoal, y el 19% por provincia Cardenal Caro (CONAF, 2009).

Las consecuencias negativas de esa práctica común son entre otras:

⇒ El incremento de las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>, óxidos nitrosos, MP,

entre otros, que atrapan la energía electromagnética emitida por la superficie de la tierra, lo que está causando preocupación por el impacto que ello tiene sobre el clima [efecto invernadero, GEI]. Más, que no se logra la incorporación de esos elementos a la biomasa edáfica.

Las consecuencias negativas de la quema de rastrojos son entre otras:

El incremento de las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>, óxidos nitrosos, MP que tienen efecto negativo en el clima.

La pérdida irrecuperable de suelos ..... , donde se deja la superficie descubierta con lo que se maximiza el golpe directo de las lluvias y la consecuente erosión.

La pérdida de materia orgánica .....siendo imposible convertirla a humus, y

La pérdida de los principales nutrientes..., y el abundante contenido de nutrientes de los rastrojos.



- ⇒ La pérdida irrecuperable de suelos sobre todo aquellos en pendientes, donde se deja la superficie descubierta con lo que se maximiza el golpe directo de las lluvias y la consecuente erosión.
- ⇒ La pérdida de materia orgánica de cereales estimada en 4 millones

*“Con los residuos podemos hacer más productivo el suelo y obtendremos mejores rendimientos agrícolas”*

*“En cultivo de trigo, con rendimiento promedio de 70 qqm/ha, la quema de rastrojos significa pérdidas de 58 unidades/ha de nitrógeno (N), más 2,7-9,2 unidades/ha de fósforo (P) y 47-137 unidades/ha de potasio (K).”*



- ton/año (INE, 2007), siendo imposible convertirla a humus, conocido como un buen retentor de nutrientes y agua, y eso se asocia a la creciente baja de los rendimientos de granos, y
- ⇒ La pérdida de los principales nutrientes estimado en 113.000 ton/año (INE, 2007), considerando el alto costo de los fertilizantes y el abundante contenido de nutrientes de los rastrojos.

En cultivo de trigo (*Triticum aestivum* o *T. vulgare*), con rendimiento promedio de 70 qqm/ha, la quema de rastrojos significa pérdidas de 58 unidades/ha de nitrógeno (N), más 2,7-9,2 unidades/ha de fósforo (P) y 47-137 unidades/ha de potasio (K) (Taladriz y Schwember, 2012). Las pérdidas de humus en trigo son de 750-1.020 k/ha, y en maíz (*Zea mays*) de 1.100-2.045 k/ha (Martínez, 2015 Richmond y Rillo, 2010).



Imagen de <http://www.conaf.cl/category/incendios/> de fecha 16 abril 2015

En este sentido, es clave que los procesos productivos se realicen de manera sostenible, lo que incluye la implementación de técnicas y tecnologías que permitan una mejor relación con el medio ambiente. Las cantidades de nutrientes que pueden retornar anualmente al suelo, como residuo vegetal, es considerable.

En este estudio se mencionó en página 6 el tema de la contaminación provocada por la quema de residuos agrícolas. Dada esta condición, es pertinente desarrollar técnicas y tecnologías que puedan ser aplicadas a nivel comunal para evitar la contaminación que se produce al medio ambiente por la emisión GEI.

*.....es clave que los procesos productivos se realicen de manera sostenible, lo que incluye la implementación de técnicas y tecnologías que permitan una mejor relación con el medio ambiente.*

*Una alternativa al fuego es provocar una rápida degradación de este material de modo de dejarlo en condiciones de ser incorporado al suelo.*



*Digestato*

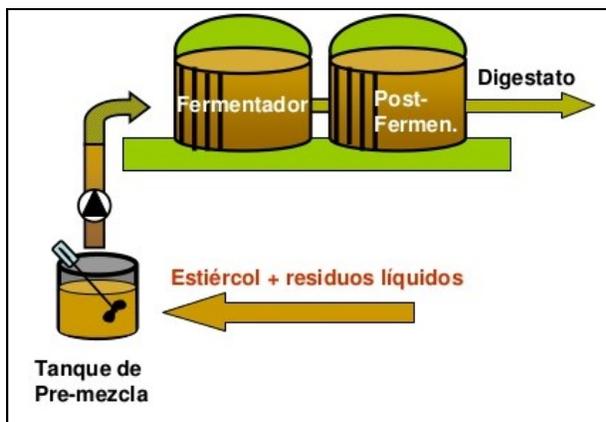
## 2. ALTERNATIVAS A LA QUEMA RASTROJOS: SOLUCIONES VIABLES CON DIGESTATO

En la actualidad es lo que incluye la imple- relación con el medio  
clave que los procesos mentación de técnicas ambiente.  
productivos se realicen y tecnologías que  
de manera sostenible, permitan una mejor



*Equipos aplicadores de digestato en cultivos opara rastrojo de cereales. Imágenes obtenidas de:  
[http://www.darlingtonandstockontimes.co.uk/farming/11563337.Bauer\\_puts\\_new\\_farm\\_tankers\\_on\\_show/](http://www.darlingtonandstockontimes.co.uk/farming/11563337.Bauer_puts_new_farm_tankers_on_show/)*

*“El digestato proveniente de digestores anaeróbicos, es un acelerante de la degradación del material orgánico ”*



*Imagen es obtenidas de ANIA. En: <http://es.slideshare.net/ainiappt/la-produccion-de-biogs-a-partir-de-residuos-ganaderos>*

Una alternativa al fuego es provocar una rápida degradación de este material de modo de dejarlo en condiciones de ser incorporado al suelo.



Un acelerante de la degradación del material orgánico es el digestato proveniente de digestores

anaeróbicos, el cual dispone de abundantes consorcios microbianos especializados en la degradación de las moléculas orgánicas.

A través de este proyecto se evaluó el uso del digestato como acelerador del proceso de biodegradación de los residuos orgánicos agrícolas, permitiendo su reúso y disminuyendo con ello, la quema y emisión de GEI.

Para esto, el proyecto se

propuso:

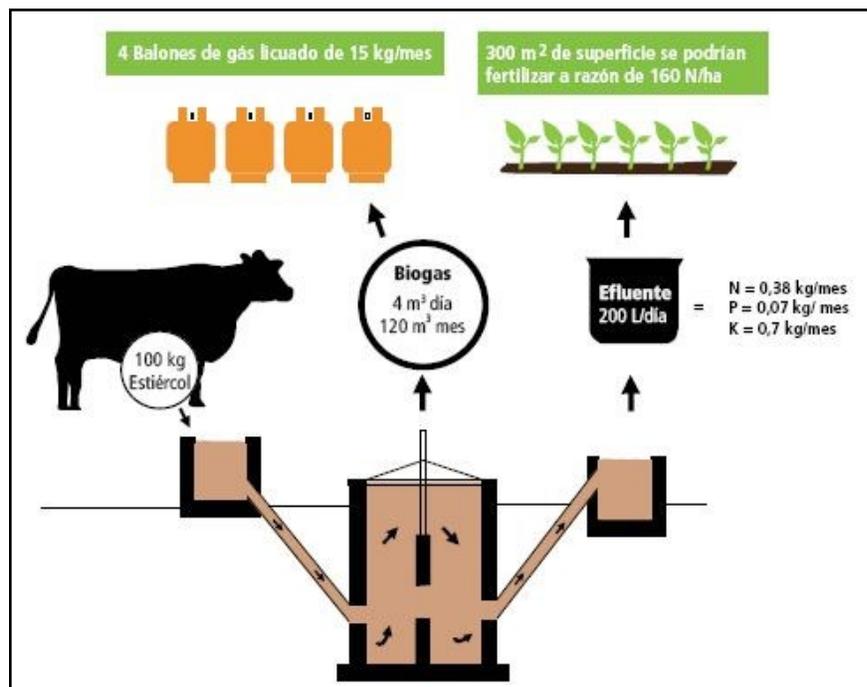
- ⇒ Caracterizar y evaluar la dosis de digestato necesaria para acelerar los procesos de biodegradación.
- ⇒ Evaluar la reducción de los GEI liberados al medio ambiente en los tratamientos con aplicación de digestato, y
- ⇒ Replicar la experiencia en comunidades que generen rastrojos agrícolas.

### 3. DIGESTIÓN ANAERÓBICA O FERMENTACIÓN METANOGENICA

*La digestión anaeróbica es un proceso de descomposición controlada de materiales orgánicos sin presencia de oxígeno a temperaturas adecuadas.*

*Se aplica para generar biogás, .....*

La digestión anaeróbica es un proceso de descomposición controlada de materiales orgánicos sin presencia de oxígeno a temperaturas adecuadas. Se aplica para generar biogás, una mezcla de metano y dióxido de carbono. Este proceso de degradación genera además el digestato.

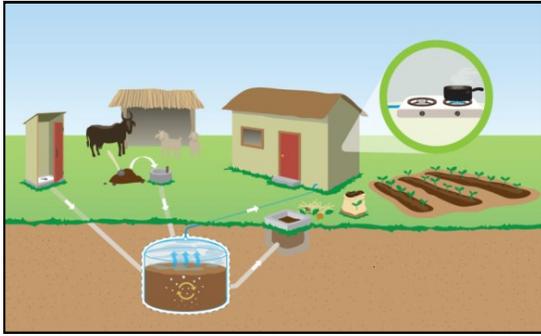


*Dibujo tomado de María Teresa Varnero, 2012: Manual de Biogás (MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF*

Como materiales orgánicos biodegradables para producir biogás se emplean residuos sólidos municipales, residuos agrícolas, residuos de la

industria alimentaria.

El proceso de digestión anaeróbica de los residuos orgánicos, generalmente, ocurre al interior de un



biodigestor y la de descomposición y del degradación de la tiempo de retención materia orgánica hidráulica del residuo está en función orgánico en el digestor. de las materias primas utilizadas, la temperatura

---

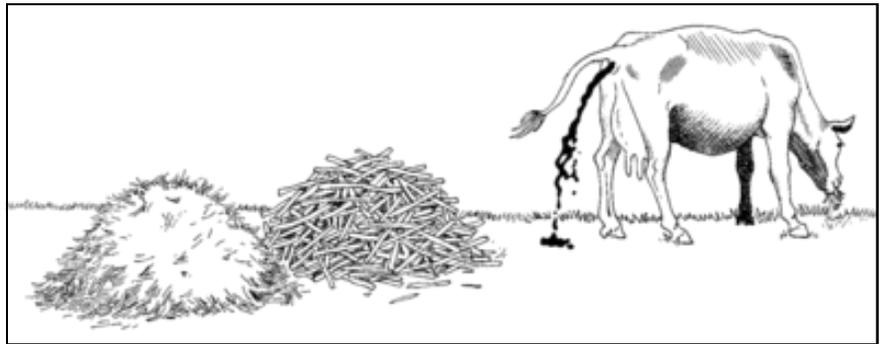
*“La degradación de la materia orgánica está en función de las materias primas utilizadas, la temperatura de descomposición y del tiempo de retención hidráulica del residuo orgánico en el digestor.”*

---

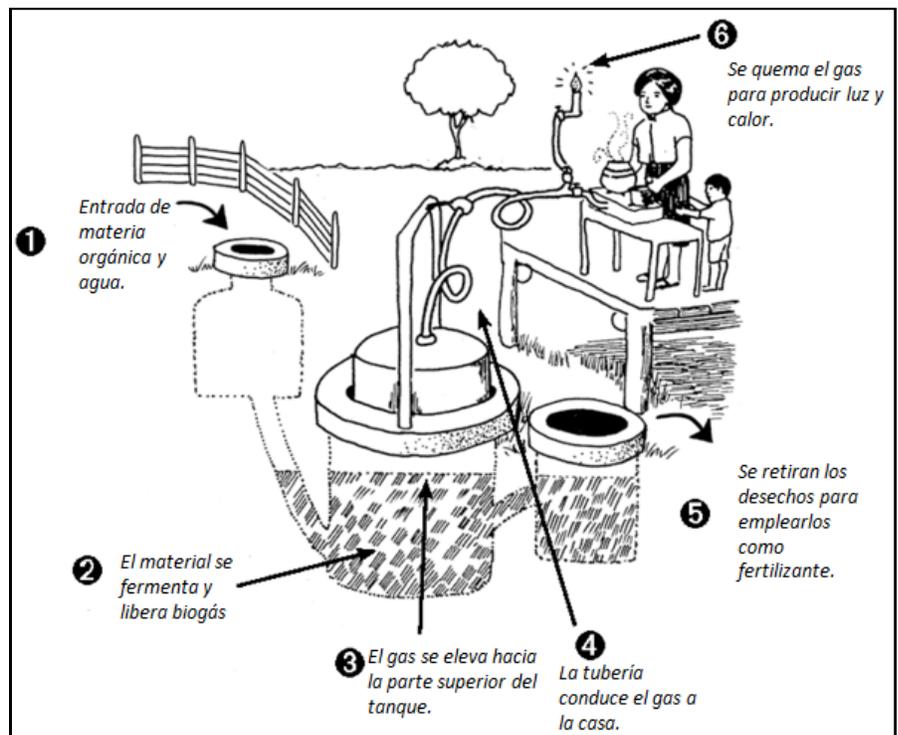
## 4. DEFINICIÓN DE BIOGÁS

El biogás es una mezcla de gases que se genera durante la digestión anaerobia, constituida principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Se genera por la degradación microbiana de materiales orgánicos de origen vegetal y/o animal en ausencia de aire, denominada fermentación o metabolismo anaeróbico.

“El biogás es una mezcla de gases que se genera durante la digestión anaerobia, constituida principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).”



Fuentes comunes de biomasa para producir biogás. Adaptado por Hugo Sierra de <http://es.hesperian.org/hhg/>



Diseño de una planta básica de biogás para pequeños propietarios del entorno rural.

Adaptado por Hugo Sierra de <http://es.hesperian.org/hhg/>

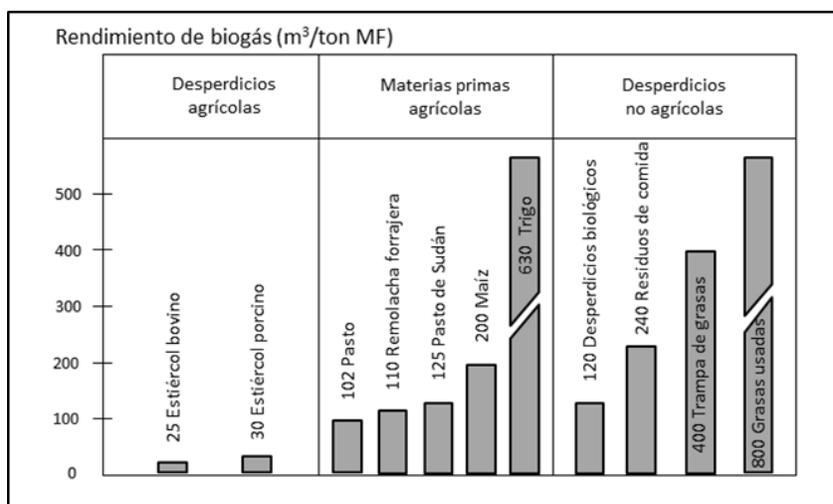
## 5. COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS

La naturaleza de las materias primas y las condiciones operativas utilizadas en la digestión anaerobia, determinan la composición química del biogás.

El biogás bruto se compone principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ , 35–75%) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ , 15–60%). Trazas de otros componentes pueden estar presentes como vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ , 5–10%), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ , 0,005–

2%), siloxanos (0–0,02%), hidrocarburos saturados y halogenados (compuestos orgánicos volátiles, VOCs, < 0,6%), amoníaco ( $\text{NH}_3$ , < 1%), oxígeno ( $\text{O}_2$ , 0–1%), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ , < 0,6%) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ , 0–2%).

La concentración de cada compuesto varía dependiendo de la fuente del gas y la composición de la biomasa donde algunos ejemplos se reportan en la figura de abajo.



Rendimiento promedio de varios substratos. Materia fresca (MF). Adaptado por H. Sierra de Weiland 2010.

“El biogás bruto se compone principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ , 35–75%) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ , 15–60%). Trazas de otros componentes pueden estar presentes como vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ , 5–10%), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ , 0,005–2%), siloxanos (0–0,02%), hidrocarburos saturados y halogenados (compuestos orgánicos volátiles, VOCs, <0,6%), amoníaco ( $\text{NH}_3$ , < 1%), oxígeno ( $\text{O}_2$ , 0–1%), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ , < 0,6%) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ , 0–2%)”

## 6. USOS Y APLICACIONES

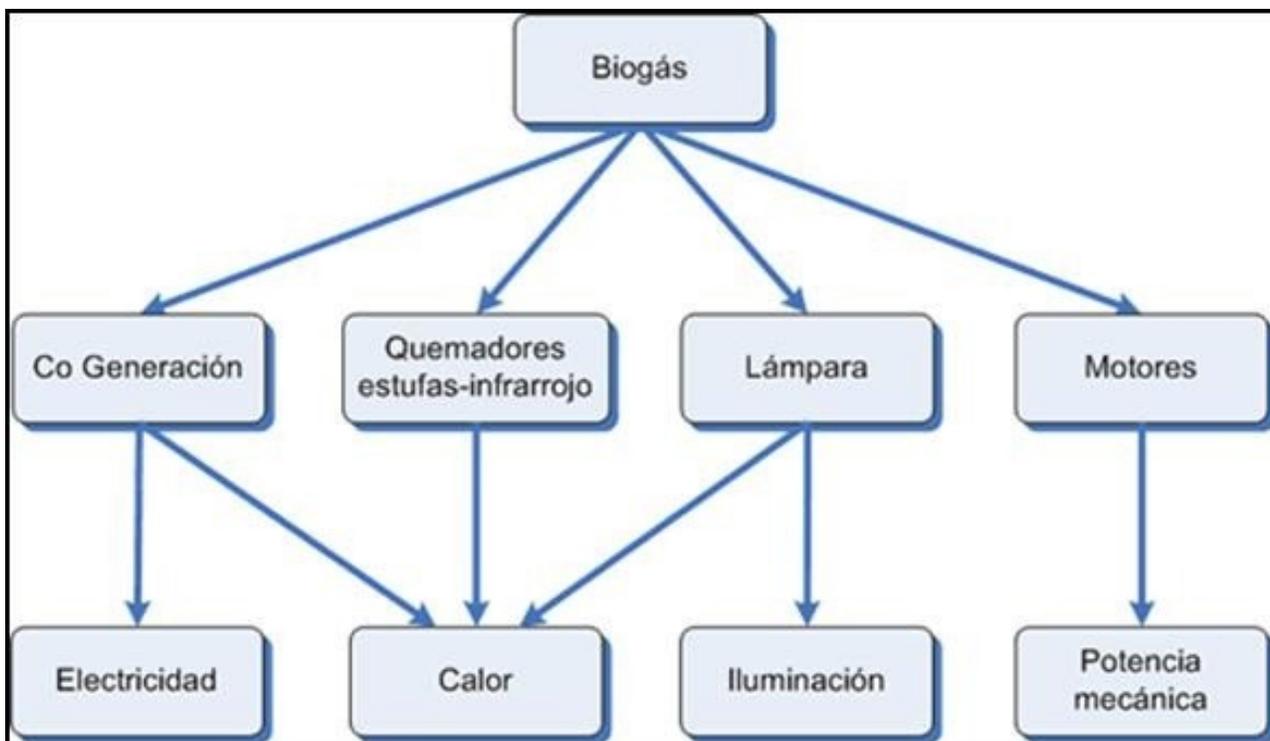
El marco en el que se define las perspectivas de desarrollo del biogás como fuente de energía renovable para todos los países, la Unión Europea en la Directiva 2009/28/CE menciona.

*“Teniendo en cuenta el importante potencial de ahorro en materia de emisiones de gases de efecto invernadero, la*

*utilización de materias agrarias, como el estiércol y los purines, así como otros residuos de origen animal u orgánico para producir biogás ofrece ventajas medioambientales notables tanto en lo que se refiere a la producción de calor y de electricidad como a su utilización como biocarburantes. Como consecuen-*

*cia de su carácter descentralizado y de la estructura de las inversiones regionales, las instalaciones de biogás pueden aportar una contribución decisiva al desarrollo sostenible en las zonas rurales y ofrecer a los agricultores nuevas posibilidades de ingresos.”*

(PARLAMENTO EUROPEO, 2009).



## 7. BIOGÁS COMO UNA ERNC

La variable que favorecerá el impulso del biogás es la obligación impuesta por la legislación chilena para incorporar energías renovables no convencionales (ERNC). La ley 20.257, de 2008, obligó a las empresas generadoras en el Sistema Interconectado Central (SIC) y en el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) a acreditar que un 10% de sus contratos afectos provengan de ERNC.

Esta obligación se está aplicando gradualmente, de manera que entre 2010 y 2014 era de 5%.

A partir de 2015 se contemplaba aumentar un 0,5% anual, hasta llegar al 10% en 2024. Pero en enero de 2013 el gobierno anunció su intención de aumentar la meta a 15% para 2024 (Redagricola, 2015).

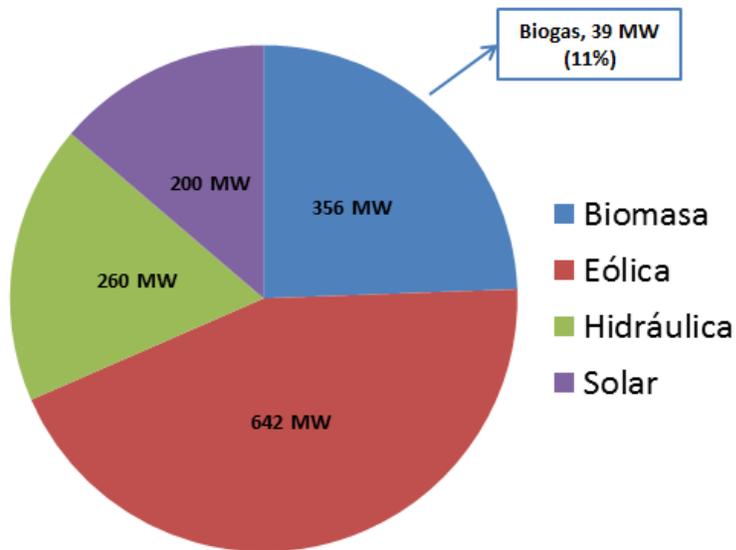
La situación al 2015 en

Chile es que la Generación Bruta de electricidad alcanza a 20.582 MW, donde las ERNC alcanzan el 7% (1.458 MW). Dentro de las ERNC la producida desde biomasa es 24%, y desde biogás con fines energéticos un 2,67%, detalle que se muestra en figura página siguiente (CNE, 2015; CIFES, 2014; GENERADORAS DE CHILE, 2015).

Las ERNC son una contribución a la seguridad energética y al desarrollo sustentable en Chile. En la actualidad, la seguridad energética es uno de los principales desafíos de Chile. El país importa casi tres cuartas partes de la energía que consume, lo que lo pone en una situación vulnerable en un contexto internacional caracterizado por alta volatilidad en los precios de los insumos e interrupciones en el suministro.

*“La variable que favorecerá el impulso del biogás es la obligación impuesta por la legislación chilena para incorporar energías renovables no convencionales (ERNC). La ley 20.257, de 2008, obligó a las empresas generadoras en el Sistema Interconectado Central (SIC) y en el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) a acreditar que un 10% de sus contratos afectos provengan de ERNC.”*

**MW de ERNC instalados en Chile, año 2015.**  
**Total 1.58 MW**



*Medios de Generación Energía Renovable no Convencionales en Chile. Elaborado por H. Sierra a partir de información obtenida de CNE 2015 y CIFES 2014.*

Por ello, el Gobierno está impulsando diversas acciones de corto y mediano plazo en el marco de una ambiciosa pero realista política de seguridad energética con miras a diversificar la matriz, lograr mayores grados de autonomía y promover un uso eficiente de la energía.

Hoy día la capacidad instalada de ERNC es de 1.458 MW, siendo la mayor proporción proveniente de origen eólico y biomasa (CNE, 2015; CIFES, 2014).

---

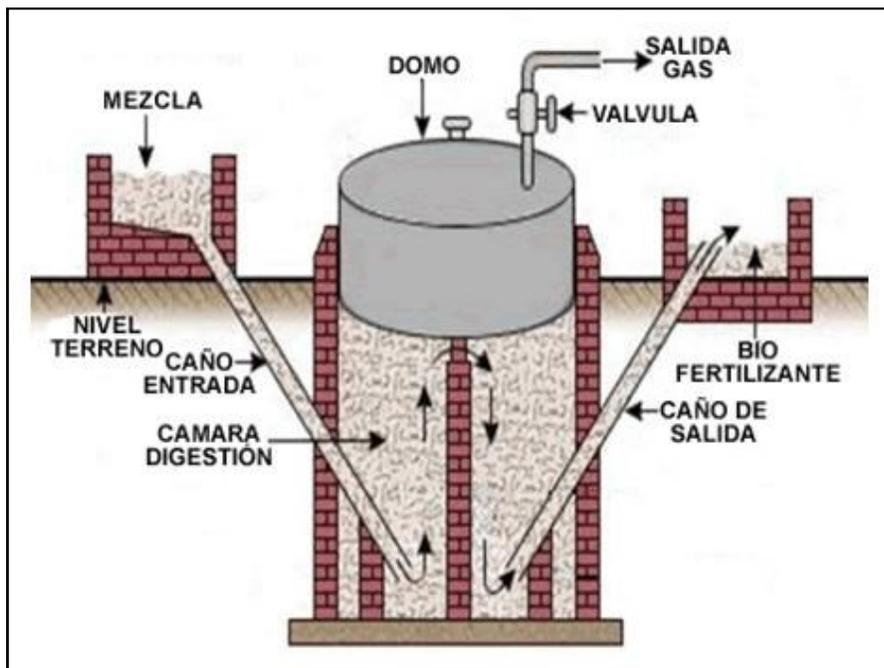
*“Hoy día la capacidad instalada de ERNC es de 1.458 MW, siendo la mayor proporción proveniente de origen eólico y biomasa.”*

---

## 8. PROCESO DE PRODUCCIÓN

La digestión anaeróbica es el medio más eficiente de generar energía a partir de residuos con contenido de materia seca inferior al 30% (idealmente en el rango 5-12,5 %), tales como estiércoles, lodos de aguas residuales, alimentos y otros desechos orgánicos húmedos. La tecnología básica de la di-

gestión anaerobia de residuos orgánicos húmedos produce principalmente metano y dióxido de carbono, donde el metano del biogás se utiliza como insumo energético para calefacción, generación de electricidad o como combustible para el transporte.



El biogás industrial se produce por tres canales principales: aquel que se recupera directamente de los vertederos (reellenos

sanitarios), y este proceso se describe como la digestión anaeróbica pasiva; el proveniente de las aguas residuales urbanas

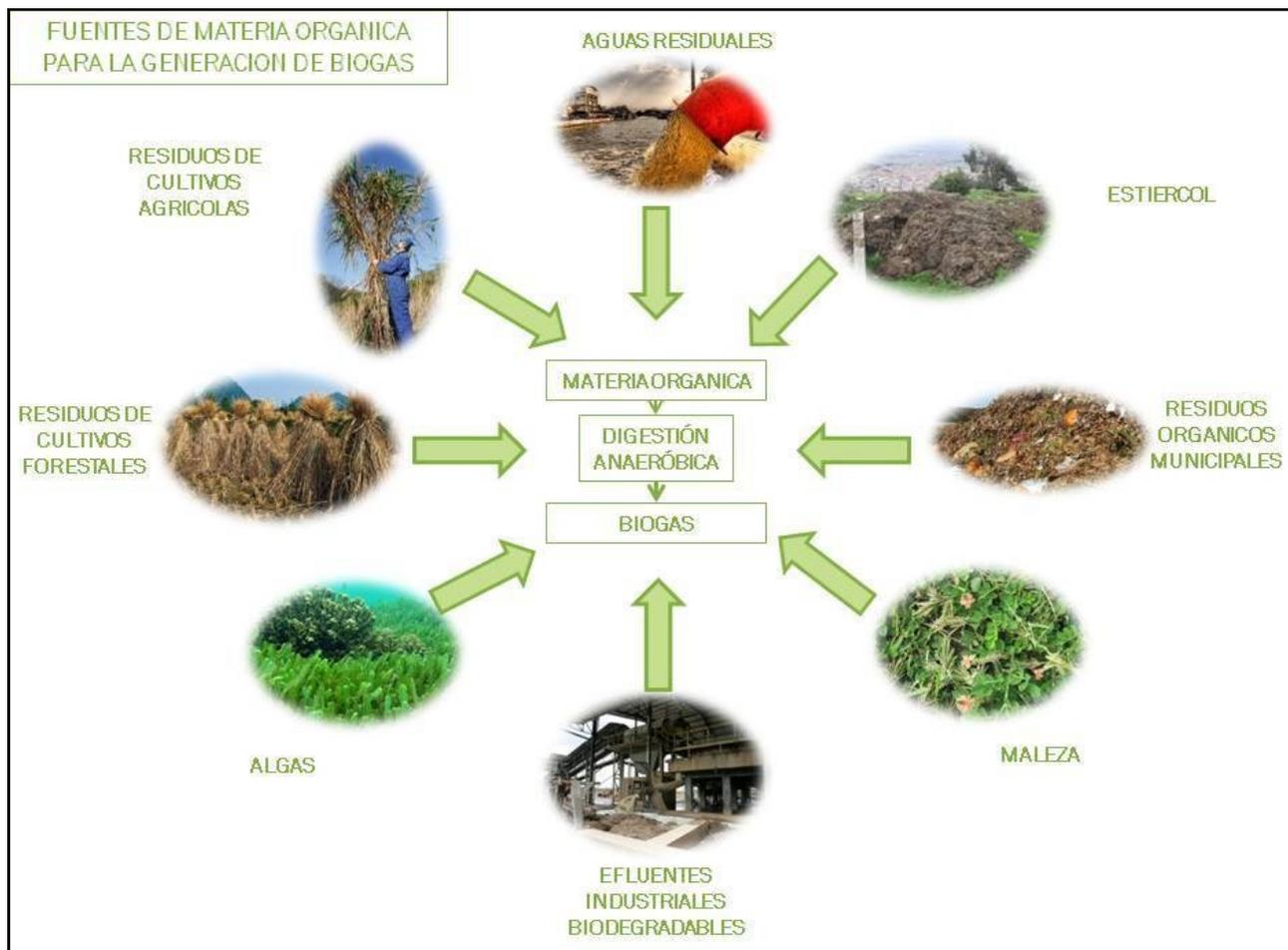
*“La digestión anaeróbica es el medio más eficiente de generar energía a partir de residuos con contenido de materia seca inferior al 30% (idealmente en el rango 5-12,5 %), tales como estiércoles, lodos de aguas residuales, alimentos y otros desechos orgánicos húmedos.”*

y de efluentes industriales que son tratados en las estaciones depuradoras de aguas residuales, EDAR (fase de fermentación); y por último puede ser producido con propósitos energéticos en plantas de digestión anaeróbica, tanto mesófilas (35 °C) y termofílicas

(55 °C), especialmente diseñadas en granjas, que incluyen digestores de la industria de procesamiento agroalimentaria, como cultivos intermedios y energéticos agrícolas; y basura doméstica (Abatzoglou et al., 2009; EUROSERVER,

2013; Holm-Nielsen et al, 2009; Ryckebosch et al, 2011).

El biogás también puede producirse a partir de procesos térmicos (por gasificación o pirólisis) de la biomasa y es una mezcla que contiene hidrógeno y monóxido de



Tomado de <http://energiaentransformacion.com/>

carbono (generalmente conocido como gas de síntesis) junto con otros componentes. Este gas puede tratarse posterior-

mente para modificar su composición y producir gas natural sustituto. El biogás se utiliza principalmente como combustible,

pero puede utilizarse como materia prima química (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2014).



---

*“El biogás se utiliza principalmente como combustible, pero puede utilizarse como materia prima química”*

---

## 9. FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO

*“Entre los factores que inciden en el proceso de producción de biogás, ..... destacan: las condiciones ambientales; el tipo de materias primas; nutrientes y concentración de minerales traza; pH .....; toxicidad y condiciones redox”.*

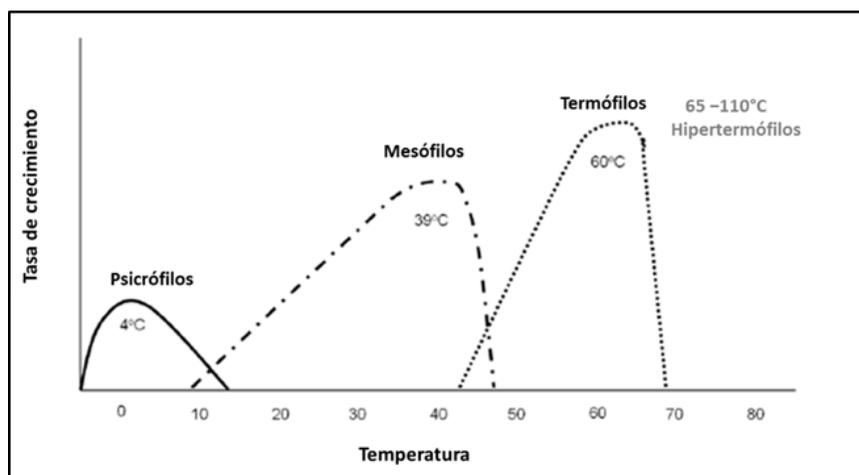
Entre los factores que inciden en el proceso de producción de biogás, referidos principalmente a aquellos obtenidos mediante digestores anaeróbicos con propósitos energéticos en plantas diseñadas en granjas, tanto mesófilas (35 °C) y termofílicas (55 °C), destacan: las con-

diciones ambientales; el tipo de materias primas; nutrientes y concentración de minerales traza; pH (generalmente cercano a la neutralidad); toxicidad y condiciones redox óptimas (Varnero y Arellano, 1990). Estas condiciones se discuten a continuación.

### La temperatura

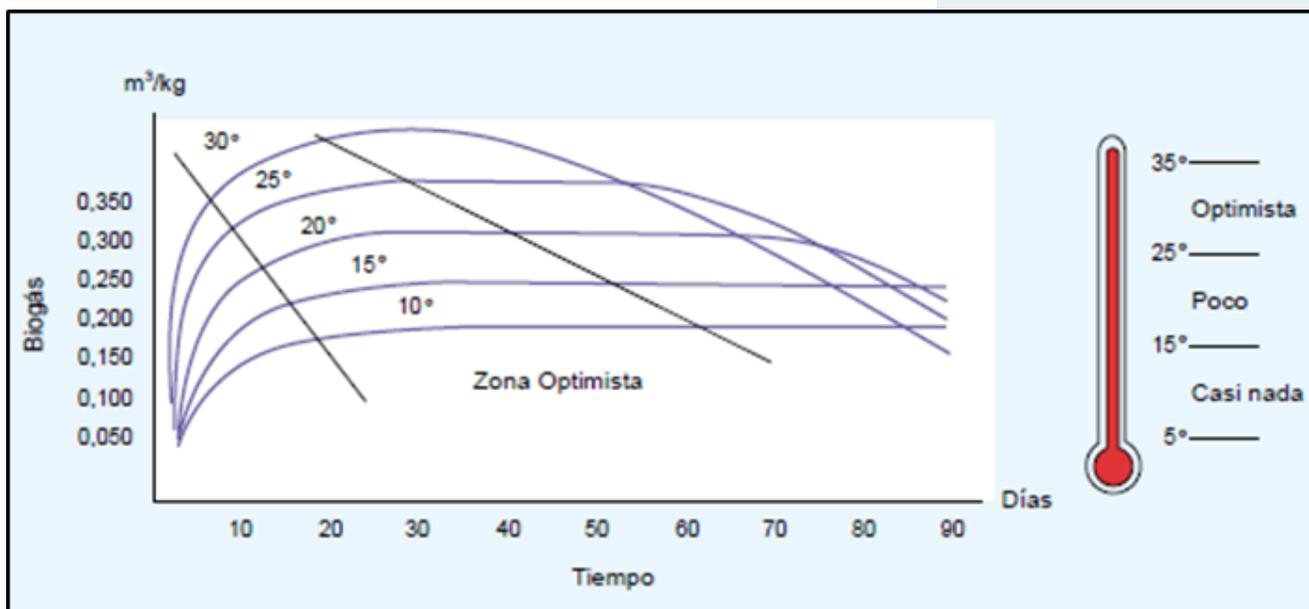
Los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependien-

tes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad



*La digestión anaerobia funciona mejor en los rangos de mesófilos y termófilos. Elaborado por H. Sierra a partir de información obtenida de: Schnürer & Jarvis, 2009. Microbiological Handbook for Biogas.*

de crecimiento de los microorganismos involucrados que a su vez, dependen de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayores producciones de biogás (Varnero, 2011).



*Producción de biogás en función de la temperatura (Varnero, 1991).*

Así mismo, considerando el argumento anterior, se determinó para Chile la Zonificación de producción de biogás según Índice Térmico (FONDEF D07-I1008, 2007), detalle que se muestra en la figura de página siguiente.



## Rangos de pH y alcalinidad

El proceso anaeróbico es afectado adversamente con pequeños cambios en los niveles de pH (que se encuentran fuera del rango óptimo).

Los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a las variaciones de pH que los otros microorganismos de la comunidad microbiana anaeróbica.

Los diferentes grupos bacterianos presentes en el

proceso de digestión anaeróbica presentan niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad.

El pH óptimo es entre 5,5 y 6,5 para acidogénicos y entre 7,8 y 8,2 para metanogénicos.

El pH óptimo para cultivos mixtos se encuentra en el rango entre 6,8 y 7,4, siendo el pH neutro el ideal (Varnero, 2011).

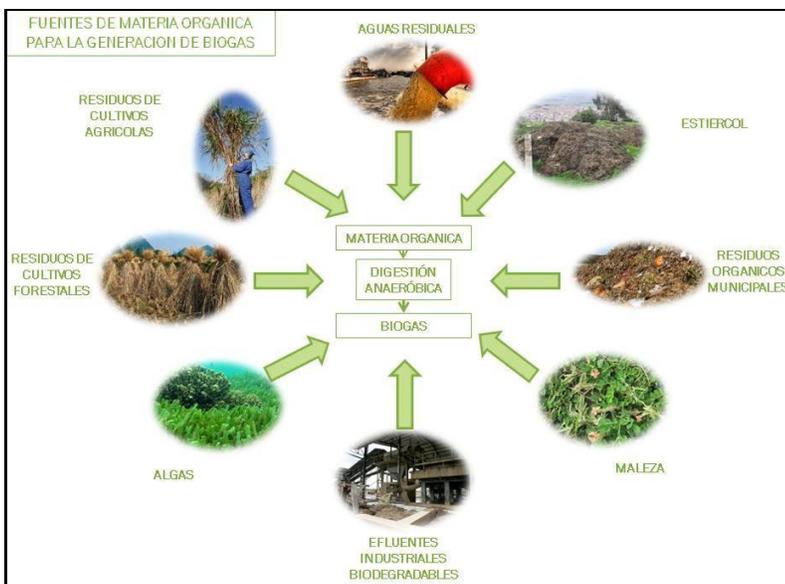
*“En el rubro silvo-agropecuario y acuícola se pueden utilizar diversas materias primas en la fermentación metanogénica para producción de biogás, entre éstas residuos orgánicos de origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, doméstico u otros.”*

## 10. MATERIAS PRIMAS PARA SU PRODUCCIÓN

En el rubro silvoagropecuario y acuícola se pueden utilizar diversas materias primas en la fermentación metanogénica para producción de biogás, entre éstos residuos orgánicos de origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, doméstico u otros, cuyo detalle se muestran en Tabla 1.

**Tabla 1. Residuos orgánicos de diversos orígenes** (Varnero y Arellano, 1990).

<b>Residuos de origen animal</b>	estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros), residuos de pescados.
<b>Residuos de origen vegetal</b>	malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado.
<b>Residuos de origen humano</b>	heces, basura, orina.
<b>Residuos agroindustriales</b>	salvado de arroz, orujos, cosetas, melazas, residuos de semillas.
<b>Residuos forestales</b>	hojas, vástagos, ramas y cortezas.
<b>Residuos de cultivos acuático</b>	algas marinas, jacintos y malezas acuáticas.



Tomado de <http://energiaentransformacion.com/>

En cuanto al potencial energético con el aprovechamiento de los residuos que se generan en el sector agrícola, que son los más abundantes y disponibles a nivel local, los rendimientos potenciales de biogás y contenidos de metano se muestran en Tabla 2 de página siguiente.

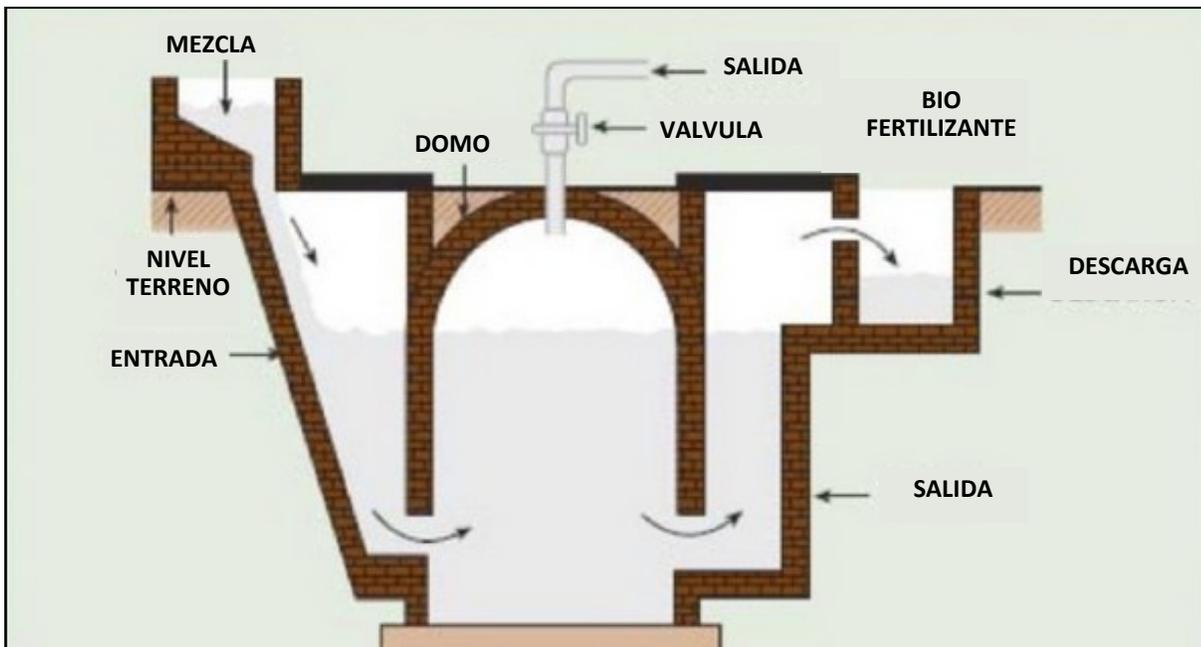
**Tabla 2. Rendimientos de varios cultivos energéticos como sustratos para la producción de biogás.**  
Adaptado de Weiland, 2010.

Cultivo	Rendimiento del cultivo (ton MF/ha)	Rendimiento del biogás (Nm <sup>3</sup> /ton SV)	Contenido de metano (%)
Remolacha azucarera	40-70	730-770	53
Remolacha forrajera	80-120	750-800	53
Maíz PE	40-60	560-650	52
Mazorca entera de maíz	10-15	660-680	53
Trigo PE	30-50	650-700	54
Triticale PE	28-33	590-620	54
Sorgo PE	40-80	520-580	55
Pasto	22-31	530-600	54
Trébol rojo	17-25	530-620	56
Girasol PE	31-42	420-540	55
Granos de trigo	6-10	700-750	53
Granos de centeno	4-7	560-780	53

MF, materia fresca. SV, sólidos volátiles. PE, planta entera.

## 11. QUE ES UN BIODIGESTOR

Un biodigestor es un sistema de recipientes cerrados en que se descomponen los materiales orgánicos biodegradables en condiciones anaeróbicas (PAS 110, 2010).

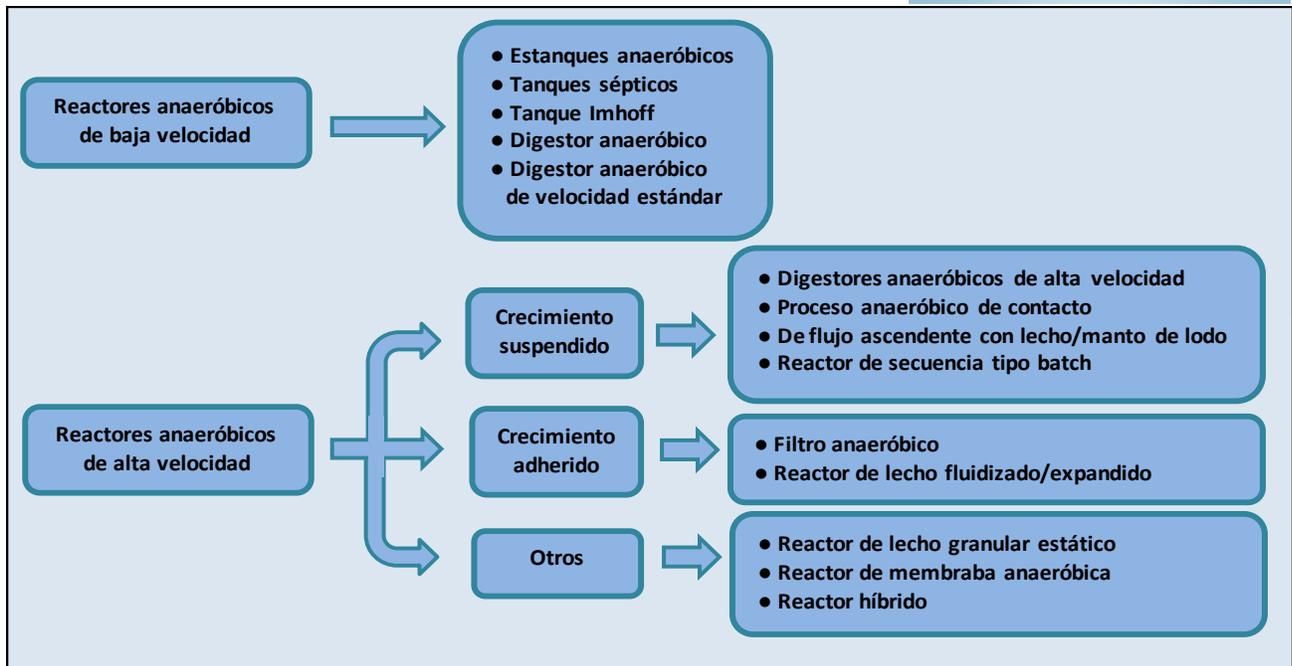


### ***Biodigestor.***

*“Es una cámara herméticamente sellada que realiza la degradación de materia orgánica.”*

### Tipos de biodigestores

Los digestores anaeróbicos de alta velocidad pueden clasificarse como de baja velocidad o se muestra en la figura de (Varnero, 2011), tal como se muestra en la figura de página siguiente.



Clasificación de los reactores anaeróbicos (Varnero, 2011).

Los reactores anaeróbicos de baja velocidad no se encuentran mezclados. Condiciones tales como la temperatura, el tiempo de retención de sólidos (TRS) y otras no están controladas. La tasa de carga orgánica es baja en el rango de 1-2 kg DQO/m<sup>3</sup>.día. Esta configuración de bioreactor no es adecuada para la producción de bioenergía. Sin embargo, algunos tranques y lagunas anaeróbicas son cubiertos y se mezclan

para favorecer la producción de biogás y su posterior recuperación.

Los digestores anaeróbicos de alta velocidad consisten esencialmente de un reactor continuo con agitación, que opera bajo condiciones mesofílicas o termofílicas. Mantienen un alto nivel de biomasa en el bioreactor. Las condiciones ambientales se mantienen de manera de optimizar el funcionamiento del bioreactor.

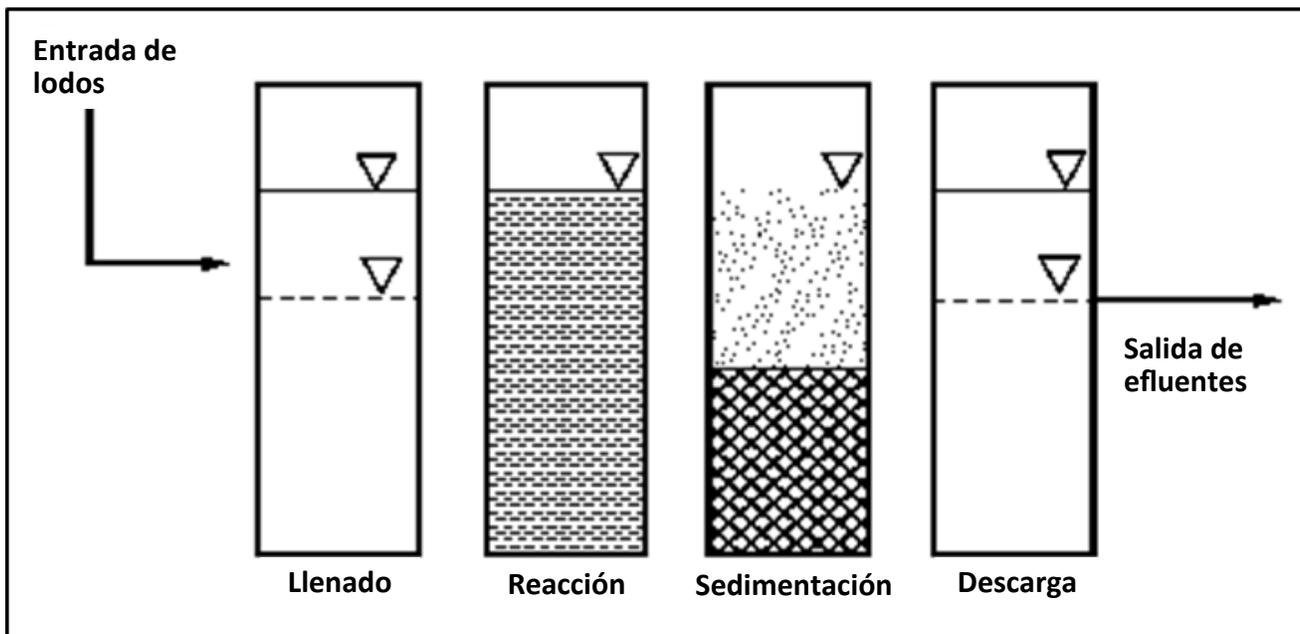
*“Los digestores anaeróbicos pueden clasificarse como de baja velocidad o de alta velocidad”*

Las tasas de carga orgánica varían de 5 a 30 kg/m<sup>3</sup>.día o incluso superiores. Los reactores anaeróbicos de alta velocidad son más apropiados para la producción de bioenergía.

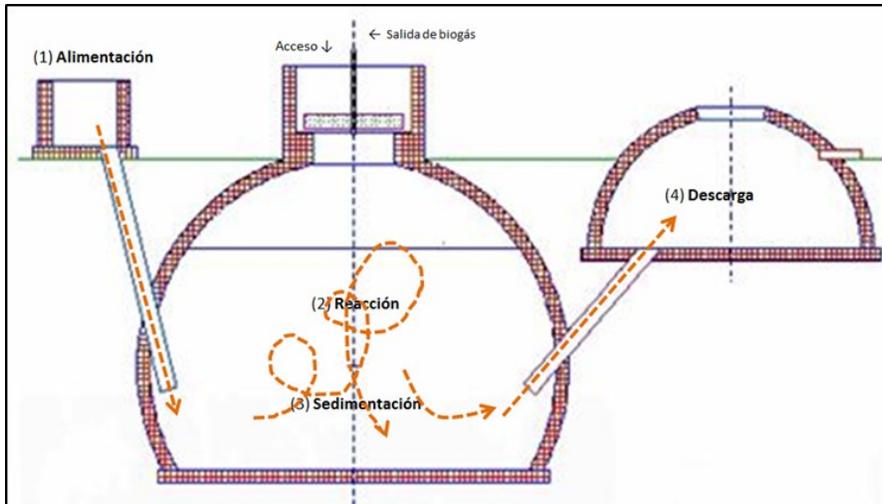
## Funcionamiento de biodigestor

En lo principal, un biodigestor anaeróbico independiente si éste funciona en ciclo continuo o discontinuo, su operación se divide en cuatro etapas:

- (1) **Alimentación:** el afluente (materia prima orgánica) es incorporado al reactor.
- (2) **Reacción:** etapa de tiempo variable en donde ocurre, en mayor grado, la degradación de la materia orgánica, y producción de biogás (metano + dióxido de carbono).
- (3) **Sedimentación:** la biomasa decanta, separándose del efluente clarificado.



*Etapas operacionales del reactor anaeróbico (Varnero, 2011).*

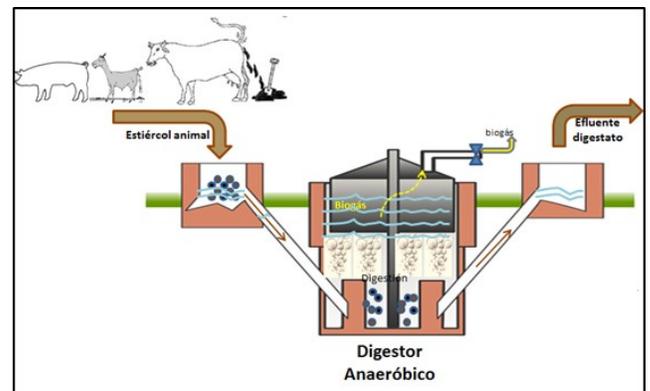


Esquema operación de digestor anaeróbico semi continuo usado en granja rural para producir biogás.

## Operación digestor de carga semi continua con fermentación en una etapa

Cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico en el medio rural, los diseños más populares son los digestores semi continuos como aquellos de diseño Indio y Chino. Ahí, la primera carga que se introduce al digestor consta de una gran cantidad de materias primas. Posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas de materias primas (afluente), calcula-

dos en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó (Varnero, 2011). El esquema de funcionamiento se detalla en figuras de esta página.



Esquema de funcionamiento de un biodigestor anaeróbico para producir biogás y obtención de digestato.

“.....para uso doméstico en el medio rural, los diseños más populares son los digestores semi continuos como aquellos de diseño Indio y Chino”.

## 12. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - QUÍMICAS DEL DIGESTATO

Según la Norma Chilena prNCh3375 (INN. 2015), existen dos tipos de digestato:

- El **digestato líquido**, que es un producto higienizado, líquido y bombeable, y
- El **digestato sólido**, que también es un producto higienizado, perforable y apilable.



Aplicación a rastrojo de cereal de digestato líquido. Fuente: Tim White en: <http://www.sanduskyregister.com/opinion/erie-soil-water/7808341>, abril 2015.

*“El digestato líquido, que es un producto higienizado, líquido y bombeable, .....*

*....es un producto estable y almacenable.*

*....Permite el reúso de los rastrojos, incorporándolos al suelo.”*

Entre las características física-químicas del digestato están:

- Que es un producto estable y almacenable.
- Dispone de abundantes consorcios microbianos especializados que aceleran el proceso de biodegradación de residuos agrícolas orgánicos de trigo, maíz y otros cereales, los llamados rastrojos.

- Permite el reúso de los rastrojos, incorporándolos al suelo, disminuyendo con ello, la quema y emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

*“El digestato producido a partir de purines de cerdo y vacuno en codigestión con diferentes residuos tienen un pH ligeramente alcalino (> 7,5). “*

Todos los digestatos según la fuente de materia prima usada muestran contenidos de materia seca inferiores al 13%, siendo todos ellos clasificados como líquidos. El digestato producido a partir de purines de cerdo y vacuno en codigestión con diferentes residuos tienen un pH ligeramente alcalino (> 7,5). En cambio, el digestato procedente de mezclas purín-vacuno + glicerina son ligeramente ácidos (PROBIOGAS -IVIA, 2009).

*“...el digestato procedente de mezclas purín-vacuno + glicerina son ligeramente ácidos “*

**Tabla 3. Caracterización de los digestatos a partir de purines de cerdo y vacuno en codigestión con diferentes residuos (datos expresados sobre peso fresco de digestato). Adaptado de PROBIOGAS -IVIA, 2009.**

Parámetro	Media	Mediana	Intervalo		CV (%)
			Min	Max	
DBO <sub>5</sub> (g O <sub>2</sub> /l)	19,8	6,4	1,2	62,5	110,8
Humedad (%)	95,2	96,2	87,3	98,5	3,2
pH	7,3	7,8	5,6	8,2	10,7
Conductividad Eléctrica (dS/m)	16,1	14,0	5,2	30,8	45,0
Materia orgánica total (g/kg)	35,4	24,7	8,5	97,3	69,9
Carbono orgánico total (g/kg)	22,3	13,5	5,8	70,5	80,1
Carbono orgánico disuelto (g/kg)	8,8	4,0	0,9	27,6	99
Nitrógeno total (g/kg)	2,6	2,5	0,6	4,9	38,6
Relación C/N	9,1	7,5	1,5	23,3	70,3
N-NH <sub>4</sub> (g/kg)	1,5	1,1	0,4	3,5	59,1
Fósforo total (mg/kg)	511	437	75	1242	60,9
Potasio total (mg/kg)	1948	1762	848	3133	37,4
Azufre total (mg/kg)	271	243	48	680	51,7
Calcio total (mg/kg)	1632	1457	192	4176	59,4
Magnesio total (mg/kg)	378	344	67	721	44,5
Sodio total (mg/kg)	888	712	66	1842	62,3
Cloruros total (mg/kg)	947	746	366	2120	57,1
Hierro total (mg/kg)	129	115	22	323	67,2
Manganeso total (mg/kg)	15	15	3	31	51,3
Cobre (mg/kg)	9	10	1	17	55,3
Cinc (mg/kg)	32	28	8	140	91,8
Boro (mg/kg)	4	3	1	11	63,1
Cadmio (mg/kg)			< 0,01	0,02	
Cromo (mg/kg)			< 0,1	4,0	
Níquel (mg/kg)			< 0,05	2,6	
Plomo (mg/kg)			< 0,1	1,3	
CV: coeficiente de variación					

## Calidad del digestato

Las características físico-químicas del digestato está muy condicionada por los materiales de origen empleados en la digestión anaeróbica, en que muestran una gran variabilidad en la mayoría de los parámetros analizados. Los valores de Conductividad Eléctrica son más altos, cuando la materia prima usada son purines de cerdo.

Si la materia prima es purín de vacuno + glicerina, el digestato obtenido tiene mayores contenidos

de materia orgánica, y carbono orgánico total y disueltos (ver Tabla 3).

La calidad química y biológica de un residuo orgánico evaluada mediante la determinación del índice de madurez, considera tres características esenciales: a) **la relación C/N**, para discriminar materiales con mayor probabilidad de inmovilizar nitrógeno; b) **la estabilidad biológica**, medida por ensayos de respirometría, la cual excluye materiales que se encuentran en

activa descomposición microbiana, porque contienen un nivel de carbono que sustenta la actividad biológica; y c) **el potencial de fitotoxicidad o madurez química** evaluado mediante bioensayos para establecer la presencia de compuestos fitotóxicos, porque los residuos orgánicos procesados no han alcanzado la madurez química adecuada para degradar totalmente los fitotóxicos.

## Estabilidad biológica de los rastrojos orgánicos

El balance del carbono en un ecosistema terrestre en equilibrio, determina que las cantidades de CO<sub>2</sub> desprendido en un lapso de tiempo deben ser equivalentes a las cantidades de carbono, que se le han proporcionado

en el curso del mismo período. Pero, si se consideran intervalos de tiempos pequeños, el desprendimiento de CO<sub>2</sub> representa valores característicos que dan cuenta de la actividad microbiana global del suelo o

del residuo orgánico estudiado.

Al respecto se han desarrollado diversas técnicas para evaluar la relación “microorganismos- materia orgánica” que existe en un ecosistema. La minera-

lización del carbono orgánico, medido como el desprendimiento de CO<sub>2</sub> en un período dado, es un

índice adecuado de la actividad microbológica global y puede ser considerado como el reflejo del

nivel energético disponible en el suelo.

## Determinación de fitotoxicidad en residuos orgánicos procesados

Los bioensayos o ensayos biológicos han surgido como una herramienta eficiente, rápida y relativamente económica para determinar los niveles de fitotoxicidad de residuos orgánicos bioprocesados.

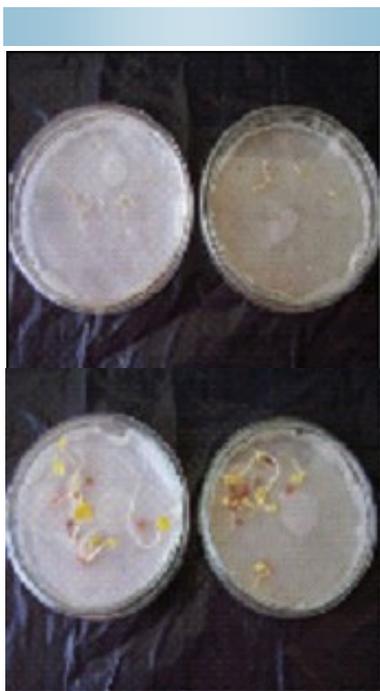
Los efectos fitotóxicos de algunos residuos orgánicos son el resultado de una combinación de diversos factores, entre los cuales se puede mencionar: metales pesados, contenido de amonio, contenido de sales y ácidos grasos de bajo peso molecular. Estas sustancias pueden tener efectos inhibitorios tanto en la germinación de las semi-

llas, como en el crecimiento de ciertas plantas.

A través de este bioensayo, se logra detectar la presencia de estas sustancias en diversos residuos orgánicos (con o sin procesar), para lo cual se utilizan especies indicadoras sensibles, de rápido crecimiento y fácil manejo. Las especies indicadoras permiten advertir la presencia de sustancias fitotóxicas mediante los efectos negativos que provocan sobre la germinación y crecimiento de estas semillas. Según la literatura las especies más apropiadas para este efecto son rabanito (*Raphanus*

*sativus*), lechuga (*Lactuca sativa*) y berro de huerto (*Lepidium sativum*).

La Norma Chilena de compost **NCh 2880 - 2015**, establece al rabanito (ver figura página siguiente) como la especie adecuada para realizar estos bioensayos, calificando a un **compost sin problemas de fitotoxicidad**, si éste muestra un **Índice de Germinación (%IG)** igual o superior al 80%; **con toxicidad media**, si presenta un Índice de Germinación entre 50% y <80%; **con toxicidad severa** si el Índice de germinación es menor a 50%.



Bioensayo con semillas de rabanito:  
Control y muestra de rastrojo de maíz  
sin bioprocasar.  
Realizado con semillas de rabanito  
(*Rapahanus sativus* var. *Cherry belle*),  
de acuerdo con método descrito  
TMECC 05.05

En mediciones de fitotoxicidad de rastrojos de maíz, como de trigo realizados en Chile se ha encontrado que la degradación biológica de éstos mediante distintas dosis de digestato, muestran que:

- El % **IG** es bajo o inferior al 10% cuando el rastrojo no es tratado con digestato, hecho que indica que el rastrojo contiene compuestos fitotóxicos.

- El %**IG** obtenido es alto cuando el rastrojo es tratado biológicamente con digestato, que significa que se eliminaron los compuestos fitotóxicos.

Detalle de los test de germinación hechos tanto con rastrojos de maíz y trigo tratados con digestato se muestran en Tablas 4 y 5.

**Tabla 4. Valores promedio de Relación C/N, Estabilidad biológica e Índice de Germinación (%) obtenidos en muestras de rastrojo de maíz sin procesar y con los rastrojos procesados con diferentes dosis de digestato (0 – 50 – 100%).**

Tratamientos	Relación C/N	Estabilidad biológica mgC-CO <sub>2</sub> /g MO/día	Índice de germinación (%)
Rastrojo maíz	96/1	-	0
T1	50/1	0,88	94
T2	36/1	0,72	100
T3	31/1	0,70	100

**Tabla 5. Valores promedio de Relación C/N, Estabilidad biológica e Índice de Germinación (%) obtenidos en muestras de rastrojo de trigo sin procesar y con los rastrojos procesados con diferentes dosis de digestato (0 – 25 –60 – 100%) y dos tamaños de partículas inicial ( $\leq 8\text{cm}$  y  $\geq 20\text{cm}$ )**

Tratamiento	Relación C/N	Estabilidad Biológica mgC-CO <sub>2</sub> /g MO/día	Índice de Germinación (%)
Rastrojo trigo	<b>94</b>	<b>(-)</b>	<b>7,8</b>
T1	<b>60,8</b>	<b>0,63</b>	<b>100</b>
T2	<b>18,4</b>	<b>1,07</b>	<b>100</b>
T3	<b>12,7</b>	<b>1,2</b>	<b>100</b>
T4	<b>11,5</b>	<b>1,89</b>	<b>100</b>
T5	<b>98,9</b>	<b>0,58</b>	<b>95</b>
T6	<b>33,9</b>	<b>0,81</b>	<b>90</b>
T7	<b>24,1</b>	<b>1,34</b>	<b>86</b>
T8	<b>17,6</b>	<b>2,6</b>	<b>89</b>

## Usos del digestato

El digestato obtenido de digestores anaeróbicos, siendo un líquido separado de sólidos y fibras en suspensión, puede producir fertilizantes si éste se aplica en suelos con rastrojos agrícolas, y puede volver útil grandes

cantidades significativas de materia orgánica a los suelos. Tales materiales digeridos son especialmente adecuados para mantener y mejorar la fertilidad y la función del suelo. Beneficios de este tipo pueden ser posibles

de aplicar en la agricultura, la horticultura, la silvicultura, la restauración de suelos pobres en nutrientes, los suelos desnutrados, y aplicaciones de recuperación y remediación de suelos (PAS 110, 2010).

El efecto de aplicación de digestato con aporte de nutrientes en cultivos es una práctica común en Europa. El digestato tiene la cualidad de hacer disponi-

bles los nutrientes contenidos en los rastrojos del cultivo precedente, teniendo como efecto un crecimiento más vigoroso del cultivo siguiente.

Detalles con ejemplos viables se muestran en cultivo de avena en figura de más abajo.



*En la foto se puede apreciar la diferencia de la parte no abonada con respecto a la parte con digestato líquido aplicado . Fuente: HTN biogas, en: <http://htnbiogas.blogspot.cl/2012/04/muestra-de-abonado-con-digestato-avena.html> , 30 de abril de 2012.*

## Resultados de análisis químico en muestra de digestato

Se obtuvieron en octubre 2015 los primeros resultados de análisis químico de muestra de digestato colectada en el decantador del biodigestor existente en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile (predio Antumapu).

El Análisis Químico desglosado consistió en

determinar: pH; C. Eléctrica; Carbono orgánico; Materia orgánica; Nitrógeno total; Amonio disponible; Relación C/N ; Nitrato disponible; Relación  $\text{NH}_4/\text{NO}_3$ ; Fósforo total; Potasio total; y Densidad.

Los resultados de análisis químico hecho en Laboratorio AGROLAB se muestran en Tabla 6.

**Tabla 6. Resultados de análisis químico de digestato.**

Resultados de análisis químico en muestra de digestato chileno.			
<b>Tipo de muestra:</b> Efluente			
<b>Identificación muestra:</b> Digestato			
<b>Origen:</b> Biodigestor , Campus Antumapu, Universidad de Chile.			
<b>Análisis químico</b>			
pH	(solución)		8
Conductibilidad Eléctrica	(solución)	dS/m	2,7
Materia orgánica		%	0,14
Carbono orgánico		%	0,08
Nitrógeno total	(N)	%	0,02
Relación C/N			4/1
Amonio disponible	N-( $\text{NH}_4^+$ )	mg/l	64
Nitrato disponible	N-( $\text{NO}_3^-$ )	mg/l	27
Relación $\text{NH}_4/\text{NO}_3$			2,4
Fósforo total	( $\text{P}_2\text{O}_5$ )	mg/l	6,3
Potasio total	( $\text{K}_2\text{O}$ )	mg/l	85,2
Densidad		g/cc	1

### **Comentario del análisis químico de digestato chileno:**

La Conductibilidad Eléctrica del **digestato** (efluente) está dentro del rango normal "0 – 3 dS/m" admitido como normal para agua de riego (Ayers et al. 1985).

Claramente el **digestato** líquido sería un aportante de Nitrógeno, Fosforo y Potasio si se aplica al suelo y/o a los rastrojos (Ayers et al. 1985).

**La norma Chilena de compost NCh 2880, 2015 menciona para ese producto de degradación biológica que éste debe tener :**

$$\text{NH}_4^+ \leq 500 \text{ mg/l}$$

$$\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^+ \leq 3/1$$

Esa norma se asimila a la norma del digestato **NCh 3375, 2015**. El digestato chileno tiene un valor inferior de  $\text{NH}_4^+$  indicado en la norma como máximo, y la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^+$  es inferior al máximo permitido por esta norma. Por lo cual, el digestato chileno no es fitotóxico.

## Resultados de análisis bacteriano en muestra de digestato

Se obtuvieron en el mes de noviembre de 2015 los resultados de análisis bacteriológico del digestato obtenidas del mismo decantador del biodigestor existente en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, cuyos resultados entregados por Laboratorio Agrolab se muestran en Tabla 7.

Se puede inferir que en el recuento NMP/100ml de Coliformes y de *Salmonella* presentes en el **digestato** son muy bajos, muy cercanos a los encontrados en agua potable, por lo que no constituye un peligro por manipulación y/o trasvasije de éste.

Fuente: Requisitos de calidad y muestreos según NCh409, en: <http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-4371.html>

**Tabla 7. Resultados de análisis bacteriológico en muestras de digestato.**

Resultados de análisis bacteriológico en muestra de digestato chileno.		
<b>Tipo de muestra:</b> Líquido		
<b>Identificación muestra:</b> Digestato		
<b>Origen:</b> Biodigestor , Campus Antumapu, Universidad de Chile.		
Coliformes totales fecales	NMP*/100ml	4,5
Coliformes fecales	NMP/100ml	4,5
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml	4,5
<i>Salmonella</i> sp. presencia/ausencia	25g	Ausencia
*Límite de detección, Técnica Número Más Probable: NMP/100 ml = 1,8 < 1,8 significa ausencia		

Se puede inferir que en el recuento NMP/100ml de Coliformes y de *Salmonella* presentes en el digestato son muy bajos, muy cercanos a los encontrados en agua potable, por lo que no constituyen un peligro por manipulación y/o trasvasije.

Fuente: Requisitos de calidad y muestreos según NCh409, en: <http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-4371.html>

**Tipo de Control:** Microbiológicos

**Requisitos de Calidad :** (Tipo I)

- 1 col/100 ml: < 10% muestras
- 5 col/100 ml: < 5% muestras
- Control por sectores
- Exentas de *Escherichia coli*

## Experiencias con uso de digestato en Chile, y desarrollo de cartillas y posters

En los meses de agosto y noviembre de 2015, se obtuvieron hitos con el avance del Proyecto FPA NAC-I-023-2014. La degradación exitosa de rastrojos de trigo y de maíz en experiencias piloto a nivel de laboratorio y de campo son escalables. Se ha confeccionado y está disponible para difusión las **Cartillas Informativas N° 1 y N°2** des-

tinadas para los agricultores, cuyos títulos son: **“Alternativa a la quema de rastrojos mediante inoculantes provenientes de biodigestores: Cultivo del Trigo”**; y **“Alternativa a la quema de rastrojos mediante inoculantes provenientes de biodigestores: “Produciendo Maíz en armonía con el medio ambiente”**.



Ejemplo de cultivo de cereal cultivado en el secano costero de Litueche, VI Región, donde es posible aplicar digestato al rastrojo. Fotografía H. Sierra, mes Enero 2015.



Método de esparcido de digestato a gran escala en la Comunidad Europea, donde es práctica común. Fuente: <http://www.interempresas.net/Neiker16/12/2014>.



Método de esparcido de digestato en pequeña escala, en rastrojo de maíz en San Fernando, VI Región, Proyecto FPA, mes agosto 2015. Fotografía tomada por René Medina.

Los resultados obtenidos en ensayos de campo para la descomposición de rastrojo de trigo (*Triticum aestivum*) son promisorios, donde se usaron distintas dosis de digestato. Al cabo de 5 a 6 meses post tratamiento muestran distintos signos

de degradación. Los ensayos hechos en el Campus Antumapu de la Universidad de Chile indican que el tratamiento biológico de rastrojo de trigo con trozos desde < 8 a > 20 cm de longitud, en que se simuló condiciones de secano (sin lluvia), es

una alternativa viable y exitosa, donde el rastrojo queda finalmente como un elemento lábil, degradado y fácilmente incorporable al suelo. Las siguientes figuras muestran esa experiencia.



Imágenes que muestran los efectos del digestato sobre el rastrojo de trigo (*Triticum aestivum*) menor a 8 cm. De izquierda a derecha: tratamiento con 0 % digestato; tratamiento con 30 % digestato; tratamiento con 60 % digestato; y tratamiento con 100 % digestato. Tesis "Aplicación de distintas dosis de digestato para acelerar la degradación de rastrojo de trigo", Sr. Javier Franchi Pérez. Fecha 15 Feb 2015.

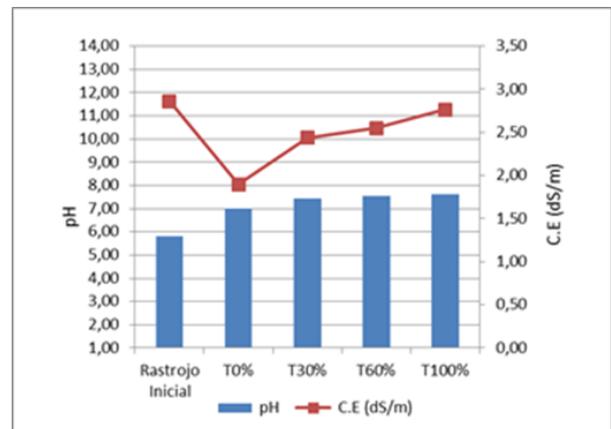


Imágenes que muestran los efectos del digestato sobre el rastrojo de trigo (*Triticum aestivum*) mayor a 20 cm.

De izquierda a derecha: tratamiento con 0 % digestato; tratamiento con 30 % digestato; tratamiento con 60 % digestato; y tratamiento con 100 % digestato.

Tesis "Aplicación de distintas dosis de digestato para acelerar la degradación de rastrojo de trigo", Sr. Javier Franchi Pérez. Fecha 15 Feb 2015.

El uso de digestato aplicado a rastrojo de trigo disminuye levemente la Conductividad Eléctrica (CE) del producto degradado, figurando en el rango de 2 a 2,5 dS/m, lo que significa una mejora de las propiedades como producto a incorporar al suelo, y el producto final de rastrojo degradado es estable con pH cercano a 7, es decir neutro. Detalle en figura de la derecha.



Variación de la CE y de pH según dosis de efluentes con 0% digestato; con 30% digestato; con 60% digestato; en rastrojo de trigo. Información obtenida por Sr. Franchi Pérez. Fecha 15 febrero 2015.

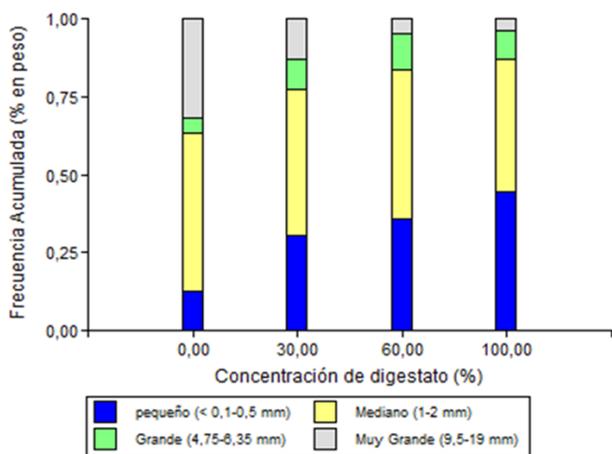
Las gráficas de abajo explican que independiente del tamaño inicial de partículas de rastrojo de trigo, y de frejol (poroto), cuando se aplican dosis crecientes de digestato para la degradación biológica de los mismos, el

efecto final que se produce es una disminución dramática del tamaño de las partículas, predominando las partículas de tamaño mediano y pequeño.

En cambio, en ensayos de fitotóxicidad post trata-

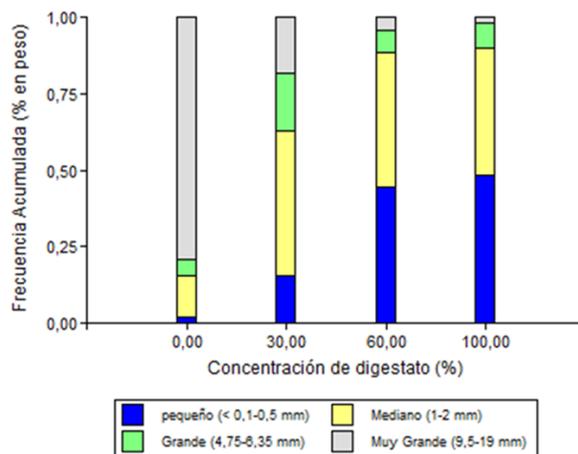
mientos de rastrojo de trigo con distintas dosis de digestato, indica que aquel material que no recibió digestato tiene compuestos tóxicos que inhiben la germinación de semillas de rabanito. (Ver Tabla 8, página siguiente).

*Distribución de tamaño de partícula en función de abertura de tamiz*



*Rastrojo de trigo trozado a 8 cm*

*Distribución de tamaño de partícula en función de abertura de tamiz*

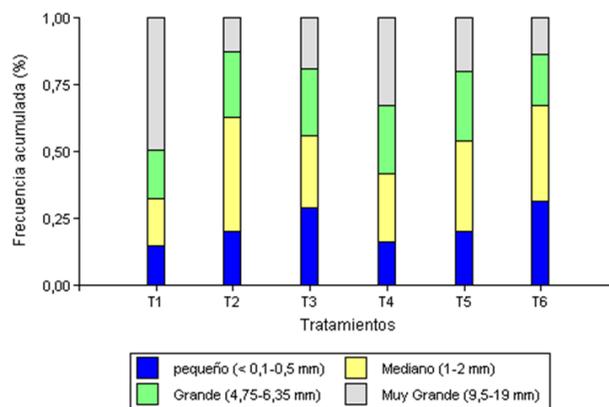


*Rastrojo de trigo trozado a 20 cm*



*Juego de tamices utilizados para determinar tamaño de partículas de rastrojo de trigo, en función de abertura de tamiz.*

*Distribución de tamaño de partícula en función de abertura de tamiz*



*Rastrojo de frejol*

*T1: 0% Rastrojo de poroto*

*T2: 50% Rastrojo de poroto*

*T3: 100% Rastrojo de poroto*

*T4: 0% Rastrojo de maíz + Rastrojo de poroto*

*T5: 50% Rastrojo de maíz + Rastrojo de poroto*

*T6: 100% Rastrojo de maíz + Rastrojo de poroto*

En ensayos con aplicación de digestato a rastrojo de trigo, éstos muestran que el producto final

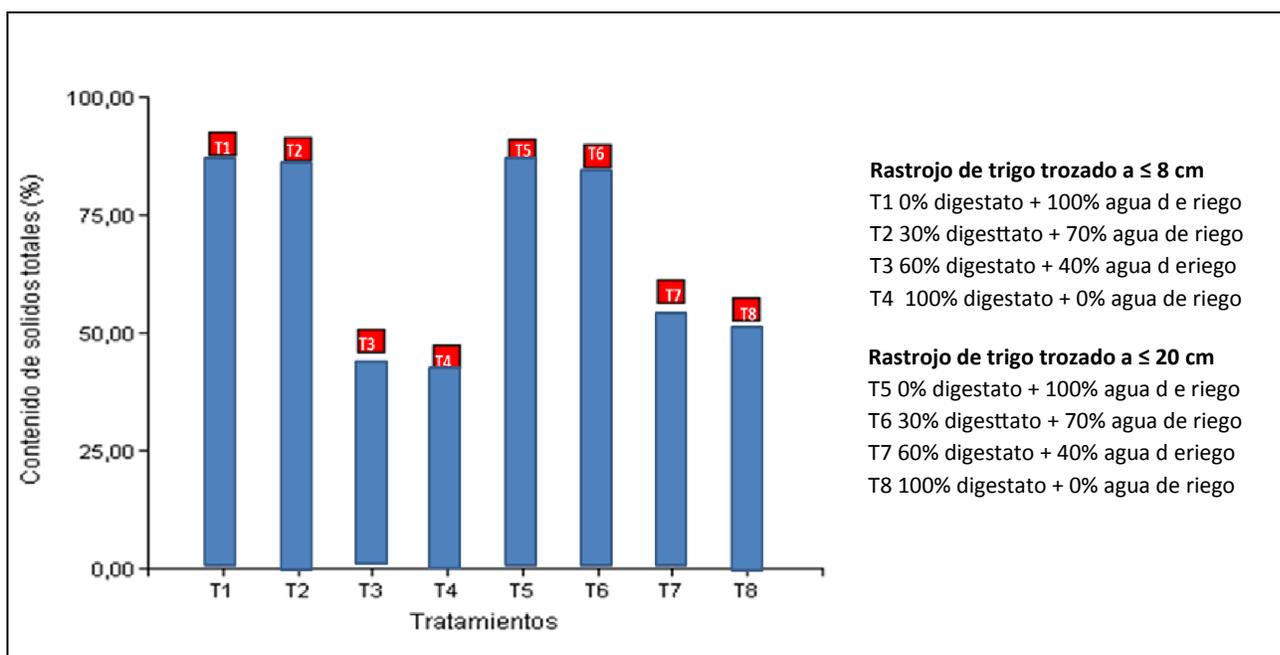
degradado no inhibe la germinación de semillas, permitiendo incorporarlo con seguridad como sustrato al suelo.

**Tabla 8. Índice de germinación de semillas de rabanito (*Raphanus sativus* variedad Cherry belle) según dosis de digestato.**

Tratamiento	Índice de germinación (%)
Rastrojo trigo	7,8
T1	100
T2	100
T3	100
T4	100
T5	95
T6	90
T7	86
T8	89

En cambio, el rastrojo de trigo no tratado (testigo) impide la germinación de semillas al contener éste compuestos fitotóxicos.

Por otra parte, la figura de abajo muestra que en rastrojo de trigo al aumentar la dosis de digestato, independiente del trozado inicial, aumenta la biomineralización.



En los ensayos de degradación de rastrojo de maíz (*Zea mays*) hechos en el Campus Antumapu de la Universidad de Chile, éstos también muestran resultados promisorios a nivel de

campo usando distintas dosis de digestato, donde al cabo de 4 meses post tratamiento hay evidentes signos de degradación.

Se realizó tratamiento biológico de rastrojo de

maíz, en que se simuló condiciones de campo, usando distintas dosis de efluentes obtenidos de digestores — el digestato —, cuyo ejemplo se muestra a continuación.



*Imágenes que muestran efecto progresivo de degradación de rastrojo de maíz (*Zea mays*) post tratamientos.*

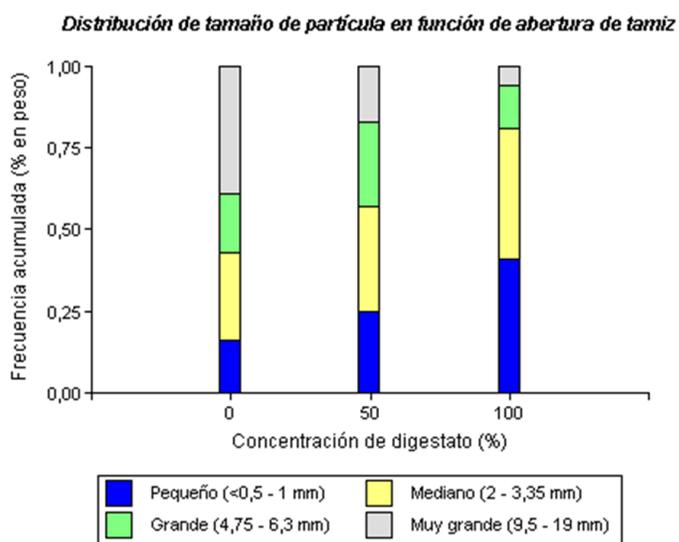
*Secuencia imágenes: Efluente con 0% digestato; efluente con 50% digestato; y efluente con 100% digestato; donde el rastrojo remanente de maíz es broza difícil de identificar en sus componentes a simple vista. [Imágenes de tesis de Srta. Camila Ignacia Merlo Bravo]*

La gráfica que se muestra abajo a la izquierda explica que independiente del tamaño inicial de partículas de rastrojo de maíz, cuando se aplican dosis crecientes de digestato para la degradación biológica de las mismas, el efecto

final que se produce es una disminución dramática del tamaño de las partículas, predominando en más de un 80% las partículas de tamaño mediano y pequeño.

En cambio, en ensayos de fitotoxicidad post

tratamientos de rastrojo de maíz con distintas dosis de digestato, indica que aquel material que no recibió digestato tiene compuestos tóxicos que inhiben la germinación de semillas de rabanito. Ver Tabla 9.



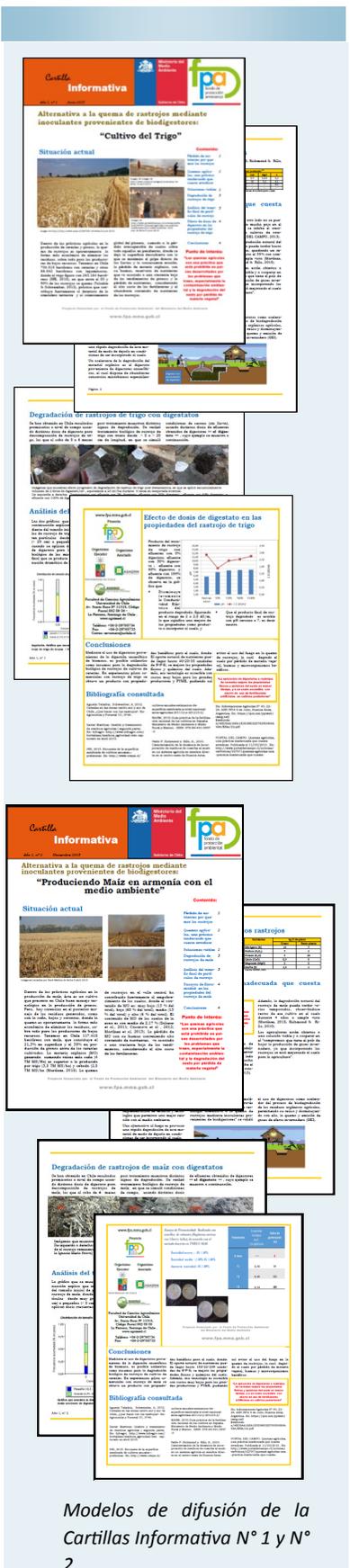
*Gráfica que muestra la distribución de tamaño de partículas al usar dosis creciente de digestato.*

**Tabla 9. Índice de germinación de semillas de rabanito (*Raphanus sativus* variedad Cherry belle) según dosis de digestato.**

Tratamiento	Índice de Germinación (%)
R. maíz	0
T1	91,2
T2	100
T3	100



*Ensayo de fitotoxicidad realizado con semillas de rabanito (*Raphanus sativus* variedad Cherry belle) de acuerdo con el método descrito en TMECC 05.05*



Modelos de difusión de la Cartillas Informativa N° 1 y N° 2

Esas conclusiones permitieron la elaboración de las Cartillas Informativas N° 1 y N° 2 destinadas para los agricultores cuyo facsímil se muestra en columna a la izquierda.

Posteriormente, se perfeccionaron los posters que se entregaron a las autoridades locales de la comuna de Placilla en la VI Región de O'Higgins, entrega material que se muestran en fotografías a continuación.



### 13. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DEGRADACIÓN RASTROJOS DE CEREALES EN LABORATORIO

En ensayos de laboratorio efectuados para rastrojo de cereales se pudo determinar las emisiones de  $\text{C-CO}_2$  (medidas como  $\text{mg CO}_2$ ) tanto para rastrojos de maíz, maíz-poroto y trigo tratados con distintas dosis de digestato de un mismo origen (digestor productor de biogás) más testigos sin digestato.

Lo resultados muestran que las tasas de liberación de  $\text{CO}_2$  por degradación biológica de rastrojos de cereales es en sus inicios para maíz y combinación maíz-poroto el doble que aquellas para trigo. Incluso, en la mitad del período de degradación de rastrojo de maíz y combinación maíz-poroto, éstos tienen una segunda alza con aumento de liberación de  $\text{CO}_2$  con presencia de digestato, cosa que no ocurre con la

degradación de rastrojo de trigo, cuyo proceso de degradación es continuo con disminución paulatina de liberación de  $\text{CO}_2$ .

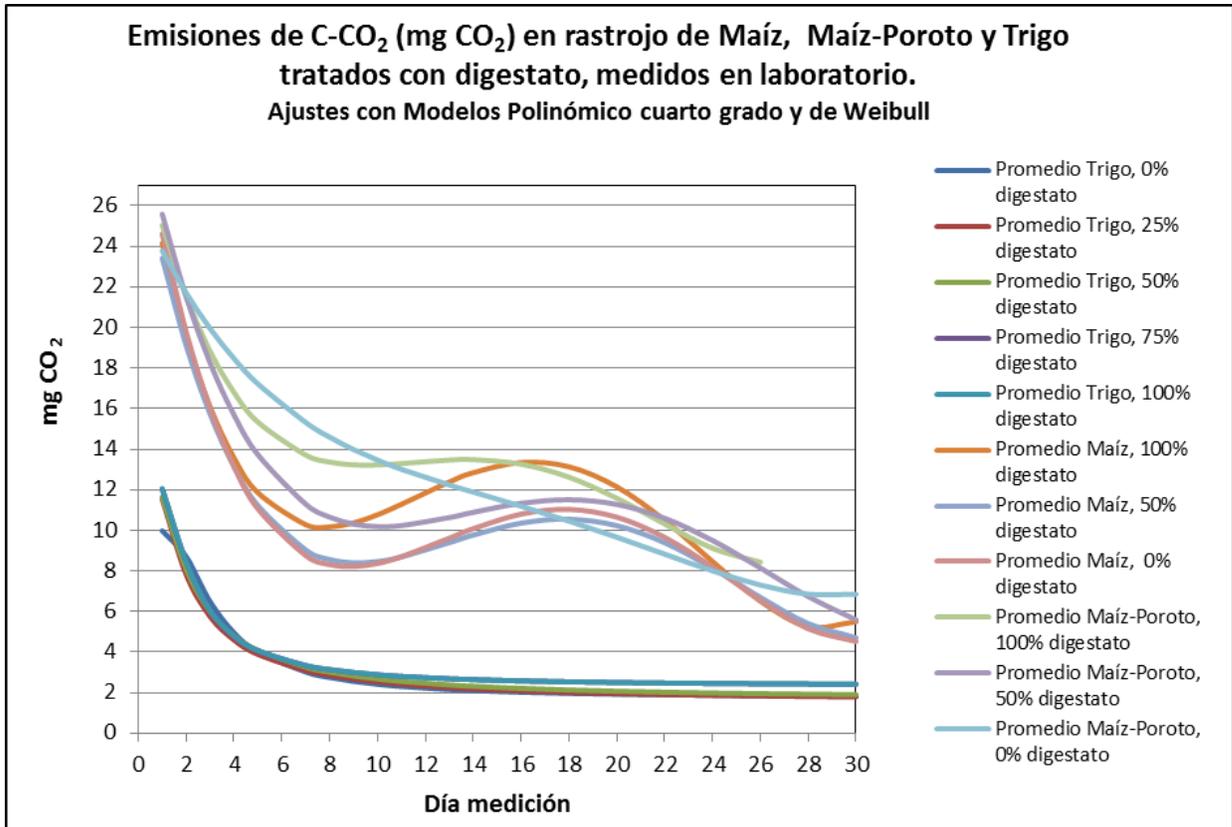
Detalles del ensayo descrito se muestran en gráfica de página siguiente.

La gráfica indica que la degradación biológica de rastrojos de cereales, se logra en un periodo de 30 días, quedando con tasas de liberación de  $\text{CO}_2$  muy bajas y estables, hecho que indica que los rastrojos están estabilizados y degradados.

Esa experiencia de laboratorio demostró que los tratamientos con digestato aceleraron desde sus inicios las tasas de degradación de los rastrojos.

La única excepción fue la combinación maíz-poroto con 0% digestato, donde al inicio las tasas de liberación de CO<sub>2</sub> fueron las más altas, pero posteriormente fueron las más bajas, sin segundo peak, al no existir consorcios micro-

bianos capacitados para degradar moléculas complejas.



Gráfica que muestra Emisiones de C-CO<sub>2</sub> (mg CO<sub>2</sub>) en rastrojo de Maíz, Maíz-Poroto y Trigo tratados con digestato, medidos en laboratorio.

Caso maíz y combinación maíz-poroto fueron 6 tratamientos con 3 repeticiones, aplicando ajustes con Modelos Polinómico cuarto grado. Valores de *r* entre 0,85 y 0,91

Caso trigo fueron 5 tratamientos con 3 repeticiones, aplicando ajuste con Modelo de Weibull. Valores de *r* entre 0,97 y 0,98.

Resumen de trabajos hechos por memorantes Srta. Claudia Quintanilla y Sr. Pietro Delucchi.

## Efecto de tratamientos de rastrojos de cereales y otros rastrojos con diversas dosis de digestato

Se realizaron durante 2015 ensayos de laboratorio y de campo tanto para rastrojo de cereales y combinaciones de cereal más frijol (poroto).

Todos éstos rastrojos fueron tratados con distintas dosis de digestato de un mismo origen (digestor productor de biogás) más testigos sin digestato (ver Tabla 10).

Se pudo determinar al final de los tratamientos, post digestión de la Materia Orgánica, que:

- En rastrojo de trigo y maíz, a medida que aumenta la dosis de digestato, disminuye el contenido de carbon resultando en una mineralización del rastrojo, más disminución de la relación C/N. Por otra parte, el fenómeno in-

verso ocurre con aumento del contenido de nitrógeno.

- En el caso de rastrojo de maíz combinado con frijol, como en rastrojo de frijol, al aumentar la dosis de digestato, también ocurre con aumento del contenido de nitrógeno.

Los resultados muestran que las tasas de liberación de CO<sub>2</sub> por degradación biológica de rastrojos de cereales es mayor en maíz, seguido de trigo.

También, los bioensayos hechos para rastrojo de cereales y combinaciones de cereal más frijol, muestran que los %IG para trigo son los más altos, seguido de maíz.

En cambio, la frejol solo mostraron que degradación biológica de rastros con combinación de maíz-frejol y que limitan la germinación de semillas de rabanito (*Raphanus sativus*), obteniéndose %IG muy bajos.

**Tabla 10. Rastrojos cereales con y sin tratamiento con diversas dosis de digestato.**

Rastrojos de cereales c/s tratamiento	%C	%N	C/N	Est. Biológica mgC-CO2/gMO/día	%IG
<b>Trigo</b>	51,9	0,52	99,8	(-)	<b>7,8</b>
T1 (0%Digestato; Tamaño Part. ≤8 cm)	42	0,69	60,9	0,63	100
T2 (30%Digestato; Tamaño Part. ≤8 cm)	30,7	1,67	18,4	1,07	100
T3 (60 %Digestato; Tamaño Part. ≤8 cm)	23,7	1,86	12,7	1,2	100
T4 (100%Digestato; Tamaño Part. ≤8 cm)	22,8	1,87	12,2	1,89	100
T5 (0%digestato; Tamaño Part. ≥ 20 cm)	51,4	0,52	98,8	0,58	100
T6 (30%Digestato; Tamaño Part. ≥20 cm)	32,2	0,95	33,9	0,81	100
T7 (60 %Digestato; Tamaño Part. ≥ 20 cm)	26	1,08	24,1	1,34	88
T8 (100 %Digestato; Tamaño Part. ≥20 cm)	23,7	1,23	19,3	2,6	89
<b>Maíz</b>	50,1	0,52	96,3	(-)	<b>0</b>
T1 (0%Digestato; Tamaño Part. ≤8 cm)	48,59	0,97	50,1	1,08	91,2
T2 (50 %Digestato; Tamaño Part. ≤8 cm)	39,58	1,1	36,0	0,83	100
T3 (100 %Digestato; Tamaño Part. ≤8 cm)	34,51	1,1	31,4	0,92	100
<b>Mezcla Maíz (70%) - Frijol (30%)</b>	47,4	0,58	81,7	(-)	<b>20</b>
T4 (0%Digestato; Tamaño Part. ≤8 cm)	47,3	1,18	40,1	1,4	<b>63</b>
T5 (50 % Digestato Tamaño Part. ≤8 cm)	44,5	1,32	33,7	1,06	<b>33,2</b>
T6 (100 %Digestato Tamaño Part. ≤8 cm)	43,3	1,29	33,3	0,94	<b>46,3</b>
<b>Frijol</b>	41	0,69	59,4	(-)	<b>14</b>
T1 (0%Digestato; Tamaño Part. ≤8 cm)	48,6	1,15	42,3	1,07	<b>30,7</b>
T2 (50 %Digestato Tamaño Part. ≤8 cm)	48,9	1,28	38,2	0,44	<b>54</b>
T3 (100 %Digestato; Tamaño Part. ≤8 cm)	48,8	1,34	36,4	1,03	<b>41</b>

La tabla muestra un resumen de trabajos hechos por memorantes: Srtas. Camila Merlo, Catalina Durán y Claudia Quintanilla; Srs. Pietro Delucchi y Franchi Pérez

## 14. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN RASTROJO DE CEREALES EN PARCELAS PILOTO

Por otra parte, para mostrar el beneficio de la incorporación de rastrojos de cereales con aporte de nutrientes en el suelo, posterior a la cosecha de granos, se realizó en la VI Región un ensayo demostrativo aplicando dos tipos de digestato.

Un ensayo fue con aplicación de digestato (efluente líquido), y otro con digestato sólido (efluente sólido), considerando Testigo línea base (suelo virgen sin cultivo) y otros dos Testigos con rastrojos de maíz donde no se aplicó digestato.

Los resultados obtenidos al cabo de 4 meses post tratamiento muestran que:

- No se altera en cultivo de maíz el pH, manteniéndose éste neutro.
- Hay una leve alza en la Conductividad Eléctrica (CE), siendo los rastro-

jos de maíz tratados con digestato con CE casi similar al Testigo maíz con baja densidad, que significa un mejoramiento de las propiedades químicas del suelo. El rango normal en un suelo tipo es con CE entre 0 y 3 dS/m (Ayers et al. 1985).

- El aporte potencial de nutrientes N-P-K aprovechables es significativo considerando que post cultivo de maíz queda a lo menos 12.625 kg /ha de rastrojo (Richmond y Rillo, 2010).

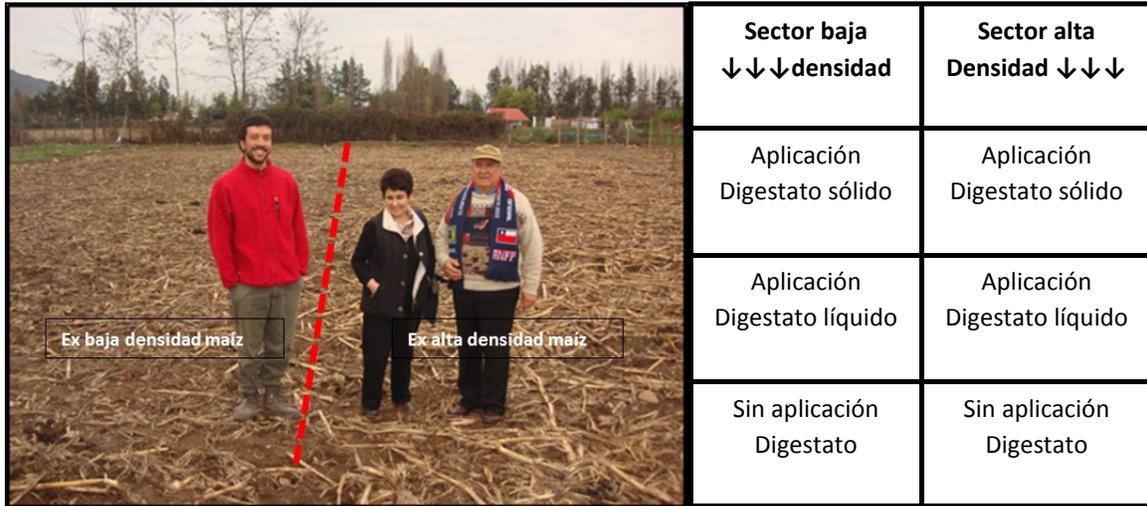
Luego en ex cultivo de maíz el aporte de los rastrojos puede significar:

- Hasta 985 k/ha de N disponible.
- Hasta 366 k/ha de P disponible.
- Hasta 4936 k/ha de K disponible.

Los detalles de implementación de la experiencia realizada en la

VI Región se muestran en figuras de abajo, y los resultados de

análisis químico se detallan en Tabla 11 de página siguiente.



Izquierda: Predio productor Sr. Patricio Provoste, en que hubo cultivo de maíz, y que fue tratado con distintas formulaciones de digestato. Derecha: Esquema de sectorización hecha en el predio para aplicación de digestato.



Experiencia chilena en predio de Sr. Patricio Provoste, ubicado en la VI Región de Chile, donde antes hubo cultivo de maíz, y que se trató rastrojo con distintas formulaciones de digestato.

En las fotografías el investigador Sr. Hugo Sierra muestra con brazo extendido las diferencias en desarrollo y altura alcanzadas por vegetación emergente con especie vegetación “yuyo” (*Brassica rapa* L. = *Brassica campestris*) post lluvias invernales.

Izquierda: Yuyo con menor desarrollo e inicio de floración donde no se aplicó digestato.

Centro: Yuyo con floración media y altura media, en que se aplicó digestato líquido.

Derecha: Yuyo con mayor desarrollo en altura y abundante floración, en que se aplicó digestato sólido.

Fecha 5 de Noviembre 2015. Proyecto FPA Código NAC-I-023-2014. 2.

**Tabla 11. Efecto de aplicación de digestato líquido y de digestato sólido en rastrojos cultivos de maíz al cabo de 4 meses.**

**Lugar ensayo, sector la Marinana , San Fernando, VI Región, año 2015.**

Identificación cuartel	Testigo Línea Base sin cultivo	Testigo Maíz alta densidad	Testigo Maíz baja densidad	T1: Rastrojo Maíz + Digestato Líquido_ Alta densidad	T2: Rastrojo Maíz + Digestato Líquido_ Baja densidad	T3: Rastrojo Maíz + Digestato Sólido_ Alta densidad	T4: Rastrojo Maíz + Digestato Sólido_ Baja densidad
<b>Fertilidad</b>							
<b>pH</b> (agua, relación 1:2,5)	5,7	6,7	6,7	6,5	6,3	6,2	6,2
	Lig.Acido	Neutro	Neutro	Neutro	Lig. Ácido	Lig. Ácido	Lig. Ácido
<b>C. Eléctrica</b> (en extracto)	0,41	0,48	1	0,51	0,57	1,2	0,78
<b>ds/m</b>	Sin Problema	Sin Problema	Sin Problema	Sin Problema	Sin Problema	Sin Problema	Sin Problema
<b>Materia orgánica %</b>	7,8	8,1	6,2	6,3	6,2	6	6,1
	Alto	Muy alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
<b>Nitrógeno disponible</b> (N)	24	48	36	38	40	<b>78</b>	<b>76</b>
<b>mg/kg</b>	Medio	Adecuado	Medio	Medio	Medio	Adecuado	Adecuado
<b>Fósforo disponible</b> (P)	23	48	22	14	20	29	16
<b>mg/kg</b>	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Medio	Adecuado	Adecuado	Adecuado
<b>Potasio disponible</b> (K)	176	535	321	367	391	<b>734</b>	309
<b>mg/kg</b>	Medio	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado

Del análisis mostrado en la Tabla 11 destaca que la aplicación de digestato sólido en cultivo de maíz, hace aumentar el Nitrógeno disponible en casi el doble respecto al mis-

mo cultivo sin aplicación de digestato.

Así mismo, se aumenta marcadamente los niveles de Nitrógeno y Potasio disponible cuando se aplica la combinación cultivo culti-

vo de maíz en alta densidad más digestato sólido. Eso último se explica al tener una mayor cantidad de biomasa digerida.

## 15. DIFUSIÓN A USUARIOS AGRICULTORES Y ALUMNOS EDUCACIÓN BÁSICA

### Tríptico para agricultores

Durante los días 24, 25 y 26 de abril de 2015, se realizó en la comuna de Placilla una exposición agrícola, “la Primera Expo Rural”, que reemplaza a la que se hacía en la comuna de San Fernando.

El propósito de la Universidad de Chile en participar en dicha feria fue para:

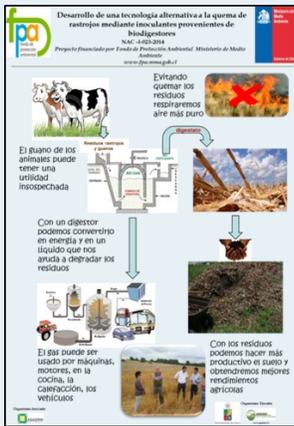
- Difundir y dar a conocer lo que la Universidad de Chile está ejecutando con su Proyecto FPA Código NAC-I-023-2014 “Desarrollo de una tecnología alternativa a la quema de rastrojos mediante inoculantes provenientes de biodigestores”.
- Crear un vínculo entre la comunidad, los usuarios, y la Univer-

sidad de Chile con beneficio mutuo para poder aplicar las nuevas tecnologías de degradación de rastrojos para los cultivos de cereales y granos, a nivel de ensayo piloto e industrial, y

- Entregar folletos de difusión (trípticos) y explicar a los asistentes que la quema de rastrojos de cultivos agrícolas es una actividad de anti-gua raigambre, que es perjudicial para la conservación y protección de los suelos de uso agrícola. El modelo de tríptico de difusión hecho en un lenguaje accesible se muestra en facsímil de columna derecha.



Modelo de difusión de tríptico para la Primera Feria Expo



**Parcelas piloto ubicadas en la Escuela El Amanecer, Lo Moscoso**

Ensayos de biodegradación con rastrojos de Maíz-Poro y solo Maíz utilizando distintas concentraciones de Digestato y de Aguas Servidas tratadas en la Escuela.

Digestato 50%		Agua servida tratada 50%	
Maíz - Poro 0,5 + 0,5 kilos	Solo Maíz 1 kilo	Maíz - Poro 0,5 + 0,5 kilos	Solo Maíz 1 kilo
Maíz - Poro 0,5 + 0,5 kilos	Solo Maíz 1 kilo	Maíz - Poro 0,5 + 0,5 kilos	Solo Maíz 1 kilo
Digestato 100%		Agua servida tratada 100%	
Maíz - Poro 0,5 + 0,5 kilos	Solo Maíz 1 kilo	Maíz - Poro 0,5 + 0,5 kilos	Solo Maíz 1 kilo
Maíz - Poro 0,5 + 0,5 kilos	Solo Maíz 1 kilo	Maíz - Poro 0,5 + 0,5 kilos	Solo Maíz 1 kilo

Modelo de difusión de tríptico  
Modelo de difusión de instructivo práctico de capacitación para la enseñanza básica escolar.

## Tríptico Escuela

En meses de junio y julio 2015 se procedió a preparar y entregar el material de Difusión y de Capacitación destinado a los alumnos escolares de Enseñanza Básica de la VI Región de O'Higgins (Provincia Colchagua). En este caso particular destinado alumnos del curso 6°Básico a Escuela General Básica "El Amanecer Lo Moscoso", ubicada en comuna de Placilla.

Lo que se persigue con el material de Difusión y de Capacitación es que se genere un conocimiento a nivel local de los beneficios económicos y ambientales que implica el uso de digestatos para acelerar la degradación biológica de rastrojos de cultivos de cereales y granos versus la práctica cultural muy arraigada de la quema de los mismos

que tiene efectos negativos en el largo plazo.

Además, con el material de Difusión y de Capacitación se plantea como desafío el romper la Asimetría de información existente entre los escolares que viven y se desenvuelven en un medio rural, que junto a sus padres constituyen el núcleo familiar de los Pequeños y Medianos Productores Rurales. Así, se da una mejora, continuidad y sustentabilidad a las mejores prácticas culturales con los cultivos que incluye la eliminación de los rastrojos.

Ejemplos del material de difusión y de capacitación entregados se muestran en columna izquierda.

## 16. CONCLUSIONES

El Proyecto Proyecto FPA Código NAC –I-023-2014 demostró, tanto en experiencias de laboratorio y de campo, que mediante el uso de digestatos provenientes de la digestión anaeróbica de biomasa, con dosis de 20 metros cúbicos por hectárea, se logra la rápida degradación biológica de rastrojos de cultivos de cereales [maíz y trigo], como combinaciones de cereal más leguminosa [maíz-frejol], en un plazo de 4 meses, actividad compatible en Chile con el receso invernal en la zona central, junto con la preparación de los suelos para los nuevos cultivos de primavera.

El aporte natural de nutrientes por degradación de rastrojos de cereales puede alcanzar hasta 158-22-209 unidades de N-P-K.

Por eso, se concluye que:

- El acelerante utilizado (el digestato) sirve, permite disminuir los tiempos de degradación de rastrojos en más de 3 veces en trigo, y en más de 13 veces en maíz, comparado con la degradación natural de campo (Richmond & Rillo, 2010).
- El digestato no constituye un peligro en su manipulación y trasvasije, dado que el recuento NMP/100ml de Coliformes y de Salmonella son muy cercanos a los encontrados en el agua potable.
- El rastrojo degradado con digestato no es fitotóxico.
- La degradación biológica de rastrojos

usando digestatos constituye una alternativa al uso de las quemas agrícolas, evitando así las emisiones de gases de efecto invernadero, de dioxinas y furanos, como también de material particulado, contaminantes que tienen efectos nocivos en el hombre y animales.

Esta nueva tecnología con el uso de digestatos, que es fácilmente accesible, significa que en:

- Cultivo de trigo se suple las necesidades de fertilizantes y evitando las pérdidas de hasta 1/3 de las necesidades de nutrientes.
- En cultivo de maíz se evita pérdidas de entre: 30 y 65 % de las necesidades de N; 48 y 51% de las



necesidades de P; y del 25 y 35 % de las necesidades de K.

Además, el rastrojo de cereales degradado por procesos biológicos mejora significativamente las propiedades físicas y químicas del suelo, no siendo tóxico para la germinación y establecimiento de nuevos cultivos.

Esa nueva tecnología es accesible con costos muy bajos para los grandes productores y PYMEs, pudiendo obtener a muy bajo costo los digestatos o productos de degradación biológica de biomasa desde la agroindustria local, presente en gran número en la VI Región, lográndose así un círculo virtuoso de cooperación

entre productores agrícolas y agroindustria, en que ambos se necesitan.

Finalmente, con las nuevas tecnologías disponibles es viable y factible evitar el uso del fuego en la quema de rastrojos, la cual degrada el suelo por pérdida de materia vegetal, humus y microorganismos benéficos.

## 17. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Abatzoglou N., Boivin S., 2009. A review of biogas purification processes. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 2009; 3: 42–71.

Ayers et al. 1985. Water quality for agriculture. *FAO irrigation and drainage paper*. 29 Rev.1, 174 p./

COMISION NACIONAL DE ENERGIA, CNE. 2015. Catastro de Medios de Generación, Medios de Generación Renovables no Convencionales. En: <http://www.cdecsic.cl/informes-y-documentos/fichas/energias-renovables-no-convencionales-ernc/>, capturado con fecha 31 agosto 2015.

Centro Nacional para la Innovación y Fomento de las Energías Sustentables, CIFES. 2014. Bioenergía: la “estrella” de la generación ERNC en Chile. En: <http://cifes.gob.cl/blog/2014/01/bioenergialaestrelladelageneracionerncenchile/>, capturado con fecha 1 septiembre 2015.

COMISION NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE, CONAMA. 2009. Medidas para el control de la contaminación por quemas agrícolas.

COMISION NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE, CONAMA. 2013. Estudio Especiación de Material Particulado para Rancagua, Rengo y San Fernando, en: [http://www.sinia.cl/1292/articles-54380\\_InformeFinal\\_Especiacion\\_2013.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-54380_InformeFinal_Especiacion_2013.pdf), capturado con fecha 20 octubre 2015.

CORPORACION NACIONAL FORESTAL, CONAF, 2015. Ficha N° 7, Manejo y uso de rastrojos. En: [http://alternativasquemas.conaf.cl/fileadmin/ArchivosPortal/Alternativas/USO\\_Y\\_MANEJO\\_DE\\_RASTROJOS/ficha7.pdf](http://alternativasquemas.conaf.cl/fileadmin/ArchivosPortal/Alternativas/USO_Y_MANEJO_DE_RASTROJOS/ficha7.pdf), capturado en marzo 2016.

CORPORACION NACIONAL FORESTAL, CONAF, 2009. Quemas Región de O ‘Higgins, 200’8-2009. Exposición institucional en PPT.

Delucchi, P., 2016. Degradación aeróbica de rastrojos de trigo con diferentes concentraciones de digestato. Memoria de Título Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Facultad Cs. Agronómicas, Univ. de Chile. En prensa. 38 p.

EUROSERVER. L'Observatoire des Energies Renouvelables. Biogas barometer, 2012. En: <http://www.euroserver.org/pdf/baro212biogas.pdf> , capturado con fecha 16 diciembre 2013.

FONDEF D07-I1008, 2007. Purificación de biogás y conversión de dióxido de carbono a metano (Gas natural) mediante procesos bacterianos. En: [http://www.conicyt.cl/wp-content/themes/fondef/encuentra\\_proyectos/PROYECTO/07/I/D07I1008.html](http://www.conicyt.cl/wp-content/themes/fondef/encuentra_proyectos/PROYECTO/07/I/D07I1008.html) , capturado con fecha 8 septiembre 2015.

GENERADORAS DE CHILE, 2015. Generación Eléctrica. En: <http://generadoras.cl/generacion-electrica/> , capturado con fecha 1 septiembre 2015.

Holm-Nielsen JB, Al Seadi T, Oleskowicz-Popiel P., 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresour Technol* 2009; 100: 5478–84

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS, INE, 2007. VII Censo Silvoagropecuario 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, INN, 2015. Calidad de digestato. Versión en Estudio Final Comité – prNCh3375.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Statistics: Documentation Beyond 2020 Files (2014 edition). En: [http://www.iea.org/media/statistics/WORLDBES\\_documentation.pdf](http://www.iea.org/media/statistics/WORLDBES_documentation.pdf) , capturado con fecha 12 noviembre 2014.

MARM, 2010. Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-0997-3.

Martínez, X., 2015. Gestión y tratamiento de residuos agrícolas (segunda parte). En: Infoagro. [http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos\\_agricolas2.htm](http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_agricolas2.htm) , capturado en abril 2015.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, ODEPA, 2015. Estadísticas productivas. En: <http://www.odepa.cl/estadisticas/productivas/> , capturado en abril 2015.

PARLAMENTO EUROPEO. DIRECTIVA 2009/28/CE de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE, 2008 (2009) 16–62. En: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009L0028:es:NOT>

PORTAL DEL CAMPO. Quemas agrícolas, una práctica inadecuada que cuesta erradicar. Publicada el 11/03/2013. En: <http://www.portaldelcampo.cl/noticias/verNoticia/32797/quemas-agricolas-una-practica-inadecuada-que-cuesta-erradicar-.html>

PROBIOGAS-IVIA, 2009. Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización. En: [http://213.229.136.11/bases/ain-ia\\_probioogas.nsf/0/89A368DD73F7282DC125753F00587325/\\$FILE/PROBIOGAS\\_GuiaDigerido.pdf](http://213.229.136.11/bases/ain-ia_probioogas.nsf/0/89A368DD73F7282DC125753F00587325/$FILE/PROBIOGAS_GuiaDigerido.pdf) , capturado con fecha 7 septiembre 2015.

The Publicly Available Specification, PAS 110. 2010. Specification for whole digestate, separated liquor and separated fibre derived from the anaerobic digestion of source-segregated biodegradable materials. En: [http://www.langagead.com/images/pdf/PAS-110\[1\]%20Specification.pdf](http://www.langagead.com/images/pdf/PAS-110[1]%20Specification.pdf) , capturado con fecha 13 septiembre 2015.

REDAGRICOLA, 2015. Biogás en Chile y el mundo: Tecnología que transforma un costo en beneficio. En: <http://www.redagricola.com/reportajes/energia/biogas-en-chile-y-el-mundo-tecnologia-que-transforma-un-costo-en-beneficio> , capturado con fecha 13 agosto 2015.

Richmond, P., Rillo, S., 2010. 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. En: Informaciones Agrícolas N° 43, 22-26. AER INTA 9 de Julio, Buenos Aires, Argentina. [https://ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/4BD9AA16EA1E3D98032576350069A9A6/\\$file/22.pdf](https://ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/4BD9AA16EA1E3D98032576350069A9A6/$file/22.pdf)

Ruiz, S .Carlos. Wolff M, Claret M. 2015. Rastrojos de Cultivos Anuales y residuos forestales . **In:** Capítulo 1, Rastrojos de Cultivos y Residuos Forestales en Boletín INIA N°308, 196 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillán, Chile. En: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40196.pdf>, capturado en marzo 2016.

Ryckebosch E., Drouillon M., Vervaeren H., 2011. Techniques for transformation of biogas to biomethane. Biomass and Bioenergy 2011; 35: 1633-1645.

Schnürer & Jarvis, 2009. Microbiological Handbook for Biogas. Swedish Waste Management U2009:03. Swedish Gas Centre Report 207. En: [http://www.eac-quality.net/fileadmin/eac\\_quality/user\\_documents/3\\_pdf/Microbiological\\_handbook\\_for\\_biogas\\_plants.pdf](http://www.eac-quality.net/fileadmin/eac_quality/user_documents/3_pdf/Microbiological_handbook_for_biogas_plants.pdf) , capturado con fecha 16 marzo 2013.

Taladriz A., Schwember, A., 2012. Cereales en las zonas centro-sur y sur de Chile, ¿Qué hacer con los rastrojos? En: Agronomía y Forestal UC, N°46.

Varnero M., 2011. Manual de biogás. MINENERGIA/ PNUD / FAO / GEF, Proyecto CHI/00/G32, 2011. 119 páginas. ISBN 978-95-306892-0. En: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>, capturado con fecha 16 marzo 2013.

Varnero, M.T. 1991. Manual de Reciclaje Orgánico y Biogás. Ministerio de Agricultura (FIA) – Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile, 48p.

Weiland P., 2010. Biogas production: current state and perspectives. Appl Microbiol Biotechnol. 2010; 85:849-60. Chile, 98p.

## 18. ANEXOS

### Cartillas de difusión N°1 y N°2. para agricultores

En virtud del conocimiento adquirido durante la ejecución del Proyecto FPA NAC-I-023-2014, se contempló varias actividades de difusión, entre éstas: Ferias agrícolas, dos Seminarios, y el Seminario final.

Todas las actividades nombradas se realizaron íntegramente en la VI Región del Libertador Bernardo O 'Higgins, donde se entregó al público participante las cartillas:

- “Produciendo Trigo en armonía con el medio ambiente” , y
- “Produciendo Maíz en armonía con el medio ambiente”

Ese material de difusión nuevamente se exhibe como copia en las siguientes 8 páginas.

## Alternativa a la quema de rastrojos mediante inoculantes provenientes de biodigestores:

# “Produciendo Trigo en armonía con el medio ambiente”

### Situación actual



Imagen de <http://www.anip.cl/?p=7251> de fecha 5 junio 2015



Imagen de Imagen de <http://www.conaf.cl/category/incendios/> de fecha 16 abril 2015



Imagen de <http://www.portaldelcampo.cl/noticias/verNoticia/32797/quemas-agricolas-una-practica-inadecuada-que-cuesta-erradicar-.html> de fecha 4 junio 2015

Dentro de las prácticas agrícolas en la producción de cereales y granos, la quema de rastrojos es aparentemente la forma más económica de eliminar los residuos, sobre todo para los productores de bajos recursos. Tenemos en Chile 704.515 hectáreas con cereales y otras 66.042 hectáreas con leguminosas, donde el trigo figura con 263.164 hectáreas (INE, 2015), en que entre el 80 y 90% de los rastrojos se quema (Taladriz & Schwember, 2012), práctica que contribuye fuertemente al deterioro de la atmósfera terrestre y al calentamiento

global del planeta, sumado a: la pérdida irrecuperable de suelos sobre todo aquellos en pendientes, donde se deja la superficie descubierta con lo que se maximiza el golpe directo de las lluvias y la consecuente erosión; la pérdida de materia orgánica, con su humus, reservorio de nutrientes que va asociado a una creciente baja de los rendimientos de granos; y la pérdida de nutrientes, considerando el alto costo de los fertilizantes y el abundante contenido de nutrientes de los rastrojos.

### Contenido:

Pérdida de nutrientes por quemar los rastrojos	2
Quemas agrícolas, una práctica inadecuada que cuesta erradicar	2
Soluciones viables	2
Degradación de rastrojos de trigo	3
Análisis del tamaño final de partículas de rastrojo	3
Convirtiendo los rastrojos de trigo en un producto ambientalmente valioso	4
Conclusiones	4

### Punto de interés:

**“Las quemas agrícolas son una práctica que está prohibida en países desarrollados por los problemas que traen, especialmente la contaminación ambiental y la degradación del suelo por pérdida de materia vegetal”**

## Pérdida de nutrientes por quemar los rastrojos

En trigo con rendimiento promedio de 70 qqm/ha, la quema de rastrojos en Chile significa pérdidas de 58 unidades/ha de nitrógeno (N), más 2,7-9,2 unidades/ha de fósforo (P) y 47-137 unidades/ha de potasio (K) (Taladriz y Schwember, 2012). La extracción de macronutrientes por

cultivo de trigo medida en España también muestran valores significativos, ver tabla adjunta (MARM, 2010). Las pérdidas de humus en trigo por quema de rastrojo son de 750-1.020 k/ha

(Martínez, 2015; Richmond & Rillo, 2010).

Cereales de invierno	kg/000 kg de grano producido <sup>(1)</sup>					
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S
Trigo	28-40	9-15	20-35	5-7	3,5-5	5,2
Cebada	24-28	10-12	19-35	10	5,2	4,1
Avena	24-30	10-14	23-35	-	-	6,1
Centeno	18-20	12-14	16-20	-	-	-

(1) Las extracciones se refieren a los nutrientes en las partes aéreas de la planta (grano y paja)  
Fuente: MARM, 2010

## Quemas agrícolas, una práctica inadecuada que cuesta erradicar

Las quemas agrícolas están prohibida en países desarrollados por los problemas de contaminación ambiental y la degradación del suelo por pérdida de materia vegetal.

En Chile se buscan alternativas que eviten esta práctica, tanto por el motivo ambiental y porque indirectamente provocan incendios forestales.

El uso del fuego en la quema de rastrojos es una práctica ancestral muy arraigada en Chile donde los agricultores se oponen a su eliminación. Aunque existe disposición de los agricultores para llegar a algún acuerdo que permita una solución a este problema, para ellos es

**“Las quemas agrícolas son una práctica que está prohibida en países desarrollados por los problemas que traen, especialmente la contaminación ambiental y la degradación del suelo por pérdida de materia vegetal”**

un tema económico que los afecta sobre todo en los sectores de secano: “Enfardar o amontonar los rastrojos resulta caro, y los rastrojos no se pueden incorporar al suelo, ya que se requiere de humedad para que esto se pueda hacer. Como es sabido los cultivos de grano han tenido una baja rentabilidad en los últimos años y aumentar los costos

sería fatal. Por otro lado no se puede sembrar con mucha paja en el suelo, ya que se inhibe el crecimiento de los cultivos de rotación” (PORTAL DEL CAMPO, 2013).

Además, la degradación natural del rastrojo de trigo puede tardar hasta tres temporadas, quedando un remanente de hasta el 35% con componentes a simple vista (Martínez, 2015; Richmond & Rillo, 2010).

Los agricultores están abiertos a una solución viable y a cooperar en el “compromiso que tiene el país de bajar la producción de gases invernadero, ya que incorporando los rastrojos se está mejorando el suelo para la agricultura”.

## Soluciones viables

En este sentido es clave que los procesos productivos se realicen de manera sostenible, lo que incluye la implementación de técnicas y tecnologías que permitan una mejor relación con el medio ambiente.

Una alternativa al fuego es provocar una rápida degradación de este material de modo de dejarlo en condiciones de ser incorporado al suelo.

Un acelerante de la degradación del material orgánico es el digestato proveniente de digestores anaeróbicos, el cual dispone de abundantes consorcios microbianos especializa-

dos en la degradación de las moléculas orgánicas. Por eso, a través del proyecto “Desarrollo de una tecnología alternativa a la quema de rastrojos mediante inoculantes provenientes de biodigestores” se validó

el uso de digestatos como acelerador del proceso de biodegradación de los residuos orgánicos agrícolas, permitiendo su reúso y disminuyendo con ello, la quema y emisión de gases de efecto invernadero (GEI).



# Degradación de rastrojos de trigo con digestatos

Se han obtenido en Chile resultados promisorios a nivel de campo usando distintas dosis de digestato para descomposición de rastrojos de trigo, los que al cabo de 5 a 6 meses

post tratamiento muestran distintos signos de degradación. Se realizó tratamiento biológico de rastrojo de trigo con trozos desde < 8 a > 20 cm de longitud, en que se simuló

condiciones de secado (sin lluvia), usando distintas dosis de efluentes obtenidos de digestores — **el digestato** — , cuyo ejemplo se muestra a continuación.



Imágenes que muestran efecto progresivo de degradación de rastrojo de trigo post tratamientos, en que se aplicó secuencialmente volumen de 2 litros de digestato/m<sup>2</sup>, equivalente a 20 m<sup>3</sup>/ha durante 4 veces en temporada invernal.

De izquierda a derecha: Tratamientos con efluente con 0% digestato; efluente con 30% digestato; efluente con 60% digestato; y efluente con 100% de digestato, donde el rastrojo remanente de trigo es broza no identificable en sus componentes.

## Análisis del tamaño final de partículas de rastrojo

Las dos gráficas que se muestran a continuación explican que independiente del tamaño inicial de partículas de rastrojo de trigo, donde existen partículas desde muy grandes (> 20 cm) a pequeñas (< 8 cm), cuando se aplican dosis crecientes de digestato para la degradación biológica de las mismas, el efecto final que se produce es una disminución dramática de las partículas ,

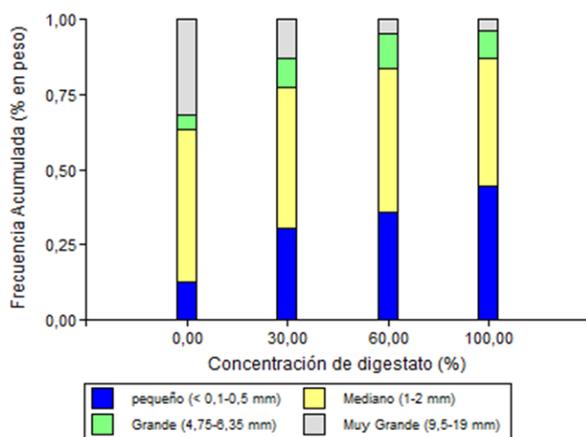
**“El tamaño final de las partículas del rastrojo de trigo degradado disminuye a medida que se aumenta la concentración de digestato”**

predominando en más de un 80% las partículas de tamaño mediano y pequeño.



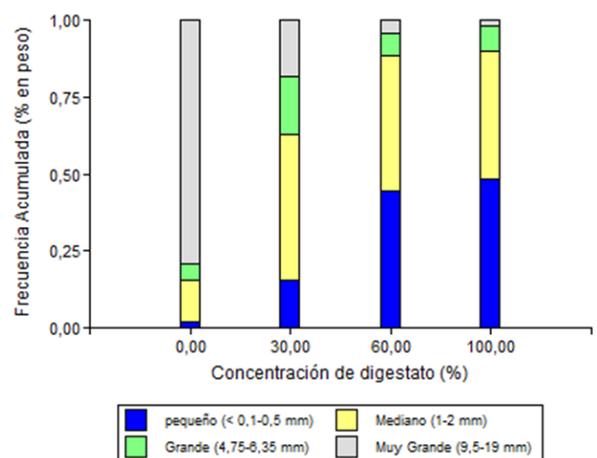
Tamices correspondiente a las medidas descritas en el texto, usados para determinar tamaño de partículas en

*Distribución de tamaño de partícula en función de abertura de tamiz*



Izquierda. Gráfica que muestra resultados obtenidos al usar rastrojo de trigo de trozos < 8 cm .

*Distribución de tamaño de partícula en función de abertura de tamiz*



Derecha. Gráfica que muestra resultados obtenidos al usar rastrojo de trigo de trozos > 20 cm .



Organismo



UNIVERSIDAD DE CHILE



Facultad de Ciencias Agronómicas  
Universidad de Chile

Av. Santa Rosa N° 11315, Código Postal 882 08 08 -  
La Pintana, Santiago de Chile .  
www.agrimed.cl

Teléfono: +56-2-29785734  
Fax: +56-2-29785733  
Correo: mvarnero@uchile.cl

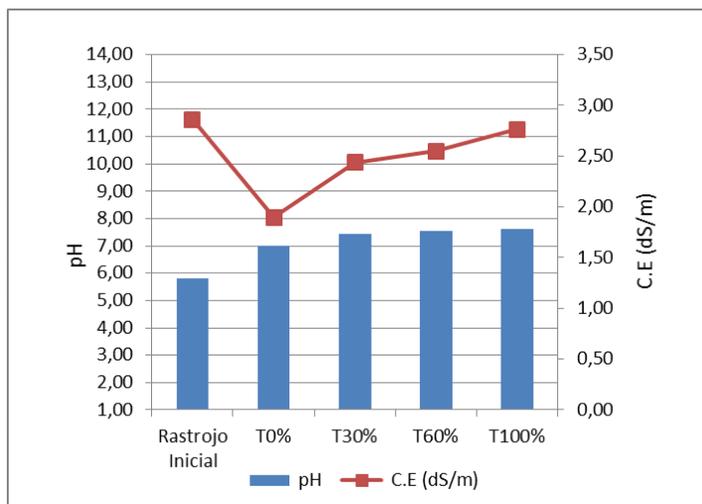
Organismo



## Convirtiendo los rastrojos de trigo en un producto ambientalmente valioso

Producto del tratamiento de rastrojo de trigo con efluentes con 0% digestato; efluente con 30% digestato; efluente con 60% digestato; y efluente con 100% de digestato, se observa en la gráfica que:

- Disminuye levemente la Conductividad Eléctrica del producto degradado, figurando en el rango de 2 a 2,5 dS/m, lo que significa una mejora de las propiedades como producto a incorporar al suelo, y



- El producto final de rastrojo degradado es estable con pH cercano a 7, es decir neutro.

## Conclusiones

Mediante el uso de digestatos provenientes de la digestión anaeróbica de biomasa, es posible utilizarlos como insumos para la degradación biológica de rastrojos de cultivos de cereales. En experiencias piloto comerciales con rastrojo de trigo se obtuvo un producto con propieda-

des benéficas para el suelo, donde: El aporte natural de nutrientes puede llegar hasta 40-20-35 unidades de N-P-K; se mejora las propiedades físicas y químicas del suelo. Además, esa tecnología es accesible con costos muy bajos para los grandes productores y PYME, pudiendo así

evitar el uso del fuego en la quema de rastrojos, la cual degrada el suelo por pérdida de materia vegetal, humus y microorganismos benéficos.

**“La aplicación de digestatos a rastrojos de cereales mejora las propiedades físicas y químicas del suelo en menor tiempo, y a un costo accesible con ahorro de uso de fertilizantes artificiales en cultivos posteriores”**

## Bibliografía consultada

Agustín Taladriz, Schwember, A, 2012. Cereales en las zonas centro-sur y sur de Chile, ¿Qué hacer con los rastrojos?. En: Agronomía y Forestal UC, N°46.

Xavier Martínez. Gestión y tratamiento de residuos agrícolas (segunda parte). En: Infoagro. [http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos\\_agricolas2.htm](http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_agricolas2.htm) capturado en abril 2015.

INE, 2015. Encuesta de la superficie sembrada de cultivos anuales— preliminar. En: <http://www.odepa.cl/>

cultivos-anuales-estimacion-de-superficie-sembrada-a-nivel-nacional-anos-agricolas-201112-y-201213-2/

MARM, 2010. Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-0997-3

Pablo F. Richmond y Rillo, S., 2010. 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.

En: Informaciones Agrícolas N° 43, 22-26. AER INTA 9 de Julio, Buenos Aires, Argentina. En: [https://ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/4BD9AA16EA1E3D98032576350069A9A6/\\$file/22.pdf](https://ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/4BD9AA16EA1E3D98032576350069A9A6/$file/22.pdf)

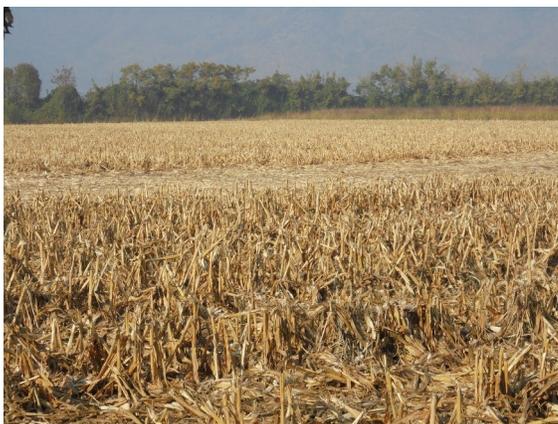
PORTAL DEL CAMPO. Quemadas agrícolas, una práctica inadecuada que cuesta erradicar. Publicada el 11/03/2013. En: <http://www.portaldelcampo.cl/noticias/verNoticia/32797/quemas-agricolas-una-practica-inadecuada-que-cuesta>

## Alternativa a la quema de rastrojos mediante inoculantes provenientes de biodigestores:

# “Produciendo Maíz en armonía con el medio ambiente”

### Contenido:

## Situación actual



Imágenes tomadas por René Medina de fecha 5 abril 2015



Pérdida de nutrientes por quemar los rastrojos 2

Quemas agrícolas, una práctica inadecuada que cuesta erradicar 2

Soluciones viables 2

Degradación de rastrojos de maíz 3

Análisis del tamaño final de partículas de rastrojo 3

Ensayos de fitotoxicidad en las propiedades del rastrojo de maíz 4

Conclusiones 4

### Punto de interés:

**“Las quemadas agrícolas son una práctica que está prohibida en países desarrollados por los problemas que traen, especialmente la contaminación ambiental y la degradación del suelo por pérdida de materia vegetal”**

Dentro de las prácticas agrícolas en la producción de maíz, éste es un cultivo que presenta en Chile buen manejo tecnológico en la producción de granos. Pero, hay carencias en el posterior manejo de los residuos generados, como son la caña, hojas y corontas, donde la quema es aparentemente la forma más económica de eliminar los residuos, sobre todo para los productores de bajos recursos. Tenemos en Chile 117.418 hectáreas con maíz, que constituye el 21,3% en superficie y el 35% en producción de granos entre de los cereales cultivados. La materia orgánica (MO) generada sumando raíces más caña (4 TM MS/ha) es superior a la producida por trigo (3,5 TM MS/ha) y cebada (2,5 TM MS/ha (Martínez, 2015). La quema

de rastrojos en el valle central ha contribuido fuertemente al empobrecimiento de los suelos, donde el contenido de MO es: muy bajo (13 % del total), bajo (68 % del total), medio (13 % del total) y alto (6 % del total). El contenido de MO de los suelos de la zona es con media de 2,17 % (Salazar et al., 2011; Casanova et al., 2012; Martínez et al., 2013). La pérdida de MO con su humus conteniendo alto contenido de nutrientes, va asociado a una creciente baja de los rendimientos, considerando el alto costo de los fertilizantes.

## Pérdida de nutrientes por quemar los rastrojos

En maíz con rendimiento promedio de 100 qqm/ha, la quema de rastrojos en Chile post cosecha de granos significa pérdidas de 140 unidades/ha de nitrógeno (N), más 20 unidades/ha de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 200 unidades/ha de potasio (K<sub>2</sub>O), más 60 unidades/ha de MgO y CaO, y

10 unidades/ha de S (MARM, 2010). Las pérdidas de humus en maíz por quema de rastrojo son de 1.120 k/ha (Martínez, 2015).

Nutrientes	kg /t de grano	
	Grano	Resto planta
Nitrógeno (N)	14	7
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	7	2
Potasio (K <sub>2</sub> O)	5	20
Calcio (CaO)	0,3	6
Magnesio (MgO)	2	6
Azufre (S)	1,3	1

Fuente: MARM, 2010

## Quemas agrícolas, una práctica inadecuada que cuesta erradicar

Las quemas agrícolas están prohibida en países desarrollados por los problemas de contaminación ambiental y la degradación del suelo por pérdida de materia vegetal.

En Chile se buscan alternativas que eviten esta práctica, tanto por el motivo ambiental y porque indirectamente provocan incendios forestales.

El uso del fuego en la quema de rastrojos es una práctica ancestral muy arraigada en Chile donde los agricultores se oponen a su eliminación. Aunque existe disposición de los agricultores para llegar a algún acuerdo que permita una solución a este problema, para ellos es

**“Las quemas agrícolas son una práctica que está prohibida en países desarrollados por los problemas que traen, especialmente la contaminación ambiental y la degradación del suelo por pérdida de materia vegetal”**

un tema económico.

Como es sabido los cultivos de grano han tenido una baja rentabilidad en los últimos años y aumentar los costos sería fatal. Por otro lado no se puede sembrar con mucha paja en el suelo, ya que se inhibe el crecimiento de los cultivos de rotación” (PORTAL DEL CAMPO, 2013).

Además, la degradación natural del rastrojo de maíz puede tardar varias temporadas, observándose restos de ese cultivo en el suelo durante 4 años a simple vista (Martínez, 2015; Richmond & Rillo, 2010).

Los agricultores están abiertos a una solución viable y a cooperar en el “compromiso que tiene el país de bajar la producción de gases invernadero, ya que incorporando los rastrojos se está mejorando el suelo para la agricultura”.

## Soluciones viables

En este sentido es clave que los procesos productivos se realicen de manera sostenible, lo que incluye la implementación de técnicas y tecnologías que permitan una mejor relación con el medio ambiente.

Una alternativa al fuego es provocar una rápida degradación de este material de modo de dejarlo en condiciones de ser incorporado al suelo.

Un acelerante de la degradación del material orgánico es el digestato proveniente de digestores anaeróbicos, el cual dispone de abundantes consorcios microbianos especializa-

dos en la degradación de las moléculas orgánicas. Por eso, a través del proyecto “Desarrollo de una tecnología alternativa a la quema de rastrojos mediante inoculantes provenientes de biodigestores” se validó

el uso de digestatos como acelerador del proceso de biodegradación de los residuos orgánicos agrícolas, permitiendo su reuso y disminuyendo con ello, la quema y emisión de gases de efecto invernadero (GEI).



## Degradación de rastrojos de maíz con digestatos

Se han obtenido en Chile resultados promisorios a nivel de campo usando distintas dosis de digestato para descomposición de rastrojos de maíz, los que al cabo de 4 meses

post tratamiento muestran distintos signos de degradación. Se realizó tratamiento biológico de rastrojo de maíz, en que se simuló condiciones de campo, usando distintas dosis

de efluentes obtenidos de digestores — **el digestato** —, cuyo ejemplo se muestra a continuación.



Imágenes que muestran efecto progresivo de degradación de rastrojo de maíz post tratamientos.

De izquierda a derecha: Efluente con 0% digestato; efluente con 50% digestato; y efluente con 100% digestato; donde el rastrojo remanente de maíz es broza difícil de identificar en sus componentes a simple vista. [Imágenes de Camila Ignacia Merlo Bravo]

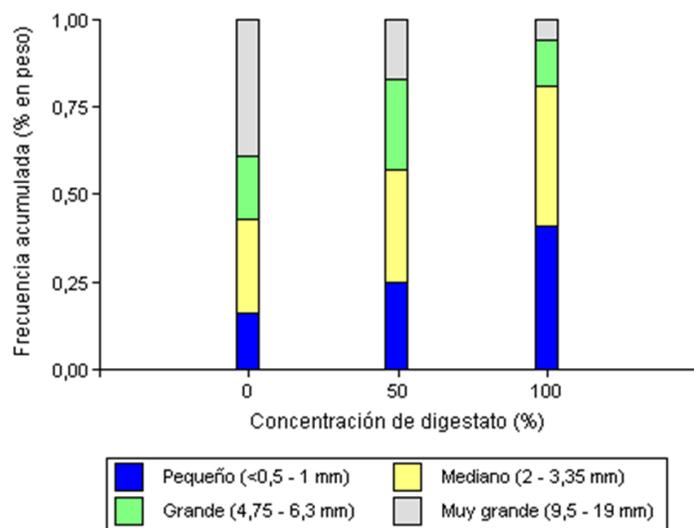
## Análisis del tamaño final de partículas de rastrojo degradado

La gráfica que se muestra a continuación explica que independiente del tamaño inicial de partículas de rastrojo de maíz, donde existen partículas desde muy grandes (> 20 cm) a pequeñas (< 8 cm), cuando se aplican dosis crecientes de digestato

**“El tamaño final de las partículas del rastrojo de maíz degradado disminuye a medida que se aumenta la concentración de digestato”**

para la degradación biológica de las mismas, el efecto final que se produce es una disminución dramática de las partículas, predominando en más de un 80% las partículas de tamaño mediano y pequeño.

*Distribución de tamaño de partícula en función de abertura de tamiz*



Gráfica que muestra la distribución de tamaño de partículas al usar dosis creciente de digestato.



Tamices correspondiente a las medidas descritas en el texto, usados para determinar tamaño de partículas en rastrojo de maíz.



Organismo



UNIVERSIDAD DE CHILE



Facultad de Ciencias Agronómicas  
Universidad de Chile  
Av. Santa Rosa N° 11315,  
Código Postal 882 08 08  
La Pintana, Santiago de Chile .  
www.agrimed.cl

Teléfono: +56-2-29785734  
Fax: +56-2-29785733  
Correo: mvarnero@uchile.cl

Organismo



*Ensayo de Fitotoxicidad: Realizado con semillas de rabanito (Raphanus sativus var. Cherry belle); de acuerdo con el método descrito en TMECC 05.05*

*Toxicidad severa : IG ≤ 50%*

*Toxicidad media : ≥ 50% IG ≤ 80%*

*Ausencia toxicidad : IG ≥ 80%*



Proyecto financiado por el Fondo de Protección Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente

www.fpa.mma.gob.cl

Tratamiento	Estabilidad biológica mg C-CO <sub>2</sub> /gMO/día	Índice de germinación (%)
R. Maíz	—	0
T1	0,16	94
T2	0,19	100
T3	0,14	100

## Conclusiones

Mediante el uso de digestatos provenientes de la digestión anaeróbica de biomasa, es posible utilizarlos como insumos para la degradación biológica de rastrojos de cultivos de cereales. En experiencias piloto comerciales con rastrojo de maíz se obtuvo un producto con propieda-

des benéficas para el suelo, donde: El aporte natural de nutrientes puede llegar hasta 158-22-209 unidades de N-P-K; se mejora las propiedades físicas y químicas del suelo. Además, esa tecnología es accesible con costos muy bajos para los grandes productores y PYME, pudiendo

así evitar el uso del fuego en la quema de rastrojos, la cual degrada el suelo por pérdida de materia vegetal, humus y microorganismos benéficos.

**“La aplicación de digestatos a rastrojos de cereales mejora las propiedades físicas y químicas del suelo en menor tiempo, y a un costo accesible con ahorro de uso de fertilizantes artificiales en cultivos posteriores”**

## Bibliografía consultada

Agustín Taladriz, Schwember, A, 2012. Cereales en las zonas centro-sur y sur de Chile, ¿Qué hacer con los rastrojos?. En: Agronomía y Forestal UC, N°46.

Xavier Martínez. Gestión y tratamiento de residuos agrícolas ( segunda parte). En: Infoagro. [http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos\\_agricolas2.htm](http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_agricolas2.htm) capturado en abril 2015.

INE, 2015. Encuesta de la superficie sembrada de cultivos anuales— preliminar. En: <http://www.odepa.cl/>

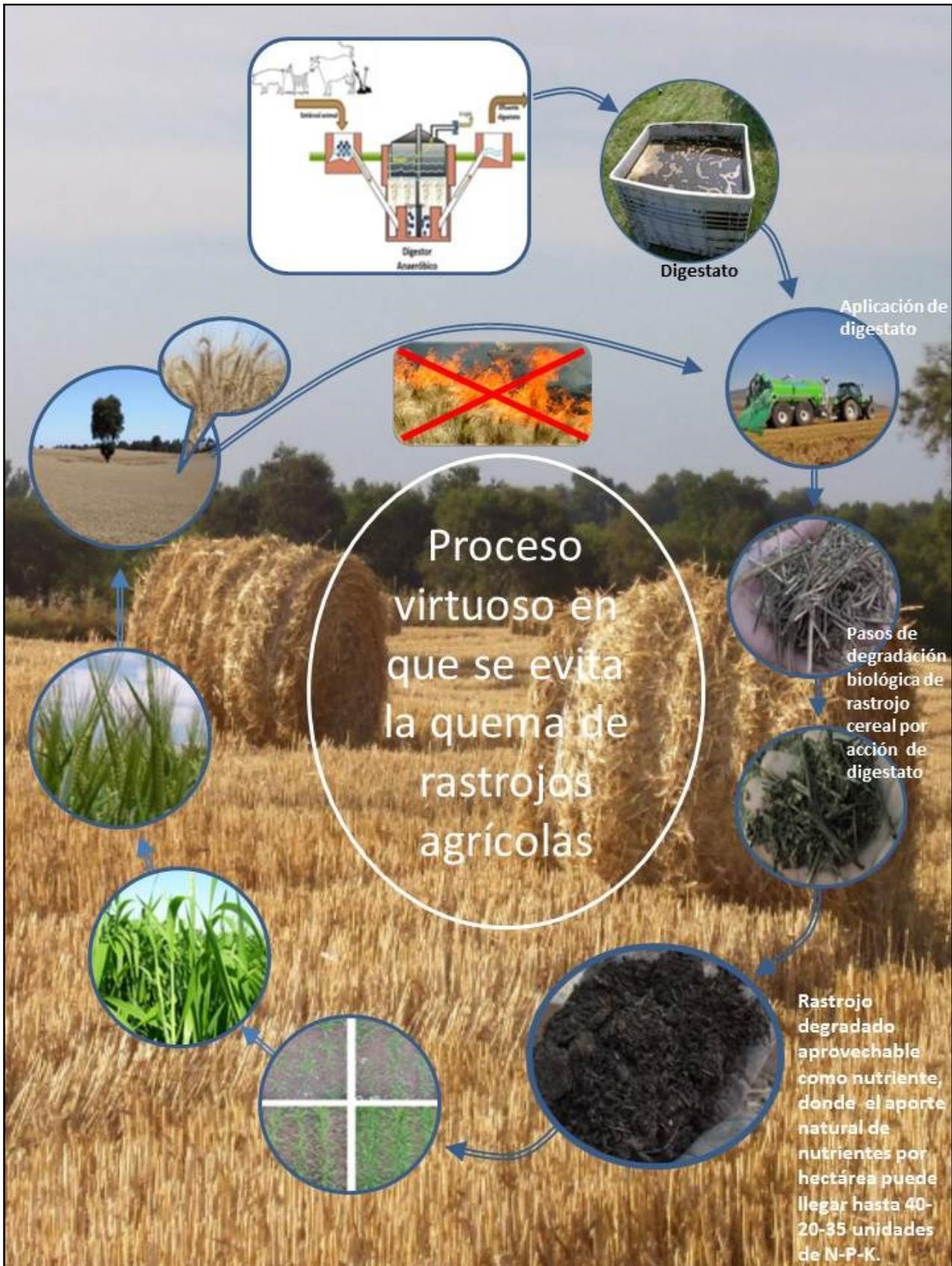
cultivos-anales-estimacion-de-superficie-sembrada-a-nivel-nacional-anos-agricolas-201112-y-201213-2/ MARM, 2010. Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-0997-3

Pablo F. Richmond y Rillo, S., 2010. 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.

En: Informaciones Agrícolas N° 43, 22-26. AER INTA 9 de Julio, Buenos Aires, Argentina. En: [https://ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/4BD9AA16EA1E3D98032576350069A9A6/\\$file/22.pdf](https://ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/4BD9AA16EA1E3D98032576350069A9A6/$file/22.pdf)

PORTAL DEL CAMPO. Quemadas agrícolas, una práctica inadecuada que cuesta erradicar. Publicada el 11/03/2013 . En: <http://www.portaldelcampo.cl/noticias/verNoticia/32797/quemas-agricolas-una-practica-inadecuada-que-cuesta>





*Organismo Ejecutor*



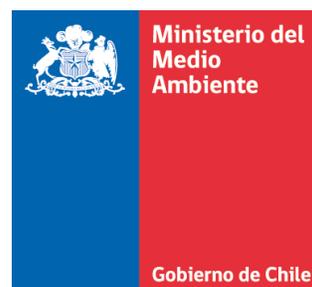
UNIVERSIDAD DE CHILE



*Organismo Asociado*



*Financia*



Proyecto financiado por  
Fondo de Protección Ambiental  
Ministerio del Medio Ambiente

[www.fpa.mma.gob.cl](http://www.fpa.mma.gob.cl)