



mideplan



Manejo de biofertilizantes y sus soluciones alternas

En el Marco del Proyecto “Apoyo al Programa Nacional de Cambio Climático en Costa Rica. Mejora de la capacidad de mitigación y adaptación de Costa Rica.”

ASOCIACIÓN COSTARRICENSE DE BIOGÁS (Asobiogás)

30 de enero del 2018

Costa Rica

RESUMEN

Los residuos generados en los procesos fermentativos (hidrólisis, acidogénesis, acetanogénesis y metanogénesis de materia orgánica) de los digestores anaerobios se componen del digestato, que al pasar por un proceso de separación mecánica y/o química se puede derivar en digestato (fracción líquida), y lodo (fracción sólida). Dentro del marco legal existente en Costa Rica, son considerados como un residuo a manejar para reducir su riesgo medioambiental principalmente, y obviando su potencial para ser valorizado como una enmienda orgánica, que al emplearse adecuadamente puede agregar un impacto agronómico positivo que contribuya a la fertilidad de los suelos y la productividad de los cultivos.

En el glosario se definen los términos técnicos utilizados en este documento, con la finalidad de establecer criterios base para una correcta interpretación del lector a lo largo de éste.

El digestato; su fracción líquida y sólida son efectivamente viables para su utilización como abono orgánico empleándose adecuadamente en los suelos con un plan de manejo de nutrientes, que, dependiendo de las condiciones del proceso de digestión anaerobia controladas, tipo de sustrato y su pretratamiento, así como su manejo posterior. Tiene un gran potencial nutricional, al aportar nutrientes, materia orgánica y microorganismos benéficos que pueden contribuir a la sostenibilidad y manejo integral de los cultivos, con rendimientos mayormente atractivos según se reporta en diferentes países.

A nivel internacional se definen categorías de riesgo para los residuos de los biodigestores según el tipo de sustrato para procesar en la fermentación anaeróbica. Además, se establecen algunas limitaciones para evitar problemas ambientales (salud humana, animal, contaminación de suelos y aguas). Se considera indicada la pasteurización para algunos residuos como las harinas de carne, vísceras, residuos de alimentos humanos, pescado y lodos de industrias alimentarias; para reducir su carga microbiana y presencia de posibles patógenos y facilitar su biodegradabilidad previa a la biodigestión. Se ha reportado su uso como fertilizante líquido (puro y diluido) y sólido, que aporta macro y micronutrientes, ácidos orgánicos, alcoholes y biorremediación de suelos (Groot y Bogdonski, 2013; Mesa de Biogás, 2010 y Wannars y Oppenoorth, 2014).

Con la revisión de la legislación nacional, internacional y consulta a algunos expertos en el tema, se logra establecer las pautas para el manejo más seguro y eficiente del digestato y sus componentes; que es presentado en la última sección de este documento como una propuesta para el aprovechamiento del material residual de los digestores anaerobios. Así, presentar las bases para un posible reglamento a nivel nacional que oriente desde una perspectiva más holística técnico-legal su utilización.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	2
1. INTRODUCCIÓN	4
2. ALTERNATIVAS DE MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LOS DIGESTORES ANAEROBIOS A NIVEL INTERNACIONAL	5
3. CARACTERÍSTICAS PARA EL MANEJO SEGURO Y EFICIENTE DE LOS RESIDUOS DE LOS DIGESTORES ANAEROBIOS	7
a. Generalidades del Digestato y Biosol	8
i. Digestato (fertilizante foliar líquido)	8
b. Ventajas del uso del Digestato	10
c. Desventajas del uso del Digestato	10
e. Ventajas del uso del Biosol	12
f. Desventajas del uso del Biosol	13
g. Métodos para la determinación del Valor de Fertilizante del Digestato como fertilizante ...	13
i. Determinación del valor de fertilizante del digestato	13
4. PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DEL MATERIAL RESIDUAL DE LOS BIODIGESTORES EN COSTA RICA	14
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
6. ANEXOS	28
Perú	34
Argentina	35
Chile	36
Ecuador	37
Costa Rica	37
España	38
Italia.....	45
México.....	47
Nicaragua	47
Alemania	48
Holanda	49

1. INTRODUCCIÓN

En Costa Rica el mayor desarrollo tecnológico de los biodigestores ha ocurrido durante los últimos 37 años, donde se estima que desde 1980 se empezó a difundir esta tecnología a nivel rural, tratándose principalmente por acción de funcionarios públicos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), socializando esta alternativa como opción para sustituir la leña para cocinar en los hogares, lo cual es parte de las razones que los digestores anaerobios sean ampliamente conocidos a nivel nacional.

A partir de 1980, con la rápida diseminación e instalación de los biodigestores domésticos rurales en Costa Rica, como una alternativa innovadora para las fincas y casas dentro de estas, el uso del biogás era uno de los mayores atractivos. Se generaba a la vez algunas consideraciones prácticas para la utilización de los residuos de los biodigestores expulsados diariamente; mezclando conocimiento agronómico cuando el extensionista del MAG intervenía, combinado con ciencia empírica por parte de los productores al notar los pastos más verdes y vigorosos en la salida del digestato a los suelos.

Dicho conocimiento era trasladado de un productor a otro, y se sugería la utilización de los residuos de los biodigestores para la fertilización de pasturas y cultivos colindantes, y a partir de esto una valorización del digestato como parte de la fertilidad de los suelos en sus inicios de la historia. Aunque a nivel mundial no se referencia el valor del mercado del digestato, a nivel internacional ha sido investigado y validado, como un subproducto de importancia, que según el tipo de sustrato base a digerir (estiércol, residuos de cosechas, sueros lácticos, etc.) mejorando la fertilidad y estructura del suelo. Además de aumentar el rendimiento de los cultivos entre un 25 y un 100 %, según las condiciones específicas, como el tipo de cultivo, tipo de digestato, tecnología del biodigestor, zona geográfica y prácticas culturales. (Warnars y Oppenorth, 2016).

El desarrollo de la tecnología de digestión anaerobia sigue en proceso en la actualidad, gran parte del enfoque ha sido de sobre el aprovechamiento del biogás por su valor energético, y las alternativas de conversión a diferentes usos en fincas, hogares e industrias varias (Pascual, Begoña, Gómez, Flotals, Fernández; *et al*, 2011). Sin embargo, la legislación existente, incluida en diferentes reglamentos vigentes de Costa Rica, no prioriza una orientación sobre el uso del digestato, este es señalado como un residuo a tratar para evitar su contaminación ambiental, riesgo humano y evitar su incorporación a cuerpos de agua, ríos y quebradas. Su utilización como fertilizante, bajo las consideraciones microclimáticas y edafológicas de cada finca, puede ser empleada para sustituir fertilizantes sintéticos y promover recirculación de la energía y nutrientes dentro de las fincas, obteniendo cosechas con menor dependencia de fuentes nutricionales externas.

La presente propuesta tiene como objetivo proponer la regulación del manejo y aprovechamiento de los residuos de la digestión anaerobia, mediante una gestión integral y operacionalmente eficiente. Lo que permitirá velar por un uso sostenible y racional de estos recursos. Será aplicable para todos los sistemas de digestión anaerobia, que como parte de su

proceso, generen digestato y que son manejados como residuos sólidos orgánicos fermentables, material sólido proveniente de residuos orgánicos de cualquier tipo, biosólidos, aguas residuales ordinarias y/o especiales, lodos en estado crudo y semitratados a nivel de Costa Rica. Todo lo anterior desarrollado a través de los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Elaborar un glosario de definiciones técnicas relacionadas a enmiendas orgánicas.
- ✓ Describir las diferentes alternativas utilizadas a nivel internacional para el manejo de los residuos de los digestores anaerobios.
- ✓ Definir las características fisicoquímicas y biológicas que un residuo de un digestor anaerobio debe tener para que pueda ser utilizado y comercializado de manera segura y eficiente.
- ✓ Realizar una propuesta para el aprovechamiento del material residual de los digestores anaerobios en Costa Rica.

2. ALTERNATIVAS DE MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LOS DIGESTORES

ANAEROBIOS A NIVEL INTERNACIONAL

El digestato es un residuo importante a nivel cuantitativo y con potencial de ser valorizado, por sus aportes de masa microbiana benéfica, ácidos orgánicos, materia orgánica y minerales, en formas más fácilmente absorbibles; que puede ser reincorporado a los suelos y cultivos.

De acuerdo con el tipo y escala del sustrato digerido dentro de un biodigestor, así como su interés de utilización, se tienen retos particulares para su aprovechamiento eficiente, sujeto a regulaciones, experiencias empíricas y aportes de la ciencia y tecnología actual, que conforme con el paso del tiempo estos aspectos han ido evolucionando.

En la Tabla 1 se presenta un resumen de las consideraciones en diferentes países en relación con aspectos legales y técnicos, de las características y manejo de los residuos de los digestores anaerobios.

Tabla 1. Resumen de las alternativas de manejo de residuos en digestores anaerobios a nivel internacional.

País	Legislación vinculante	Valorado como fuente de nutrientes	Proviene de residuos de origen animal	Pretratamiento de sustratos	El digestato reporta mayor productividad de biomasa	Fermentación controlada (Temperatura y agitación)	El digestato es enriquecido (bioactivos, microorganismos)	Aplicación de digestato puro o diluido con agua
Perú	✗ No existe	✓ Ampliamente	✓ Excretas	Algunas veces	✓ Si	✗ No reporta	✓ Si	✓ 25-50 %
Argentina	✗ No hay	✓ Correcto	✓ Varios	✗ No reporta	?	?	?	?
Chile	?	?	?	✗ No reporta	?	?	✗ No reporta	?
Ecuador	✓ No existe	?	?	✓ No reporta	?	✓ No reporta	✓ No reporta	?
Costa Rica	✓ No existe	?	?	✗ No	?	✗ Pocos	✗ No	?
España	?	?	?	?	?	?	✓ No reporta	Puro casi siempre
Italia	?	?	?	?	?	?	✗ No reporta	Puro mayormente
México	✗ No existe	?	?	✓ No reporta	?	Algunos	✗ No reporta	Ambos
Nicaragua	✗ No existe	?	?	✗ No reporta	?	✗ No	✗ No reporta	?
Alemania	?	?	?	✓ Si	?	?	✗ No	Puro casi siempre
Holanda	?	?	?	?	?	?	✗ No	Puro casi siempre

La descripción de los aspectos más relevantes sobre la alternativa de manejo de los residuos de los biodigestores a nivel internacional se puede apreciar con detalle en el Anexo 3.

3. CARACTERÍSTICAS PARA EL MANEJO SEGURO Y EFICIENTE DE LOS RESIDUOS DE LOS DIGESTORES ANAEROBIOS

Como se definió en el glosario de este documento, un **digestato** es un tipo de lodo biológico generado a partir de los procesos de fermentación anaeróbica. Además, este digestato está conformado por dos fracciones: el biol y biosol. El **biol** es la fracción líquida y el **biosol** es la parte sólida del digestato, siendo su relación volumétrica y másica promedios cercanas a 90 % y 10 %, respectivamente.

El digestato actualmente es usado en la agricultura como fertilizante, ya que al haber pasado un proceso de degradación es un material estable y con mayor proporción de nitrógeno mineral que el estiércol. La utilización del digestato incrementa la productividad de las cosechas y mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. Además, permite un mejor intercambio catiónico en el suelo, ampliando la disponibilidad de nutrientes, ayudando a mantener la humedad del suelo y la creación de un microclima para las plantas. El uso del digestato hace posible regular la alimentación de la planta, los cultivos son fortalecidos y ocurre una mejora del rendimiento agrícola, además permite el uso intensivo del suelo, mejorando a la vez la calidad del mismo (Aparcana y Jansen, 2008).

El digestato puede ser utilizado en una gran variedad de plantas con ciclos cortos, anuales o perennes; de tipo gramínea, forrajera, frutal, hortalizas o leguminosas y su aplicación puede ser dirigida al follaje, raíz, semilla o al suelo. Por otro lado, (Bonten, 2014) comenta que por los riesgos potenciales asociados a la aplicación de digestatos a cultivos de consumo humano y/o animal, muchos países desarrollados han implementado regulaciones que consideran los temas de seguridad alimentaria.

En la mayoría de los países desarrollados, donde se regula el uso de digestatos y otros tipos de lodos biológicos para aplicaciones como fertilizantes, el ente regulador ha establecido requisitos de proceso, requisitos sobre la presencia de patógenos, reglas sobre impurezas y presencia de malas hierbas, así como otras reglas de aplicación (Bonten, 2014).

En el caso de los subproductos animales dentro de los países de la Comunidad Europea, los requisitos del proceso animal son una etapa de pasteurización de al menos 60 min a 70 °C (Bonten, 2014). Para los residuos de origen vegetal los requisitos del proceso, en caso de utilizar un proceso de digestión anaerobia (y que no contengan sustratos y/o subproductos animales) son la determinación de perfiles de temperatura en función del tiempo, por ejemplo: digestión a 55°C durante al menos 24 horas y un tiempo de retención de al menos 20 días. Estas regulaciones están de acuerdo con los hallazgos acerca la reducción de patógenos durante la digestión anaerobia (Bonten, 2014).

a. Generalidades del biol y Biosol

1. Biol (fertilizante foliar líquido)

1.1 Introducción

Las características del digestato dependen de los sustratos que se introduzcan dentro del biodigestor para ser fermentados anaeróbicamente, por tanto, no existe un único digestato en términos generales, sino que más bien existe un digestato único para condiciones específicas. Por tanto, autores como Aparcana (2008), indican que un digestato para manejo de residuos agrícolas contiene entre un 1 – 5 % de materia seca, y aunque la presencia de nutrientes es específica según los sustratos presentes, se puede indicar que la relación N-P-K-Mg, y otros micronutrientes, del material saliente con respecto al material entrante es cercana a 1:1.

Según Aparcana (2008), el uso del digestato es principalmente como promotor y fortalecedor del crecimiento de la planta, raíces y frutos, gracias a la producción de hormonas vegetales de crecimiento, las cuales son residuos del metabolismo de las bacterias típicas de este tipo de fermentación anaeróbica (que no está presente en el compost). Estos beneficios hacen que se requiera menor cantidad de fertilizante mineral u otro empleado.

Las hormonas conocidas como “fitorreguladores” son producidas por las plantas. A bajas concentraciones regulan los procesos fisiológicos y promueven el desarrollo físico de las plantas (Aparcana, 2008). Hay cinco grupos hormonales principales: Adeninas, Purinas, Auxinas, Giberelinas y Citoquininas, donde todas estas estimulan la formación de nuevas raíces y su fortalecimiento, inducen la floración, tienen acción fructificante, estimulan el crecimiento de tallos, hojas, etc. El digestato, cualquiera que sea su origen, cuenta con estas fitohormonas por lo que encuentra un lugar importante dentro de la práctica de la Agricultura Orgánica, al tiempo que abarata costos y mejora la productividad y calidad de los cultivos (Tabla 2) (Aparcana, 2008).

Tabla 2. Composición bioquímica de los fitorreguladores presentes en un digestato.

Componente	Cantidad [Aparcana]	Cantidad [Chicatto]
Ácido indol acético (ng/g)	9,0	9,2
Giberelina (ng/g)	8,4	8,1
Purinas (ng/g)	9,3	9,8
Citoquininas	No detectado	N/D
Tiamina (Vit B1) (ng/g)	259,0	228,0
Riboflavina (Vit B2) (ng/g)	56,4	N/D
Adenina	No detectado	N/D
Ácido Fólico (ng/g)	6,7	7,1
Ácido pantoténico	142,0	140,0
Triptofano (ng/g)	26,0	28,7
Inositol	No detectado	N/D
Biotina	No detectado	N/D
Niacina	No detectado	N/D
Cianocobalamina (Vit B12) (ng/g)	4,4	4,6
Piridoxina (Vit 6) (ng/g)	8,6	8,0

Fuente: Adaptado de Aparcana, 2008 y Chicatto, 2016.

Con respecto a los nutrientes, diversos autores le dan gran importancia al manejo de los digestatos con respecto a su contenido de nitrógeno (N), ya que debido a que la materia orgánica que se descompone durante el proceso de digestión, el contenido de nutrientes en base de materia seca será mayor en el digestato que en el sustrato entrante.

Según Bonten (2014), el nitrógeno en el digestato está presente en parte como el compuesto disponible en la planta como amonio (NH_4^+) y como N orgánico. El N orgánico sólo está disponible para la absorción de la planta después de la mineralización a N inorgánico. La descomponibilidad y la relación C/N de la materia orgánica en el producto (Bonten, 2014). Por lo tanto, la disponibilidad de N a partir de estiércol de granja y en el digestato dependen de las cantidades de N orgánico e inorgánico, la estabilidad de los componentes orgánicos y la relación C/N del componente orgánico. También el fósforo puede estar presente en muchas formas diferentes en productos orgánicos, que difieren en la disponibilidad para la absorción de plantas. A continuación, se presenta una referencia de los rangos de macronutrientes esperados en los bioles (Tabla 3).

Tabla 3. Composición típica de macronutrientes de los digestatos.

Nutriente	Compost de estiércol		Estiércol		Digestato	
	Rango (%)	Promedio (%)	Rango (%)	Promedio (%)	Rango (%)	Promedio (%)
Nitrógeno	0,5 – 1,5	1	0,5 – 1	0,8	1,4 – 1,8	1,6
P ₂ O ₅	0,4 – 0,8	0,6	0,5 – 0,8	0,7	1,1 – 2,0	1,55
K ₂ O	0,5 – 1,9	1,2	0,5 – 0,8	0,7	0,8 – 1,22	1

Fuente: Adaptado de Warnars y Oppenorth, 2016.

1.2 Ventajas del uso del digestato

- ✓ El uso del digestato permite un mejor intercambio catiónico en el suelo. Con ello se amplía la disponibilidad de nutrientes. También ayuda a mantener la humedad del suelo y a la creación de un microclima adecuado para las plantas (Aparcana, 2008).
- ✓ El digestato se puede emplear como fertilizante líquido, es decir, para aplicación por rociado.
- ✓ También se puede aplicar junto con el agua de riego en sistemas automáticos de irrigación (Aparcana, 2008).
- ✓ Siendo el digestato una fuente orgánica de fitorreguladores en pequeñas cantidades es capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas, sirviendo para: enraizamiento (aumenta y fortalece la base radicular), acción sobre el forraje (amplía la base foliar), mejora la floración y activa el vigor y poder germinativo de las semillas, traducándose todo esto en un aumento significativo de las cosechas (Aparcana, 2008).
- ✓ Pruebas realizadas con diferentes cultivos muestran que usar Digestato sólo sería suficiente para lograr la misma o mayor productividad del cultivo que empleando fertilizantes químicos (Aparcana, 2008).

1.3 Desventajas del uso del digestato

- ✓ La falta de nitrógeno (N) o su excesiva aplicación pueden reducir el rendimiento y la calidad e incluso puede malograr los cultivos. ‘Para un uso altamente eficiente de N es esencial que las correctas cantidades de este elemento se encuentren presentes durante los períodos de alta demanda de N por parte de las plantas, mientras que unas cantidades mínimas de N deben estar presentes durante los períodos de baja demanda del mismo (Warnars, 2011).
- ✓ El digestato fresco puede ser bajo en nutrientes, mientras que la relación carbón/nitrógeno puede ser baja en el digestato secado al sol y alta en el digestato fresco. La forma sólida y líquida del digestato contienen diferentes composiciones de nutrientes, y siempre dependen del substrato original, el tipo de digestor y el proceso anaeróbico. No obstante,

se puede afirmar que el digestato no es solamente rico en materia mineral y orgánica, sino que también en nutrientes como el N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, materia orgánica, diferentes tipos de aminoácidos y metales tales como Cu y Zn. (Warnars, 2011).

- ✓ Comparado con los fertilizantes químicos, el digestato se descompone en un proceso largo que es mejor para la absorción de nutrientes y la asimilación por parte de las plantas. La concentración total de N en el estiércol de granja puede ser hasta un 30 % inferior que en el digestato. Además, esta materia orgánica puede acelerar el proceso de nitrificación del suelo, reduciendo la acumulación del nitrato en el suelo y reduciendo aún más la ingestión de $\text{NO}_3 - \text{N}$ (Warnars, 2011).
- ✓ La excesiva fertilización puede ser problemática ya que, por ejemplo, ‘un suelo con concentraciones altas de fósforo (P) pueden conllevar pérdidas significativas de P debido a las aguas de drenaje resultantes de la eutrofización’. Además, las altas emisiones de amoníaco causadas por la fertilización excesiva con N pueden generar efectos negativos para el ambiente. Igualmente, a menudo el digestato en combinación con los fertilizantes químicos resulta en mejores rendimientos que cuando solamente se usa el digestato, aunque es muy recomendable evitar el uso de este tipo de fertilizantes debido a su alto costo en términos económicos y ambientales (Warnars, 2011).
- ✓ Parecería que el digestato es deseable para una amplitud de aplicaciones en los suelos y foliarmente en los cultivos; no obstante, su producción y uso también conllevan riesgos. “El valor del pH del digestato es normalmente más alto que el del estiércol de granja, pudiendo ser un riesgo por la alta liberación de amoníaco. La alta concentración de amoníaco puede dañar la vegetación y resultar en la acidificación y eutrofización del suelo” (Warnars, 2011). Además, no todos los patógenos presentes en el estiércol son eliminados de forma total durante el proceso de digestión anaerobia y, por tanto, pueden causar enfermedades, lo cual es más probable al usar estiércol de granja (Warnars, 2011).

2. Biosol (fertilizante sólido similar al abono orgánico)

Al igual que se menciona en referencia a los digestatos, las características de un biosol dependen de los sustratos (co-digestión) que se introduzcan dentro del biodigestor para ser fermentados anaeróbicamente, por tanto, existe un digestato único para condiciones específicas. El mismo se puede usar sólo o en conjunto con compost o con fertilizantes químicos (Tabla 4).

Tabla 4. Caracterización de un biosol generado a partir de estiércol vacuno.

Componente	Porcentaje (%)
Agua	15,7
Sustancias Orgánica seca	60,3
pH	7,6
Nitrógeno Total	2,7

Fósforo (P ₂ O ₅)	1,6
Potasio (K ₂ O)	2,8
Calcio (CaO)	3,5
Magnesio (MgO)	2,3
Sodio (Na)	0,3
Azufre (S)	0,3
Boro (B) (ppm)	64

Fuente: Tomado de Aparcana, 2008.

Normalmente se aplica el biosol de la misma manera que se aplica el abono orgánico generado a través de la técnica del compostaje, aunque varía la dosificación. Según comenta Aparcana (2008), mientras que un biosol tiene aplicaciones entre 2 a 4 toneladas por hectárea (según el tipo de cultivo y el tipo de suelo), el abono orgánico por compost requiere cantidades mayores del orden entre 15 – 30 toneladas por hectárea. También se puede usar biosol para preparar los terrenos previo a la siembra, donde, éste se puede usar mezclado con fertilizantes químicos, no obstante, para aplicaciones de agricultura orgánica sólo se usa biosol.

2.1 Ventajas del uso del biosol

- ✓ El uso de este abono hace posible la alimentación de la planta. Los cultivos son fortalecidos y ocurre una mejora del rendimiento. El uso de biosol permite el uso intensivo del suelo mejorando a la vez la calidad del mismo (Aparcana, 2008).
- ✓ El biosol confiere a los suelos arenosos una mayor cohesión mejorando con ello la retención de los nutrientes en el suelo (Aparcana, 2008).
- ✓ El biosol mejora la estructura del suelo y la capacidad de retención de la humedad de este, esto favorece la actividad biológica en el suelo. Mejora la porosidad, y por consiguiente la permeabilidad y ventilación (Aparcana, 2008).
- ✓ También el biosol puede ser combinado con la mayoría que va a ser compostada, con el fin de acelerar el proceso de compostaje (Aparcana, 2008).
- ✓ Una de las ventajas de usar biosol como fertilizante es que reduce la necesidad del abono, con respecto al uno de estiércol vacuno o compost (Aparcana, 2008).
- ✓ Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan las plantas (Aparcana, 2008).
- ✓ Reduce la erosión del suelo (Aparcana, 2008).
- ✓ El biosol cuenta con una mayor disponibilidad de nutrientes (N, P, K, Fe, S) en comparación con el estiércol, entonces esto mejora la disponibilidad del nitrógeno amoniacal (Aparcana, 2008).

2.2 Desventajas del uso del Biosol

Las desventajas son las mismas comentadas para el uso del biol (ver sección 1.3).

3. Métodos para la determinación del valor de fertilizante del digestato

El «valor de fertilizante» o el «valor de sustitución del fertilizante» de un nutriente en un producto orgánico, como un digestato, entre otros, se define generalmente como el porcentaje de la cantidad total de ese nutriente que está disponible para la absorción de la planta. Esto puede determinarse relacionando la cantidad de un nutriente de un fertilizante mineral regular (referencia) que se requiere para alcanzar el mismo rendimiento o la misma absorción de ese nutriente como una cierta cantidad del producto orgánico (por ejemplo, digestato) (Bonten; *et al*, 2014).

3.1 Determinación del valor de fertilizante del digestato

El valor del digestato como fertilizante depende de:

- ✓ Contenido de nutrientes, por ejemplo, la cantidad de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y micronutrientes sobre una base de materia fresca o seca.
- ✓ la relación entre nutrientes, como por ejemplo. La relación N/P y/o la relación N/K.
- ✓ Y la disponibilidad de los nutrientes, que es determinada por los compuestos que contienen los nutrientes (Bonten; *et al*, 2014).

Además del valor del fertilizante, el digestato puede tener efectos positivos sobre la calidad del suelo y el crecimiento de los cultivos a largo plazo, causados por los insumos de materia orgánica (Bonten; *et al*, 2014).

El primer paso en la determinación del valor del digestato como fertilizante es mediante el análisis de contenido de sus nutrientes. La composición nutritiva del digestato puede ser determinada por un laboratorio especializado (Bonten; *et al*, 2014). Desafortunadamente, la medición y la notificación de los contenidos de nutrientes de un digestato no siempre se realizan de manera clara y transparente. Una cuestión común en la presentación de los reportes sobre la composición del digestato; es que no está claro si los contenidos se basan en la materia fresca o seca, la masa total o el volumen, en sólidos totales o en materia prima fresca (Bonten; *et al*, 2014).

Un segundo paso para definir el valor del digestato como fertilizante es mediante la determinación de la disponibilidad de los nutrientes en formas fácilmente absorbibles. La disponibilidad de un nutriente se puede determinar experimentalmente, o bien de forma estimada (Bonten; *et al*, 2014).

Un ejemplo de cómo se aplica estos pasos para determinar el valor del fertilizante se puede observar a través del informe presentado en el “Estudio sobre el Valor Fertilizante de los Productos del Proceso “Fermentación Anaeróbica” para Producción de Biogás (Aparcana, 2008).

4. PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DEL MATERIAL RESIDUAL DE LOS BIODIGESTORES EN COSTA RICA

a. Alcance

A partir de la elaboración de las secciones anteriores de este documento, se pretende realizar una propuesta para el aprovechamiento del material residual de los digestores anaeróbicos, al que se llamó anteriormente como “digestato” o a alguna de sus partes que lo conforman: el biol y el biosol. Dicha propuesta indicará las pautas generales a seguir, pero en caso de que el lector desee profundizar en cómo se realiza toda la gestión, deberá leer los reglamentos y documentos mostrados en la sección bibliográfica (Schaden, 2012).

Para ello, se realiza una revisión bibliográfica del marco legal aplique para el uso de abonos, fertilizantes y/o enmiendas orgánicas en la agricultura orgánica; además, se realiza una entrevista a un experto en la comercialización de este tipo de productos (Castro, 2017).

b. Presentación

Es necesario desarrollar formas de producción agropecuarias armónicas con el ambiente que conserven los recursos naturales a largo plazo, contribuyan a preservar la biodiversidad y que no utilicen o generen agentes contaminantes, lo cual contribuye al desarrollo sostenible que busca el país (Schaden, 2012). Además, la agricultura orgánica es de suma importancia para el país en relación con la salud de la población, la conservación del ambiente, la generación de fuentes de empleo y el mejoramiento de la calidad de vida de los seres humanos. Por tanto, el país ha planteado los siguientes principios para el desarrollo de este sector de la agricultura orgánica:

1. Producir alimentos de elevada calidad nutritiva en cantidad suficiente.
2. Interactuar constructivamente y potenciando la vida con los sistemas y ciclos naturales.
3. Fomentar e intensificar los ciclos biológicos dentro del sistema agrario, lo que comprende los microorganismos, la flora y fauna del suelo, las plantas y los animales.
4. Mantener e incrementar la fertilidad de los suelos constantemente.
5. Promover el uso sostenible y el cuidado apropiado del agua, los recursos acuáticos y la vida que sostienen.
6. Ayudar en la conservación del suelo y el agua.
7. Emplear, en la medida de lo posible, los recursos renovables en sistemas agrarios organizados localmente.
8. Trabajar, en la medida de lo posible, dentro de un sistema cerrado con respecto a la materia orgánica y los nutrientes minerales.
9. Trabajar, en la medida de lo posible, con materiales y sustancias que puedan ser utilizados de nuevo o reciclados, tanto en la finca como en otro lugar.

10. Proporcionar a los animales condiciones de vida que le permitan desarrollar las funciones básicas de su comportamiento innato.
11. Minimizar todas las formas de contaminación que puedan ser producidas por las prácticas agrícolas.
12. Mantener la diversidad genética del sistema agrícola y de su entorno, incluyendo la protección de los hábitats de plantas y animales silvestres.
13. Utilizar materiales auxiliares, en la medida de lo posible, a partir de recursos renovables y que sean biodegradables (empaques, embalajes, tutores, coberturas, etc).
14. Progresar hacia una cadena de producción enteramente ecológica, que sea socialmente justa y ecológicamente responsable.
15. Los organismos genéticamente modificados u obtenidos a través de ingeniería genética y los productos provenientes de tales organismos no son compatibles con los principios de producción orgánica (entendiéndose cultivo, proceso, manufactura y comercialización) y por consiguiente no está permitida su utilización, en la agricultura orgánica que norma este reglamento.

Por tanto, a continuación se explicará de manera general los pasos a seguir para el aprovechamiento de los digestatos, lodos y/o biosoles generados en los procesos fermentativos anaeróbicos.

SECCIÓN I REGISTRO

El primer paso es el registro del producto (Figura 1, p. 69) ya sea en términos de un fertilizante orgánico o una enmienda (Certificado de Registro) ante la Unidad de Acreditación y Registro en Agricultura Orgánica del Departamento de Operaciones Regionales perteneciente al Servicio Fitosanitario del Estado, que a su vez, pertenece al Ministerio de Agricultura y Ganadería. El expediente de registro de un fertilizante o una enmienda de uso agrícola debe contener información administrativa y técnica de acuerdo a los requisitos establecidos. Además, el registro tendrá una vigencia de 10 años.

A. Del registro de un fertilizante

1. Requisitos Administrativos

- a) Solicitud de conformidad (Anexo 1).
- b) Certificado de registro o certificado libre venta para exportación emitido por Unidad de Acreditación y Registro en Agricultura Orgánica.
- c) Certificado de composición cualitativo-cuantitativo del fertilizante, en original, emitido y firmado por el fabricante o formulador, que indique los elementos nutrientes, identificando las fuentes o compuestos de donde proceden, con su fórmula química, así como los ingredientes inertes, material de relleno y aditivos de formulación, con sus correspondientes porcentajes masa/masa para sólidos y masa/volumen para líquidos.

- d) Certificado de análisis del fertilizante, en original, proporcionado por el fabricante o formulador, de una muestra de un lote en particular que indique los elementos nutrientes con sus correspondientes porcentajes masa/masa para sólidos y masa/volumen para líquidos, firmado por el profesional en química a cargo.

Tanto para la literal c) como d), debe declararse el contenido de los nutrientes presentes, en el siguiente orden y forma:

d) 1. Macronutrientes primarios:

d) 1.1. Nitrógeno: nitrógeno total, expresado como % N, además indicar las formas determinables del nitrógeno: amoniacal, ureico y nitratos y sus porcentajes e identificar el porcentaje de biuret, cuando el nitrógeno provenga de una urea.

d) 1.2. Fósforo: fósforo total y disponible, expresado como % P₂O₅ (soluble en agua y en citrato de amonio y sus porcentajes %).

d) 1.3. Potasio: potasio disponible, expresado como % K₂O.

d) 2. Macronutrientes secundarios:

d) 2.1. Calcio: calcio disponible, expresado en oxido %, CaO (soluble en agua).

d) 2.2. Magnesio: magnesio disponible, expresado en oxido %, MgO (soluble en agua).

d) 2.3. Azufre: azufre disponible, expresado en %, como: S (soluble en agua).

d) 2.4. Micronutrientes:

d) 3.1. Boro: boro disponible, expresado en %, B.

d) 3.2. Cobalto: cobalto disponible, expresado en %, Co.

d) 3.3. Cobre: cobre disponible, expresado en %, Cu.

d) 3.4. Hierro: hierro disponible, expresado en %, Fe.

d) 3.5. Manganeso: manganeso disponible, expresado en %, Mn.

d) 3.6. Molibdeno: molibdeno disponible, expresado en %, Mo.

d) 3.7. Zinc: zinc disponible, expresado en %, Zn.

d) 3.8. Declaración de la presencia de otros elementos considerados como nutrientes.

d) 4. Declaración de la presencia o ausencia de metales pesados (Cadmio, Cromo, Arsénico, Mercurio y Plomo) expresando la concentración máxima en ppm, u otras sustancias que puedan transformarse en el suelo en metabolitos dañinos.

- e) **Proyecto de etiqueta** (diseño y elaboración del material impreso o inscripción gráfica escrito en caracteres legibles, que identifica y declara sus componentes y describe el producto contenido en el envase o empaque que acompaña).

2. Requisitos Técnicos

- a) **Propiedades físicas y químicas del fertilizante:** estado físico; color; peso específico, pH para los líquidos y solubilidad en agua para los sólidos (indicando la temperatura), granulometría, corrosividad, si el producto contiene nutrientes quelatados se debe identificar químicamente el agente quelante y su % en peso/volumen; si se trata de un fertilizante de liberación lenta, indicar químicamente su composición e indicar si es una mezcla física o fórmula química.
- b) **Datos sobre aplicación de fertilizantes:** ámbito de aplicación, cultivos recomendados y forma de aplicación, condiciones en que puede ser aplicado el producto, indicando el pH óptimo de la mezcla de aplicación, compatibilidad y fitotoxicidad.
- c) **Datos sobre seguridad:** información sobre equipo de protección personal, procedimiento de limpieza del equipo de aplicación y para las formulaciones sólidas y líquidas presentar las condiciones de almacenamiento del producto, datos sobre el efecto sobre el ambiente.
- d) **Métodos de análisis:** indicar los métodos de análisis físicos y químicos empleados, debidamente referenciados (ASTM, AOAC, u otros reconocidos internacionalmente). En caso de que sean propios demostrar su validación.
- e) **Datos sobre envase del producto a comercializar:** tipo, material y capacidad del envase.

B. Del registro de enmiendas 1.

Requisitos Administrativos

- a) Solicitud de conformidad con el Anexo 1.
- b) Certificado de registro o certificado libre venta para exportación emitido por la Unidad de Acreditación y el Registro en Agricultura Orgánica.
- c) Certificado de composición cualitativo-cuantitativo del fertilizante, en original, emitido y firmado por el fabricante o formulador, que indique los elementos nutrientes, identificando las fuentes o compuestos de donde proceden, con su fórmula química, así como los ingredientes inertes, material de relleno y aditivos de formulación, con sus correspondientes porcentajes masa/masa para sólidos y masa/volumen para líquidos.
- d) Certificado de análisis del fertilizante, en original, proporcionado por el fabricante o formulador, de una muestra de un lote en particular que indique los elementos nutrientes con sus correspondientes porcentajes masa/masa para sólidos y masa/volumen para líquidos, firmado por el profesional en química a cargo.

Tanto para la literal c) como d), debe declararse el contenido de los componentes presentes, en el siguiente orden y forma: **d 1.** Para las enmiendas orgánicas se declarará lo siguiente:

d 1.1. Los componentes deben expresarse en porcentaje (%), peso/peso o peso/volumen, según su estado físico, en su forma elemental.

d 1.2. Materia orgánica total.

d 1.3. Relación carbono/nitrógeno (C/N).

d 1.4. Porcentaje de humedad.

d 1.5. Para el caso de sustancias húmicas su identificación y porcentaje de las mismas.

d 1.6. Declaración de la presencia o ausencia de metales pesados (Cadmio, Cromo, Arsénico, Mercurio y Plomo) y su concentración máxima en partes por millón (ppm) u otras sustancias que puedan transformarse en el suelo en metabolitos dañinos.

e) Proyecto de etiqueta: diseño y elaboración del material impreso o inscripción gráfica escrito en caracteres legibles que identifica y declara sus componentes y describe el producto contenido en el envase o empaque que acompaña.

2. Requisitos Técnicos

2.1. Propiedades físicas y químicas de la enmienda

- a)** Capacidad neutralizadora (PRNT) para el caso de enmiendas inorgánicas, expresada en porcentaje de neutralización comparado con 100 kg de carbonato de calcio puro.
- b)** Peso específico o densidad expresada g/mL a una determinada temperatura en grados celsius, según el estado físico del producto.
- c)** Granulometría (diámetro promedio de partícula 20, 60 Y 100 mesh para productos granulados).

2.2. Indicar los métodos de análisis, debidamente referenciados, para determinar la composición de la enmienda, en el caso de que sean propios demostrar su validación.

2.3. Proceso de elaboración del producto para el caso de enmiendas de origen orgánico.

2.4. Datos sobre la aplicación y manejo de la enmienda: ámbito de aplicación, dosis, número y frecuencia de aplicación, instrucciones de uso, métodos de aplicación, fitotoxicidad, compatibilidad, manejo de sobrantes, equipo de protección personal, procedimientos de limpieza del equipo de aplicación, condiciones de almacenamiento y efectos sobre el ambiente.

2.5. Envase del producto a comercializar: tipo, material y capacidad del envase.

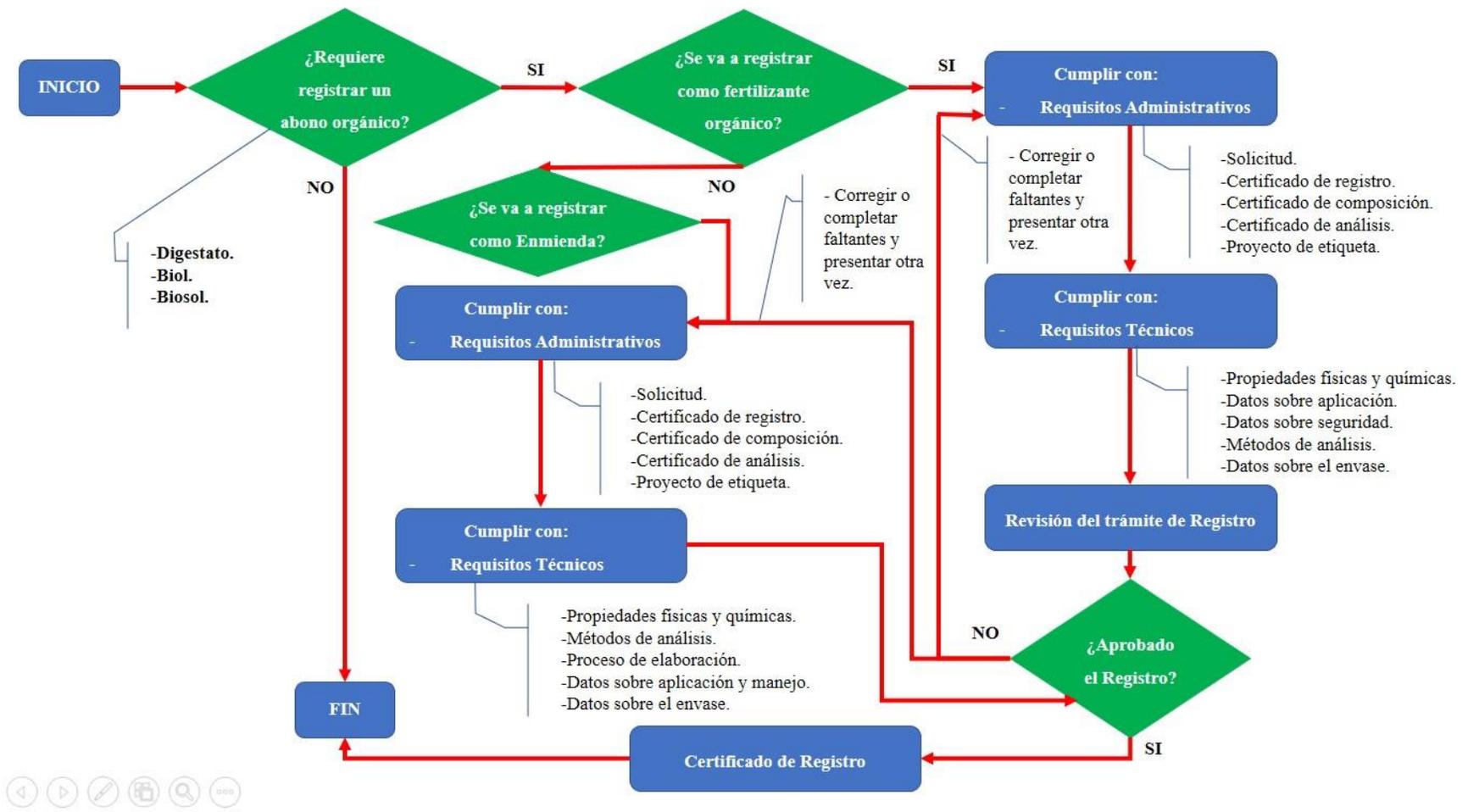


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de registro de un fertilizante orgánico o enmienda, aplicable para los digestatos, lodos y biosol (Sección I; Registro).

SECCIÓN II PRODUCTO AVALADO PARA USO EN LA AGRICULTURA ORGÁNICA

Según la normativa vigente, para que un producto agropecuario reciba la denominación de orgánico, deberá provenir de un sistema donde se hayan aplicado los principios y las normas establecidas en el presente reglamento, durante el periodo de tres años.

En lo referente al uso de insumos para la agricultura orgánica solamente se autorizan los productos que estén dentro de los Anexos A, B, C y D del decreto N°29782 “Reglamento de Agricultura Orgánica”. Por tanto, es de esperar que no se encuentren enlistados los digestatos, lodos ni biosoles procedentes de los sistemas anaeróbicos para el tratamiento de residuos orgánicos fermentables.

En el caso de que se desee utilizar estos productos fertilizantes generados en los procesos fermentativos se puede incluir en ellos, en caso de que cumplan los siguientes criterios:

1. Es consistente con los principios de producción orgánica.
2. La utilización de la sustancia es necesaria o esencial para el uso a que se le destina.
3. El uso de la sustancia no resulta o contribuye a efectos dañinos al ambiente.
4. Tiene el menor efecto negativo sobre la salud humana o de los animales y sobre la calidad de vida.
5. No hay disponibles alternativas autorizadas en cantidad y/o calidad suficiente.
6. Debe darse una descripción detallada del producto, las condiciones de su utilización y las exigencias de composición y/o solubilidad.

Se deberá registrar el producto a través de una empresa certificadora, la cual, a su vez, es avalada por la Unidad de Acreditación y Registro en Agricultura Orgánica. Las condiciones para el uso son especificadas por la entidad certificadora, por ejemplo: volumen, frecuencia de aplicación, finalidad específica, concentración de patógenos, concentración de metales pesados, etc (Figura 2).

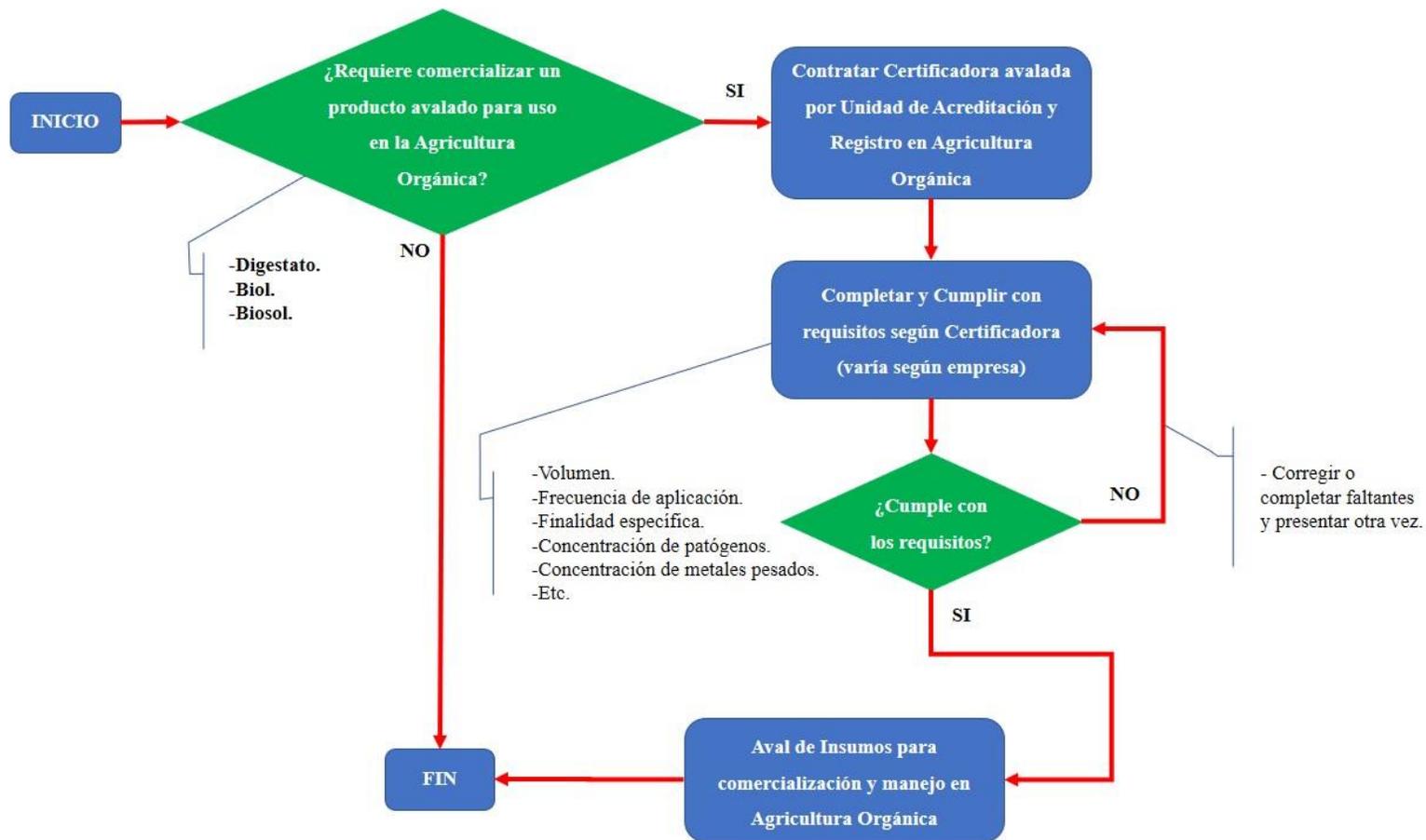


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de Aval por empresas certificadoras, para el manejo y comercialización como insumo en la Agricultura Orgánica, de aplicación para los digestatos, lodos y biosol (Sección II; Producto avalado para uso en la agricultura orgánica).

SECCIÓN III

PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Existe una amplia gama de microorganismos presentes en los digestatos, lodos y biosoles provenientes de los digestores anaerobios. En el caso de los patógenos que representan un riesgo medioambiental en los suelos, que pueden pasar a los cultivos, animales y al consumo humano implica entonces su análisis y uso regulado, para proteger la salud en general. A continuación, sus consideraciones según el tipo de residuo:

1. Biosol y Lodos sólidos

La inocuidad del biosol y los lodos deshidratados, en estado sólido, deben procurar en la medida de lo posible que su carga microbiana represente un mínimo riesgo. Los principales patógenos incluyen *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli*, entre otros (Soto y Meléndez, 2004).

De acuerdo con su presencia, se pueden categorizar como clase A (uso interno, distribución y comercialización libre) y clase B (zonas limitadas, remotas, con prácticas adecuadas de manejo y de restringido acceso al público), en donde a continuación se presentan sus parámetros correspondientes (Tabla 5) (Soto y Meléndez, 2004):

Tabla 5. Parámetros microbiológicos para el biosol y lodos en estado sólido.

Clasificación	Patógenos	Límites de población
	Salmonella	< 3 NMP/g
	Coliformes fecales	< 1000 NMP/g
Clase A	Virus entéricos	< 1 PFU/g
	Huevos viables de helmitos	< 1
		> 1001 PFU/g
Clase B	Coliformes fecales	< 2.000.000 NMP o UFC/g

Adaptado de Soto y Meléndez (2004).

Simbología

NMP: Número más probable.

UFC: Unidades formadoras de colonias.

2. Digestato líquido

El digestato puede ser empleado para su aplicación líquida directa sobre suelos y cultivos de producción, que de igual manera puede implicar la presencia de microorganismos patógenos, en donde a continuación se establecen sus límites (Tabla 6):

Tabla 6. Parámetros microbiológicos el digestato en forma líquida.

Tipo de Aplicación	Patógenos	Límites de Población
Suelos y foliar	Nemátodos intestinales	1 N° de huevos por litro
	Coliformes fecales	10.000 NMP/100mL

Adaptado de Chinchilla et al. (2014).

Simbología

NMP: Número más probable.

Como se puede apreciar en la Tabla 6, esto aplica para terrenos con pasturas de hasta 2 semanas previas al pastoreo y/o corta para alimentación animal, en cultivos de consumo humano hasta 2 semanas previas de aplicación antes de su cosecha y su desinfección con cloro, y en otras zonas donde aplique mínimo 2 semanas de reposo antes del acceso al público en general.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, F; *et al.* (2013). Plan del Programa Nacional de Biodigestores en Perú, [en línea]. Lima: Servicio Nacional para la Cooperación Holandesa. Disponible en: http://beegrouppcimne.com/kt-content/uploads/2017/02/2013_PNB_Peru_Plan.pdf [2017, 22 de junio]
- Aparcana, S; Jansen, A. (2008). Estudio sobre el Valor Fertilizante de los productos del proceso "Fermentación anaeróbica" para Producción de Biogás. Wilhelmshaven y Lima: German ProfEC GmbH y German ProfEC-Peru SAC. Disponible en: http://www.germanprofec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf [2017, 04 de agosto]
- Arias, O; *et al.* (2007). Reglamento para el manejo y disposición final de lodos y biosólidos No. 39316-S. Presidencia de la República de Costa Rica y el Ministerio de Salud. 1-10 p.
- Eaton, A. (2011). Digestato: Fertilizante Orgánico. Instituto Internacional de Recursos Renovables, A.C., Red Latinoamericana de Biodigestores de América Latina y el Caribe (RedDigestatoAC). 20 p.
- Bautista, A; Arnaud, M. (2006). Elementos potencialmente tóxicos en suelos agrícolas con manejo de riesgo contaminante [en línea]. Oaxaca: CIIDIR. Disponible en: <http://www.ciidiroaxaca.ipn.mx/revista/sites/www.ciidiroaxaca.ipn.mx.revista/files/pdf/vol4num1/elementos.pdf> [2017, 23 de junio]
- Bonten, L; Zwart, K; Rietra, R; *et al.* (2014). Bio-slurry as fertilizer. SNV Netherlands Development Organisation. 50 p.
- Brady, N; Weil, R. (2008). The nature and property of soils. Ohio, Estados Unidos de America: Pearson Prentice Hall.
- Castro, R. (2017). Comunicación personal con Randall Castro Rodríguez. Gerente General y Representante legal de la empresa Servicios Múltiples Rackam. 02 y 08 de agosto, 2017.

- Camacho, A; *et al.* (2009). Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y *Escherichia coli* por la técnica de diluciones en tubo múltiple (Número más Probable o NMP), [en línea]. México DF: Facultad de Química, UNAM. Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-EcoliNMP_6529.pdf [2017, 22 de junio]
- Chicatto, V; *et al.* (2016). Minireview: La Co-Digestión Anaeróbica. México: Revista Frontera Biotecnológica. 15 – 24 p.
- Chinchilla, L; *et al.* (2014). Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales No. 33601. Presidencia de la República, Ministerio de Ambiente y Energía, Ministerio de Salud. 1-40 pp.
- George, K, Gegner, L. (2004). Organic Crop Production Overview. Arkansas: National Sustainable Agriculture Information Service. p. 1-23.
- Guitán, U; *et al.* (2001). Disponibilidad de macro y micronutrientes en un suelo de cultivo de Mabegondo. Coruña, España: Facultad de Ciencias, Universidad de A Coruña. p. 243-254.
- Groot, L; Bogdonski, A. (2013). Bioslurry Brown gold, [en línea]. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3441e.pdf> [2017, 3 de agosto]
- Groppelli, E; Muesati, J; *et al.* (2002). Biodigestor anaeróbico para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos en pequeñas comunidades, [en línea]. Santa Fé: Facultad de Ingeniería Química – UNL. Disponible en: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/investigacion-y-tecnologia-ensalud/inventarios/inventario-de-tecnologias-en-girs/valorizacion/produccion-de-energia-apartir-de-rs/1358-biodigestor-anaerobico-para-residuos-solidos-pequenas-comunidades/file> [2017, 21 de julio]
- Iglesias, E. (2007). Aspectos físico-químicos, bioquímicos y microbiológicos del proceso de compostaje, [en línea]. Alicante: Universitas Miguel Hernández. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/92881/1/3%20202%20Unidad%20tematica%204.pdf> [2017, 17 de noviembre]
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2016). Digestión anaerobia; Proceso de producción de biogás, [en línea]. Madrid: IDAE. Disponible en: <http://www.biodisol.com/que-es-el-biogas-digestion-anaerobia-caracteristicas-y-usos-delbiogas/digestion-anaerobia-proceso-de-produccion-de-biogas-biocombustibles-energiasrenovables/> [2017, 21 de junio]

Martí, J. (2016). Biodigestores y sustratos con condiciones de climas fríos y digestión seca, ejemplos y cálculos. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación. 25 p.

Meza, V. (2017). Uso del digestato. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina (UNL), Red Latinoamericana de Biodigestores (Red DigestatoAC) e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Webinar en línea. 39 p.

Mesa de Biogás. (2010). El sector del biogás agroindustrial en España. Madrid: Ministerio de Ambiente y Medio Rural y Marino, Dirección General de Recursos Agrícolas y Ganaderos. 89 p.

Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ministerio de Economía, Industria. (2016). Decreto N°39733 “Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 65.05.54:15 Fertilizantes y Enmiendas de uso Agrícola. Requisitos para el registro. Gobierno de Costa Rica.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (1999). Decreto N°28429 “Reglamento Técnico RTCR 316:1999 Fertilizantes, Material Técnico, Sustancias Afines. Registro. Gobierno de Costa Rica.

Limón, J. (2013). Los lodos de las plantas de tratamiento residuales, ¿Problema o recurso?, [en línea]. Jalisco: Ingeniería Química. Disponible en: http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_t_rabajo_de_ingreso.pdf [2017, 5 de agosto]

López, R; *et al.* (2013). pH, química, [en línea]. Madrid, McGraw-Hill. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/PH#cite_note-2 [2017, 23 de junio]

Pascual, A; *et al.* (2011). Situación y potencial de generación de biogás: estudio técnico periodo 2011-2020, [en línea]. Madrid: IDAE. Disponible en: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e16_biogas_db43a675.pdf [2017, 22 de junio]

Rodríguez, C. (2007). Demanda química de oxígeno por reflujo cerrado y volumetría, [en línea]. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb> [2017, 22 de junio]

Rodríguez, R. (2015). Plantas centralizadas de digestión anaerobia para producción de biogás, [en línea]. Navarra: HTN Biogas. Disponible en: <http://www.agro-alimentarias.coop/ficheros/doc/03471.pdf> [2017, 21 de junio]

- Schaden, C. (2012). Calidad del digestato como un fertilizante. México D.F.: Instituto Internacional de Recursos Renovables (IRRI MEXICO). 17 p.
- Soto, G; Meléndez, G. (2004). Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos, [en línea]. San José: Universidad de Costa Rica. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A1909e/A1909e.pdf> [2017, 24 de noviembre]
- Tilley, E; et al. (2015). Reactor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos, [en línea]. Madrid: Akvopedia. Disponible en: http://akvopedia.org/wiki/Reactor_Anaerobico_de_Flujo_Ascendente_con_Manto_de_Lodos [2017, 22 de junio]
- Torchiani, G. (2013). Biogás, hay una alternativa a la digestión, [en línea]. Milán: Tekneco. Disponible en: <http://old.tekneco.it/energia/biogas-ce-un-alternativa-al-digestato/> [2017, 21 de junio]
- Trelles, G. (2014). Como interpretar la DQO y DBO en los efluentes industriales, [en línea]. Montevideo: Laboratorio Ecotech. Disponible en: <https://www.slideshare.net/Fidelgoldenbergdqo-y-dbo-efluentes> [2017, 23 de junio]
- Varnero, M; Homer, I; *et al.* (2016). Utilización de digestato para evitar quemas de rastrojos agrícolas. Ministerio Medio Ambiente, Universidad de Chile, Centro de Agricultura y Medioambiente (AGRIMED). 8^{vo} Encuentro de la RedDigestatoAC. 14 p.
- Viquez, J. (2016). Uso del efluente, modulo 6. VIOGAZ, S.A. 8^{vo} Encuentro de la RedDigestatoAC. 14 p.
- Warnars, L; Oppenorth, H. (2016). Digestato: el fertilizante maravilla. Renewable Energy & Carbon Finance, HIVOS-SNV. 17 p.
- Warnars, L; Oppenorth, H. (2014). El digestato: el fertilizante supremo, estudio sobre el digestato, el uso y sus resultados. HIVOS. 52 p.

6. ANEXOS

Anexo 1. Glosario.

- a) **DIGESTIÓN ANAEROBIA:** Es el proceso de descomposición, degradación o conversión de la materia orgánica en un medio o agua residual, en condiciones sin oxígeno, dentro de un biodigestor o digestor anaerobio, mediante la acción de bacterias asociadas a la producción de metano, que generan biogás como uno de los subproductos. Está dominada por varias fases en cadena de degradación del sustrato (hidrólisis, acidogénesis, acetanogénesis y metanogénesis), cada una de estas con diferentes velocidades y susceptibilidades, que en general se requiere poca acumulación de inhibidores y/o AGV, y en donde exista una asociación sintrófica entre las bacterias acetogénicas y metanogénicas, en donde éstas últimas son muy sensibles a la acidez acumulada, y responsables en última instancia de concluir el proceso de la digestión anaerobia exitosa con buena eficiencia de degradación (IDEA, 2016).
- b) **BIODIGESTOR:** También conocido como digestor o reactor anaerobio, que se refiere a la cámara hermética, con o sin equipos mecánicos, que permite el ingreso y salida de aguas con contenido de materia orgánica, y que mediante la fermentación metanogénica que ocurre internamente se genera biogás, digestato y lodo como parte de los subproductos finales. Estos incluyen unidades de tamaño micro, pequeñas, medianas, grandes y biodigestores industrializados con controles de agitación y temperatura interna. Son generalmente construidos en concreto, geomembrana o metálicos, según el país, contexto tecnológico y socioeconómico de la región, que en general estos sistemas permiten (Acosta, F; *et al*, 2013).
- c) **DIGESTATO:** Se refiere a la fracción líquida, un líquido espeso, que sale de la unidad del sistema de digestión anaerobia, de flujo continuo o semi-continuo, después de pasar completamente por el proceso de degradación bioquímico anaeróbico según la eficiencia y alcance tecnológico existente, también conocido como efluente del digestor, con materia orgánica estabilizada y con potencial de uso como fertilizante líquido o post tratamiento en un sistema de tratamiento de aguas residuales o en sistema de tratamiento anaeróbico para lodos y/o residuos orgánicos fermentables. Habitualmente se emplea como fertilizante líquido en terrenos o campos agrícolas circundantes (Torchiani, 2013).
- d) **BIOSOL:** Es el resultado de separar la parte sólida del digestato, resultante de los procesos anaeróbicos dentro de un digestor. Según Aparcana (2008), “dependiendo de la

tecnología a emplear, el biosol puede alcanzar entre un 10 a 25 % de materia seca. Su composición depende mucho de los residuos que se emplearon para su fabricación. Se puede emplear sólo o en conjunto con compost o con fertilizantes químicos”. Su composición se define de acuerdo con el tipo de sustrato, escala y zona geográfica del biodigestor en operación y que lo genera, de forma continua o intermitente, y obtenida del digestato bruto, es decir, el efluente fresco saliente de un biodigestor (Pascual, A; *et al*, 2011).

- e) **FERTILIZANTE:** Producto de origen natural o sintético, que aplicado al suelo, sustrato o al follaje, le suministra uno o varios elementos nutrientes disponibles a la planta, y que puede ser utilizado como componente en la formulación de otro fertilizante (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2016).
- f) **FERTILIZANTES ORGÁNICOS:** Productos orgánicos, generalmente de origen vegetal y/o animal añadidos al suelo específicamente para la nutrición de las plantas, conteniendo generalmente Nitrógeno de origen vegetal y/o animal.
- **Fertilizantes nitrogenados orgánicos:** Productos de origen vegetal y/o animal en los que el contenido en nitrógeno declarable está orgánicamente combinado con carbón y que pueden contener otros elementos, pero no tienen un contenido en fósforo o potasio declarable (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1999).
 - **Fertilizantes nitrogenados orgánicos sintéticos:** Fertilizantes nitrogenados en los que el nitrógeno está combinado con carbono por síntesis orgánica (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1999).
 - **Fertilizantes orgánicos N P:** Fertilizantes orgánicos que contienen además de nitrógeno, un contenido declarable de fósforo de origen vegetal y/o animal, y que pueden contener otros elementos, pero que no tienen un contenido declarable de potasio (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1999).
 - **Fertilizantes orgánicos N K:** Fertilizantes orgánicos que contienen además de nitrógeno, un contenido declarable de potasio de origen vegetal y/o animal, y que pueden contener otros elementos, pero que no tienen un contenido declarable de fósforo (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1999).
 - **Fertilizantes orgánicos N P K:** Fertilizantes orgánicos que contienen, además de nitrógeno, cantidades declarables de fósforo y potasio de origen vegetal y/o animal que pueden contener otros elementos (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1999).
 - **Fertilizantes semiorgánicos:** Productos en los que los nutrientes declarables son a la vez de origen orgánico e inorgánico, obtenidos por mezcla y/o combinación química de fertilizantes orgánicos e inorgánicos (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1999).
- g) **MICRONUTRIENTES:** Son aquellos elementos esenciales requeridos por la planta para su crecimiento, en pequeñas cantidades, entre ellos están el Boro, Cobalto, Cobre, Hierro, Manganeso, Molibdeno, y Zinc (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1999).

- h) **ENMIENDA:** Cualquier producto orgánico, inorgánico, natural o sintético que, aplicado al suelo, es capaz de modificar y mejorar las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo y no aporta nutrientes de forma disponible para la planta (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2016).
- i) **AGRICULTURA ORGÁNICA:** Todos los sistemas agrícolas que promueven la producción ecológica, social y económicamente sana de alimentos y fibras, tomando la fertilidad del suelo como un elemento fundamental para la producción exitosa, respetando la capacidad natural de las plantas, los animales y los terrenos, para optimizar la calidad en todos los aspectos de la agricultura y el ambiente (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2016).
- j) **DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO):** “Es la cuantificación de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica e inorgánica en una muestra de agua, en condiciones controladas de un agente oxidante, tiempo y temperatura”, su resultado se representa en laboratorios en miligramos de oxígeno por litro (mg O₂/L) (Rodríguez, 2007). Es un parámetro empleado típicamente en la calidad de aguas residuales, que permite entender indirectamente su nivel de carga orgánica o contaminantes potencial.
- k) **DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO):** Este indica la cantidad de oxígeno requerido para oxidar bioquímicamente la materia orgánica de una sustancia. Es un parámetro empleado para evaluar la calidad de aguas residuales, mostrando el nivel de carga contaminante, además de evidenciar el nivel fácilmente biodegradable de un sustrato. Se amplía que es una medida a partir de procedimientos estandarizados de laboratorio que determina el oxígeno consumido en un agua residuales generado por el metabolismo aeróbico de los microorganismos, oxidando la materia orgánica a Dióxido de Carbono (CO₂) cediendo sus electrones al Oxígeno (O₂) (Trelles, 2014).
- l) **COLIFORMES TOTALES:** Se refiere a un “grupo de bacterias que comprende todos los bacilos Gram-negativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa generando producción de gas en periodo de 48 h, a 35°C ± 1°C, conformado por cuatro géneros que incluye *Enterobacter*, *Escherichia*, *Citrobacter* y *Klebsiella*” (Camacho, A; *et al*, 2009). El resultado se representa como NMP/100 mL (número más probable por 100 mililitros de muestra).
- m) **COLIFORMES FECALES:** Se refiere al grupo de bacterias Gram-negativas, capaces de fermentar lactosa generando producción de gas en un lapso de 48 h de incubación a 44.5 ± 0.1°C, en donde no se especifica una especie determinada, aun así, la más prominente es *Escherichia coli* (Camacho, A; *et al*, 2009). El resultado se representa como NMP/100 mL (número más probable por 100 mililitros de muestra).

- n) ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS (EPT's):** Se definen como los metales pesados que a nivel de aguas residuales u otro sustrato, pueden representar un riesgo para la salud ambiental, tanto humana como animal, generados por actividades de desarrollo humano extensivo, en donde el vertido en ríos y suelos continuamente, pueden encadenar una serie de problemas de contaminación dentro del ecosistema, que incluyen a los siguientes elementos; Antimonio (Sb), Cadmio (Cd), Telurio (Te), Talio (Tl), Uranio (U), Molibdeno (Mo) y Wolframio (W) como menos detectables, mientras que el Arsénico (As), Bario (Ba), Berilio (Be), Bismuto (Bi), Cobalto (Co). Cobre (Cu), Cromo (Cr), Escandio (Sc), Estaño (Sn), Estroncio (Sr), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni), Plata (Ag), Plomo (Pb), Selenio (Se) y Zinc (Zn), son más comúnmente detectables (Bautista y Arnaud, 2006). También incluye materia flotante, Mercurio, Aluminio, Boro, Cloro residual, Color (pureza), Cianuro, Cianuro libre en el cuerpo receptor fuera del área de mezcla, Cianuro disociable en ácido débil, Fenoles, Nitrógeno total, Sulfitos, Sulfuros, Fluoruros, Hidrocarburos, sumatoria de los compuestos órganofosforados, sumatoria de los carbamatos y sumatoria de los compuestos órganoclorados (Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, 2014).
- o) MADUREZ DEL ABONO:** Está definido como el periodo que transcurre en el proceso biotecnológico, donde ocurren fases mesofílicas y termofílicas eficaces en la descomposición y estabilización de la materia orgánica, en consecuencia de procesos metabólicos simultáneos y combinados de una amplia gama de microorganismos, cuya tasa de crecimiento está condicionado por la temperatura del medio, el contenido de humedad, concentración de oxígeno y naturaleza propia del sustrato en fase de maduración. De acuerdo con el grado de madurez se puede clasificar como inmaduro (no estabilizado biológicamente y temperaturas por arriba de los 50°C), maduro (estable biológicamente y baja humedad) y muy maduros (carga biológica, temperatura y actividad de procesos metabólicos muy bajo) (Iglesias, 2007). Sin restricción de aplicación en suelos ante la no presencia de elementos potencialmente tóxicos y un plan de manejo de nutrientes adecuado.
- p) MACRONUTRIENTES:** Son los nutrientes que son demandados en mayores cantidades en los suelos, en términos generales para la mayoría de los cultivos, y que estos permiten determinar la fertilidad de un suelo con su presencia. Pueden provenir de fuentes como aguas residuales tratadas, abonos orgánicos sólidos y otras fuentes. Dentro de los macronutrientes están Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S) (Brady y Weill, 2008, p. 720).
- q) MICRONUTRIENTES:** Son los nutrientes demandados en menores cantidades en los suelos, en términos generales para la mayoría de los cultivos, y que estos permiten determinar la fertilidad de un suelo con su presencia, pueden provenir de fuentes como aguas residuales tratadas, abonos orgánicos sólidos y otras fuentes. Su presencia es de

vital importancia y estos pueden incluir al Boro (B), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo) y Zinc (Zn) (Guitán, *et al*, 2001, p. 245).

- r) **POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH):** Es el logaritmo aritmético negativo en base diez de la actividad de iones de hidrógeno, expresado como $\text{pH} = -\log_{10} [\text{a}_{\text{H}^+}]$, medido en escala de 0 a 14, indicando una medida de acidez o alcalinidad de una disolución (López; *et al*, 2013). Es la cantidad de iones de hidrógeno presentes en un sustrato o agua residual, en un medio ácido se representa por debajo de 6, entre 6 y 7 neutralidad y mayor a 7 alcalino, y en donde el pH neutral es deseable en calidad de aguas y sustratos.

- s) **CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA:** Este término está asociado a la capacidad de conducción de electricidad de alguna sustancia o material. Esta medición en un sustrato o medio acuoso es una expresión indirecta del contenido de sales, la cual es expresada en deciSiemens por metro (dS/m) (Brady y Weil, 2008, p. 415-416).

Anexo 2. Formato de solicitud para registro del producto.

Información General			
Sobre la solicitud			
1. Motivo de la solicitud	<input type="checkbox"/> Registro <input type="checkbox"/> Actualización de Registro	<input type="checkbox"/> Renovación de Registro <input type="checkbox"/> Modificación de Registro	
2. Cédula o documento de identificación:	3. Nombre o Razón Social del (la) propietario(a) (persona física natural o individual o jurídica)		
4. Dirección completa:			
5. Número de registro de persona jurídica, persona física, natural o individual:			
6. Teléfono:	7. Fax:	8. Correo electrónico:	9. Apartado Postal:
Sobre Representante Legal			
10. Nombre completo	11. N° cédula	12. Teléfono	
13. Fax	14. Correo electrónico	15. Apartado Postal	
16. Dirección			
Sobre Regente			
17. Nombre completo	18. N° cédula	19. Teléfono	
20. Fax	21. Correo electrónico	22. Apartado Postal	
23. Dirección			
Datos del Producto			
24. Marca	25. Clase (indicar si el producto es un fertilizante o enmienda)		
26. Composición y porcentaje (indicar el (los) nutriente(s) para fertilizantes o componentes para enmiendas			
27. Nombre del fabricante - formulador – extractor: Dirección: País de origen:			
28. Lugar o medio donde recibir notificaciones dentro del territorio nacional:			
29. Firma del representante legal:			
30. Firma del regente:			
Esta solicitud tiene carácter de declaración jurada y debe presentarse, adjuntando los requisitos solicitados en el presente reglamento técnico.			

Anexo 3. Descripción ampliada de las alternativas de manejo de los residuos de los digestores anaerobios en once países.

Perú

- El digestato es considerado fuente de nutrientes a partir de su materia orgánica (Meza, 2017).
- Los sustratos empleados en los digestores incluyen residuos de origen animal (excretas principalmente) y vegetal, que al ser transformados aumentan su seguridad de utilización en la agricultura. Es fundamental su trituración mecánica previa para aumentar su superficie de contacto y proceso de biodegradación dentro del digestor (Meza, 2017).
- El aporte de N, P, K, Ca, S, Mg, Fe, Cu, Zn, B, Mn, Cl y Mo presentes en este tipo de abonos facilita la obtención de plantas más vigorosas y resistentes (Meza, 2017).
- El periodo de producción fermentativo de los biodigestores ronda entre el mes y los 3 meses según los climas fríos o cálidos característicos del Perú (Meza, 2017).
- Según el sustrato base digerido, será determinada la calidad nutricional del efluente del biodigestor y sus lodos, que en general contienen bioelementos (macro y micronutrientes), ácidos orgánicos (Acético, Propiónico, Carbónico, Fórmico, Succínico, Butírico), Ácidos grasos oxidados, liberan Dióxido de Carbono, Sulfuro de Hidrógeno, Amoníaco y Aminas volátiles; en donde estos últimos 5 dan su olor característico. Además, contienen microorganismos, etanol, butanodiol y aminoácidos (Meza, 2017).
- El digestato se debe producir bajo temperaturas del reactor entre 15-40 °C, con el tanque de fermentación completamente hermético y a una presión subatmosférica mínima de 6 cm de columna de agua, con un tiempo de retención hidráulico y sólido de 30-40 días, relación Carbono/Nitrógeno de 30:1 (si es menor a esta hay pérdidas del Nitrógeno asimilable y si es más amplia se desacelera o inhibe el crecimiento debido a la falta de Nitrógeno, entre un 7-10 % de sólidos totales, pH entre 6-8, alcalinidad entre 1 500 a 5 000 mg/L CaCO₃, conductividad eléctrica de 10-20 dS/m y ácidos volátiles entre 600-1 500 mg/L (Meza, 2017).
- Con el fin de obtener un alto grado de calidad se debe realizar un pretratamiento en los estiércoles con un ensilado con microorganismos benéficos (*Lactobacillus*, *Pseudomonas*, etc), también empleando otros medios químicos, físicos y pasteurización; que si bien presentan la desventaja de que reducen el Nitrógeno, se disminuye sustancialmente las cisteínas, sulfuro de hidrógeno, coliformes fecales y otros patógenos peligrosos (Meza, 2017).
- Se adicionan sustratos bioactivos como cebolla, ajo y chile al digestato que brindan adicionalmente capacidad plaguicida en suelos; esto al reducir la germinación de malezas vs cultivos testigos con la aplicación del digestato sin sustratos bioactivos (Meza, 2017).
- Detener el proceso metanogénico, y orientar al efluente y lodos hacia la producción de ácidos orgánicos y alcoholes (Meza, 2017).

- Cómo método de percepción de calidad del digestato antes de ser utilizado, incluye un grado de maduración desde el ingreso al reactor anaerobio hasta su momento de aplicación al campo en un periodo no menor a 40 días, de olor agradable, libre de moscas y malos olores (Meza, 2017).
- Se necesita agregar un 5 % (v/v) de inóculo metanogénico a cualquier sustrato inicialmente para ser procesado dentro de un biodigestor, y así conducir su ruta fermentativa deseada (Meza, 2017).
- En Perú el digestato se enriquece, adicionándole 5 % (v/v) de suero de leche para inactivar la metanogénesis y detener producción de biogás, y luego de 1 semana se agregan microorganismos benéficos y melaza para ejecutar una fermentación láctica por 10 días; filtrando y almacenando este digestato de segunda generación que además posee propiedades fúngicas por su contenido de ácidos orgánicos (Meza, 2017).
- No existe legislación relacionada con el aprovechamiento de los residuos de los biodigestores.
- En Perú es apto para certificación orgánica el efluente del digestor y digestato que provenga de fuentes de materias primas 100% biodegradables como rastrojos, estiércoles y otros residuos vegetales-animales, sin contener fuentes sintéticas (Meza, 2017).
- El efluente del digestor se puede aplicar puro y siendo este fresco sobre surcos en el suelo recién arado y antes de sembrar (Meza, 2017). El efluente del digestor se puede mezclar con agua 1:1 para germinación de semillas durante 5 horas el día antes de ser plantadas (Meza, 2017).
- En fases de crecimiento y madurez del cultivo se puede mezclar 1:4 efluente digestor: agua para aplicar sobre las plantas como fertilizante foliar (a excepción de no aplicar en época de floración para evitar quemado) (Meza, 2017).
- En cultivos como papa, algodón, uva, maíz, espárrago y fresa se puede diluir el efluente del digestor entre un 20-50 % con agua, que se pueden aplicar en 3-4 diferentes aplicaciones, en dosis de 160-480 L/ha de efluente de digestor a distribuir entre todas las diferentes aplicaciones realizadas (Meza, 2017).

Argentina

- No existe legislación actualmente relacionada con la gestión de los residuos de los digestores anaerobios.
- Existe una amplitud de generación de digestatos a partir de sustratos que empezaron por los residuos cloacales desde el año 1920 donde surgió, fuertemente en este sector, lo que se fue ampliando a residuos como papel, vegetales y animales hasta finales del siglo (Groppelli; *et al*, 2002).
- Es aceptable una digestión anaerobia adecuada bajo condiciones controladas, que considera un mínimo de 14 días con temperaturas operativas del biodigestor de 55-60 °C y hasta 90-120 días a temperaturas constantes de 10 °C dentro del microambiente de la cámara fermentativa del reactor anaerobio (Groppelli; *et al*, 2002).

- Biodigestores obtienen los mejores resultados de digestión anaerobia cuando operan con mezclas entre un 7 a un 9 % de sólidos totales (ST), y con base a esta y según el sustrato base inicial, se define la dilución requerida que alcance un promedio de un 8 % de ST (Groppelli; *et al*, 2002).
- El tiempo de residencia hidráulica y sólida se prioriza sobre un tiempo no menor a 45 días (Groppelli; *et al*, 2002).
- Los lodos son valorados por su estabilidad biológica y fisicoquímica, su capacidad de lenta degradación y liberación de nutrientes en los suelos, caracterizados comúnmente por tener un rango de 4-6 % de MS (materia seca), color pardo – oscuro, olor neutro, con 1,5 % de Nitrógeno total; 0,35 % en el Fósforo y Potasio un 0,7 % (m/m) (Groppelli; *et al*, 2002).
- Dentro de algunas consideraciones para la aplicación del digestato en diferentes dosis se cita; en condiciones de un plan de fertilización por hectárea bajo (“pobre”) corresponde a 20 000 L/año, “media” 40 000 L/año, alto (“fuerte”) 50 000 L/año y muy alto (“muy fuerte”) 60 000 L/año.
- En Argentina se considera esta fertilización vital para la recuperación, conservación de la fertilidad y equilibrio orgánico de los suelos (Groppelli; *et al*, 2002).
- Se considera idóneo disminuir la humedad del lodo, que en su estado fresco saliente de un biodigestor se encuentra entre un 94-96 % de humedad total, para lo cual se hace a través de una playa o planché de secado impermeabilizada en el fondo, con una humedad relativa media ambiental menor a un 30 %, con un techado de polietileno de 200 micrones de espesor como techo) sin laterales para favorecer la salida de la humedad a través del aire más seco (en zonas donde la evaporación diaria es de 1 mm en invierno y 4 mm en verano) (Groppelli; *et al*, 2002).
- Se sugiere colocar el lodo deshidratado con menos de un 40 % de humedad relativa directamente de forma localizada, al lado de cada planta en el suelo para favorecer la movilidad de nutrientes solubles por difusión hasta las raíces (Groppelli; *et al*, 2002).

Chile

- Si cuenta con legislación vigente relacionada: NCh 3375 sobre calidad del digestato y NCh 3381 gestión de residuos, consideraciones para el diseño y operación de plantas de digestión anaeróbica.
- El digestato se rescata del proceso de decantación natural del efluente de los digestores anaeróbicos (Varnero; *et al*, 2016).
- El digestato es aplicado como acelerante de residuos de cosecha gracias a su abundante contenido de consorcios microbianos, demostrando que en 4 meses puede degradar el 100 % de material fibroso rico en celulosa y lignina, en rastrojos secos de cereales (Varnero; *et al*, 2016).

- El lodo tiene en general características fisicoquímicas estables y aptas para la aplicación en los suelos en general, con donde a manera de ejemplo según Varnero (2016) describe un pH de 8, conductividad eléctrica de 2,7 dS/m, 0,02 % de Nitrógeno total, relación C/N de 4:1, 64 mg/L d Amonio, 27 mg/L de Nitrato, 6,3 % de Fósforo total, 85,2 % de Potasio total, densidad de 1 g/cm³ y a nivel biológico con 4,5 NMP/100 mL en coliformes totales, 4,5 NMP/100 mL en coliformes fecales, con 4,5 NMP/100 mL de *Escherichia coli* y *Salmonella* sp. ausente/25 g (en donde Número más Probable NMP/100 mL es ausente menor a 1,8), aunque dicha composición tiene una amplia variabilidad entre los lodos de un sitio, regiones geográficas, fuente de la materia prima, manejo dentro del biodigestor y periodo de fermentación.
- En un país como Chile como productor de cereales, se ha practicado dejar los rastrojos de las cosechas por año en el suelo, y luego aplicar el digestato en diluciones que van desde un rango de un 30 % con agua y hasta un 100 % de pureza, y con esto evitar las quemadas y reducción de emisión de gases de efecto invernadero a partir de esta; reduciendo además los efectos alopatóxicos causados por rastrojos sin ningún proceso de biodegradación y que pueden permanecer hasta por años (Varnero; *et al*, 2016).

Ecuador

- No existe legislación vigente relacionada con el manejo de los residuos de los digestores anaerobios.
- El digestato es aplicado manualmente a través de cubetas por productores de regiones del Ecuador al suelo antes de la siembra, también de forma localizada al lado de cada planta en estado joven, y con bombas de espalda es aplicado sobre cultivos, a nivel foliar en mayor estado de madurez y previo a la floración (Martí, 2016).
- Se reportan aplicaciones foliares de digestato en dosis de 400 L de digestato: agua (1:1) por hectárea, distribuido en 3 aplicaciones durante el ciclo productivo del cultivo del tabaco, y aplicando hasta 15 m³/ha de digestato a nivel de raíces distribuido en 2 aplicaciones por la época de producción; representando mejoras de un 30 hasta un 50 % mayor rendimiento de biomasa en cultivos en regiones andinas del Ecuador (Martí, 2016).
- En cuanto a experiencias del uso del digestato en el cultivo de la alfalfa, cebolla, cañahua, masilla, haba y quinua se hacen aplicaciones foliares que pueden ser en diluciones de 25, 50 y 75 % de digestato: agua respectivamente, y en cebada con aplicaciones foliares de 75 digestato: agua y 100 % digestato, con incrementos de un 45 a un 54 % en rendimiento de biomasa seca (Martí, 2016).

Costa Rica

- No existe legislación relacionada al manejo de los residuos de los biodigestores en la actualidad.

- En Costa Rica, el digestato es un material orgánico semi-líquido, que una vez cumplido el tiempo de retención hidráulico sale del biodigestor, en donde pasó por un proceso de degradación bioquímico y de sedimentación; y suele ser empleado para uso agrícola (riego por gravedad y aspersión) o para su post-tratamiento antes de su destino final; ya sea vertido a un cuerpo de agua y/o reuso en suelos y cultivos (potreros) (Viquez, 2016).
- El digestato no puede ser vertido directamente en fuentes de agua (ríos y quebradas) por su alta carga orgánica y microbiana, que implica un alto riesgo de contaminación de aguas (Viquez, 2016).
- El digestato del biodigestor puede variar en cuánto a su contenido de lodos en su mezcla, lo cual puede variar según la antigüedad del biodigestor, y si tiene una salida especial de fondo para los lodos o no. Es viable la aplicación del digestato en los suelos con tanques estiercoleros sobre los repastos, spray boom pre-siembra o con un sistema de bombeo con aspersores móviles en fincas agrícolas (Viquez, 2016).
- El digestato se caracteriza por un menor impacto de malos olores causados por ácidos y alcoholes; mayor a un 90 % de reducción cuando el tiempo de residencia hidráulico del biodigestor es superior a 40 días; una menor carga de patógenos, y no hay efecto nutricional del NPK en su transformación dentro de un biodigestor, pues un 50 % del Nitrógeno orgánico es amonificado, y el Fósforo pierde un poco de bioavilidad por el efecto del pH elevado del digestato (Viquez, 2016).
- En términos prácticos, en un mes de almacenamiento del efluente del biodigestor se puede perder hasta un 50 % del Amonio por volatilización del Amoniaco, por lo que es importante cerrar los tanques de almacenamiento y almacenar solo por pocos días, y la separación de sólidos gruesos con líquidos finos (Viquez, 2016).
- En Costa Rica con el uso del digestato se ha empleado en dosis de 200 kg N/ha.año en pasturas, con un contenido de un 2 % de sólidos totales (diluciones en lecherías de estiércol: agua de 1:10 aproximadamente) y con 1,5 % de Nitrógeno total (Viquez, 2016).

España

- Existe legislación vigente relacionada al manejo de los residuos de los biodigestores: Legislación nacional X Resolución del MITYC de 7 de abril de 2010, instalaciones de cogeneración y otras en el Real Decreto 661/2007, producción de energía eléctrica en régimen especial X Real Decreto-Ley 6/2009, bono social 28 X Real Decreto 661/2007, X Real Decreto 616/2007, X Plan de Energías renovables 2005-2010, X Real Decreto 324/2000, normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas X Ley 10/1998 de Residuos (Mesa de Biogás, 2010).
- Es importante para la producción de una buena calidad de efluente del biodigestor y digestato, que dentro del reactor sean reguladas las siguientes variables; temperatura de 25 a 60 °C, pH entre 6,5 a 7,5, en sustratos que no contengan compuestos disociados como bicarbonatos, carbonatos, aminoácidos y ácidos orgánicos fuera de los estiércoles se requiere agregar alcalinidad artificial por un valor superior a 1 000 mg/L de CaCO₃ equivalente con el fin de neutralizar su pH, una baja cantidad de ácidos volátiles en el

efluente que a la vez puede acidificar el efluente del reactor en altas cantidad de estos, explicar la entrada de elementos tóxicos, o variaciones de temperatura abruptamente; una relación C/N entre 20/1 a 30/1; relación N/P 1/5 a 1/7 (Mesa de Biogás, 2010).

- Dentro de los niveles de elementos tóxicos que pueden alterar la digestión anaerobia y por ende una buena calidad del efluente del reactor y digestato, están; Na entre por arriba de 3 500 ppmv, K con 2 500, Ca con 2 500, Mg con 1 000 y NH₄ con concentraciones de 1 500 o más (Mesa de Biogás, 2010).
- Particularmente en las fases de la biodigestión, a continuación se presentan los valores deseables para que ocurra un proceso o ruta óptima de fermentación (Tabla 7) (Mesa de Biogás, 2010).

Tabla 7. Condiciones ideales según la fase de la digestión anaerobia.

Parámetro	Hidrólisis/Acidificación (Ruptura de macromoléculas y producción de ácidos)	Formación de Metano (Metanogénesis)
Temperatura (°C)	25-35	32-42 (mesofílico) y 50-58 (termofílico)
pH	5,2-6,3	6,7-7,5
Relación C/N	10-45	20-30
Sólidos totales (%)	<40	<30
Potencial redox (mV)	300-400	<250
Demanda de nutrientes C:N:P:S	500:15:5:3	600:15:5:3
Elementos traza	No hay requerimientos determinados	Ni, Co, Mo y Se (micronutrientes esenciales)

Fuente: Pfeiffer citado por Mesa de Biogás, 2010.

- Los pre-tratamientos de la materia previa a la digestión anaerobia es considerada relevante para mejorar parámetros productivos, calidad del biogás, reducción de tiempo de retención hidráulica y neutralización de la masa microbiana en algunos casos; pudiendo hacerse mecánicamente con la trituración (picadoras y bombas) y homogenización (bombas agitadoras, paletas), sobre todo funcionalmente para sustratos fibrosos (ligno-celulíticos); térmicos para pasteurización con temperaturas entre 60-70 °C en harinas de carne, vísceras, residuos de alimentos humanos, pescado y lodos de industrias alimentarias, en donde también en lodos se puede aplicar a 133 °C, y altas presiones y la inyección de vapor; biológico con pretratamientos fúngicos, ensilado y aplicación de enzimas hidrolíticas, en donde el ensilado permite la preservación anual del sustrato previo a la digestión al producir fermentación láctica y evitando otras reacciones posibles; química aplicando ácidos o bases sobre lodos de grasas, aceites e industrias alimenticias, y por último ultrasonidos sobre lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales industriales, en donde esta es la menos frecuente (Mesa de Biogás, 2010).

- Al digestato se le puede pasar por una separación sólida-líquida, que al final permita aplicarse ya sea como abono líquido o sólido (fertilizante orgánico-mineral de cultivos), o bien si el digestato (fracción sólida) presenta todavía emanación considerable de malos olores y fermentación activa; un tratamiento secundario de este para la recuperación o eliminación de nutrientes (compostaje del digestato solo o con otros sustratos) (Mesa de Biogás, 2010).
- En función del riesgo implicado para la salud pública, animal, humana y cadena alimentaria humana y animal se categorizan los siguientes residuos para un manejo óptimo y minimización de riesgos latentes según SANDACH (Tabla 8) (Mesa de Biogás, 2010).

Tabla 8. Categorización de residuos según riesgo asociado y su manejo. Reglamento CE N° 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo.

Clasificación	Tipo de sustratos	Manejo
Categoría 1 (Mayor riesgo)	Productos derivados de animales que se hayan administrado sustancias prohibidas, residuos de catering internacional, huesos, cuernos, pezuñas, pelaje, plumas, patas, cabezas, cuellos de aves, pieles y pellejos.	Eliminación tanto el sustrato como digestatos de estos, con incineración, co-incineración o depósito en vertedero.
Categoría 2 (Riesgo intermedio)	Estiércol, contenido del tubo digestivo, leche, productos a base de leche, calostro, huevos, ovoproductos, animales acuáticos, animales que mueren sin ser sacrificados para consumo humano (erradicación de enfermedades)	Pueden ser utilizados directamente en plantas de biogás (estiércol, tubo digestivo y su contenido), y el resto esterilizados a presión (dimensión granulométrica máx 12 mm, temperatura mínima 70 °C homogénea y permanencia mínima sin interrupción por 60 min (o 133 °C, 20 min, 3 bares) previo al ingreso a plantas de biogás. Digestato puede ser usado como enmienda orgánica.
Categoría 3 (Menor riesgo)	Restos de animales aptos para consumo humano según la normativa	Pueden ser colocados en plantas de biogás sin ningún tratamiento previo. Digestato puede ser usado como enmienda orgánica.

Fuente: Mesa de Biogás, 2010.

- En la caracterización de materias primas para biodigestores se contemplan; sólidos totales, sólidos volátiles, nutrientes, Carbono, Nitrógeno, y sustancias buffer. Para efectos de relación Carbono/Nitrógeno óptima a continuación se muestran algunos valores de diferentes sustratos base (Tabla 9) (Mesa de Biogás, 2010).

Tabla 9. Valores típicos de relación Carbono/Nitrógeno para algunos sustratos.

Sustrato	Relación C:N
Purín de cerdo	18-20
Purín de vacuno	15-24
Gallinaza	15
Residuos de matadero	2-8
Residuos de cocina	25
Residuos de frutas	35
Fangos de depuración	16
Pieles de patata	25
Cebada, arroz, trigo	60-90

Fuente: Flotats, X. citado por Mesa de Biogás, 2010.

- Abstenerse de usar sustratos con presencia de inhibidores que podrían producir una mala calidad de efluente del reactor o digestato, como se muestra en la Tabla 10 (Mesa de Biogás, 2010).

Tabla 10. Valores de inhibidores de la digestión anaerobia.

Inhibidor	
Azufre (S)	200
Cobre (Cu)	10-250
Cromo (Cr)	200-2 000
Zinc (Zn)	350-1 000
Niquel (Ni)	100-1 000
CN	2
Sodio (Na)	8 000
Calcio (Ca)	8 000
Magnesio (Mg)	3 000

Fuente: Tomado de GTZ GmbH, 1999 citado por Mesa de Biogás, 2010.

Concentración Inhibidora (mg/mL)

- Es importante reconocer características de sustratos comunes que permiten identificar los retos implicados para una correcta biodigestión, y en su defecto para obtener efluentes de reactores y digestatos deseables, lo cual se permite visualizar en la Tabla 11 (Mesa de Biogás, 2010).

Tabla 11. Valores de inhibidores de la digestión anaerobia.

Residuo	ST (%)	SV (% ST)	C:N	Producción de biogás (m ³ ·kg ⁻¹ de SV)	Tiempo de Retención (días)	CH ₄ (%)	Sustancias NO deseables	Sustancias Inhibidoras	Problemas Frecuentes
Purín de cerdo	3-8	70-80	3-10	0,25-0,50	20-40	70-80	Virutas de madera, arena, cerdas, cuerdas	Antibióticos, desinfectantes	Espumas, sedimentos
Estiércol	5-12	75-85	6-20	0,20-0,30	20-30	55-75	Cerdas, tierra, paja, madera	Antibióticos, desinfectantes	Espumas
Gallinaza	10-30	70-80	3-10	0,35-0,60	> 30	60-80	Piedras, arena, plumas	NH ₄ ⁺ Antibióticos, desinfectantes	Inhibición por NH ₄ ⁺ y espumas
Residuos de frutas	15-20	75	35	0,25-0,50	8-20	ND	Partes poco biodegradables	AGV, Pesticidas	Acidificación
Restos de alimentos	10	80	8-12	0,50-0,60	10-20	70-80	Huesos, metales, plásticos	AGV, desinfectantes	Acidificación, sedimentos mecánicos
Vinazas	1-5	80-95	4-10	0,35-0,55	3-10	55-75	Partes poco biodegradables	AGV	Acidificación
Paja	70	90	90	0,35-0,45	10-50	ND	arena	---	Espumas, biodegradabilidad

Fuente: Citado por Steffen, E; *et al.* 1998 en Mesa de Biogás, 2010.

- La Directiva de residuos define que los materiales digeridos son mejorados, quedando como subproductos y biorresiduos y que deben ser recolectados, composteados, digeridos, y post-tratados de forma tal que sean seguros para el medio ambiente. Algunos materiales como sustancias fecales, y subproductos animales pueden tener algunas restricciones sobre su procesamiento en plantas de biogás, y por ende su uso del digestato y efluente del digestor (Mesa de Biogás, 2010).
- Cada planta de biogás debe contar con acceso a un laboratorio propio o externo que pueda realizar los análisis respectivos según el tipo de materia prima y sus implicaciones en la biodigestión, avalado por las entidades competentes (Mesa de Biogás, 2010).
- Se establece que se pueden evaluar otros parámetros normalizados de evaluación en plantas de biogás, y su calidad del digestato-efluente del reactor siempre y cuando se demuestre que dichos parámetros reducen al mínimo los riesgos biológicos de acuerdo al punto C.13.bis del capítulo II del anexo VI del Reglamento 1774/2002 (Mesa de Biogás, 2010).

- “Hasta que se adopten normas de acuerdo con la letra g) del apartado 2 del artículo 6, la autoridad competente puede, cuando el único subproducto animal utilizado como materia prima en una planta de biogás o compostaje sean residuos de cocina, autorizar la utilización de normas de transformación distintas de las establecidas en los puntos 12 y 13 siempre que garanticen un efecto equivalente de reducción de patógenos” (Mesa de Biogás, 2010).
- “El Reglamento 1774/2002 también obliga a que: 1- Los subproductos sean transformados lo antes posible después de su llegada y tienen que ser almacenados correctamente hasta su transformación. 2- Los contenedores, recipientes y vehículos utilizados para el transporte de material no tratado deberán limpiarse en una zona designada a tal efecto. 3- Esa zona estará situada o diseñada para prevenir el riesgo de contaminación de los productos transformados. 4- Se tomarán sistemáticamente medidas preventivas contra pájaros, roedores, insectos y otros parásitos. Para ello, se aplicará un programa de control de plagas documentado. 5- Deberán fijarse y documentarse los procedimientos de limpieza para todas las zonas de las instalaciones. Deberán proveerse equipos de limpieza y agentes limpiadores adecuados. 6- El control de la higiene deberá incluir inspecciones periódicas del entorno y el equipo. 7- Deberán documentarse los programas de inspección y sus resultados. 8- Las instalaciones y el equipo deberán mantenerse en buen estado de conservación; el equipo de medición deberá calibrarse periódicamente.” (Mesa de Biogás, 2010).
- Las muestras de los residuos de del digestato y efluente del reactor, y de compost tomadas durante el almacenamiento o en el momento de la salida de la planta de biogás deberán cumplir las siguientes características patológicas (Tabla 12) (Mesa de Biogás, 2010);

Tabla 12. Valores máximos permisibles de microorganismos en residuos de biodigestores.

Análisis del Digestato	Durante o inmediatamente después del tratamiento				Durante el almacenamiento o a la salida del almacén			
	n	c	m	M	n	c	m	M
Parámetros	n	c	m	M	n	c	m	M
Escherichia coli	5	1	1000	5000	--	--	--	--
Enterococcaceae	5	1	1000	5000	--	--	--	--
Salmonella	--	--	--	--	5	0	0	0

Fuente: Mesa de Biogás, 2010.

Simbología:

Salmonella: ausencia en 25 g: $n = 5, c = 0, m = 0, M = 0$

Enterobacteriaceae: $n = 5, c = 2, m = 10, M = 300$ en 1 g, donde: $n =$ número de muestras que deben analizarse,

m= valor umbral del número de bacterias, el resultado se considera satisfactorio si el número de bacterias en todas las muestras no es superior a m,

M= valor máximo del número de bacterias, el resultado se considera insatisfactorio si el número de bacterias en una o más muestras es igual o superior a M, y c= número de muestras cuyo contenido bacteriano puede estar entre m y M; la muestra se seguirá considerando aceptable si el contenido bacteriano de otras muestras es igual o inferior a m.

- “Las inspecciones y controles oficiales deben realizarse en intervalos regulares. Su frecuencia dependerá del tamaño de la planta, del tipo de subproductos que se transformen, de la evaluación del riesgo y de las garantías ofrecidas con arreglo a los principios del sistema de análisis de riesgo y puntos críticos de control (HACCP). Si las inspecciones realizadas por la autoridad competente revelan alguna irregularidad, dicha autoridad deberá adoptar las medidas pertinentes. Todos los EEMM elaborarán una lista de las plantas de biogás autorizadas dentro de su territorio. Cada una recibirá un número oficial que le servirá para identificar a las plantas en relación con la naturaleza de sus 33 actividades. Los EEMM enviarán copias de sus listas a los demás EEMM y a la Comisión.” (Mesa de Biogás, 2010).
- “En cuanto a las instalaciones, se pueden clasificar según su actividad de gestión de residuos y subproductos, según su actividad industrial y según su actividad de producción de energía.” (Mesa de Biogás, 2010).
- En referencia a requerimientos de tramitología legal se incluye autorización ambiental, autorización de gestor de residuos no peligrosos, autorización de vertido a cauce, colector municipal, u otras opciones como aplicaciones en suelos rústicos, captación de aguas, etc, que representan en materia de vertido de aguas residuales, producción, gestión de residuos, y emisiones a la atmósfera. En esta se solicita como mínimo: 1- Proyecto básico (descripción de las actividades, instalaciones, procesos y tipo de producto, materias primas, sustancias y energía generados y empleados en la instalación; fuentes generadoras de emisiones: tipo y cantidades; medidas de prevención y gestión de residuos; y sistemas de emisiones y vertidos), 2- estudio de impacto ambiental, autorización del gesto, productor de residuos, 3- Datos atmosféricos de la gestión de la zona en cuestión y 4- Otro tipo de documentación administrativa (Mesa de Biogás, 2010).
- El digestato está sujeto a ser analizado su operación para su producción, reciclado, valoración, y cumpliendo con las siguientes condiciones; destino de uso y su finalidad técnica minimizando el impacto adverso al medio ambiente y salud, incluyendo detalle de sustancias contaminantes y sus efectos nocivos, y valorizado como tratamiento de los suelos que produzca un beneficio a la agricultura o mejora ecológica, y ya dentro de la Directiva del Marco de Residuos con detalles puntuales como cumplir: límites de metales pesados, pH idóneo de los suelos, no sobrepasar el límite de 170 kg de N por ha por año

incluyendo esto a zonas vulnerables para evitar contaminación por nitratos de las aguas, características que deben cumplir abonos nitrogenados (Mesa de Biogás, 2010).

Italia

- La utilización del digestato está dado para su aplicación en cereales, árboles frutales y vegetales, como potencial sustituto de fertilizantes sintéticos, así como de otros fertilizantes orgánicos; aplicándose puro de forma líquida en el suelo antes de la siembra, en dilución con agua después de la siembra, y directo sobre los frutales y vegetales durante su crecimiento (Groot y Bogdonski, 2013).
- El digestato es valorizado pues considerablemente muestra de un 20 a un 50 % de incremento en la producción de biomasa vegetal en los cultivos, y en el peor de los casos en algunos cultivos, sin diferencia significativa en relación a abonos sintéticos; pues no sólo aporta macro y micronutrientes que se liberan con el paso del tiempo, sino además por la materia orgánica y microorganismos benéficos que contribuyen con una más elevada fertilidad y balance de los suelos (Groot y Bogdonski, 2013).
- Interesantemente se ha encontrado que existe una absorción de hasta 199,5 kg de N/ha por cosecha del cultivo del arroz con efluente de reactores, y con una productividad bastante elevada; además aumenta la disponibilidad de N-P-K en el suelo y en caso de los frutos de algunos vegetales como el tomate aumenta su calidad con más aminoácidos, proteínas, betacaroteno, azúcares solubles y vitamina C, aunque representa cerca de un 10 % menos en rendimiento de peso comparado a fertilizaciones no orgánicas (Groot y Bogdonski, 2013).
- El digestato es reconocido como plaguicida natural, pues ha demostrado reducir la infección y cargas de nemátodos en raíces gracias a los ácidos grasos volátiles y Amonio presentes; esto al agregar un 10 % de digestato puro sobre el peso del suelo en los primeros 30 cm de profundidad en el cultivo de tomate; además los lodos diluidos en 10-20 % concentración con agua, y aplicado sobre cítricos tiene impacto benéfico en reducir la afectación por virus, funcionando también como supresor de virus, además de otras enfermedades al aplicarse foliarmente (Groot y Bogdonski, 2013).
- El uso del digestato es una solución exitosa como pesticida natural para el control de nemátodos en raíces del tomate; al aplicarse puro al 5-10 % del peso del suelo a tratar (al 10 % dosificado es más eficiente aún), lo que también en el control de los nemátodos de la soya, el digestato de estiércol porcino es funcional para eliminar los huevecillos gracias al contenido de los Ácidos Grasos Volátiles (que a los 18 días de aplicado en el suelo manifiesta su mayor contenido con un 17 %) y el Amonio (que a los 28 días de aplicarse al suelo se observa hasta un 23 % de NH_4^+) presentes que actúan como biocidas, por lo que aplicarse cada 35 días en el suelo, sería muy conveniente para prolongar el efecto biocida continuo con el digestato (Groot y Bogdonski, 2013).

- Se destaca el digestato como biorremediador de suelos; facilitando la destrucción de atrazinas e insecticidas con el paso de las semanas al proveerse al suelo como enmienda y enriquecedor de microbios vitales (Groot y Bogdonski, 2013).
- En el caso de sustratos como estiércoles y residuos de este tipo como contenido ruminal son previamente pasteurizados para reducir su carga patogénica, y luego digeridos en digestores anaerobios con temperaturas de 30 a 58 °C; y en donde con un pH elevado característico conduce a pérdidas de N por Amoníaco, y reducción del Amonio significativamente, más no eliminados en su totalidad (Groot y Bogdonski, 2013).
- Ha sido encontrado en los residuos de granjas porcinas y lecherías la presencia de metales pesados como Zn, Cd, Pb, Cu y As, que al ser fermentados en biodigestores sedimentan y se aglomeran con la materia orgánica; en donde específicamente el Zn, Cu y As se incorporan a los lodos y representan un riesgo medioambiental al momento de su extracción, aplicación en los campos y su continuidad hacia la cadena alimenticia humana (Groot y Bogdonski, 2013).
- Es concerniente la sobre fertilización con P, K y N, en donde el exceso de P no solo conlleva a su lixiviado, sino también a la eutrofización (aguas con nutrientes elevados), siendo además que sobre pasar la aplicación de Nitrógeno, conlleva a la liberación de amoníaco que también sugiere un riesgo atmosférico-ambiental, y que retorna como lluvias ácidas y nuevamente eutrofización, por lo cual es sugiere hacer aplicaciones balanceando el digestato o efluente de los biodigestores por N o P con el suelo y otras enmiendas-fertilizantes a aplicar, y automáticamente el resto de nutrientes que están en menores cantidades, no representarán un riesgo de contaminación (Groot y Bogdonski, 2013).
- Se restringe la aplicación de los residuos de los biodigestores en épocas lluviosas del año, dado por regulaciones legales así como aspectos técnicos de contaminación del suelo y cuerpos de agua, y que más bien al almacenar por periodos de tiempo implican una pérdida del nitrógeno fuertemente por volatilización, lo que reduce su calidad como abono y emite gases de efecto invernadero, por lo que su almacenaje en dichas épocas que no se puede utilizar para riego, debe ser en tanques cerrados (cerrados se puede perder entre un 25-30 % vs 60-70 % abierto), ya sea en el mismo lugar donde se produzcan estos residuos, o transportarlos de forma segura a otro lugar con estas condiciones de almacenamiento, u otro lugar donde sean aprovechados directamente en el suelo y cultivos, y en el caso del digestato compostarse dentro o fuera de la propiedad de origen donde se puede procesar como tal apropiadamente (Groot y Bogdonski, 2013).
- El tiempo de almacenaje de los efluentes de reactores también es relativa a una baja carga microbiana, para evitar la continuación de cambios nutricionales, y más su preservación, e idealmente a temperaturas de menos de 15 °C donde la transformación de N a NH_4^+ puede ser baja e insignificante (Groot y Bogdonski, 2013).
- El compostaje del lodo es una excelente opción para conservación e enriquecimiento del lodo al fermentarse por 45 días, a temperaturas de 60-70 °C, y adicionando inicialmente aditivos bioquímicos como el BiOVAC y BiCAT (Groot y Bogdonski, 2013).

- En concreto, la investigación agronómica resume: 1- La física, fisicoquímica y propiedades bioquímicas del digestato tiene implicaciones muy positivas para la mejora de la fertilidad de los suelos a largo plazo que los estiércoles frescos, 2- El digestato puede aumentar y dar importantes rendimientos en cultivos, 3- La codigestión de estiércoles junto con residuos del campo son viables para producir excelentes efluentes y digestatos, 4- El uso del digestato prevalece sobre beneficios en el manejo de plagas y enfermedades, con efectos pesticidas y fungicidas visibles, 5- Los patógenos en el digestato no son eliminados totalmente, por lo que hay riesgos en cultivos todavía, 6- El uso de lodos es viable en la acuicultura, 7- El lodo tiene potencial para la biorremediación de suelos, 8- El balance y manejo de nutrientes integrado es importante para estimar y afinar la fertilidad de suelos (Groot y Bogdonski, 2013).
- Se ha determinado que el digestato se puede aplicar puro a nivel foliar, que no sea en momentos de intensidad solar y evitando épocas de floración, y cuando se realizan aplicaciones semanales del digestato, se logra obtener hasta un incremento en el rendimiento de un 50 %, y si no es posible al menos 3 aplicaciones foliares a lo largo del ciclo de producción del cultivo para obtener un rendimiento mínimo deseado y aceptable (Groot y Bogdonski, 2013).

México

- Usos del digestato mínimo recomendado para cultivo de maíz, aplicado de forma puro y dosificado en cantidades de 2000 L/ha por temporada de producción a nivel de suelo (Eaton, 2011).
- Aplicación de digestatos requiere mayor frecuencia de aplicación versus fertilizantes químicos o sintéticos, lo que implica más trabajo para el productor y es importante para mantener un ciclo continuo del proceso natural de degradación lenta de los nutrientes en sus formas y presentes en el digestato, y con esto lograr el efecto nutricional esperado (Eaton, 2011).
- El digestato como medio de cultivo es utilizado para el crecimiento de microorganismos de interés agrícola o para biorrefinería, que al integrar una mezcla sólido-líquida de materia orgánica parcialmente degradada con Amonio, macro y microelementos es muy interesante (Chicatto, *et al*, 2016).

Nicaragua

- Se destaca como abono foliar al diluir 10 L de digestato (reactor tipo domo fijo) en 30 L de agua (Warnars y Oppenorth, 2016).
- Para el manejo de biosol en compost; agregar a compost, máximo 1:3 compost con otros sustratos para balancear su relación C/N y humedad, a lo cual compete velar por un adecuado transporte y evitar la pérdida de nutrientes (Warnars y Oppenorth, 2016).

- Para aplicación como abono líquido: diluir el digestato con agua, en relaciones de 1:1 a 1:2 mínimo (digestato:agua), empleando un promedio de 10 a 20 ton/ha en las zonas de regadío y 5 ton/ha en secano (Warnars y Oppenorth, 2016).
- Valido para alimentación en cerdos al utilizar 2 L de digestato por kg de alimento (concentrado) (Warnars y Oppenorth, 2016).
- El biosol tiene potencial de uso en forma seca para alimentación de peces (Warnars y Oppenorth, 2016).
- La aplicación frecuente del digestato en la yuca puede resultar en un mayor rendimiento de biomasa foliar, con un más alto contenido proteínico, que la aplicación de estiércol crudo (Warnars y Oppenorth, 2016).

Alemania

- La experiencia demuestra que, en términos generales, la aplicación del digestato sea entre 10 y 20 ton/ha en zonas de regadío y de 5 ton/ha por hectárea en zonas de agricultura de secano, en donde la cantidad adecuada puede depender del cultivo y el tipo de suelo (arena, arcilla, limo) (Wannars y Oppenoorth, 2014).
- La fertilización líquida a través del digestato, se puede aplicar por medio de pulverización foliar, un cubo o un canal de riego en el suelo y se puede aplicar directamente a los cultivos. También se lo puede aplicar al suelo como fertilizante de fondo y/o revestimiento superficial. Si se aplica a un cultivo estándar, tiene que ser diluido en varias proporciones, dependiendo en el tipo de biodigestor disponible, de lo contrario, la alta concentración de amoníaco y fosforo soluble en el digestato generará efectos tóxicos para el crecimiento de la planta y quema las hojas. La irrigación tiene sus limitaciones debido a que: (1) la irrigación a lo largo de todo el año no siempre está disponible para los agricultores; (2) cuando la irrigación se aplica de un cultivo a otro, el digestato puede asentarse en el primer cultivo debido a la disminución del grado de la aplicación resultando en una distribución no uniforme y; (3) es difícil de transportar usualmente (Wannars y Oppenoorth, 2014).
- Agricultores manifiestan preferir la forma seca del digestato ya que es más fácil de transportar que la forma líquida (biosol). No obstante, el digestato seco pierde parte de su nitrógeno (en particular el amonio), y por tanto se pierde el valor de los nutrientes del digestato y se debe aplicar lo más pronto posible para evitar esta pérdida. Debido a esto, la forma seca es el método menos eficiente para aplicar el digestato. Un digestato bien digerido contiene entre 1,4 y 1,8 % de N, entre 1 y 2 % de P₂O₅, entre 0,8 y 1,2 % de K₂O y entre 25 y 40 % de carbón orgánico. El digestato seco es sólo algo inferior a la mezcla de sulfato de amonio y superfosfato simple con cantidades equivalentes de nitrógeno y fosfato (Wannars y Oppenoorth, 2014).
- Experiencias satisfactorias de productores han ocurrido al agregar el digestato a lo largo del año, con cierta periodicidad en los suelos con canales de riego, que además con huecos de 30 x 60 cm (ancho x profundidad) al lado de cada planta mejoraron sustancialmente

la calidad del suelo y productividad de los cultivos, en donde cada vez que se hacía una aplicación se llenaba cada agujero con digestato completamente (Wannars y Oppenoorth, 2014).

Holanda

- El digestato fresco es líquido justo cuando está saliendo del biodigestor, el cual tiene un gran valor al ser liberado en canales de riesgo por gravedad o manualmente con cubetas, para lo cual son convenientes estos métodos en superficies cercanas al biodigestor, sino habría que transportarlo, y en ese caso ya se convierte en un mayor reto; y es ahí donde es preferible transformarlo en biosol, lo cual se puede lograr deshidratando o composteando el digestato (Bonten; *et al*, 2014).

- Está validado que con procesos de deshidratación del digestato, la composición química y sus nutrientes pueden cambiar sustancialmente, específicamente el Nitrógeno sufre altas pérdidas con la volatilización del NH_3 , aunque el P y K dado que no son volátiles se logran preservar al deshidratarse el digestato, y pues todavía no hay estudios formales que resalten esta pérdida de calidad, aunque si hay cambios nutricionales contundentes entre lo existente en los estiércoles y el biosol (Bonten; *et al*, 2014).
- El composteo del biosol se logra efectivamente al mezclarlo con material orgánico fresco de residuos agrícolas como el heno, esto para atribuirle mejores características para el proceso del composteo como la humedad y la relación de C/N (Bonten; *et al*, 2014).
- El uso de aditivos es un tratamiento alternativo para reducir la volatilización del N vía Amoniaco, esto al adicionar específicamente Fosfato en forma de fertilizante al biosol, que al día 50 de almacenaje mostró contenidos de hasta 2,45 veces más alto el N, que biosol sin ningún tipo de aditivos, y en donde al parecer el Fosfato y/o el Sulfato de Calcio (CaSO_4) contundentemente disminuyen la volatilización de N (Bonten; *et al*, 2014).
- Con la premisa de un alto costo del alimento paletizado para la piscicultura, y el enfoque de la integración en granjas productoras, condujo a validar que el aporte del estiércol digerido en reactores anaerobios como parte de la dieta alimenticia en forma de biosol seco en estanques de peces, es funcional no sólo nutricionalmente, sino además de reducir efectivamente los costos operativos de alimentación (Bonten; *et al*, 2014).