

// Informe técnico

Relevamiento de Producción de Digeridos de Plantas de Biogás en Argentina



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

- › **Miguel ALMADA**
Coordinador de Bioenergía
- › **Celina ESCARTÍN**
Coordinación de Bioenergía
- › **Agustina BRANZINI**
Coordinación de Bioenergía

Instituto de Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

- › **Patricia BRES**
Laboratorio de Transformación de Residuos
Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola
Centro de Investigación de Ciencias Veterinarias y Agronómicas (CICVyA)
- › **Maria Eugenia BEILY**
Laboratorio de Transformación de Residuos
Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola
Centro de Investigación de Ciencias Veterinarias y Agronómicas (CICVyA)
- › **Jorge Antonio HILBERT**
Instituto de Ingeniería Rural
Centro de Investigación de Agroindustria (CIA)
Proyecto DiBiCoo

— 2021 —

Este documento fue realizado en el marco del Convenio de Cooperación Técnica (CONVE 2021 23933665-APN-SABYDR#MAGYP) entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y parcialmente financiado por el proyecto DiBiCoo (Digital Biogas Cooperation) del Programa de Innovación e Investigación Horizonte 2020 de la Unión Europea, bajo el acuerdo N 857804. La responsabilidad del contenido de este documento es de los autores y no necesariamente refleja la opinión de la Unión Europea.

Este informe ha sido elaborado por Patricia Bres, Agustina Branzini, María Eugenia Beily, Celina Escartín y Jorge Hilbert, con la colaboración de Miguel Almada.



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina

Índice

Resumen ejecutivo	4
Introducción	5
Marco de referencia	6
Metodología	8
Resultados	9
Aspectos generales	9
Sustrato y alimentación	10
Factores operativos	12
Producción de digeridos	13
a. Tratamiento y gestión de los digeridos	13
b. Determinaciones analíticas y frecuencia de monitoreo	16
Destino del digerido	18
Barreras sobre la utilización del digerido	19
Conclusiones	21
Bibliografía	22

Índice de gráficos

Figura 1. Distribución geográfica de las plantas de biogás encuestadas	9
Figura 2. Origen del sustrato principal de las plantas de biogás	10
Figura 3. Sustratos y cosustratos utilizados en las plantas de biogás relevadas	11
Figura 4. Sistemas de pretratamiento de los sustratos	12
Figura 5. El porcentaje de plantas de biogás en función al rango de temperatura	13
Figura 6. Tipo de separadores utilizados en las plantas de biogás encuestadas	14
Figura 7. Sistema de almacenamiento del digerido líquido	15
Figura 8. Sistema de almacenamiento del digerido sin separación	15
Figura 9. Frecuencia de análisis en el digerido líquido (a) y sólido (b) para cada parámetro en función al porcentaje de respuesta	17
Figura 10. Frecuencia de análisis en el digerido sin separación para cada parámetro en función al porcentaje de respuesta	17
Figura 11. Destino del digerido sin separación, del digerido líquido y del digerido sólido en función al porcentaje de respuesta	18
Figura 12. Barreras referidas al marco legal	20

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de sistemas de almacenamiento de los sustratos	11
Tabla 2. Tratamiento del digerido líquido y sólido de las 10 plantas con sistema de separación	14
Tabla 3. Orden de importancia de las barreras identificadas para la utilización del digerido	19

Resumen ejecutivo

Este informe técnico tiene como objetivo principal brindar información sobre la producción, manejo y gestión de digeridos en Argentina. Se relevaron mediante una encuesta 20 plantas de biogás, de un total de 27 registradas como operativas y con volúmenes superiores a 1000 m³ de reactor. Las plantas se concentran en un 90% en Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe, ubicadas en zonas rurales, siendo el objetivo principal la producción de electricidad. La mayoría procesa biomasa proveniente de la actividad agrícola-ganadera, siendo el purín de cerdo y el silaje de maíz los sustratos predominantes. El 50% realiza separación física del digerido como primer método de procesamiento, generándose un digerido líquido y sólido. A su vez, la gran mayoría utiliza lagunas de estabilización, tanto para el digerido sin separación como para el líquido, funcionando también como reservorio. Por otro lado, el digerido sólido se almacena mayoritariamente en playones o sobre la superficie del suelo a temperatura ambiente hasta su uso o disposición final. El principal destino del digerido en sus distintas fracciones es su aplicación a campo para uso en agricultura. El 70% aplica el digerido líquido en terrenos propios con plan de manejo agrícola. En el caso del digerido sin separación se aplica en igual medida, tanto en terrenos propios como no propios. La aplicación principal es en pasturas, así como en cultivos de maíz, soja y trigo, siendo la técnica en superficie el principal método utilizado. Se identificaron como principales barreras que dificultan el aprovechamiento del digerido, los costos de transporte, el marco legal y la falta de tecnología de post-tratamiento. El desconocimiento de la existencia de un marco normativo fue el motivo de mayor preponderancia en cuanto a las dificultades actuales para el uso del digerido. Por último, si bien se identificó interés en comercializar el digerido, se evidencia la necesidad de implementar políticas públicas que promuevan la valorización del mismo, con el acompañamiento de desarrollos tecnológicos, buenas prácticas de manejo, comunicación y difusión de las normativas y regulaciones existentes sobre el uso seguro del digerido en nuestro país.

Introducción

El proceso de digestión anaeróbica de materiales orgánicos genera dos productos: un combustible gaseoso denominado biogás y un material semilíquido denominado digerido. El digerido consiste en una mezcla de biomasa microbiana (proveniente del proceso de digestión), material no biodegradable y productos metabólicos provenientes del proceso de degradación (Al Seadi *et al.*, 2013). Este producto se obtiene a la salida del reactor o luego de un proceso de almacenamiento, en cualquiera de sus fracciones sólida o líquida (SGAyDS, 2019). Sus características dependen de la naturaleza y composición del sustrato como así también del tipo de reactor utilizado y los factores operativos del proceso anaeróbico (Drosg *et al.*, 2015).

Su composición rica en macronutrientes como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y otros elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, hace que el principal destino del digerido sea su uso en agricultura como fertilizante. Para poder ser utilizado en agricultura de forma segura, el digerido debe presentar ciertos criterios que garanticen su calidad (SGAyDS, 2019):

- › **Libre de patógenos:** la higienización del digerido es necesaria para evitar riesgos a la salud humana e impactos en el ambiente por contaminación patogénica.
- › **Estable:** la presencia de alto contenido de compuestos metabólicos biodegradables, como los ácidos orgánicos volátiles, le confiere inestabilidad microbiana. La adición al suelo de digerido inestable produce una rápida activación microbiana con la consecuente emisión de CO₂, óxido nitroso y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera y efectos negativos sobre el sistema suelo-planta (Bernal *et al.*, 2014).
- › **No tóxico:** los elementos potencialmente tóxicos (EPT) como algunos metales pesados, metaloides y micronutrientes, por encima de los valores límites de toxicidad, pueden tener efectos negativos en el ambiente y en la salud humana.

Desde el punto de vista de criterios de calidad que establece la norma técnica Resolución 19/2019, el contenido de nutrientes y materia orgánica no presenta valores límites. Sin embargo, la aplicación agronómica del digerido deberá estar acompañada por un plan de manejo agrícola, que considere el balance entre el aporte de nutrientes del digerido y los requerimientos del cultivo. Por ello, es importante conocer la composición nutricional del digerido, ya que una inadecuada aplicación o dosis excesivas, puede generar riesgos ambientales, incidiendo negativamente en el agua, suelo y plantas (García, 2015). En otros países, existen estrictos controles y regulaciones para la aplicación de fertilizantes orgánicos y digeridos con zonas definidas como sensibles, debido a que dosis continuas y excesivas de estos materiales en el tiempo han provocado niveles altos de contaminación por nitratos (Bernal *et al.*, 2014).

Si el digerido no cumple con los requisitos de calidad, existen distintas alternativas tecnológicas y de manejo que incrementan su valor agregado y que mejoran su calidad para alcanzar estos criterios exigibles para su aplicación.

Comúnmente el digerido total es separado *in situ* en las plantas de biogás a través del uso de distintos equipos separadores como tornillo prensado, centrifugas o filtros banda (Drosg *et*

al., 2015). Esto permite obtener dos fracciones que amplían el abanico de alternativas de uso del digerido.

La fracción sólida contiene típicamente concentraciones del 20 al 30% de sólidos totales. El digerido sólido puede ser compostado o bien aplicado directamente como fertilizante orgánico si está estabilizado. Otras tecnologías que facilitan su comercialización y valorización son el secado y la pelletización. Además, existen nuevas rutas que han sido propuestas para incrementar la valorización del digerido sólido tales como biocombustibles para hornos domésticos, producción de biochar, empleo como camas para animales estabulados y como sistema de post-tratamiento para la recuperación del metano (Akhlar *et al.*, 2017).

La fracción líquida concentra la mayor parte de los sólidos suspendidos y nutrientes del digerido total. Su principal utilización es como agua de dilución de la materia prima o bien como biofertilizante líquido. Algunas de las tecnologías aplicadas para incrementar su valorización son la oxidación biológica, la producción de microalgas para biocombustibles, la recuperación de nutrientes, la evaporación y, los sistemas de ultrafiltración y purificación (Pell Frischmann Consultants Ltd, 2012).

Las distintas tecnologías aplicadas en el digerido permiten generar diferentes productos que facilitan su transporte y comercialización. A nivel mundial, los productos obtenidos a partir del digerido como fertilizantes sólidos (estruvita, sulfato de amonio), concentrados líquidos, pellet, compost y biochar se comercializan. Otros productos como biocombustibles a partir de algas (recuperación energética) aún se encuentran en etapa piloto y demostrativa (Guilayn *et al.*, 2020).

El digerido es parte de una corriente de retorno de materia orgánica y nutrientes a los sistemas productivos enmarcándose bajo el concepto de economía circular. Su correcta utilización permite, junto a otras técnicas englobadas bajo el concepto de “biogás hecho correctamente”, lograr incrementos en los contenidos de materia orgánica del suelo. Estos incrementos modifican el balance total de los sistemas agropecuarios, permitiendo cuantificar una captura de carbono que influye en la huella de carbono de todos los productos generados. También se está abriendo la posibilidad de comercializar dichos bonos en mercados específicos. La reciente directiva de la Unión Europea contempla todas estas posibilidades dándole crédito de emisiones al sistema.

Marco de referencia

Durante los últimos años se incrementó la generación de biogás en distintas regiones de nuestro país, debido principalmente a la implementación del Programa RenovAr por el Ministerio de Energía y Minería, en aras de aumentar la participación de las energías renovables en la matriz energética (MEM, 2016).

Acompañando este incremento en la cantidad de plantas de digestión anaeróbica, se normalizó el uso y aplicación de los digeridos mediante la Resolución 19/2019 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SGAyDS, 2019). Siguiendo los criterios internacionales, la implementación de estas políticas públicas promueven la aplicación de esta tecnología bajo un abordaje integral, mediante la valorización de los dos productos obtenidos en el proceso: biogás y digerido.

El uso agrícola y la valorización del digerido son áreas poco exploradas en Argentina. La mayoría de las plantas de biogás instaladas se han centrado en la valorización energética del biogás, pero no en el aprovechamiento del digerido. Existe un gran desconocimiento sobre las propiedades de los digeridos a partir de distintas biomásas argentinas y sobre las variadas herramientas tecnológicas que permiten mejorar la calidad y el valor agregado del digerido.

En este contexto, en el año 2020, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, firmaron un convenio de cooperación técnica para desarrollar actividades que permitan brindar información sobre la producción, manejo y gestión de los digeridos en Argentina (CONVE 2021 23933665-APN-SABYDR#MAGYP).

El proyecto internacional de la Unión Europea H2020-DiBiCoo (*Digital Biogas Cooperation*) colaboró y aportó fondos a esta investigación respondiendo a módulos específicos de búsqueda de vacantes tecnológicas asociadas al biogás en Argentina.

Los proyectos nacionales INTA (PD-E2-I518-002¹ y PE-E7-I149-001²), dan continuidad al desarrollo de las actividades involucradas en el campo de la investigación y desarrollo del INTA.

En el presente convenio se planteó como objetivo principal conocer el manejo y la gestión de los digeridos provenientes de las plantas de biogás operativas a nivel nacional de gran escala identificando sus limitaciones y oportunidades. Los objetivos específicos fueron: a) identificar las plantas de biogás operativas con capacidad de más de 1000 m³ de reactor en Argentina; b) relevar información de base acerca de los aspectos asociados a la producción, gestión y uso de los digeridos. Este relevamiento incluyó aquellas plantas de digestión anaeróbica en húmedo, en funcionamiento (operativas) y con volúmenes superiores a 1000 m³ de reactor categorizadas como escala grande o industrial, según FAO (2019). Se espera que esta línea de base del estado de situación sobre la producción de digeridos en Argentina, promueva la introducción de mejoras en los sistemas, una mayor valorización del producto y la adopción de buenas prácticas de manejo y gestión del digerido, para asegurar así el exitoso desarrollo de esta tecnología en nuestro país bajo el contexto de una economía circular.

1 Estudio del impacto ambiental, gestión y tratamiento de residuos y efluentes sobre sistemas agropecuarios y agroindustriales para su valorización agronómica. Programa Nacional de Gestión Ambiental, Recursos Naturales y Ecorregiones.

2 Bioenergía generada en origen como aporte al desarrollo territorial. Programa Nacional de Agroindustria, Valor Agregado y Bioenergía.

Metodología

El relevamiento de la producción de digeridos de plantas de biogás en Argentina se llevó a cabo a través de distintas etapas, mediante el uso de tecnologías de la información y de la comunicación (TICs) de manera remota.

Etapas 1. Generación de una base de datos actualizada de las plantas de biogás.

Se identificaron las plantas de biogás que se encontraban en funcionamiento y categorizadas como grandes, es decir, con volúmenes superiores a 1000 m³ de reactor (FAO, 2019). Para ello se contó con distintas fuentes:

1. El registro de las plantas adjudicadas en el plan RenovAr (información proporcionada por el Ministerio de Energía y Minería de la República Argentina -Secretaría de Energía- Dirección de Energías Renovables) que se encontraban operativas y proporcionando energía a la red eléctrica.
2. El registro de los proveedores de tecnología en Argentina, documento elaborado a través del proyecto internacional Horizonte 2020-DIBICOO (DiBiCoo, 2020).
3. El listado de plantas de biogás del relevamiento realizado por el INTI-PROBIOMASA (FAO, 2019).

También colaboraron en la construcción de este registro de plantas de biogás, los participantes del proyecto nacional disciplinario PD-E2-I518-002 y del proyecto nacional estructural PE-E7-I149-001 de INTA. Teniendo en cuenta la distribución geográfica de los distintos participantes INTA y sus trabajos en el territorio sobre la digestión anaeróbica de distintas materias primas se logró difundir esta actividad del relevamiento de plantas de biogás en distintas regiones de nuestro país, logrando así tener un alcance nacional.

Se validaron los datos recabados y el actual funcionamiento de cada una de las plantas identificadas y la participación en la encuesta del contacto registrado.

Etapas 2. Relevamiento de la producción y gestión de digeridos en Argentina.

Se elaboró un formulario encuesta a completar de manera remota por el responsable designado por cada empresa. La encuesta se estructuró en cinco secciones:

1. aspectos generales
2. sustrato y alimentación
3. factores de operación
4. producción de digeridos
5. destino y barreras.

La elaboración y difusión de la encuesta se realizó mediante la implementación de diferentes TICs por el equipo de trabajo. Se realizó un taller para capacitar e informar a los encuestados sobre los datos e información requerida para completar la encuesta.

Etapas 3. Sistematización de la información relevada y análisis de datos.

Se trabajó en la organización de la información, el análisis e interpretación de los resultados obtenidos de la encuesta y la elaboración de este documento.

Resultados

Se identificó un total de 27 plantas de biogás en funcionamiento (año 2021), con volúmenes superiores a 1000 m³ de reactor. Los resultados mostrados en este informe corresponden a la información brindada por las 20 plantas que completaron la encuesta. A continuación, se detallan los aspectos más significativos encontrados en cada una de las cinco secciones de la encuesta.

Aspectos generales

En la Figura 1 se muestra la distribución por provincia de las plantas de biogás. El 90% de las mismas se concentran en Buenos Aires, seguido de Córdoba y Santa Fe. Con respecto a la zonificación de las plantas (rural, urbana o industrial) el 80% están ubicadas en zonas rurales, relacionado esto con el tipo de actividad que es principalmente de producción primaria.

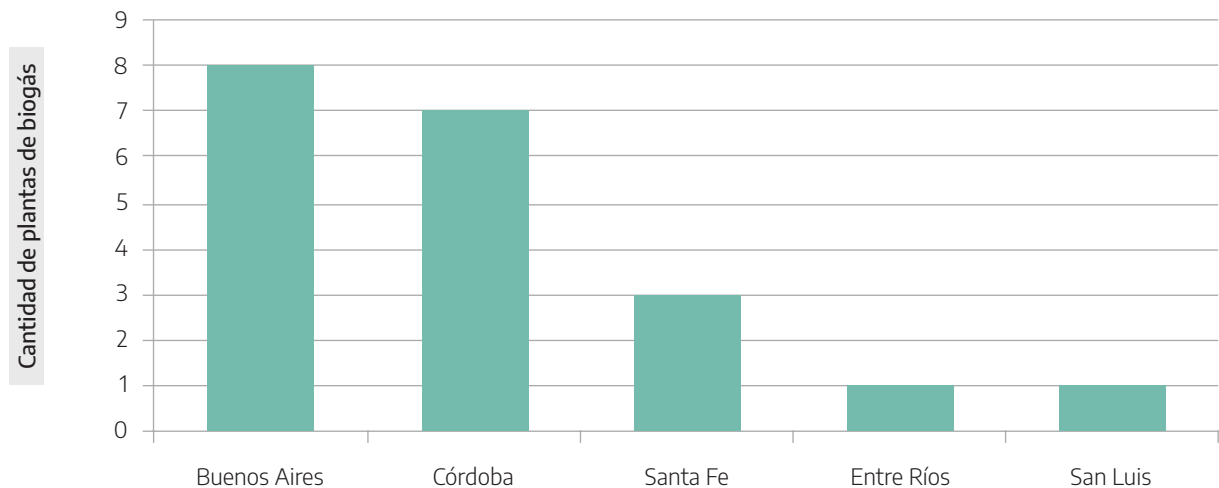


Figura 1: Distribución geográfica de las plantas de biogás encuestadas.

El 90% de las plantas encuestadas pertenece al sector privado y los principales objetivos identificados para la instalación de las plantas son, en orden descendente, producción de electricidad (55%), tratamiento de residuos (40%) y generación de energía para autoconsumo (5%).

Relacionado a las características constructivas, de arranque e implementación de esta tecnología, se evaluaron los distintos tipos de reactores utilizados, el material inoculante y el origen del diseño ingenieril de la tecnología. Los reactores de mezcla completa son los más utilizados en las plantas de biogás categorizadas como grandes con un 65%, seguido por las lagunas cubiertas con un 25% del total. El origen de la tecnología es mayoritariamente nacional (60%) y europea (20%), con la creciente tendencia de combinar tecnología nacional-europea (15%) y un 5% es tecnología australiana. El material inoculante utilizado es el purín de cerdo³ en un 55% de los casos relevados y el resto se reparte entre estiércol bovino y lodos.

3 Los residuos generados en un sistema de producción porcina están compuestos por una parte sólida, formada principalmente por el estiércol, paja y restos de alimentos; y otra líquida constituida por orín, agua de los bebederos, de lluvia y de lavado. Al conjunto de estas dos corrientes se la denomina purín (Hidalgo et al., 2001)

También se relevaron las principales limitantes encontradas en cuanto al arranque y puesta en marcha de la tecnología. Los aspectos asociados a la construcción (25%), asistencia técnica (20%) y las autorizaciones necesarias para la habilitación (20%), fueron las principales limitaciones identificadas. Se mencionaron otros aspectos limitantes como económicos, contrato de venta de energía y tecnología disponible para esta escala de producción.

Sustrato y alimentación

En la Figura 2 se muestran los distintos tipos de sustratos principales utilizados por las plantas de biogás relevadas, los cuales fueron agrupados en dos categorías: sustratos de origen agrícola-ganadero y de origen agroindustrial. Los sustratos agrícolas-ganaderos comprenden purín de cerdo, estiércol bovino y silaje de maíz; mientras que los sustratos agroindustriales incluyen destilados de maíz, efluentes de frigoríficos y residuos orgánicos industriales como chala y marlos de las plantas semilleras.

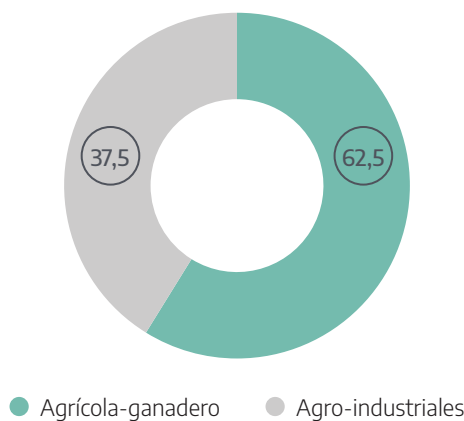


Figura 2. Origen del sustrato principal de las plantas de biogás

El principal sustrato utilizado en las plantas encuestadas proviene de la actividad agrícola-ganadera, siendo el purín de cerdo y el silaje de maíz las biomásas predominantes.

Los estiércoles ganaderos como el purín de cerdo presentan características favorables (macro y micronutrientes, elevada concentración de materia orgánica biodegradable, alcalinidad, alto contenido de humedad) para ser tratados por la tecnología digestión anaeróbica. Sin embargo, el alto contenido de amoníaco puede conducir a una inhibición del proceso o bien obtener bajos rendimientos de biogás y metano (Raave *et al.*, 2017; Drosch *et al.*, 2015). Es por ello que, los purines de cerdo y la mayoría de los estiércoles, requieren el agregado de cosustratos (sustrato en menor proporción que el sustrato principal) para favorecer el proceso anaeróbico y así incrementar la producción energética y la calidad del digerido.

Alrededor de un 70% de las plantas realiza procesos de codigestión (mezcla de sustrato con cosustrato). En la Figura 3 se puede ver que el silaje de maíz y el estiércol bovino son los cosustratos predominantes. Ambos sustratos presentan características favorables para ser utilizados como cosustratos, debido principalmente a su alto contenido de carbono y bajo contenido de nitrógeno que permiten balancear la relación C/N del sustrato principal en el proceso anaeróbico (Holm-Nielsen *et al.*, 2009). Además, el silaje de maíz es una biomasa accesible y de gran disponibilidad, asociada a los sistemas productivos ganaderos.

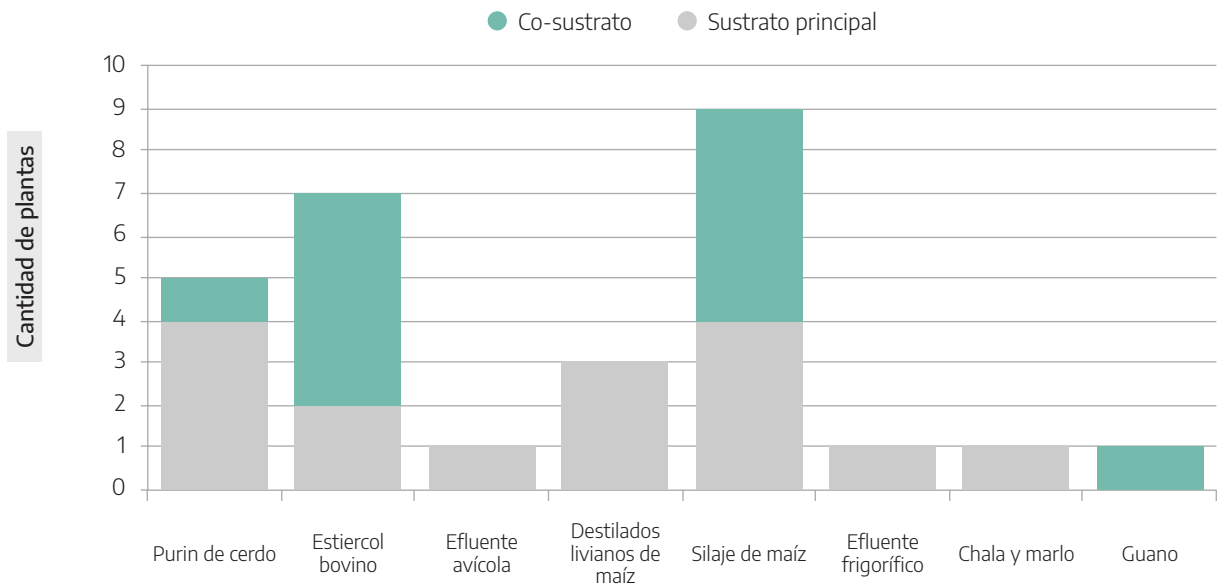


Figura 3. Sustratos y cosustratos utilizados en las plantas de biogás relevadas

El análisis de la procedencia del sustrato mostró que un 55% proviene de fuente interna, es decir generado dentro del propio establecimiento o sistema de producción. Un 37% proviene de fuentes externas, donde los sustratos son generados por otros sistemas de producción. Un 26% de los casos de procedencia externa, compran el sustrato y el resto lo adquiere por donación.

Para analizar los aspectos de acondicionamiento y manejo del sustrato se evaluaron los tipos de sistemas de almacenamiento, de pretratamiento y el porcentaje de sólidos de ingreso al reactor con respecto al sustrato.

Los sistemas de almacenamiento de los sustratos son variados ya que están directamente relacionados al tipo de sustrato utilizado (Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de sistemas de almacenamiento de los sustratos

Tipo de sistema	Porcentaje (%)
Silo bolsa	26
Lagunas	21
Tanque	21
Aire libre	21
Trinchera con lona	5
Ninguno	5
TOTAL	100

En cuanto a los sistemas de acondicionamiento o pretratamiento del sustrato, cerca de un 70% de las plantas encuestadas respondió que no realiza ningún tipo de pretratamiento. El 30% restante, mencionó realizar como sistemas de pretratamiento la pasteurización, tratamientos químicos, y tratamientos físicos como la decantación y sistemas de tratamientos mecánicos (Figura 4).

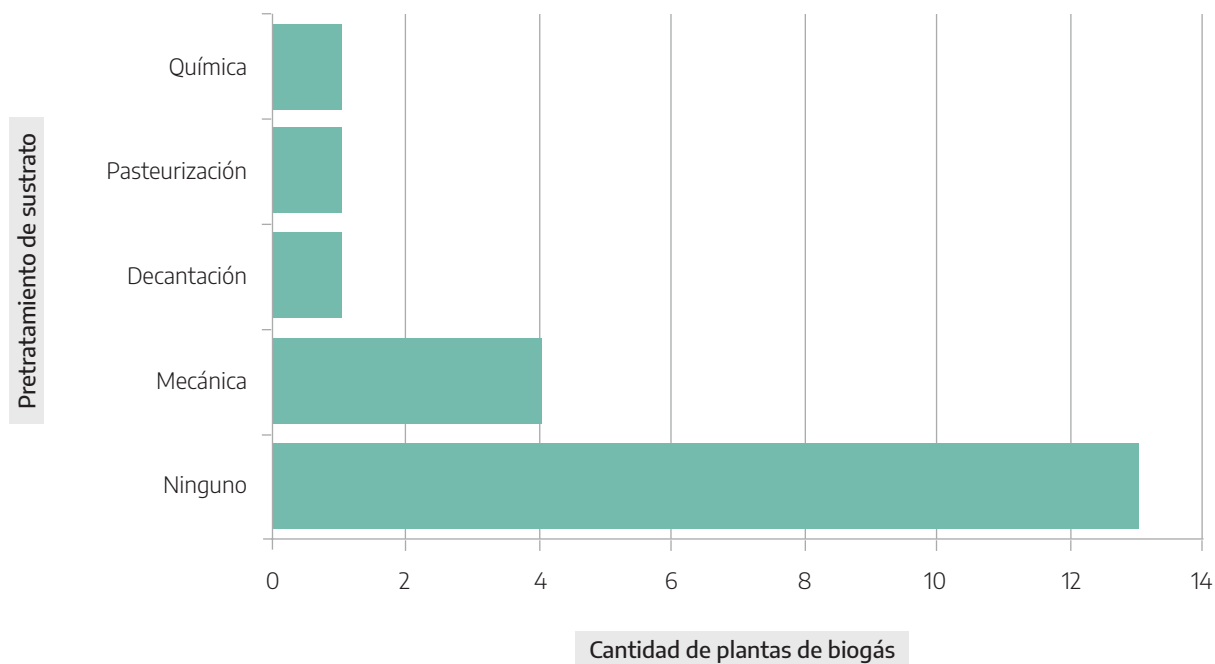


Figura 4. Sistemas de pretratamiento de los sustratos.

Respecto al porcentaje de sólidos totales (ST) de manejo del reactor, el 47% de los casos trabaja con un rango comprendido entre un 5 y 10% de ST y un 29% trabaja con un porcentaje entre el 15 y 20% de ST. El resto trabaja con concentraciones menores al 5%, relacionado esto con los efluentes del tipo industrial. El análisis de estos resultados permite determinar que el 100% de los casos trabaja en procesos de digestión anaeróbica húmeda (rango entre 10-20% de ST de trabajo), mostrando que aún la digestión anaeróbica en seco es poco explorada e implementada en Argentina para las biomásas residuales sólidas.

Respecto al flujo de alimentación de las plantas, la mayoría de las plantas trabajan en condición de flujo continuo (alimentación diaria).

Factores operativos

Se evaluaron los diferentes factores que influyen en el proceso anaeróbico como ser capacidad total de digestión, temperatura de trabajo, sistemas de calefacción y de agitación y calidad del biogás generado.

Para evaluar la dimensión de las plantas, se analizó la capacidad total de digestión, discriminándose en tres categorías: con volúmenes menores a 5000 m³, entre 5000 y 10000 m³ y con volúmenes superiores a 10000 m³. El mayor porcentaje de las plantas encuestadas se ubicó en la categoría de mayor tamaño con volúmenes de trabajo superiores a los 10000 m³ totales (65%).

En lo que respecta a la temperatura, casi el 80% de las plantas trabaja en el rango mesofílico, en concordancia con la tendencia mundial (Figura 5). Por otro lado, dos plantas trabajan en rango psicrófilico y otras dos en rango termofílico. Las temperaturas psicrófilicas y mesofílicas no suelen ser efectivas para la inactivación y remoción de patógenos, mientras que la condición termofílica ha sido reportada como el rango de temperatura en la cual se logra eficazmente la inactivación de todos los patógenos presentes (Jiang *et al.*, 2020).

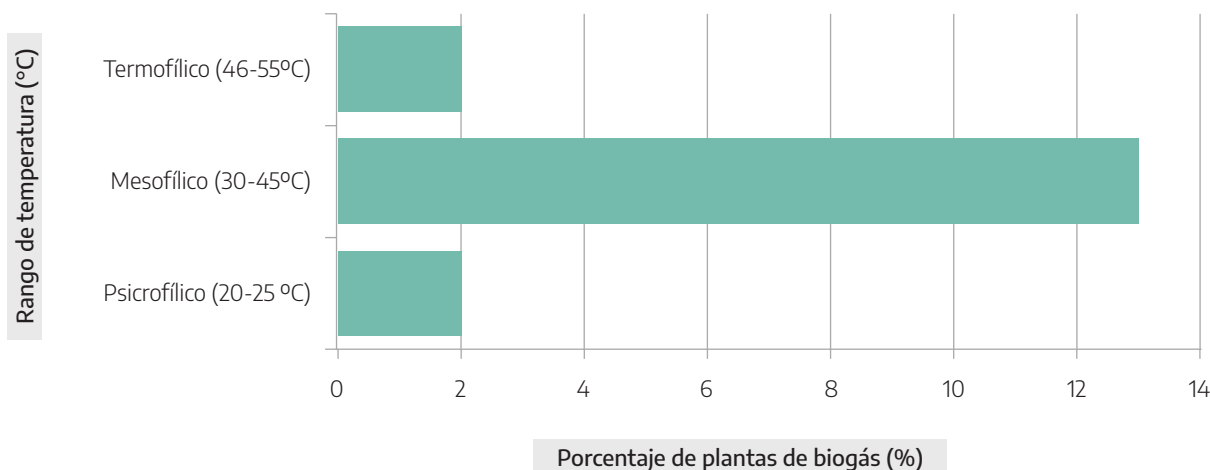


Figura 5. El porcentaje de plantas de biogás en función al rango de temperatura (psicrofílico, mesofílico, termofílico).

En cuanto a los tipos de calefacción, predominan los sistemas de calefacción interna con un 72%, mientras que los sistemas de calefacción externa se utilizan en un 28%. Respecto a la agitación dentro del reactor, la totalidad de las plantas cuenta con algún sistema, siendo el de tipo mecánico el que se utiliza en un 75%, mientras que el 25% restante cuentan con sistemas de agitación por recirculación del líquido.

Se evaluó el grado de conocimiento de la calidad del biogás generado, porque es uno de los parámetros principales que permite indicar la eficiencia del proceso. El 82% de las plantas de biogás declaró conocer y analizar la composición y calidad del biogás generado, mientras que un 18% no analiza su composición. En relación a la composición de biogás, las plantas reportaron concentraciones adecuadas de CH_4 y CO_2 y con bajas trazas de sulfhídrico, sugiriendo una eficiencia óptima del proceso y su potencial uso como energía eléctrica. En tal sentido, en cuanto a los usos del biogás, el 95% de las plantas realizan cogeneración.

Producción de digeridos

a. Tratamiento y gestión de los digeridos

De las 20 plantas encuestadas, 16 plantas registran un total 3115 tn de digeridos al año (4 plantas no tienen datos registrados). Considerando las características que tiene el digerido, estas cantidades representan un gran potencial para ser aprovechado en Argentina. Asimismo, mediante distintos manejos y herramientas tecnológicas el digerido puede ser transformado en productos mejorados, incrementando su valorización agronómica y favoreciendo su comercialización.

La primera etapa de procesamiento del digerido es su separación, la cual permite obtener dos fracciones distintas, una fracción sólida llamada digerido sólido, y una fracción líquida llamada digerido líquido. Por eso, en lo que respecta a la evaluación de la producción de digeridos, fue importante identificar aquellas plantas que realizan un tratamiento de separación, ya que estas dos fracciones pueden tener distintos tratamientos, destinos y usos.

La mitad de las 20 plantas aplica algún método de separación física del digerido. Los tipos de separadores utilizados son: prensa, tornillo, rotativo y helicoidal, siendo este último el

más utilizado (50%) (Figura 6). También existen otros tipos de separadores que no son sistemas mecánicos. Una de las plantas utiliza un contenedor de geotextil que es un método utilizado para la deshidratación de lodos o materiales con alto contenido de agua, donde el tramado de la tela permite retener un alto porcentaje de sólidos y filtrar el agua tratada (Moo-Young *et al.*, 2002). Otra planta utiliza el método de deshidratación de lodos por un sistema de lecho de secado, donde el líquido percola por gravedad a través de un medio poroso y se evapora por mecanismos de radiación-convección, reteniendo el material sólido en la parte superficial (Lawrence *et al.*, 2007).

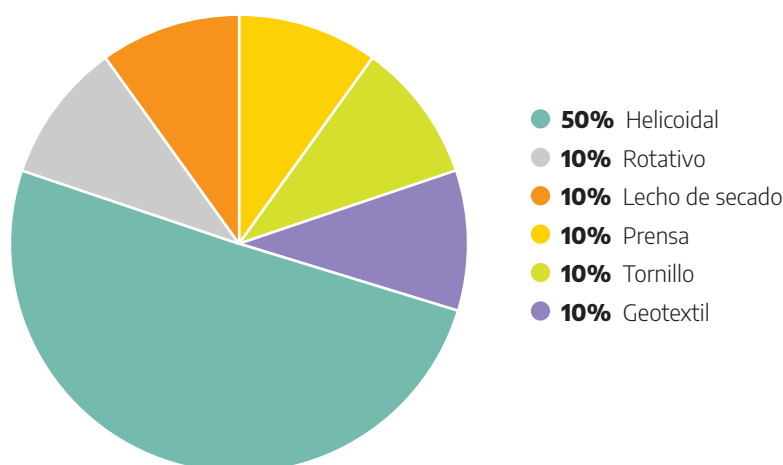


Figura 6. Tipo de separadores utilizados en las plantas de biogás encuestadas

Los sistemas de tratamiento utilizados en el digerido se analizaron teniendo en cuenta que el mismo puede estar separado en sus dos fracciones (digerido líquido y digerido sólido) o sin separación (digerido sin separación).

En cuanto al tratamiento del digerido separado, el digerido líquido es tratado principalmente por un sistema biológico mediante lagunas (80%), en algunos casos, con más de una finalizando en una laguna aeróbica. El resto de las plantas utilizan tanque con cubierta y lecho de secado. En cuanto al digerido sólido, la mayoría no realiza ningún tratamiento (70%), exceptuando 2 plantas que lo tratan mediante compostaje y otra que utiliza secado por evaporación (Tabla 2).

Este informe revela que ninguna de las plantas encuestadas realiza procesamiento del digerido mediante tecnologías mejoradas (*upgrading*), las cuales generan productos de valor agregado que podrían representar nuevas oportunidades de mercado en nuestro país.

Tabla 2. Tratamiento del digerido líquido y sólido de las 10 plantas con sistema de separación

Tratamiento del digerido líquido	Cantidad de plantas	Tratamiento del digerido sólido	Cantidad de plantas
Lagunas (Facultativas-aeróbicas)	8	Ninguno	7
Tanque con cubierta	1	Compostaje	2
Lecho de secado	1	Secado por evaporación	1

El digerido es producido continuamente, sin embargo, su utilización no es continua por lo que es necesario considerar la construcción de un reservorio. En este relevamiento el tipo de almacenamiento del digerido líquido, resultó ser en su mayoría el sistema de lagunas de estabilización que también funciona como tratamiento del mismo. En el caso del digerido tratado y separado por lecho de secado, el lixiviado es recolectado y almacenado posteriormente en una laguna. Consecuentemente, la mayoría de las plantas utilizan lagunas como sistema de almacenamiento, de las cuales el 89% no poseen cubierta protectora y el 44% cuentan con sistema de impermeabilización de suelo (Figura 7).

El digerido sólido es almacenado mayoritariamente en playones o sobre la superficie del suelo a temperatura ambiente hasta su uso o disposición final (78% de los casos).

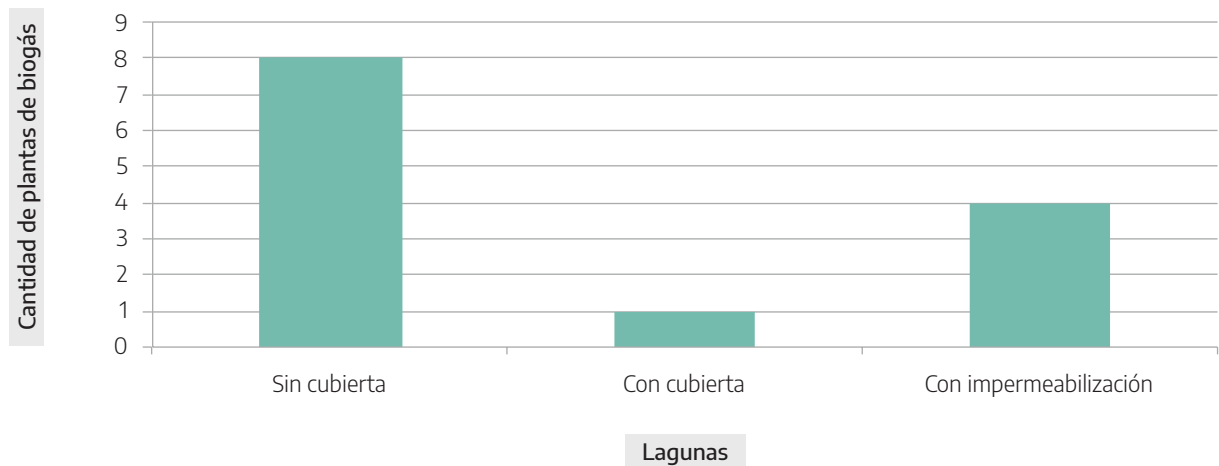


Figura 7. Sistema de almacenamiento del digerido líquido: lagunas con cubierta, sin cubierta y con sistema de impermeabilización.

Al igual que con el digerido líquido, las plantas que no realizan separación del mismo, lo tratan y lo almacenan en lagunas de estabilización (75%), las cuales, en su mayoría no tienen cubierta protectora, y solo una presenta impermeabilización del suelo (Figura 8). Por otro lado, dos plantas tienen un sistema de post-digestión mediante tanques con cubierta.

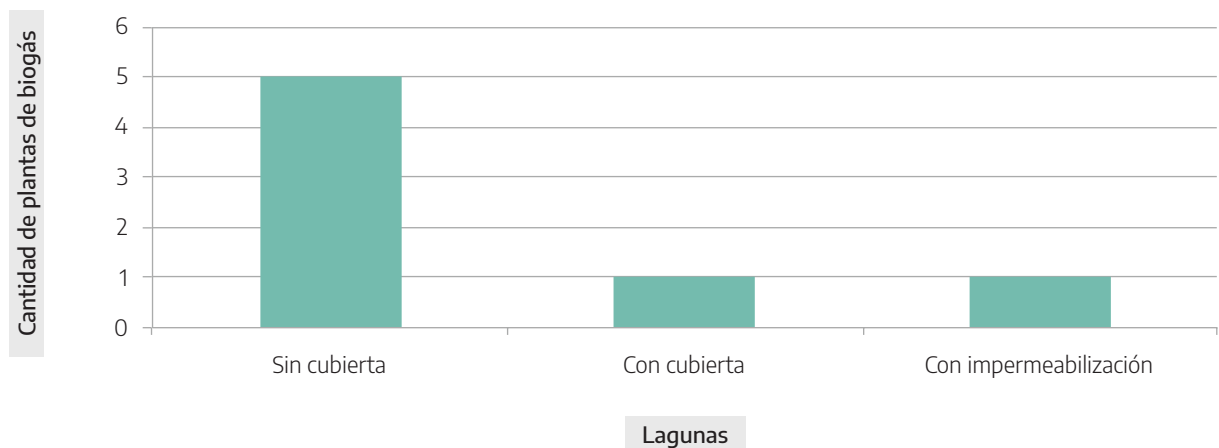


Figura 8. Sistema de almacenamiento del digerido sin separación: lagunas con cubierta, sin cubierta y con sistema de impermeabilización.

El almacenamiento adecuado del digerido preserva su valor y sus cualidades y previene la liberación de gases de efecto invernadero (GEI), olores y aerosoles (Lukehurst *et al.*, 2010). Durante el período de almacenamiento pueden producirse emisiones gaseosas, las cuales dependen de las características del digerido como el pH, contenido de materia seca, contenido de nitrógeno y las características del sistema de almacenamiento. En efecto, la instalación de cubiertas protectoras en los sistemas de reservorio del digerido permite reducir hasta un 90% las emisiones de GEI como CH_4 , N_2O y NH_3 y minimizar las pérdidas de nutrientes como el amonio en el digerido. Otras de las ventajas de instalar la cobertura en el reservorio es que evita la acumulación de agua de lluvia y el consecuente efecto de dilución del digerido y aumento del volumen (Plana & Noche, 2016). En muchos países la práctica de reservorios descubierta está siendo prohibida para mantener las emisiones de GEI lo más baja posible.

Además, los sistemas de almacenamiento deben ser construidos asegurando la impermeabilización del suelo y la contención del agua, a fin de evitar la lixiviación por percolación del líquido y los consecuentes riesgos de contaminación del suelo y aguas subterráneas (Plana & Noche, 2016).

b. Determinaciones analíticas y frecuencia de monitoreo

Se evaluó a través de esta encuesta la frecuencia de análisis de parámetros fisicoquímicos (pH, materia orgánica (MO), nitrógeno total (NT), fósforo (P), potasio (K), amonio (NH_4^+), conductividad eléctrica (CE), químicos (elementos potencialmente tóxicos (EPT)) y biológicos (patógenos) que se realizan en el sustrato, en el suelo donde se aplica y en el digerido (líquido, sólido y sin separación).

Con respecto al sustrato, se observó que el pH y la MO son los parámetros medidos con mayor frecuencia (cada quince días), con un 50% y 35% de respuesta, respectivamente. El resto de los parámetros generalmente no son medidos. En cuanto a los análisis del suelo, generalmente no se realizan mediciones de estos parámetros en ningún período del año o si se realizan lo hacen anualmente.

En la Figura 9 a y b se muestra la frecuencia de análisis en el digerido líquido y sólido respectivamente, para cada parámetro en función al porcentaje de respuesta. Los datos evaluados para estas dos fracciones del digerido fueron realizados sobre el total de 10 plantas de biogás que separan el digerido.

El análisis de los resultados del digerido líquido (Figura 9 a) nos muestra que los parámetros básicos de monitoreo del proceso anaeróbico y calidad del digerido, como pH, MO y NT, son los que se realizan con mayor frecuencia, siendo preferente la medición semestral. Los nutrientes como el P, K y NH_4^+ también son medidos generalmente en forma semestral. En cuanto a los parámetros que son indicadores de la higienización (patógenos) y toxicidad (EPT) del material, un alto porcentaje (56% y 67%, respectivamente) respondió no medirlos en ningún período del año. La conductividad eléctrica (CE) tampoco es habitualmente medida en el digerido líquido.

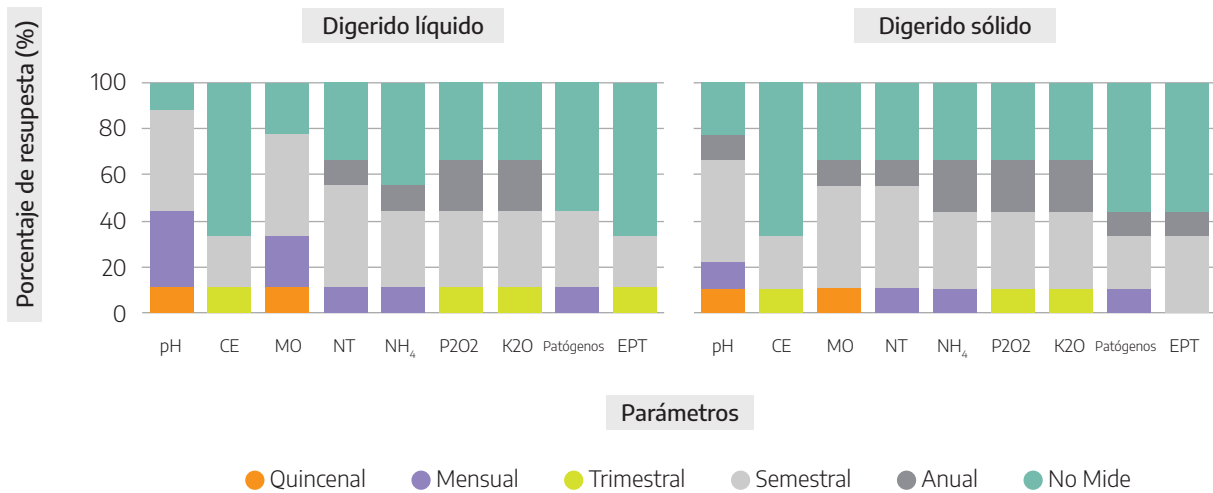


Figura 9. Frecuencia de análisis en el digerido líquido (a) y sólido (b) para cada parámetro en función al porcentaje de respuesta.

La misma tendencia se observó en el digerido sólido en cuanto a los parámetros básicos de monitoreo y control (pH, MO, NT), los cuales son medidos con mayor frecuencia, siendo preferentemente la medición semestral. En cuanto a los nutrientes P, K y NH₄⁺, son medidos semestral (33%) y anualmente (22%), con menos frecuencia en comparación con el digerido líquido. Asimismo, se registró un alto porcentaje que respondió no medir patógenos (56%), CE (67%) y EPT (56%).

En aquellas plantas que no separan el digerido, los parámetros pH, CE, MO, NT y NH₄⁺ son los medidos frecuentemente, cada quince días y mensualmente (Figura 10). Los patógenos y los EPT, al igual que en el digerido sólido y líquido, se miden con baja frecuencia (una vez al año) o no son medidos en ningún período del año.

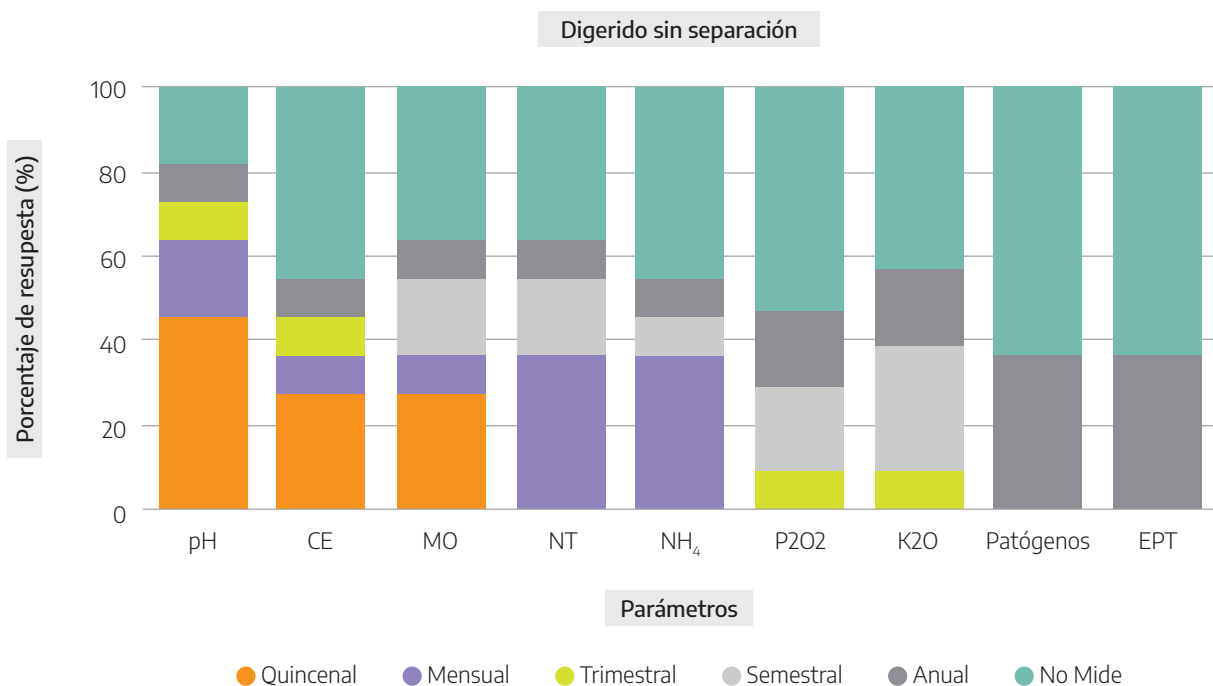


Figura 10. Frecuencia de análisis en el digerido sin separación para cada parámetro en función al porcentaje de respuesta.

La cuantificación de patógenos, EPT y sales disueltas (CE) es de gran importancia cuando el digerido es utilizado con fines agronómicos, teniendo en cuenta los límites exigidos por la Norma Técnica, RES 19/2019. Los digeridos provenientes principalmente de los estiércoles ganaderos pueden contener altas concentraciones de sales, EPT como el cobre (Cu) y cinc (Zn) y patógenos, los cuales pueden impactar negativamente al ambiente y a la salud humana (Corden *et al.*, 2019).

Destino del digerido

Para conocer el principal uso de los digeridos en Argentina, en la encuesta se incluyeron como opciones de destino: la comercialización, la utilización agrícola en terreno propio y no propio, la disposición final y la donación. La utilización agrícola se refiere a la aplicación con un plan de manejo agrícola y la disposición final se refiere al vuelco del digerido sin un manejo o plan de aplicación agrícola.

Dentro de las plantas que realizan separación del digerido, más del 70% realiza aplicación en terreno propio del digerido líquido y sólido. En el caso de las plantas que no realizan separación, el destino principal también es aplicación en terreno, tanto propio como no propio con igual porcentaje de respuesta (Figura 11).

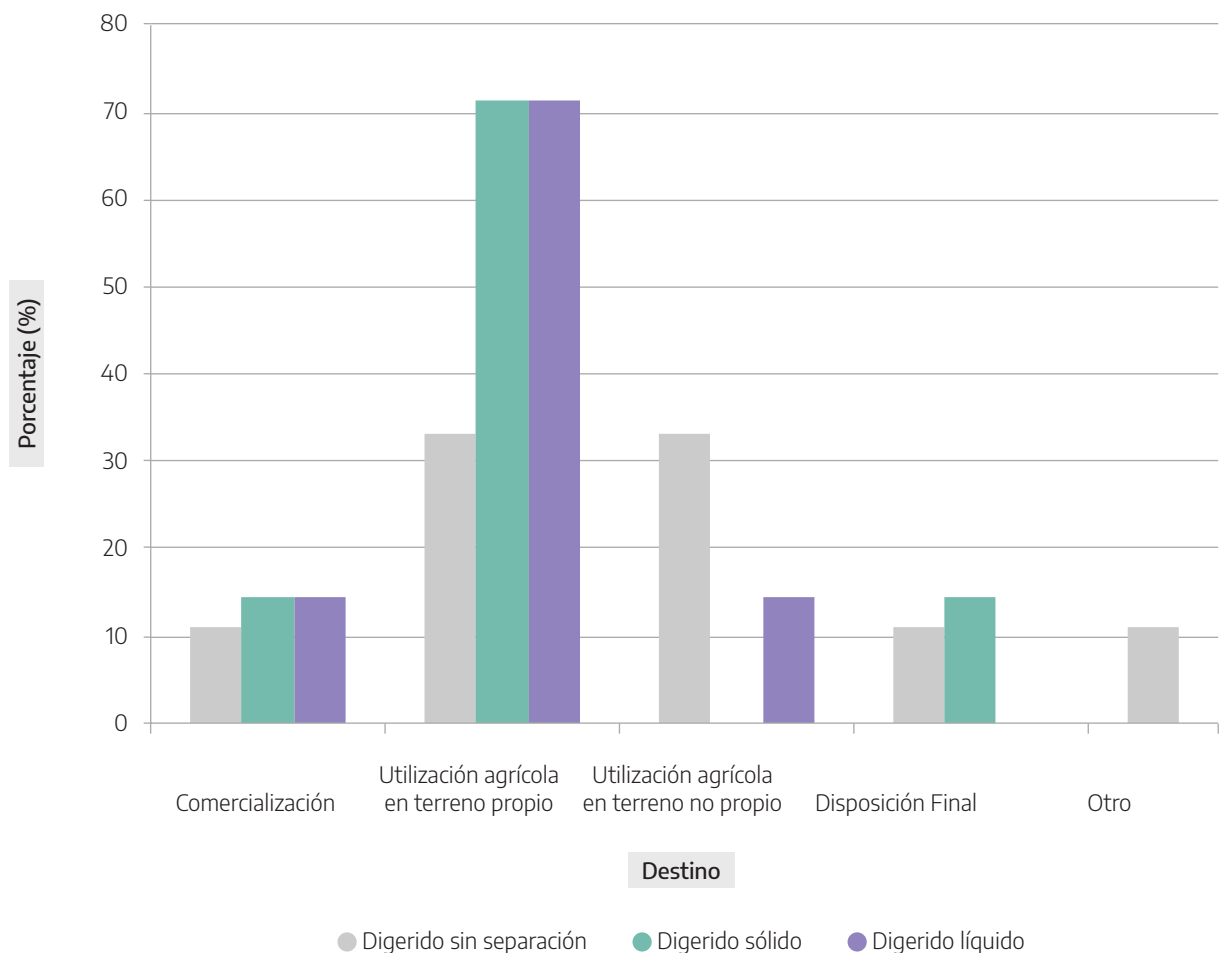


Figura 11. Destino del digerido sin separación, del digerido líquido y del digerido sólido en función al porcentaje de respuesta.

También se evaluaron los tipos de cultivos donde es aplicado el digerido y la técnica utilizada para la aplicación (por incorporación al suelo o en superficie). Se registró que el digerido se aplica mayoritariamente en pasturas (41%) y en cultivos como el maíz (25%), soja (17%) y trigo (17%) y la técnica de aplicación más utilizada es sobre la superficie del suelo. Solo un caso reportó que aplica el digerido por incorporación al suelo.

La incorporación al suelo del digerido es la técnica ampliamente más recomendada y eficiente, debido a que se evitan las emisiones de GEI y minimiza las pérdidas de nutrientes por runoff y volatilización (Raave *et al.*, 2017; Crolla *et al.*, 2013). Se estima que durante las primeras 24 h luego de realizar la aplicación, el amoníaco puede perderse entre un 10% con climas fríos y humedad elevada y hasta un 50% con condiciones cálidas y secas (Crolla *et al.*, 2013). La incorporación del digerido al suelo inmediatamente luego de su aplicación es esencial para minimizar las pérdidas de amoníaco por volatilización. En efecto, la tecnología utilizada para la aplicación del digerido a campo resulta clave. A nivel mundial se han desarrollado maquinarias específicas que minimizan la compactación del suelo y permiten la inyección subsuperficial del digerido con un manejo adecuado de los nutrientes.

Por último, frente a la consulta acerca del interés de comercializar el digerido, la mayor parte de las plantas respondió positivamente (77%). Se destaca que, de las plantas interesadas en comercializarlo, el 40% actualmente cuenta con una demanda real del mismo.

Barreras sobre la utilización del digerido

El análisis de los aspectos que dificultan el uso del digerido, mostró que los costos de transporte, el marco legal y la falta de tecnología de post-tratamiento, son las principales barreras en orden de importancia. Por otro lado, las de menor importancia son la falta de espacio físico para su aplicación y la calidad del digerido (Tabla 3).

Tabla 3. Orden de importancia de las barreras identificadas para la utilización del digerido

Barreras identificadas	Orden de prioridad
Costos de transporte	1
Marco legal	2
Falta de tecnología de postratamiento	3
Falta de maquinaria eficiente para aplicación	4
Costos asociados al análisis	5
Falta de disponibilidad de laboratorios para análisis	6
Falta de espacio físico	7
Calidad del digerido	8

Las barreras dentro del marco legal fueron analizadas en tres niveles: municipal, provincial y nacional. Estos dos últimos niveles fueron los que se indicaron como de mayor importancia. Cabe destacar, que el desconocimiento de la existencia de un marco normativo, fue el motivo de mayor preponderancia en cuanto a las dificultades actuales para el uso del digerido (Figura 12).

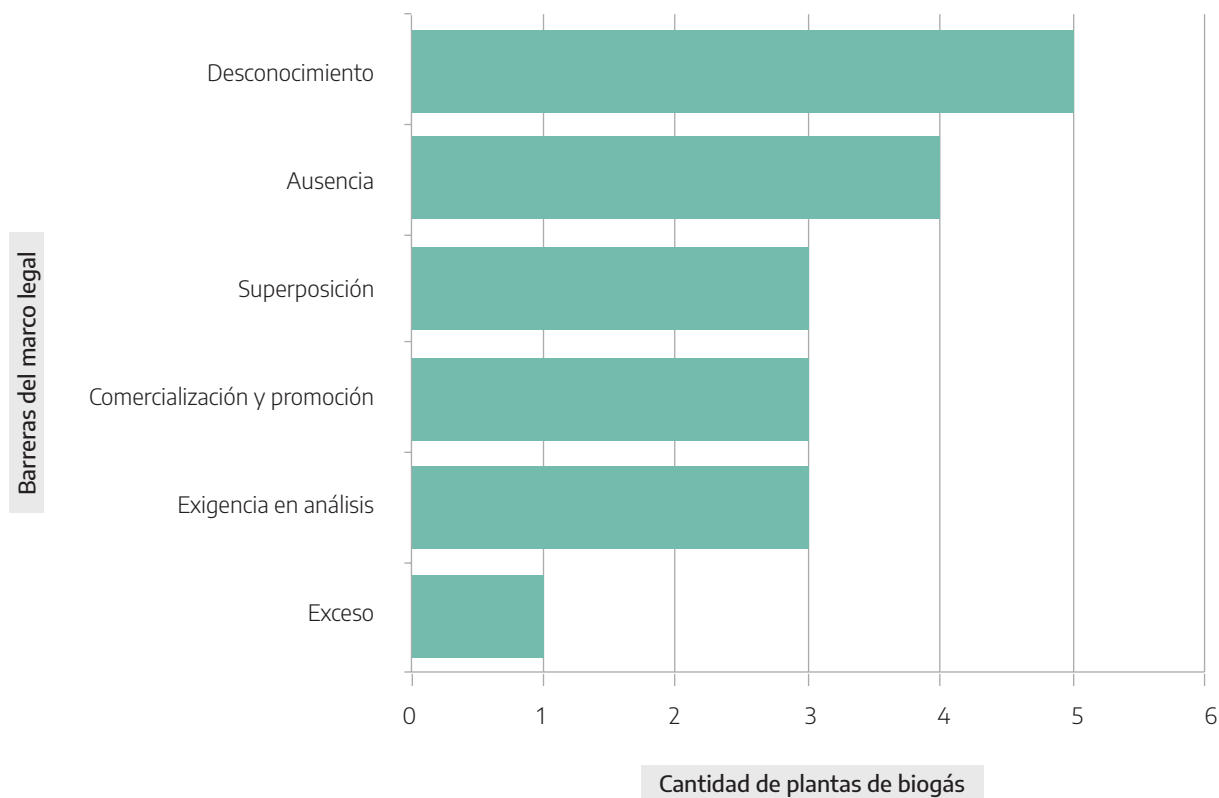


Figura 12. Barreras referidas al marco legal.

Asimismo, la ausencia de un marco legal fue el segundo aspecto remarcado en la encuesta. Se evidencia que habría una falta de normativas y una clara ausencia de difusión y explicación de las mismas a diferentes niveles administrativos (nacional, provincial y municipal).

Conclusiones

El desarrollo de la generación de biogás a gran escala en la Argentina se centra en la región pampeana, fundamentalmente en zonas rurales, siendo su principal objetivo la generación de energía eléctrica. Los principales sustratos utilizados provienen de la producción agrícola-ganadera y el digerido producido se aplica en suelos agrícolas de la región. La técnica de aplicación del digerido en el suelo es mayoritariamente en superficie, sin utilización de tecnologías adecuadas que permitan la eficiente incorporación al suelo para minimizar las pérdidas de amoníaco y las emisiones de GEI.

La mitad de las plantas de biogás, separan el digerido en sus fracciones sólida (digerido sólido) y líquida (digerido líquido). Un alto porcentaje aplica sistemas de lagunas como tratamiento y reservorio tanto en el digerido líquido como en el digerido sin separación. No se reportó la implementación de tecnologías mejoradas (*upgrading*) en el digerido, las cuales permiten alcanzar productos con mayor valor agregado, demostrando que la valorización de los digeridos es poco desarrollada en el país.

En lo que respecta al sistema de lagunas, la gran mayoría no presenta cubierta protectora como tampoco impermeabilización del suelo. Se requiere la adopción de mejoras en los sistemas de lagunas para conservar la calidad del digerido y evitar riesgos ambientales.

Debido a que el digerido tiene como principal destino el uso agronómico y ofrece el beneficio de sustituir total o parcialmente a los fertilizantes minerales, se destaca la necesidad de incorporar un mayor seguimiento de su calidad y buenas prácticas de manejo de aplicación en el digerido. Se identificó un escaso control de su calidad, especialmente en los indicadores del nivel de higienización (patógenos) y de toxicidad (EPT), siendo estos parámetros relevantes para determinar su aptitud para ser utilizado en agricultura, y así minimizar impactos en el ambiente y en la salud humana.

Con respecto a las limitaciones encontradas para su uso, los principales aspectos a tener en cuenta son el costo de transporte, el marco legal y la escasa disponibilidad de equipamientos y maquinarias específicas para el tratamiento y aplicación digeridos. Para lograr un correcto incentivo de utilización de digeridos en suelos, es imprescindible acompañarlo con un marco legal claro a escala nacional, provincial y municipal.

Aunque existe un gran interés en comercializar el digerido, hasta el momento no forma parte de la ecuación económica de las plantas analizadas. En tal sentido, se evidencia que existe la necesidad de un acompañamiento de políticas públicas que permitan el desarrollo de este nuevo mercado en nuestro país y el crecimiento de esta tecnología bajo un contexto de economía circular. Un mayor desarrollo y mejoras en todos los aspectos descriptos permitiría mejorar la ecuación económica y ambiental de las plantas de biogás para lograr valores más competitivos de la energía generada.

Bibliografía

- › Akhlar, A., Martinelli, A., Torrijos, M., & Carrere, H. (2017). Comprehensive characterization of the liquid fraction of digestates from full-scale anaerobic co-digestion. *Waste Management*, 59, 118–128.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.005>
- › Al Seadi, T., Drosig, B., Fuchs, W., Rutz, D., & Janssen, R. (2013). Biogas digestate quality and utilization. In *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*.
<https://doi.org/10.1533/9780857097415.2.267>
- › Bernal, M.P.; Albuquerque, J.A.; Bustamante Muñoz, M.A.; Albiach Vila, R.; Bonmati Blasi, A.; Moral Herrero, R. (2014). III 7. Residuos Orgánicos: Aspectos Agronómicos y Ambientales. Uso agrícola de materiales digeridos: situación actual y perspectivas de futuro. In *De Residuo a Recurso. El camino hacia la sostenibilidad*. Ed. Mundi Prensa. 136p.
- › Corden, C., Bougas, K., Cunningham, E., Tyrer, D., Kreißig, J., ..., & Crookes, M. (2019). Digestate and compost as fertilisers: Risk assessment and risk management options. *Wood Environment & Infrastructure Solutions UK Limited, February*, 121,128, B2, D13.
<https://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/pdf/40039>
Digestate and Compost RMOA - Final report i2_20190208.pdf
- › Crolla, A., Kinsley, C., & Pattey, E. (2013). Land application of digestate. In A. Wellinger, J. Murphy, & D. Baxter (Eds.), *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications* (Issue 13, pp. 302–325). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/10.1533/9780857097415.2.302>
- › Digital Biogas Cooperation (DiBiCoo). (2020). D3.3: Biogas Markets and Frameworks in Argentina, Ethiopia, Ghana, Indonesia, and South Africa. Horizon 2020 Program of the European Commission.
- › Drosig, B., Fuchs, W., Al Seadi, T., Madsen, M., & Linke, B. (2015). Nutrient Recovery by Biogas Digestate Processing. In *IEA Bioenergy*.
<http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/Technical>
- › FAO. (2019). Relevamiento Nacional de Biodigestores. Relevamiento de plantas de biodigestión anaeróbica con aprovechamiento energético térmico y eléctrico. Colección Documentos Técnicos N° 6. Buenos Aires. 84 pp.
- › García, V. (2015). Manual del biogás. Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos.
https://www.gba.gov.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_de_Biogas01.pdf
- › Guilayn, F., Rouez, M., Crest, M., Patureu, D., & Jimenez, J. (2020). Valorization of digestates from urban or centralized biogas plants: a critical review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 19 (2), 419–462.
<https://doi.org/10.1007/s11157-020-09531-3>

- › Hidalgo, M. D., Del Alamo, J., Granado I., Núñez, Y. & Irusta R. (2001). Reducción del contenido en nitrógeno amoniacal del purín porcino mediante la técnica de *stripping*. *Tecnología del agua*, 21(208), 22-27.
- › Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*, 100 (22), 5478–5484.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046>
- › Jiang, Y., Xie, S. H., Dennehy, C., Lawlor, P. G., Hu, Z. H., Wu, G. X., Zhan, X. M., & Gardiner, G. E. (2020). Inactivation of pathogens in anaerobic digestion systems for converting biowastes to bioenergy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109654.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109654>
- › Lawrence K. Wang, Nazih K. Shammass, & Yung-Tse Hung. (2007). Drying Beds. En L. K. Wang, Nazih K. Shammass, & Yung-Tse Hung (Eds.), *Biosolids Treatment Processes* (1a ed., pp. 403–430). Humana Press.
<https://doi.org/10.1007/978-1-59259-996-7>
- › Lukehurst, C., Frost, P., & Seadi, T. Al. (2010). Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser. *IEA Bioenergy*, 1–36.
- › Ministerio de Energía y Minería. (2016). Programa de energías renovables RenovAr. RES MEyM 71-2016. Abastecimiento de energía eléctrica a partir de fuentes renovables a través de Cammesa en representación de los agentes distribuidores y grandes usuarios del mercado eléctrico mayorista.
- › Moo-Young, H. K., Gaffney, D. A., & Mo, X. (2002). Testing procedures to assess the viability of dewatering with geotextile tubes. *Geotextiles and Geomembranes*, 20 (5), 289–303.
[https://doi.org/10.1016/S0266-1144\(02\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0266-1144(02)00028-6)
- › Pell Frischmann Consultants Ltd. (2012). Enhancement and treatment of digestates from anaerobic digestion. In *Wrap*. 122p
- › Plana, P. V., & Noche, B. (2016). A review of the current digestate distribution models: storage and transport. *Waste Management and The Environment VIII*, 1 (Wm), 345–357.
<https://doi.org/10.2495/wm160311>
- › Raave, H., Keres, I., Kauer, K., Nõges, M., Rebane, J., Tampere, M., Loit, E., Sensel, K., Wragge, V., Ellmer, F., Mdä, D. S., Taube, F., Henning, C., Albrecht, E., Klufß, T. R. C., Taube, F., Henning, C., Albrecht, E., Klufß, T. R. C., ... Williams, A. P. (2017). Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2 (1), 1–4.
<https://doi.org/10.1002/elsc.201100085>
- › Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAGyDS). (2019). RESOL- 2019-19-APN-SGAYDS#SGP. Norma técnica para la aplicación agrícola de digerido proveniente de plantas de digestión anaeróbica. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable.



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina