



Guía de buenas prácticas para la aplicación agrícola de digeridos



Compiladora:
Natalia Andrea Mórtola

Guía de buenas prácticas para la aplicación agrícola de dirigidos

Compiladora:
Natalia Andrea Mórtola

INTA EDICIONES
*Centro de Investigación de Recursos Naturales
Instituto de Suelos*
2022



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria

Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca



Ministerio de Economía
Argentina

Guía de buenas prácticas para la aplicación agrícola de digeridos / Natalia Andrea Mórtola ... [et al.]; compilación de Natalia Andrea Mórtola; editado por Lorena María Setten ; fotografías de Natalia Andrea Mórtola ; Mariano Butti. - 1a ed. -

Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Ediciones INTA, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-679-359-9

1. Fertilidad del Suelo. I. Mórtola, Natalia Andrea, comp. II. Setten, Lorena María, ed. III. Butti, Mariano, fot.

CDD 631.802

Este documento es resultado del financiamiento otorgado por el Estado Nacional, por lo tanto, queda sujeto al cumplimiento de la Ley N° 26.899.

La compiladora agradece la colaboración de Guillermo Schulz por el diseño de la tapa.

*Este libro
cuenta con licencia:*



AUTORES

Natalia Andrea Mórtola (1)
Patricia Fabiana Carfagno (1)
Edit Otero Estrada (1)
Marcos Roba (2)
Maximiliano Joaquín Eiza (3)
Daiana Soledad Sainz (1)
Marcela Laura Rorig (1)
Analía Mercedes Rodríguez (1)
Vanina Rosa Noemí Cosentino (1)
Romina Ingrid Romaniuk (1)
Lucrecia Noemí Brutti (1)
Lorena María Setten (1)
Jonatan Andrés Manosalva (2)
Mariano Butti (4)
María Juliana Torti (4)
Agustina Branzini (5)
Lidia Beatriz Donato (2)

(1) Instituto de Suelos - CIRN - CNIA - INTA, Buenos Aires.

(2) Instituto de Ingeniería Rural - CIA - CNIA - INTA, Buenos Aires.

(3) Estación Experimental Agropecuaria Balcarce - INTA, Buenos Aires.

(4) Estación Experimental Agropecuaria Pergamino - INTA, Buenos Aires.

(5) Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación.

La elaboración de esta Guía de Buenas Prácticas fue realizada por un equipo de trabajo multidisciplinario conformado por investigadores especialistas en distintas áreas relacionadas a la temática. La Guía se fundamenta en la Norma Técnica para la Aplicación Agrícola de Digerido Proveniente de Plantas de Digestión Anaeróbica (Resolución 19/2019), en investigaciones científicas realizadas por el equipo de trabajo y en revisiones bibliográficas de publicaciones nacionales e internacionales.

CONTENIDO

1. PRESENTACIÓN	6
2. ¿QUÉ ES EL DIGERIDO?.....	7
3. ¿QUÉ DEBEMOS SABER SOBRE EL DIGERIDO ANTES DE APLICARLO AL SUELO?	9
4. MATERIAS PRIMAS APTAS PARA LA OBTENCIÓN DE DIGERIDOS.....	11
5. PLAN DE APLICACIÓN DE DIGERIDO.....	18
6. REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES PARA LA APLICACIÓN DE DIGERIDOS.....	47
7. RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE DIGERIDO Y REGULACIÓN DE MAQUINARIA A UTILIZAR	49
8. HIGIENE Y SEGURIDAD EN LA MANIPULACIÓN Y APLICACIÓN DE DIGERIDOS.....	53
9. ALMACENAMIENTO DE LOS DIGERIDOS.....	58
10. REGISTROS.....	62
11. RECOMENDACIONES ADICIONALES PARA LA CORRECTA UTILIZACIÓN DEL DIGERIDO	64
12. BIBLIOGRAFÍA.....	65
13. ANEXOS	66
ANEXO A. GLOSARIO DE TÉRMINOS DEFINIDOS EN LA NORMA TÉCNICA	66
ANEXO B. NORMA TÉCNICA PARA LA APLICACIÓN AGRÍCOLA DE DIGERIDO PROVENIENTE DE PLANTAS DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA (RESOLUCIÓN 19/2019)	70
ANEXO C. MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE SUBPRODUCTOS ANIMALES.....	71
ANEXO D. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA DOSIS MÁXIMA ANUAL DE DIGERIDO (DMAD)	75
ANEXO E. EJEMPLO DE CÁLCULO DE DOSIS DE APLICACIÓN DE DIGERIDO EN BASE A NITRÓGENO (PEXT SUELO < 50 PPM) PARA UN CULTIVO DE TRIGO	80

ANEXO F. EJEMPLO DE CÁLCULO DE DOSIS DE APLICACIÓN DE DIGERIDO EN BASE A FÓSFORO (PEXT SUELO ENTRE 50 Y 100 PPM)	93
ANEXO G. EJEMPLO DE VERIFICACIÓN DE LA CARGA MÁXIMA ADMITIDA	95
ANEXO H. EJEMPLO DE CÁLCULO DEL VOLUMEN MÁXIMO DE DIGERIDO QUE SOPORTA UN SUELO (VMS).....	96
ANEXO I. EJEMPLO DE CÁLCULO DE DOSIS REAL DE APLICACIÓN DE DIGERIDO .	98

1. PRESENTACIÓN

La presente Guía tiene por objeto brindar información sobre la adopción de buenas prácticas y la correcta aplicación agrícola de los digeridos provenientes de plantas de digestión anaeróbicas, fomentando el uso agrícola sustentable de estos materiales, considerando y tomando como base la Normativa existente en Argentina: Norma Técnica para la Aplicación Agrícola de Digerido Proveniente de Plantas de Digestión Anaeróbica (Resolución 19/2019 - Anexo G); desde aquí referenciada como Norma Técnica.

La Guía propone transmitir de manera sencilla y amena lo establecido en la Norma Técnica y desarrollar un plan de aplicación con medidas tendientes a minimizar efectos adversos en la calidad del suelo y el agua, preservando la salud humana, animal y de los servicios ecosistémicos.

2. ¿QUÉ ES EL DIGERIDO?

Los residuos orgánicos pueden ser utilizados como materia prima en el proceso de digestión anaeróbica. La digestión anaeróbica es un proceso de transformación biológica en ausencia de oxígeno, llevado a cabo por diferentes grupos de microorganismos que degradan los compuestos orgánicos. En este proceso se genera un gas combustible, llamado biogás, el cual está compuesto principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) y otros gases en menor porcentaje, y un subproducto líquido con sólidos en suspensión denominado digerido anaeróbico (o simplemente digerido) (Figura 1). El biogás puede ser utilizado dentro del mismo establecimiento agropecuario o puede ser inyectado a la red de distribución de gas local. El digerido constituye una mezcla de materia orgánica parcialmente degradada, biomasa anaeróbica y materia inorgánica, con un alto contenido de nutrientes. La composición de nutrientes depende de las materias primas utilizadas, es decir incorporadas en el biodigestor, como así también de las variables operativas, técnicas y de diseño de los biodigestores utilizados para su producción (Figura 2).

Dadas las características del digerido, resulta un recurso potencialmente utilizable como mejorador de la calidad del suelo y como fertilizante orgánico para los cultivos. Existen numerosos antecedentes en trabajos de investigación que mencionan mejoras producidas en las propiedades del suelo y en el rendimiento de los cultivos tras su aplicación. La calidad para su uso como fertilizante se define principalmente por su contenido de nutrientes y materia orgánica, pH, homogeneidad, pureza (libre de impurezas inorgánicas como plástico, piedras, vidrio, etc.). Sin embargo, resulta necesario que el digerido a aplicar garantice la seguridad para los organismos vivos y el ambiente respecto a su contenido de patógenos y contaminantes químicos (orgánicos e inorgánicos). Por ello, la viabilidad de aplicación de los digeridos dependerá tanto de sus propiedades físico-químicas, de su estabilidad y de sus condiciones de higienización como de las características del suelo sobre el cual será aplicado. Asimismo, es de suma importancia considerar el momento y la cantidad posible de aplicaciones, las dosis y el efecto acumulativo en el suelo por sucesivas aplicaciones.



El digerido es un subproducto de la digestión anaeróbica de biomasa; es una mezcla de materia orgánica parcialmente degradada, biomasa microbiana y materia inorgánica con características variables, rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros.

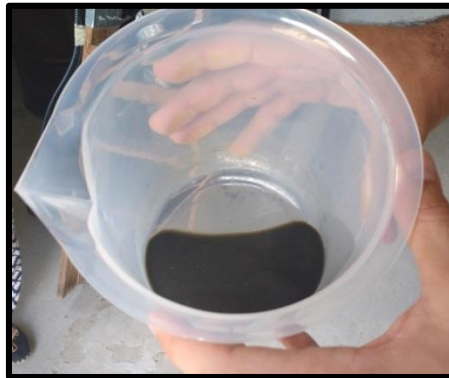


Figura 1. Digerido proveniente de un biodigestor alimentado con efluente porcino.

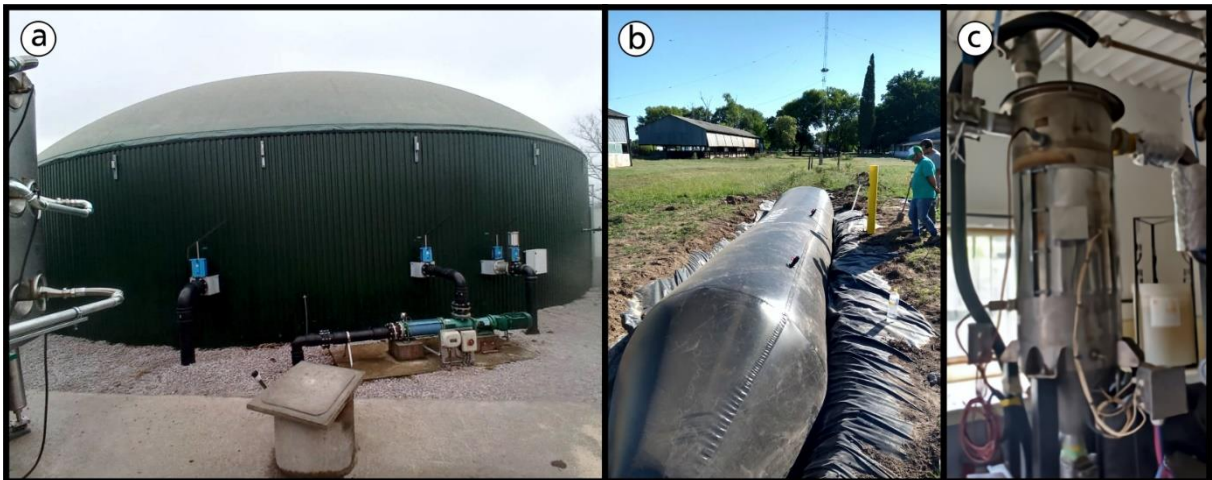


Figura 2. Biodigestores de distintas escalas. a) Gran escala. b) Pequeña escala. c) Escala laboratorio.

3. ¿QUÉ DEBEMOS SABER SOBRE EL DIGERIDO ANTES DE APLICARLO AL SUELO?

Antes de aplicar el digerido al suelo es necesario conocer sus parámetros de calidad, es decir sus características físico-químicas y su carga de patógenos. En tal sentido, el digerido debe cumplir con los parámetros establecidos en el Anexo V de la Norma Técnica y así determinar la factibilidad de su aplicación, evitando efectos negativos irreversibles en el medio ambiente.

Entre todos los nutrientes presentes en el digerido, el **nitrógeno (N)** y el **fósforo (P)** son los elementos más importantes a tener en cuenta, ya que son utilizados para determinar la dosis de aplicación del digerido. Esto se debe a que excesos de estos nutrientes en el suelo pueden generar contaminación en aguas, suelos y en el ecosistema general. Para determinar en base a cuál de estos dos elementos se realizará el cálculo de la dosis de aplicación, se deben tener en cuenta ciertas consideraciones que se detallarán más adelante.

Nitrógeno: El N del digerido se encuentra tanto en formas inorgánicas (N inorgánico) como orgánicas (N orgánico). El N inorgánico total del digerido comprende el N en forma de amonio (N-NH_4^+) y de nitrato (N-NO_3^-), ambas formas disponibles para las plantas. El N orgánico está representado por las formas de N asociadas a la materia orgánica y se encuentra en una forma no disponible para ser absorbido por las plantas, por lo que su disponibilidad para ser utilizado por los vegetales dependerá del proceso de mineralización llevado a cabo por los microorganismos del suelo, los cuales convierten las formas orgánicas a inorgánicas, liberando N mineral disponible para las plantas. La tasa de mineralización es dependiente principalmente de la temperatura y las precipitaciones.

El exceso de N en el suelo puede generar riesgos de contaminación de napas freáticas por lixiviación de los nitratos (NO_3^-), pérdidas de amoníaco (NH_3) por volatilización y emisiones de óxido nitroso (N_2O), entre otras. La Norma Técnica establece que los parámetros del digerido que deben declararse son el nitrógeno total (N Total) y el N-NH_4^+ . Sin embargo, para realizar los cálculos de dosis de aplicación en base a N es necesario conocer también el contenido de N-NO_3^- del digerido.

Fósforo: La variable que se utiliza para el cálculo de la dosis de aplicación al suelo es el contenido de P total del digerido. Este parámetro es requerido como parámetro de calidad a declarar según la Norma Técnica para evitar la aplicación excesiva de este nutriente y su potencial pérdida por efecto de escorrentía en suelos con pendiente, donde el P puede ser arrastrado junto con la capa superficial del suelo contaminando cursos de aguas superficiales cercanos.

Generalmente, el digerido es apto para ser utilizado como fertilizante y mejorador de la calidad del suelo. Sin embargo, la aplicación de un digerido con contenido alto en sales solubles puede generar salinidad del suelo, incidiendo negativamente sobre su calidad y el desarrollo de los cultivos. En algunos casos este aumento de salinidad del suelo es irreversible.

Asimismo, es importante considerar la estabilidad del digerido. La presencia de grandes cantidades de sustancias fácilmente degradables, como los ácidos grasos volátiles, pueden aumentar la actividad microbiológica y la demanda de oxígeno. La excesiva demanda de oxígeno por los microorganismos lleva al agotamiento de oxígeno en el suelo (anoxia), causando fitotoxicidad para los cultivos.

Además, los digeridos pueden presentar microelementos (cobre, zinc) y metales pesados (arsénico, cadmio, cromo total, mercurio, níquel y plomo) denominados elementos potencialmente tóxicos (EPT). Cuando la aplicación de estos elementos supera cierta concentración umbral se puede producir contaminación del suelo y del agua, y efectos tóxicos para los seres vivos. Por otro lado, si bien la digestión anaeróbica es una alternativa viable para reducir o eliminar la carga de patógenos, es importante evaluar el contenido de estos organismos antes de la aplicación del digerido. Esta evaluación tiene como fin evitar la contaminación del suelo, el agua y el riesgo a la salud humana y animal.



Antes de aplicar el digerido al suelo es necesario conocer sus parámetros de calidad, es decir sus características físico-químicas y su carga de patógenos para verificar que cumpla con los parámetros establecidos en la Tabla N° 1 del Anexo V de la Norma Técnica.

4. MATERIAS PRIMAS APTAS PARA LA OBTENCIÓN DE DIGERIDOS

Las materias primas que pueden ser utilizadas para la producción de biogás en un digestor se presentan en la Tabla 1. Las mismas se clasifican en siete grandes grupos:

Grupo A: biorresiduos.

Grupo B: materiales provenientes de la producción, industrialización y comercialización de productos agrícolas y forestales.

Grupo C: materiales provenientes de la producción de biocombustibles líquidos.

Grupo D: otros materiales de origen vegetal.

Grupo E: fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU).

Grupo F: algas.

Grupo G: materiales provenientes de fuentes animales o que tengan sustancias de origen animal.

Tabla 1. Materias primas aptas para la obtención de digeridos.

Grupo A	Biorresiduos	A.1. Materiales exclusivamente vegetales	A.1.1. Provenientes de parques, jardines u otras parquizaciones o zonas de recreo	A.1.1.1 Restos de poda, césped cortado, malezas, flores, hojas
			A.1.2. Provenientes de la preparación y consumo de comidas y bebidas	A.1.2.1 Cereales, frutas y vegetales
				A.1.2.2 Restos de infusiones
				A.1.2.3 Masa y levaduras de panificación
				A.1.2.4 Restos de hierbas y especias
				A.1.2.5 Alimentos vegetales y panificados caducos
				A.1.2.6 Restos vegetales provenientes de cocinas domésticas, comedores, restaurantes, supermercados, servicios de catering, etc.
			A.2.1.2 Alimentos caducos no aptos para consumo	

continuación Tabla 1.

Grupo A	Biorresiduos	A.2. Materiales provenientes de fuentes animales o que tengan sustancias de origen animal	A.2.1. Provenientes de la preparación y consumo de comidas y bebidas	A.2.1.1 Restos de cocinas domésticas, restaurantes, supermercados, comedores, servicios de catering, etc.
				A.2.1.2 Alimentos caducos no aptos para consumo
Grupo B	Materiales provenientes de la producción, industrialización y comercialización de productos agrícolas y forestales	B.1. Restos de cosecha y pastura		
		B.2. Silaje		
		B.3. Cultivos de cobertura y energéticos		
		B.4. Polvo de granos y cereales		
		B.5. Restos de poda		
		B.6. Restos de la producción, procesado o envasado de alimentos o bebidas		
		B.7. Alimentos y restos de alimentos no aptos para consumo		
		B.8. Fibras vegetales de rechazo		
		B.9. Aguas residuales agroindustriales		

continuación Tabla 1.

Grupo C	Materiales provenientes de la producción de biocombustibles líquidos	C.1. Glicerol		
		C.2. Vinaza		
Grupo D	Otros materiales de origen vegetal	D.1. Plantas acuáticas, subacuáticas		
Grupo E	Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), separada en origen. (No está permitido utilizar como materia prima para la obtención de digeridos, los residuos sólidos urbanos no separados en origen o que no hayan sido recolectados de manera diferenciada)			
Grupo F	Algas			
Grupo G	Materiales provenientes de fuentes animales o que tengan sustancias de origen animal	G.1. Provenientes de la industrialización y comercialización de productos pecuarios	G.1.1. Subproductos de origen animal pertenecientes a las Categorías II (subproductos animales clasificados como de riesgo medio) y III (subproductos animales clasificados como de riesgo bajo).*	
			G.1.2. Cama de animales	

*Los subproductos animales Categorías II y III para poder ser utilizados como materia prima para la obtención de digerido deben ser sometidos previamente a alguno de los tratamientos mencionados en el punto 4.1 de esta Guía. La Categoría I (subproductos animales clasificados como de riesgo alto) no pueden ser utilizados como materia prima para la obtención de digerido.

4.1. Digeridos obtenidos a partir de subproductos animales (Grupo G)

Los subproductos animales mencionados en la Tabla 1 (Grupo G) se clasifican en tres categorías (I, II y III) que se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Categorías de subproductos animales (I, II y III)

Subproductos Animales	Categoría I	Riesgo Alto
	Categoría II	Riesgo Medio
	Categoría III	Riesgo Bajo

Dentro de cada categoría se incluye:

Categoría I subproductos animales clasificados como de riesgo alto:

Cuerpos enteros y todas sus partes, incluida la piel, de los siguientes animales:

- sospechados de estar afectados con encefalopatía espongiforme transmisible (EET) o en los cuales una EET esté confirmada;
- sacrificados en el marco de campañas de erradicación de EET;
- que no son de engorde o salvajes, como los animales de compañía, los animales de zoológicos y los animales de circo;
- utilizados en experimentación;
- hallados muertos sin causa conocida;
- material de riesgo especificado (partes del cuerpo que presente riesgo particular de enfermedad, por ejemplo, cordones espinales de las vacas);
- subproductos de origen animal recolectados en los sistemas de tratamientos de aguas residuales: en establecimientos que transforman materiales de la Categoría I;
- desechos de catering internacional;
- mezclas que contengan materiales de la Categoría I.

Categoría II subproductos animales clasificados como de riesgo medio:

- subproductos de origen animal recolectados en los sistemas de tratamientos de aguas residuales ya sea en establecimientos que transforman materiales de Categoría II o en plantas de faena habilitadas por SENASA;
- productos de origen animal que fueron declarados no aptos para el consumo humano a causa de la presencia de cuerpos extraños;
- contenido del tracto digestivo;
- animales y partes de animales, distintos de los listados en la Categoría I (riesgo alto) o Categoría III (riesgo bajo):
 - que fueron faenados para el consumo humano, incluidos los animales sacrificados en el marco de luchas contra enfermedades, distintas de EET,
 - fetos; óvulos, embriones y esperma que no son destinados a la reproducción,
 - aves de corral sin eclosionar que han muerto en el huevo;
- las mezclas de materiales de Categoría II (riesgo medio) con materiales de Categoría III (riesgo bajo);
- los subproductos de origen animal que no son materiales de la Categoría I (riesgo alto) y III (riesgo bajo).

Categoría III subproductos animales clasificados como de riesgo bajo:

- carcasas o partes de animales faenados, o cuerpos o partes de animales cazados, declarados aptos para el consumo humano según la normativa de SENASA, pero no destinados al consumo humano por motivos comerciales;
- carcasas o partes de animales faenados en plantas de faena o retenidos aptos para faena para el consumo humano luego de un examen *ante mortem* o los cuerpos y las partes de animales cazados para el consumo humano;
- carcasas o cuerpos y partes de animales eliminados por no ser aptos para el consumo humano en virtud de las disposiciones de SENASA, pero que no muestran signos de enfermedades transmisibles al hombre u otros animales; cabezas de aves de corral; pieles, incluidos retazos y fragmentos, cuernos, patas y huesos; de animales que hayan dado negativo al test de EET; cerdas de cerdo; plumas;

- subproductos de origen animal de aves de corral faenados en un establecimiento habilitado por SENASA, y que no presentan signos de enfermedades transmisibles al hombre o a los animales;
- sangre de animales que no presentan síntomas clínicos de enfermedades transmisibles al hombre o a los animales a través de ésta, obtenida a partir de los animales faenados en una planta de faena habilitada por SENASA, luego de haber sido considerados aptos para el consumo humano;
- subproductos de origen animal derivados de la fabricación de productos destinados al consumo humano, incluidos las grasas, los huesos desgrasados y los lodos de centrífugas o separadores obtenidos de la elaboración de la leche;
- productos de origen animal o productos alimentarios que contienen productos de origen animal, que no son aptos para el consumo humano por motivos comerciales, problemas de fabricación, defectos de acondicionamiento u otros defectos pero que no presentan riesgos para la salud pública o de los animales;
- alimentos balanceados para mascotas o alimentos balanceados de origen animal o que contengan subproductos animales o productos derivados, que no son aptos para la alimentación animal por motivos comerciales, problemas de fabricación, defectos de confección u otros defectos pero que no presentan riesgos para la salud pública o de los animales;
- sangre, placenta, lana, plumas, pieles, cuernos y leche cruda originados de animales vivos que no presentan síntomas de enfermedades transmisibles al hombre o a otros animales a través de dichos productos;
- animales acuáticos o partes de estos animales, a excepción de mamíferos marinos, que no presentan síntomas de enfermedades transmisibles al hombre o a los animales;
- subproductos de animales acuáticos provenientes de establecimientos o industrias que fabrican productos destinados al consumo humano.

Dentro de la Categoría III (riesgo bajo) se incluyen también los siguientes materiales provenientes de animales que no presenten ningún síntoma de enfermedades transmisibles al hombre o a los animales:

- conchas de crustáceos y moluscos con tejidos blandos o carnes;
- productos de animales terrestres: subproductos de centros de incubación, huevos, subproductos de huevos;
- pollitos bebé de un día abatidos por motivos comerciales;
- invertebrados acuáticos y terrestres, que no presentan riesgo para el hombre o los animales;
- tejido adiposo de animales que no presentan ningún síntoma de enfermedades transmisibles al hombre o a los animales, obtenidos de animales faenados en plantas de faenas habilitadas;
- restos de cocina y restaurantes distintos de los contemplados en la Categoría I (riesgo alto).

4.2. Requerimiento para la obtención de digeridos a partir de subproductos animales

La obtención de digerido a partir de las materias primas pertenecientes al Grupo G, materiales provenientes de fuentes animales o que tengan sustancias de origen animal provenientes de la industrialización y comercialización de productos pecuarios, de la Categorías II (riesgo medio) y la Categoría III (riesgo bajo), antes de ingresar al digestor deben ser sometidos a alguno de los siguientes métodos de tratamiento detallados en el Anexo C de esta Guía (esta información pertenece al Anexo IV de la Norma Técnica):

- pasteurización;
- esterilización bajo presión;
- métodos de esterilización sin presión;
- otros métodos: cualquier otro método de tratamiento autorizado por la jurisdicción local para el cual el operador ha demostrado que:
 - ha identificado los riesgos pertinentes a la materia prima utilizada;
 - el método de tratamiento tiene la capacidad para reducir significativamente los riesgos para la salud humana y de los animales;
 - el muestreo del producto final tomado diariamente durante un período de 30 días de producción cumple con los límites establecidos para los parámetros de higienización indicados en la Tabla 3 (Tabla 1 del Anexo V de la Norma Técnica).

5. PLAN DE APLICACIÓN DE DIGERIDO

El plan de aplicación consiste en una serie de pasos que deben cumplirse para garantizar una correcta utilización agrícola de los digeridos (Figura 3). Es recomendable que el mismo sea supervisado por un profesional competente (Ingeniero Agrónomo, Ingeniero Ambiental o profesional afín).

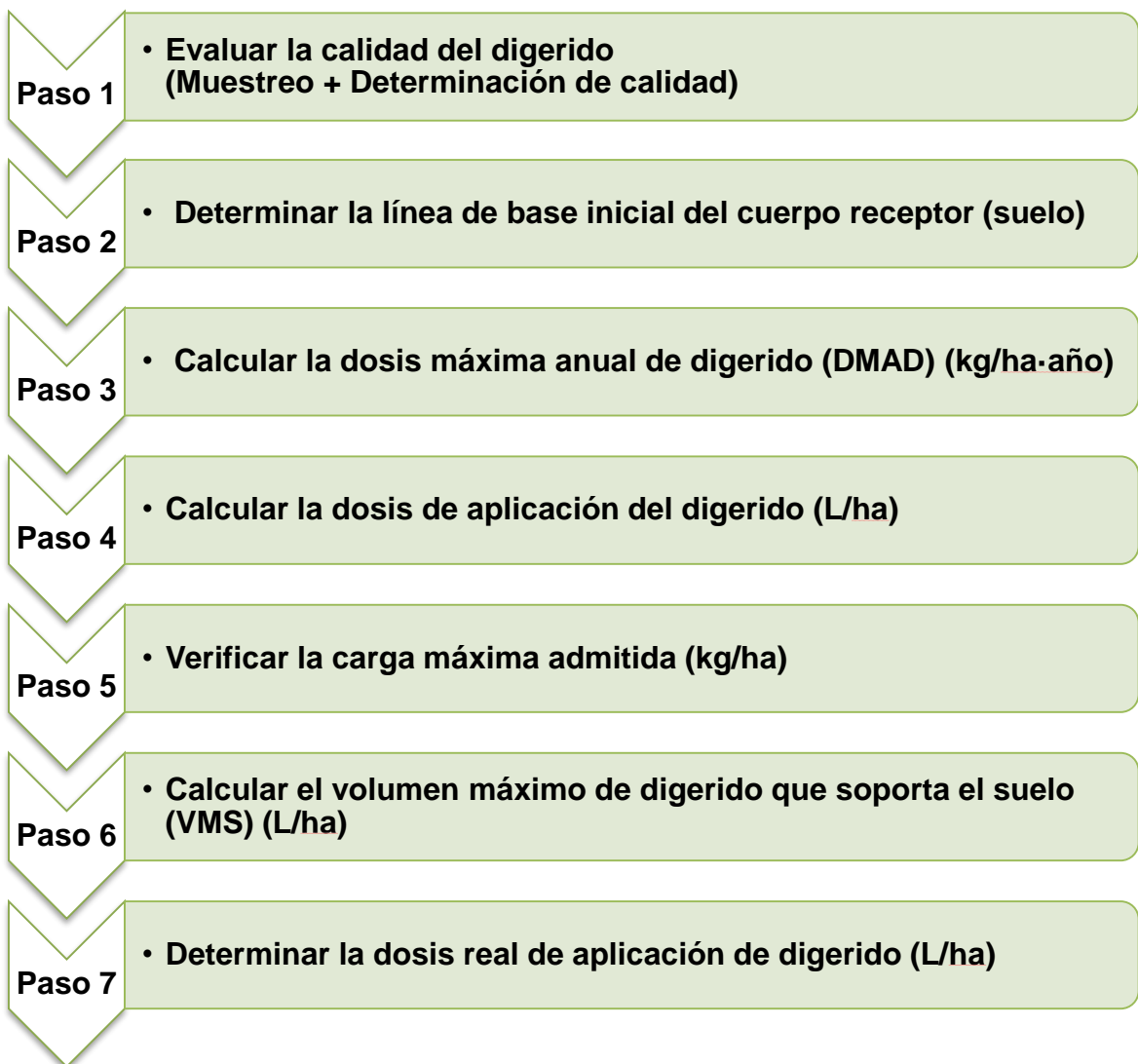


Figura 3. Pasos a seguir para la aplicación de digerido.

PASO 1. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL DIGERIDO

Para evaluar la calidad del digerido es necesario realizar el muestreo del mismo y la determinación de sus parámetros de calidad.

5.1.1. Muestreo del digerido

- **Frecuencia de muestreo**

Según se indica en la Norma Técnica, la frecuencia de monitoreo del digerido puede establecerse en función de alguna de las siguientes variables:

- el proceso de digestión anaeróbica,
- la materia prima,
- el volumen de digerido generado.

La Norma Técnica indica que la frecuencia de monitoreo del digerido deberá establecerla cada jurisdicción considerando las variables antes mencionadas. Como orientación general se sugiere tomar la frecuencia de muestreo establecida en las Reglas de Certificación para Digerido de la Gestión Sueca de Residuos (*Swedish Waste Management*) (Swedish Gas Centre, 2007). Estas reglas indican la frecuencia de muestreo del digerido (muestras/año) en función del volumen total de materias primas que ingresan al digestor (t/año) (Tabla 3).

Tabla 3. Frecuencia de muestreo del digerido en función del volumen total de materias primas que ingresan al digestor según las Reglas de Certificación para Digerido de la Gestión Sueca de Residuos (*Swedish Waste Management*) (Swedish Gas Centre, 2007).

Volumen total de materias primas que ingresan al digestor (t/año)	Frecuencia de muestreo del digerido (muestras/año)
< 5.000	1
5.000 - 10.000	2
> 10.000	4

- **Momento de muestreo**

El muestreo se debe llevar a cabo cuando el digerido está listo para ser utilizado, es decir, previo a su aplicación, considerándose los siguientes aspectos:

- **SIN** un periodo mínimo de almacenamiento del digerido, el muestreo debe realizarse al finalizar el tratamiento completo de digestión o tratamiento posterior.
- **CON** un periodo mínimo de almacenamiento antes de que el digerido pueda ser utilizado, el muestreo debe realizarse al completarse ese periodo, y preferentemente, antes de que el digerido recién producido ingrese al tanque de almacenamiento.

Si se realiza un tratamiento de separación posterior, el muestreo debe realizarse de la siguiente manera:

- **Fracción líquida:** deberá ser muestreada luego del tratamiento completo de separación, cuando se encuentre listo para su uso.
- **Fracción sólida:** se someterá al muestreo después del tratamiento completo de separación de fibras y luego de cualquier etapa de maduración o periodo mínimo de almacenamiento.



El digerido o sus fracciones líquida o sólida deberán muestrearse para evaluar su calidad, inmediatamente antes de su aplicación al suelo.

5.1.2. Determinación de parámetros de calidad

Para ser utilizado en agricultura el digerido debe cumplir con los parámetros de calidad establecidos en la Norma Técnica (Tabla 4).

Estos parámetros incluyen índice/contenido de patógenos, materia orgánica y nutrientes, parámetros de estabilidad, impurezas y EPT, y las metodologías aprobadas para su determinación. En caso que un digerido no cumpla con los parámetros de calidad establecidos por la Norma Técnica, se pueden tomar acciones extras para alcanzar dicha calidad. En el caso que las acciones no sean suficientes, dicho digerido deberá disponerse conforme lo previsto en cada jurisdicción.

Tabla 4. Parámetros de calidad, indicadores, valores límite y metodologías exigidos por la Norma Técnica.

PARÁMETRO	INDICADOR	VALOR LÍMITE	METODOLOGÍA
Patógenos	Coliformes fecales	< 1.000 NMP/g MF	TMECC 07.01-B
	<i>Escherichia coli</i>	Ausencia (digeridos de materias primas de origen animal, pasibles de contener <i>E. coli</i> cepa O157:H7)	TMECC 07.01-C; APHA-AWWA-WPCF. Met. 9260
	Helmintos	1 huevo viable/litro de digerido	TMECC 07.04-A
	<i>Salmonella</i>	< 3NMP/4g MF	TMECC 07.02-A; APHA-AWWA-WPCF. Met. 9260
Materia orgánica y nutrientes	pH (upH)	6,5-8,5	APHA-AWWA-WPCF. Met. 4500 B
	CE (dS/m)	Declarar	APHA-AWWA-WPCF. Met. 2510 B
	Materia orgánica (MO)	> 40%	APHA-AWWA-WPCF. Met. 2540 E
	N-Total	Declarar	APHA-AWWA-WPCF. Met. 4500 Norg B
	N-NH₄⁺	Declarar	APHA-AWWA-WPCF. Met. 4500-NH3 B y E; F
	P – total	Declarar	TMECC 04.12; EPA-M3015; TMECC 04.03; APHA-AWWA-WPCF. Met 3111; 3120
	K⁺ - total	Declarar	TMECC 04.12; EPA-M3015; TMECC 04.04; APHA-AWWA-WPCF. Met 3111; 3120
	Na⁺ soluble	Declarar	TMECC 04.05; TMECC 04.15; APHA-AWWA-WPCF. Met 3111; 3120
	Cl⁻ soluble	Declarar	APHA-AWWA-WPCF. Met. 4500-Cl-B

continuación Tabla 4.

PARÁMETRO	INDICADOR	VALOR LÍMITE	METODOLOGÍA
Estabilidad (se deben presentar al menos dos)	Ácidos Orgánicos Totales (AOT)	≤ a 1500 mg/L	EPA, M204A; APHA-AWWA-WPCF. Met. 6210
Estabilidad (se deben presentar al menos dos)	Ácidos Grasos Volátiles (AGV)	< 0,43 g DQO/g MO	Jenkins <i>et al.</i> , 1991; Walker <i>et al.</i> , 2010. OFW004-005-WRAP; APHA-AWWA-WPCF. Met. 6210
Estabilidad (se deben presentar al menos dos)	AT₄ (consumo acumulado de oxígeno en 4 días)	< 10 mg O ₂ /g MS	ASTM, 1996
Estabilidad (se deben presentar al menos dos)	Biogás Residual	< 0,25 L/g MO	Walker <i>et al.</i> , 2010. OFW004-005-WRAP
	Índice Respirométrico Dinámico (IRD)	< 1 mg O ₂ /g MO/h	Adani, F. <i>et al.</i> , 2004
Estabilidad (se deben presentar al menos dos)	Índice Respirométrico Estático (IRE)	≤ 0,5 mg O ₂ /g MO.h	TMECC 05.08
Impurezas (>2mm)	Vidrio, metal, plástico	≤ 0,5% MS	TMECC 02.02-C
Elementos potencialmente tóxicos (EPT) (mg/kg MS)	Arsénico	15	TMECC 04.06
	Cadmio	1,5	
	Zinc	300	
	Cobre	150	
	Cromo Total	100	
	Mercurio	0,7	

continuación Tabla 4.

PARÁMETRO	INDICADOR	VALOR LÍMITE	METODOLOGÍA
Elementos potencialmente tóxicos (EPT) (mg/kg MS)	Níquel	30	TMECC 04.06
	Plomo	100	

MS: materia seca; NMP: número más probable; MF: materia fresca; CE: conductividad eléctrica; N-Total: nitrógeno total; N-NH₄⁺: nitrógeno de amonio; P-Total: fósforo total; K⁺ Total: potasio total; Na⁺ soluble: sodio soluble; Cl⁻ soluble: cloruro soluble; MO: materia orgánica.

PASO 2. DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA DE BASE INICIAL DEL CUERPO RECEPTOR (SUELO)

La determinación de la línea base inicial del cuerpo receptor (suelo) tiene como objetivo evaluar los parámetros químicos y físicos del suelo previo a la aplicación del digerido.



El relevamiento de los parámetros químicos y físicos antes y durante el transcurso del plan de aplicación del digerido, el cual deberá ser supervisado por un profesional competente, se utiliza para verificar cuáles son los valores iniciales y cuál es el efecto sobre los mismos luego de la aplicación de los digeridos, con el fin de evitar que se produzcan efectos negativos en la calidad del suelo.

5.2.1. Evaluación de parámetros químicos del suelo

Los parámetros químicos que deben relevarse son:

- pH
- Conductividad eléctrica (CE)
- Sodio (Na⁺)
- Potasio (K⁺)
- Nitrógeno total (N Total)
- Nitrógeno de nitrato (N-NO₃⁻)
- Azufre de sulfato (S-SO₄⁻²)
- Fósforo total (P total) y extractable (P ext)

- Calcio (Ca²⁺)
- Magnesio (Mg²⁺)
- Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)
- Materia orgánica oxidable (MO)

Además de los parámetros antes mencionados, es fundamental analizar la concentración de los Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) en el suelo:

- Arsénico (As)
- Cadmio (Cd)
- Cobre (Cu)
- Cromo total (Cr total)
- Mercurio (Hg)
- Níquel (Ni)
- Plomo (Pb)
- Zinc (Zn)

En la Tabla 5 se indican los valores de EPT máximos permitidos en suelos con pH<7 y con pH>7. Por lo tanto, si en el suelo receptor se observan valores de al menos uno de estos elementos por encima de los establecidos en la Tabla 5, el digerido no puede aplicarse al suelo.

Tabla 5. Valores de elementos potencialmente tóxicos (EPT) máximos permitidos en suelos con pH<7 y con pH>7 establecidos en la Norma Técnica.

Elementos potencialmente tóxicos (EPT)	VALOR DE REFERENCIA (mg/kg MS)	
	pH < 7	pH > 7
Arsénico	15	20
Cadmio	1	3
Cobre	50	210
Cromo Total	100	150
Mercurio	1	1,5
Níquel	30	112
Plomo	50	300
Zinc	150	450

MS: materia seca.



Si en el suelo receptor se observan valores de al menos uno de los elementos potencialmente tóxicos (EPT) por encima de los establecidos en la Tabla 5, el digerido no puede aplicarse al suelo.

5.2.2. Muestreo del suelo

La toma de muestras de suelo consta de las siguientes etapas:

A. Selección de áreas homogéneas

Para la realización de un correcto muestreo del suelo es esencial identificar la homogeneidad del área o zona donde se aplicará el digerido. Un área homogénea se define espacialmente a través de un conjunto de características y propiedades del suelo y del paisaje, que a su vez se diferencia de otras áreas vecinas. Si el área presenta alguna variabilidad, deberá ser considerada para que el muestreo de suelos sea representativo.

Para la selección de áreas de muestreo homogéneas, una alternativa es realizar una identificación previa a partir de información disponible. Las imágenes satelitales, herramientas de cartografía digital o cartas de suelo, contienen información sobre el tipo de suelos y sus características, por lo que resultan herramientas útiles durante esta etapa de muestreo. Posteriormente, se debe realizar la evaluación visual en el terreno para corroborar la identificación de las áreas homogéneas seleccionadas en gabinete. Otra alternativa, es la evaluación visual directa en el terreno, la cual consiste en realizar observaciones *in situ*, es decir recorriendo el lote y seleccionando áreas uniformes. Entre las variables a observar se destacan: posición topográfica; drenaje; distribución de la humedad superficial del suelo; tipo y distribución de la vegetación; presencia de algas, sales o álcalis y formación de costras superficiales, y cualquier otro aspecto que se observe como distintivo.

B. Toma de muestras

Una vez seleccionadas las áreas homogéneas de muestreo, se determinará el número de muestras a recolectar en cada una de ellas. Se sugiere tomar una muestra compuesta por 15 a 20 submuestras de las profundidades 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm cada 10 hectáreas (ha). Es decir que, si un área homogénea tiene 10 ha o menos se tomará una muestra compuesta 0-20 cm, otra muestra compuesta 20-40 cm y una tercera muestra

compuesta 40-60 cm. Si el área homogénea tiene entre 10 y 20 ha se subdividirá en dos partes (sub-áreas) y se tomará una muestra compuesta 0-20 cm, otra de 20-40 cm y una tercera de 40-60 cm en cada una de ellas, y así sucesivamente. En la Figura 4 se presenta un ejemplo de número de muestras de suelo por área de muestreo.

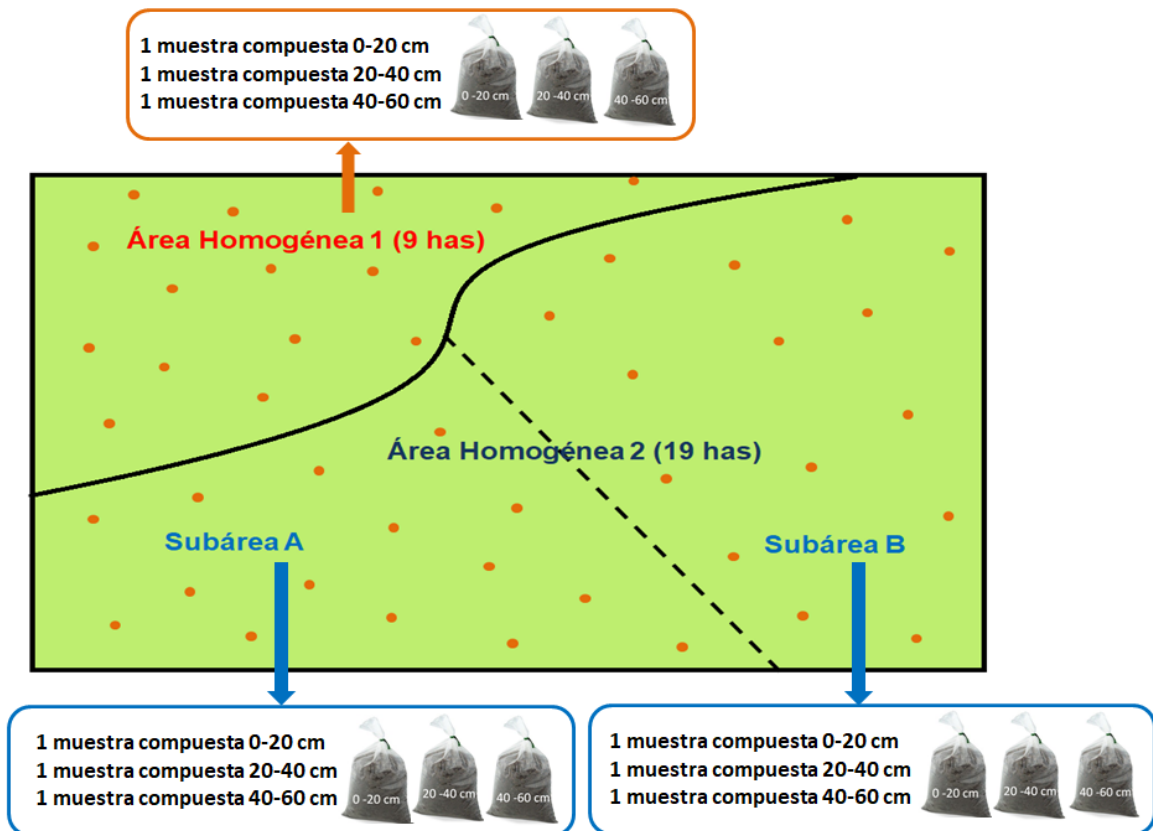


Figura 4. Ejemplo de número de muestras por áreas homogéneas de muestreo. Los puntos color naranja indican los sitios de muestreo de donde se extraen las submuestras del suelo que conformarán la muestra compuesta.

El objetivo de esta forma de muestreo es obtener muestras compuestas en cada sitio homogéneo de cada profundidad (0-20, 20-40 y 40-60 cm) cada 10 ha. Los sitios o puntos de extracción de las submuestras se determinan al azar cubriendo toda el área identificada como homogénea.

En la Figura 4 se esquematiza un ejemplo de un lote en el cual se identificaron dos áreas homogéneas (1 y 2, con una superficie de 9 ha y 19 ha, respectivamente). Por lo tanto, en el área homogénea 1 se coleccionarán 3 muestras compuestas de las profundidades 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Mientras que en las subáreas A y B del área homogénea 2, se coleccionarán en cada una de ellas 3 muestras compuestas de las profundidades 0-20, 20-40 y 40-60 cm.



Deberán obtenerse muestras de suelo de 1 kg aproximadamente compuestas por entre 15 y 20 submuestras de suelo para cada sitio homogéneo de cada profundidad (0-20, 20-40 y 40-60 cm) cada 10 ha.

C. Colecta de las muestras de suelos

Previo a la toma de muestras, en caso de que la superficie del suelo tuviera cobertura vegetal, es necesario retirarla superficialmente (sin extraer suelo) con la ayuda de una pala, dejando expuesto el suelo.

Una forma de tomar las submuestras es mediante el empleo de un barreno (Figura 5).



Figura 5. Colecta de muestras de suelo utilizando barreno.

Para coleccionar cada una de las submuestras, el barreno debe introducirse hasta 20 cm de profundidad para muestras 0-20 cm. Se recomienda marcar el barreno previamente, como referencia y colocar la submuestra de suelo en una bolsa o recipiente limpio previamente referenciado o rotulado. Después de sacar la submuestra 0-20 cm, el barreno se introduce en la misma perforación hasta los 40 cm de profundidad y se extrae la submuestra de suelo correspondiente a 20-40 cm y se coloca en una segunda bolsa previamente referenciada o rotulada para recolectar las submuestras 20-40 cm de esa área homogénea. Finalmente, para la submuestra 40-60 cm vuelve a introducirse el barreno en la perforación hasta los 60 cm de profundidad y se obtiene la submuestra de suelo correspondiente a 40-60 cm, la cual se coloca en una tercera bolsa para la muestra compuesta de la profundidad de 40-60 cm de la misma área homogénea.

Otra forma de obtener las submuestras es mediante el empleo de una pala de punta. Para ello, debe hacerse un hoyo en forma de V y extraer una lámina de suelo hasta la profundidad de 20 cm, eliminado el material de los bordes de la pala de modo de dejar solo el centro de ella, este procedimiento tiene por objetivos evitar posibles contaminaciones y que el volumen de suelo tomado sea el mismo en cada una de las submuestras que conformarán la muestra compuesta.

Para la obtención de las submuestras 20-40 cm y 40-60 cm se procede de la misma manera verificando que la toma de cada una de ellas se corresponda con la profundidad requerida. Finalmente, colocar a cada submuestra en bolsas rotuladas por profundidad y por área homogénea para cada muestra compuesta.

D. Homogenización de la muestra

Se recomienda coleccionar submuestras de 50-70 g de peso, a fin de obtener 1 kg de suelo en la muestra compuesta, lo cual permite homogenizar la muestra en un recipiente (ej. balde).

En el caso de muestras compuestas que superen el peso sugerido (1 kg), esto ocurre por lo general en muestreos con pala, se recomienda disminuir el tamaño de la muestra mediante la técnica de los cuartos opuestos, para lo cual deben seguirse los siguientes pasos:

- homogenizar la muestra compuesta inicial en un recipiente (ej. balde),
- extender la muestra compuesta homogenizada sobre una lona o plástico limpio,
- dividir en cuatro partes iguales, descartar dos de las partes opuestas y conservar las otras dos (Figura 6),

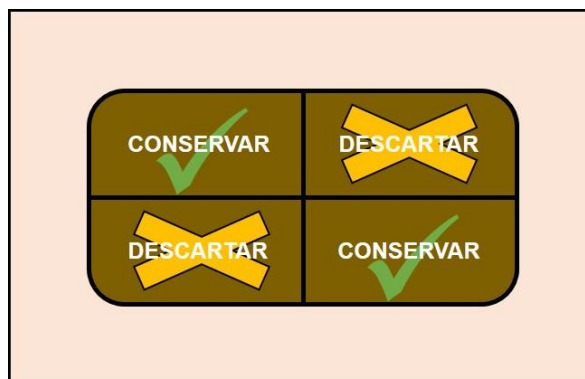


Figura 6. Técnica de fraccionamiento de los cuartos opuestos.

- repetir el procedimiento tantas veces como sea necesario hasta la obtención de una muestra de 1 kg de suelo. En cada cuarteo, se deberán conservar los cuartos opuestos diferentes al cuarteo anterior.

E. Envasado e identificación de las muestras

Las muestras se envasan en bolsas plásticas limpias resistentes al transporte y se identifican con tinta indeleble o con cinta de papel. Se recomienda utilizar doble bolsa e incluir entre ambas bolsas la etiqueta con la identificación de la muestra.

No se recomienda introducir tarjetas de papel o etiquetas en el interior de la bolsa junto con el suelo porque se destruyen fácilmente con la humedad.

En la identificación de la muestra deberá colocar:

- Sitio (área homogénea/sub-área).
- Profundidad de muestreo.
- Fecha de recolección.
- Responsable de la toma de muestra (Figura 7).



Figura 7. Identificación de la muestra de suelo.

F. Envío de muestras al laboratorio de suelos

Para preservar el estado de las muestras, las mismas deberán ser conservadas en un lugar fresco evitando su exposición al sol y ser remitidas al laboratorio para su análisis antes de transcurridas 24 h. Si se superan las 24 h. antes de su análisis, las muestras deberán conservarse refrigeradas hasta el momento en que sean analizadas en el laboratorio.

5.2.3. Evaluación de parámetros físicos del suelo

Los parámetros físicos que deben relevarse son:

- Conductividad hidráulica (Ks)
- Capacidad de campo (CC)
- Densidad aparente (Dap)
- Humedad gravimétrica (Hg)



El relevamiento de los parámetros físicos del suelo conductividad hidráulica (Ks), densidad aparente (Dap) y capacidad de campo (CC) debe realizarse previamente al inicio de las aplicaciones del digerido y repetirse cada 5 años.



La evaluación de la humedad gravimétrica del suelo (Hg) debe realizarse cada vez que se decida hacer la aplicación del digerido el día previo a la misma, ya que varía con las precipitaciones.

Conductividad hidráulica (Ks)

La conductividad hidráulica describe la facilidad con la cual los poros del suelo permiten el movimiento del agua dentro del mismo. Es una determinación clave en la descripción de los procesos de infiltración y redistribución del agua en el suelo, ya que permite predecir el escurrimiento producido por un evento de lluvia o por la aplicación al suelo de un producto líquido como el digerido. Esto está fuertemente asociado al movimiento de contaminantes orgánicos e inorgánicos, cuyo destino son las fuentes de aguas superficiales y subterráneas.

Existe una relación cuantitativa entre la conductividad hidráulica y el volumen de agua capaz de ser transportado en un suelo. Los suelos con alto porcentaje de partículas gruesas (suelos arenosos) permitirán el paso del agua rápidamente, mientras que en los suelos con alto porcentaje de partículas finas (suelos arcillosos) el movimiento del agua será más lento. Por ello, la conductividad hidráulica del suelo debe ser determinada para poder aplicar el digerido cumpliendo con los valores de Ks establecidos en la Norma Técnica detallados en el punto 6 “Requerimientos y restricciones para la aplicación de digeridos”.

La muestra de suelo sobre la cual se realizará la medición de la conductividad hidráulica debe poseer la misma porosidad que tenía *in situ*, es decir la muestra tomada debe ser una muestra fiel a la condición existente en el campo. Es indispensable evitar al máximo tanto posibles sellados derivados de la manipulación incorrecta, como la presencia de raicillas o grietas, que de manera conjunta no resultan representativas de las condiciones naturales del suelo a evaluar. Por ello, la validez y fiabilidad de los datos obtenidos en la medición depende en gran medida de que las muestras tomadas sean realmente inalteradas.

Las muestras inalteradas se obtienen a campo del horizonte superficial (horizonte A) empleando cilindros estándar de muestreo cuya altura y diámetro son de 6 cm. Para la extracción de los cilindros se recomienda seguir las pautas descritas en la Figura 8. Es importante que previamente se haya retirado cuidadosamente el material vegetal de la superficie.

- 1) Situar el anillo sobre el suelo
- 2) Clavarlo cuidadosamente en toda su longitud
- 3) Ir sacando el suelo en la zona alrededor del anillo
- 4) Completar el vaciado
- 5) Continuar hasta dejar un pequeño pedestal de suelo por debajo del anillo
- 6) Retirar la muestra de suelo

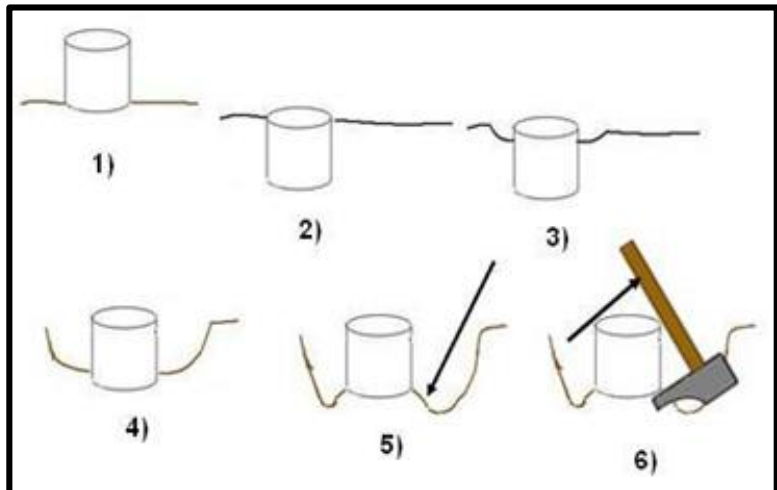


Figura 8. Esquema del procedimiento de obtención de muestras inalteradas (Ibáñez Asensio *et al.*, 2012).



Para la determinación de K_s se recomienda tomar 5 muestras de suelo inalteradas del horizonte superficial en sitios al azar en cada área o subárea homogénea igual o menor a 10 ha.

Una vez obtenida la muestra, es necesario revisar la zona de contacto entre el cilindro y el suelo para cerciorarse de que no quede ningún espacio por el que el agua pueda circular libremente; para evitar problemas, en caso de dudas, se recomienda sellar todo el filo del anillo con vaselina.

Al final de la toma de la muestra, se procede a envolverla en una lámina de film y acondicionarlas para el envío al laboratorio de análisis. El acondicionamiento debe asegurar que las muestras se empaquen con materiales que amortigüen golpes y choques entre sí.

Los parámetros físicos densidad aparente (DAp), capacidad de campo (CC) y humedad gravimétrica (Hg) se utilizan para el cálculo del volumen máximo de digerido que soporta el suelo (VMS) explicado en el Paso 6. La DAp también se utiliza para el cálculo de dosis de aplicación del digerido explicado en el Paso 4.

Densidad aparente (DAp)

La densidad aparente se define como la masa de suelo que ocupa una determinada unidad de volumen (g/cm o t/m). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller y Håkansson, 2010). Es una forma de evaluar la resistencia que opone el suelo a la elongación de las raíces.

La muestra de suelo sobre la cual se realizará la medición de la densidad aparente debe poseer la misma porosidad que tenía *in situ*, es decir la muestra tomada debe ser una muestra fiel a la condición existente en el campo. Es indispensable evitar al máximo tanto posibles sellados derivados de la manipulación incorrecta, como la presencia de raicillas o grietas, que de manera conjunta no resultan representativas de las condiciones naturales del suelo a evaluar. El método más utilizado para el muestreo de la DAp, en nuestro país, es el método del cilindro. Este método consiste en tomar una muestra de suelo con un cilindro metálico de volumen conocido al ras. El suelo tiene que tener una cierta humedad que permita extraer la muestra sin que se fracture. Si el suelo no tiene la humedad deseada, humedecer de manera lenta el sector donde va a tomar la muestra, luego clavar los cilindros a la profundidad deseada sin generar compactación en la muestra. Para esto, se debe golpear en forma homogénea (vertical) sobre una madera dura de mayor diámetro que el cilindro. Enrasar la muestra en ambos extremos con un cuchillo filoso. Es importante que el volumen del cilindro esté completamente lleno de suelo, sin grietas o faltante de material. Extraer todo el material en una bolsa, rotular y enviar al laboratorio de referencia. Se recomienda un mínimo de 3 repeticiones (Figura 9).



Figura 9. Toma de muestras para determinar densidad aparente del suelo con sacamuestras.



Para la determinación de DAp se recomienda tomar 5 muestras de suelo inalteradas en sitios al azar en cada área o subárea homogénea igual o menor a 10 ha. Para el cálculo del volumen máximo de digerido que soporta el suelo (VMS) estas 5 muestras serán tomadas del horizonte superficial. Para el cálculo de la dosis de aplicación del digerido serán tomadas 5 muestras de suelo inalteradas en cada capa del suelo de: 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm.

Capacidad de campo (CC)

La capacidad de campo (CC) es el estado que alcanza un suelo saturado de agua cuando se lo deja drenar libremente.

Para la extracción de muestras para determinación de CC de un suelo se necesitan anillos metálicos o de aluminio de 5 cm de diámetro, 3 cm de altura y 1-2 mm de espesor, un cuchillo o *cutter* y una masa. Las muestras a utilizar deben ser inalteradas (Figura 10).

Para la obtención de la muestra el suelo tiene que tener suficiente humedad que permita extraer la muestra sin que se fracture. Si el suelo no tiene la humedad deseada, humedecer el sector donde va a tomar la muestra. Clavar los cilindros a la profundidad deseada. La muestra de suelo tiene que sobrepasar los extremos del cilindro unos 5 mm (sobrante). Envolver el cilindro que contiene a la muestra sin disturbar con papel film, o papel de aluminio con el fin de evitar compactación, pérdida de humedad y pérdida de material por manipulación, rotular y enviar al

laboratorio de referencia. Es importante que el volumen del cilindro esté completamente lleno de suelo, sin grietas o faltante de material.



Figura 10. Muestras no disturbadas para determinar retención de agua en el suelo.



Para la determinación de CC se recomienda tomar 5 muestras de suelo inalteradas del horizonte superficial en sitios al azar en cada área o subárea homogénea igual o menor a 10 ha.

Tabla 6. Capacidad de campo (CC) en porcentaje (%) según texturas del suelo (Israelsen y Hansen, 1979).

TEXTURA	CC (g/g)
Arenoso	0,09
	(0,06-0,12)
Franco arenoso	0,14
	(0,10-0,18)
Franco	0,22
	(0,18-0,26)
Franco arcilloso	0,27
	(0,23-0,31)
Arcillo arenoso	0,31
	(0,27-0,35)
Arcilloso	0,36
	(0,31-0,39)

Cuando no es posible tomar muestras y enviarlas a un laboratorio de análisis para la determinación de la CC, pueden utilizarse los valores de referencia de la Tabla 6 establecidos para las distintas texturas de suelo.

Humedad gravimétrica del suelo (Hg)

La humedad gravimétrica o el contenido de agua gravimétrico del suelo (Hg) es la cantidad de agua presente en un suelo en un momento determinado.

Para la determinación de Hg las muestras se tomarán como se explicó en el ítem 2.2, punto B.



Para la determinación de Hg se tomará una muestra compuesta por 15 a 20 submuestras del horizonte superficial en sitios al azar en cada área o subárea homogénea igual o menor a 10 ha, previamente a realizar la aplicación del digerido.

5.2.4.- ¿Dónde consultar sobre los análisis de los parámetros químicos y físicos del suelo?

En el INTA: en las Agencias de Extensión Rural de su localidad, Estaciones Experimentales más cercanas o el Instituto de Suelos del CIRN en Hurlingham, Buenos Aires. También en Universidades o laboratorios de suelos privados.

PASO 3. CÁLCULO DE DOSIS MÁXIMA ANUAL DE DIGERIDO (DMAD)

Una vez realizado el muestreo y el análisis para obtener la línea de base inicial del cuerpo receptor (suelo), se debe calcular la dosis máxima anual de digerido (DMAD) (kg/ha·año) (Ecuación 1), la cual es la cantidad máxima de cada EPT por hectárea que puede aplicarse al suelo por año.

La DMAD permitida a aplicar a un suelo se calcula en función de la concentración de EPT en el digerido y el valor límite anual (VLA) de cada EPT establecido en la Norma Técnica (Tabla 7).

Tabla 7. Valores límites recomendados por la Norma Técnica para los elementos potencialmente tóxicos (EPT) que se podrán aplicar al suelo anualmente (kg/ha·año).

PARÁMETRO	VALOR LÍMITE DE DOSIS ANUAL DE DIGERIDO (VLA) (kg/ha·año)
Arsénico	0,5
Cadmio	0,15
Cobre	12
Cromo Total	3
Mercurio	0,1
Níquel	3
Plomo	15
Zinc	30

El siguiente procedimiento permite el cálculo de la DMAD:

- Determinar el contenido de EPT en los digeridos a aplicar.
- Calcular la DOSIS MÁXIMA ANUAL DE DIGERIDO a aplicar para cada uno de los EPT presentes en el digerido según la siguiente fórmula:

Ecuación 1

$$DMAD = (VLA * 1.000)/C$$

Dónde: **DMAD**: DOSIS MÁXIMA ANUAL DE DIGERIDO expresado en t/ha año en base seca.

VLA (Valor Límite Anual): Cantidad de EPT para el EPT "nn" expresado en kg/ha·año que se encuentran en la Tabla 7.

C: Concentración del EPT "nn" en el digerido expresado en mg/kg (base materia seca)

1.000: Factor de conversión de unidades.

- La DOSIS MÁXIMA ANUAL DE DIGERIDO, en base seca, a aplicar es la menor de las calculadas en la etapa anterior.

En el Anexo D se presenta un ejemplo de cálculo de DMAD.

PASO 4. CÁLCULO DE DOSIS DE APLICACIÓN DEL DIGERIDO

La dosis de aplicación de digerido se basa en los requerimientos de nutrientes del cultivo para garantizar que no se acumulen niveles excesivos de nitrógeno (N) o fósforo (P) en el suelo. El exceso de N puede causar contaminación del agua subterránea o ser liberado a la atmósfera como óxido nitroso (N₂O), un potente gas de efecto invernadero, mientras que altos niveles de P pueden contaminar las fuentes de agua superficiales.

En las Tablas 8, 9 y 10 se presentan las cantidades de N y P requeridas expresadas en kg de nutriente por tonelada de órgano cosechable (kg N/t, kg P/t) para diferentes cultivos vegetales.



La aplicación de digeridos en cultivos hortícolas deberá contemplar una metodología que evite el contacto directo del material con la parte aérea de las plantas.

Tabla 8. Requerimiento de nitrógeno (N) y de fósforo (P) expresados en kg de nutriente por tonelada de órgano cosechable (kg/t) para frutales y nueces.

Cultivo		Requerimiento (kg/t)	
		Nitrógeno (N)	Fósforo (P)
Frutales	Ciruela (<i>Prunus domestica</i> L.)	6,5	0,9
	Durazno (<i>Prunus persica</i> L.)	5,1	0,7
	Cereza (<i>Prunus cerasus</i> L.)	6,4	-
	Frutilla (<i>Fragaria x ananossa</i> Duch.)	10,2	2,5
	Membrillero (<i>Cydonia oblonga</i> Mill.)	6	1,2
	Manzana (<i>Malus pumilla</i> Mill.)	3,8	0,8
	Uva (<i>Vitis vinifera</i> L.)	6,9	1
	Pera (<i>Pyrus communis</i> L.)	2,6	0,4
	Melón (<i>Cucumis melo</i> L.)	4	0,6
	Kiwi (<i>Actinidia deliciosa</i> Chev.)	6,5	-
	Ananá (<i>Ananas comosus</i> L.)	4	0,9
	Banana (<i>Musa spp.</i>)	8,4	1,1
Palto (<i>Persea americana</i> Miller)	11	2	

continuación Tabla 8

Cultivo		Requerimiento (kg/t)	
		Nitrógeno (N)	Fósforo (P)
	Sandía (<i>Citrullus lanatus</i> Thunb.)	2	0,3
	Limón (<i>Citrus limon</i> L. Bum.)	6,3	0,7
	Mandarina (<i>Citrus reticulata</i> Blanco)	4,4	0,4
	Naranja (<i>Citrus sinensis</i> Osbeck)	5,7	0,7
	Pomelo (<i>Citrus grandis</i> L. Osbeck)	2,5	0,4
Nueces	Nogal (<i>Juglans regia</i> L.)	14,7	1,9
	Almendra (<i>Prunus dulcis</i> Mill. DA Webb)	83,3	-

Fuente: Ciampitti y García (2007a).

Tabla 9. Requerimiento de nitrógeno (N) y de fósforo (P) expresados en kg de nutriente por tonelada de órgano cosechable (kg/t) para hortalizas.

Cultivo		Requerimiento (kg/t)	
		Nitrógeno (N)	Fósforo (P)
Hortalizas	Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	2,8	0,4
	Arveja (<i>Pisum sativum</i> L.)	56	6
	Pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.)	4	0,7
	Pimiento (<i>Capsicum annuum</i> L.)	3,7	0,5
	Choclo (<i>Zea mays</i> L.)	10,4	1,3
	Zapallo (<i>Curcubita maxima</i> Duchesn)	4,2	0,3
	Calabaza (<i>Curcubita pepo</i> L.)	4	0,6
	Col (<i>Brassica campestris</i> L.)	4,2	0,7
	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	2	0,5
	Apio (<i>Apium graveolens</i> L.)	1,7	0,4
	Brócoli (<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>italica</i> Plenck)	3,4	0,8
	Brócoli (<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>italica</i>)	4,7	0,8
	Repollo (<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>capitata</i> L.)	5	0,7
	Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i> L.)	5,1	0,8
	Palmito (<i>Chamaerops humilis</i> L.)	12	1
	Espárrago (<i>Asparagus officinalis</i> L.)	19,3	2,9
Alcachofa (<i>Cynara scolymus</i> L.)	8	2	
Cebolla (<i>Allium cepa</i> L.)	3,9	0,6	

Fuente: Ciampitti y García (2007a).

Tabla 10. Requerimiento de nitrógeno (N) y de fósforo (P) expresados en kg de nutriente por tonelada de órgano cosechable (kg/t) para cereales, oleaginosas, leguminosas, forrajeras e industriales.

Cultivo		Requerimiento (kg/t)	
		Nitrógeno (N)	Fósforo (P)
Cereales	Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	22	4
	Sorgo granífero (<i>Sorghum bicolor</i> L.)	30	4,4
	Trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	30	5
	Cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	26,3	4
	Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.)	22,2	4
Oleaginosas y Leguminosas	Soja (<i>Glycine max</i> L.)	75	7
	Doble cultivo trigo/soja 2da (<i>Triticum aestivum</i> L., <i>Glycine max</i> L.)	105	12
	Girasol (<i>Heliantus annuus</i> L.)	40	11
	Colza (<i>Brassica napus</i> L.)	60	15
	Maní (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	69	7
Forrajeras	Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	27	2,5
	Festuca Alta (<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.)	25	3
	Raigrás Anual (<i>Lolium multiflorum</i> L.)	25	2,7
Industriales	Algodón -Fibra- (<i>Gossypium spp.</i>)	150	25
	Algodón -Semilla- (<i>Gossypium spp.</i>)	62	6,3
	Remolacha Azucarera (<i>Beta vulgaris</i> L.)	4	2,2
	Tabaco (<i>Nicotiana tabacum</i> L.)	65	8,7
	Caña de Azúcar -Materia Seca- (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	1,3	

Fuente: Ciampitti y García (2007b).

5.4.1. ¿Cómo realizar el cálculo de la dosis de digerido a aplicar?

Para definir cómo realizar el cálculo de la dosis de digerido se debe verificar el contenido de fósforo extractable (Pext) del suelo (Tabla 11).

En suelos con contenido de Pext menor a 50 ppm, el cálculo de la dosis de aplicación de digerido se realizará en base a N. Mientras que para el caso en que el suelo contenga valores de Pext mayores a 50 ppm, el cálculo se realizará en base a P aplicando una dosis de este nutriente con el digerido equivalente al requerimiento de P del cultivo. Cuando el suelo presente niveles de Pext mayores a 100 ppm se recomienda no realizar aplicación de digerido. La Figura 10 presenta un árbol de decisión para la identificación del cálculo de dosis apropiado.

Tabla 11. Aplicación de digerido en base al nivel de fósforo extractable (P_{ext}) del suelo.

Fósforo extractable de suelo (ppm)*	Aplicación de digerido basado en
P _{ext} < 50	Dosis agronómica para nitrógeno (N) (en base a N)
P _{ext} 50 - 100	Dosis agronómica para fósforo (P) (en base a P)
P _{ext} > 100	Aplicación no recomendada

*Basado en muestra de suelo tomada a una profundidad de 0-20 cm.

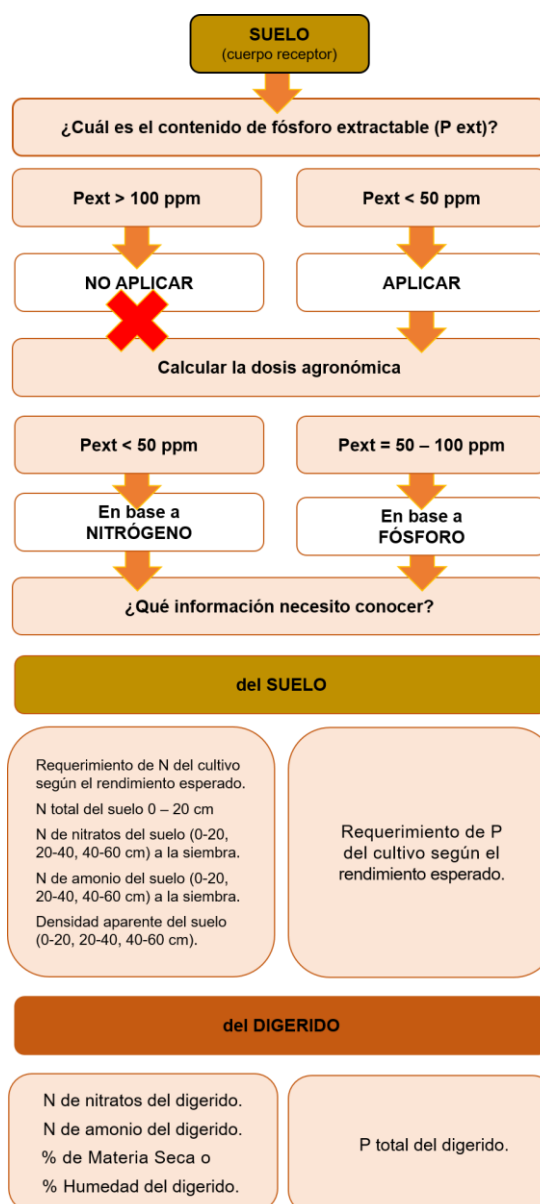


Figura 10. Árbol de decisión para la identificación del cálculo de la dosis de digerido a aplicar.

5.4.2. Cálculo de dosis de aplicación de digerido en base a N (P ext suelo < 50 ppm)

Para calcular la dosis de aplicación de digerido en base a N, esto es recomendado cuando el P ext suelo < 50 ppm. Se requiere la siguiente información:

- Requerimiento de N del cultivo según rendimiento esperado.
- N total del suelo 0-20 cm.
- N-NO₃⁻ del suelo (0-20, 20-40 y 40-60 cm) a la siembra.
- N-NH₄⁺ del suelo (0-20, 20-40 y 40-60 cm) a la siembra.
- Densidad aparente del suelo 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm.
- N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺ del digerido.
- % materia seca o % humedad del digerido.

I - Cálculo de dosis de N a aplicar (kg N/ha)

La cantidad de N a aplicar con el digerido se calcula considerando el requerimiento de N del cultivo según el rendimiento esperado menos el N disponible del suelo (Ecuación 2). Este último corresponde al contenido de N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺ del suelo al momento de la siembra, los cuales se multiplican por un coeficiente de uso de este N disponible (Es). A dicho valor se le suma el N orgánico que se mineralizará durante el ciclo del cultivo (N org min), el cual también se multiplica por un coeficiente de eficiencia de uso (Em).

Ecuación 2

N disponible del suelo

$$N_{a \text{ aplicar}} = \text{Requerimiento } N_{\text{cultivo}} - [(N\text{-NO}_3^- \text{ a la siembra} + N\text{-NH}_4^+ \text{ a la siembra}) * Es + (N_{\text{org min}} * Em)]$$

Dónde: **N_{a aplicar}**: Cantidad de N a aplicar con el digerido (kg N/ha).

Requerimiento N_{cultivo}: Cantidad de N requerida por el cultivo según rendimiento esperado (kg N/ha).

N-NO₃⁻ a la siembra: Contenido de N-NO₃⁻ del suelo a la siembra en la profundidad de 0 -60 cm (kg N/ha).

N-NH₄⁺ a la siembra: Contenido de N-NH₄⁺ del suelo a la siembra en la profundidad de 0 -60 cm (kg N/ha).

Es: Eficiencia de uso del N inorgánico disponible (N-NO₃⁻ a la siembra + N-NH₄⁺ a la siembra). Se toma un valor de Es = 0,5 según valores promedios de Meisinger (1984) para el método del balance.

N_{org min}: N orgánico mineralizable. La tasa de mineralización no es constante y cambia según condiciones de humedad y temperatura, de acuerdo a las características del suelo, del ambiente y del sistema de producción. Sin embargo, para realizar el cálculo de la dosis de aplicación se sugiere considerar un valor de N_{org min} (N mineralizado durante el ciclo del cultivo) correspondiente al 1,5 % del N total del suelo en la profundidad de 0-20 cm (kg N/ha).

Em: Eficiencia de uso del N_{org min}. Se toma un valor de Es = 0,6 según valores promedios de Meisinger (1984) para el método del balance.

II - Cálculo de N aportado por el digerido (kg N/L)

La cantidad de N aportado por el digerido incluye el contenido de N-NO₃⁻ más el de N-NH₄⁺ del digerido, considerando además una constante (Kv) relacionada con la volatilización del amonio que se produce según el sistema de aplicación utilizado (Ecuación 3).

Ecuación 3

$$N_{\text{aportado por digerido}} = N\text{-NO}_3^{\text{- digerido}} + (N\text{-NH}_4^{\text{+ digerido}} * Kv)$$

Dónde: **N_{aportado por digerido}:** Kilogramos de N por litro de digerido (kg/L).

N-NO₃⁻ digerido: Contenido de N-NO₃⁻ en el digerido (kg/L).

N-NH₄⁺ digerido: Contenido de N-NH₄⁺ en el digerido (kg/L).

Kv: Constante de volatilización de amonio en base al sistema de aplicación (0,25 incorporado al suelo; 0,5 aplicado en superficie; 1,0 inyectado).

III - Cálculo de dosis de digerido a aplicar (L/ha)

Para calcular la dosis de digerido a aplicar (Ecuación 4), el N que es necesario aplicar (N a aplicar) obtenido con la Ecuación 2, se divide por el N aportado por el digerido obtenido con la Ecuación 3.

Ecuación 4	Dosis de digerido a aplicar = (N_{a aplicar} / N_{aportado por digerido})
-------------------	--

Dónde: **Dosis de digerido a aplicar:** Litros de digerido a aplicar por ha (L/ha).

N_{a aplicar}: (kg N/ha) (Ecuación 2).

N_{aportado por digerido}: (kg N/L) (Ecuación 3).

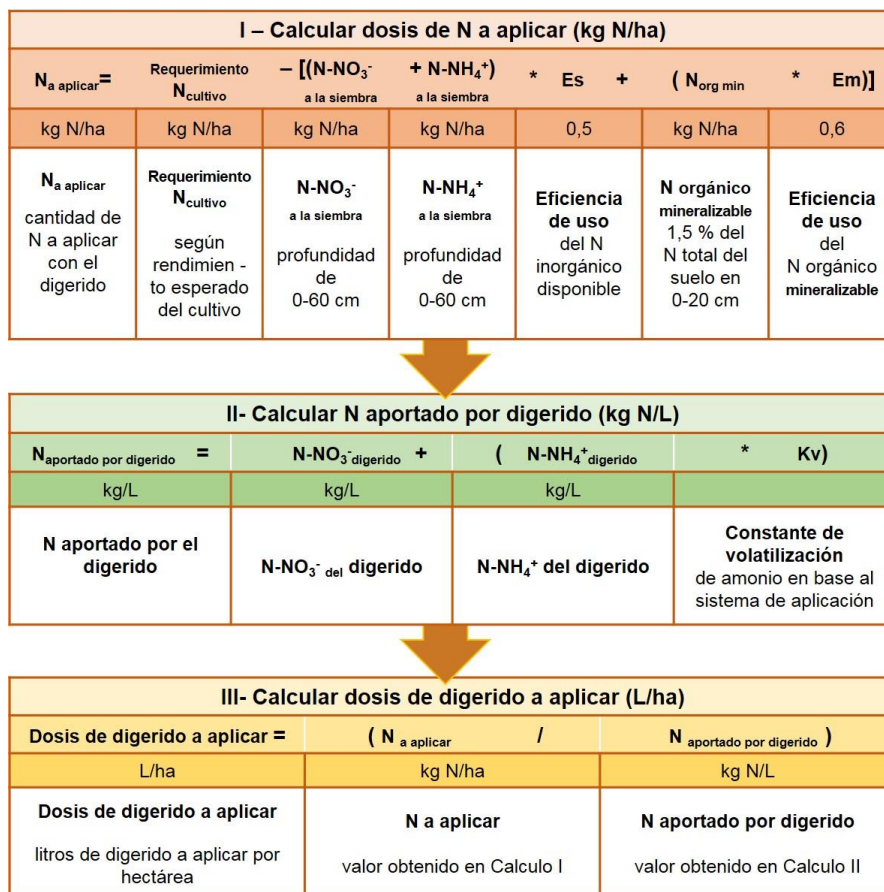


Figura 11. Pasos a seguir para el cálculo de dosis de aplicación en base a N.

La Figura 11 resume los pasos a seguir para el cálculo de la dosis agronómica para N, es decir en base a N. También, en el Anexo E se presenta un ejemplo práctico de dicho cálculo de dosis de aplicación.

5.4.3. Cálculo de dosis de aplicación de digerido en base a P (P ext suelo entre 50 y 100 ppm)

El cálculo de la dosis de aplicación de digerido en base a P (Ecuación 5) es más corto que el cálculo en base a N. La premisa es similar: la cantidad de P aplicado con el digerido es equivalente a la cantidad de P requerida por el cultivo. Sin embargo, a diferencia del N mineral, el P mineral es poco móvil en el suelo por lo que el mismo no es susceptible a perderse por lixiviación o volatilización como en el caso del N. Por lo cual, lo que se busca es conservar el nivel del P en el suelo y agregar solo lo que consume el cultivo para mantener los niveles de fertilidad del mismo.

Ecuación 5

$$\text{Dosis de digerido a aplicar} = (P_{\text{a aplicar}} / P_{\text{aportado por digerido}})$$

Dónde: **Dosis de digerido a aplicar:** Litros de digerido a aplicar por ha (L/ha).

P_{a aplicar}: Requerimiento de P por el cultivo según rendimiento esperado (kg/ha).

P_{aportado por digerido}: P Total del digerido según análisis de caracterización del mismo (kg/L).

En el Anexo F se presenta un ejemplo de cálculo de dosis de aplicación de digerido en base a P.

PASO 5. VERIFICACIÓN DE LA CARGA MÁXIMA ADMITIDA

La carga máxima admitida (kg/ha) es la cantidad máxima de cada EPT que puede aplicarse al suelo (Tabla 12). Superado el valor de carga máxima admitida de cualquiera de los EPT ya no puede aplicarse el digerido.

Para verificar que con la dosis calculada no se supere la carga máxima admitida se debe realizar la sumatoria para cada EPT de las cantidades aplicadas anteriormente (si las hubiere), más la cantidad a aplicar con la dosis calculada actual y verificar que el resultado de dicha sumatoria no supere el valor de carga máxima admitida establecido en la Norma Técnica (Tabla 12).

Tabla 12. Valores de carga máxima admitida (kg/ha) para elementos potencialmente tóxicos (EPT) establecidos en la Norma Técnica.

PARÁMETRO	CARGA MÁXIMA ADMITIDA (kg/ha)
Arsénico	1,8
Cadmio	0,5
Cobre	40
Cromo Total	10
Mercurio	0,3
Níquel	10
Plomo	50
Zinc	100



Superado el valor de carga máxima admitida de cualquiera de los EPT ya no puede aplicarse de digerido.

En el Anexo G se presenta un ejemplo de cálculo y verificación de la carga máxima admitida de EPT.

PASO 6. CÁLCULO DE VOLUMEN MÁXIMO DE DIGERIDO QUE SOPORTA EL SUELO (VMS)

Calcular el volumen máximo de digerido que soporta un suelo (VMS) tiene por objetivo garantizar que el digerido sea completamente retenido en el suelo con el fin de evitar

encharcamiento y contaminación de aguas superficiales mediante el escurrimiento o de napas subterráneas por percolación profunda.

Para realizar este cálculo (Ecuación 6) es necesario conocer los valores de la capacidad de campo del suelo (CC), el contenido de agua actual del suelo o humedad gravimétrica (Hg) y la densidad aparente del suelo (DAp) (Explicados en el Paso 2 “Determinación de la línea base inicial del cuerpo receptor (Suelo) – 2.3. Evaluación de parámetros físicos del suelo”).

Ecuación 6

$$\text{VMS} = [(\text{CC} - \text{Hg}) * \text{DAp} * \text{prof_suelo}] * 100.000$$

Dónde: **VMS**: Volumen máximo de digerido que soporta el suelo (L/ha).

CC: Capacidad de campo del horizonte superficial (horizonte A) (g/g).

Hg: Humedad gravimétrica del horizonte superficial (horizonte A) (g/g).

DAp: Densidad aparente del horizonte superficial (horizonte A) (g/cm).

prof_suelo: Equivalente a la profundidad del horizonte superficial (horizonte A), en general este horizonte no supera los 30 cm.

En el Anexo H se presenta un ejemplo de cálculo del volumen máximo de digerido que soporta un suelo (VMS).

PASO 7. DETERMINACIÓN DE DOSIS REAL DE APLICACIÓN DE DIGERIDO

Una vez obtenidas la dosis de aplicación de digerido calculada en el Paso 4 y el volumen máximo de digerido que soporta el suelo (VMS) calculado en el Paso 6, la dosis real de aplicación de digerido será la menor de ellas.

En el Anexo I se presenta un ejemplo de determinación de dosis real de aplicación de digerido.

6. REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES PARA LA APLICACIÓN DE DIGERIDOS

En la Norma Técnica se establecen los siguientes requisitos a considerar para el sitio donde se aplicará el digerido:

- A.** Estar ubicado a más de 300 metros de áreas con zonificación catastral urbana. Sin perjuicio de lo anterior la distancia a áreas de zonificación catastral rural deberá ser superior a 100 metros.
- B.** Estar ubicado a más de 100 metros de un pozo cuya captación de agua para uso como agua potable público o privado se realice del acuífero semiconfinado o del confinado.
- C.** Estar ubicado a más de 300 metros de un pozo cuya captación de agua para uso como agua potable público o privado se realice del acuífero libre.
- D.** Estar ubicado fuera de una franja contigua al punto de captación de aguas superficiales para agua potable de una longitud de 1.000 metros aguas arriba del punto de captación y 200 metros aguas abajo, y un ancho de 500 metros.
- E.** Estar ubicado en suelos con un contenido de arena menor a 70 %.
- F.** Estar ubicado como mínimo a 100 metros del curso o cuerpo de agua más cercano (ambientes lénticos, lóticos, cuerpos permanentes o transitorios).
- G.** Estar ubicado como mínimo a 100 metros de áreas anegadas o donde se verifiquen procesos de afloramiento del nivel freático recurrentes, tanto de origen natural o derivados de actividades antrópicas.
- H.** Estar ubicado en áreas donde el suelo posea una permeabilidad o conductividad hidráulica (ks) entre 5 y 40 mm/hora en el horizonte superficial. Excepción: La aplicación podrá ser realizada en suelos con conductividad hidráulica (ks) superficial entre 5 y 127 mm/hora, cuando dichos suelos presenten una capa subsuperficial con conductividad hidráulica menor a 5 mm/hora. (Ver metodología de medición de la conductividad hidráulica del suelo en el Paso 2 “Determinación de la línea base inicial del cuerpo receptor (Suelo) – 5.2.3. Evaluación de parámetros físicos del suelo”);
- I.** Estar ubicado en áreas donde el suelo posea un pH superior a 5.
- J.** Estar ubicado en áreas donde el nivel freático medio se encuentre a más de 1 m de profundidad.
- K.** Estar ubicado en áreas con pendientes inferiores al DIEZ POR CIENTO (10 %) o en áreas con mayor pendiente siempre y cuando cuenten con implementación de prácticas

de conservación y control de la erosión como por ejemplo terrazas, curvas de nivel o cobertura vegetal del suelo.

- L.** Estar ubicado en áreas sin nieve y no congeladas.
- M.** La aplicación de digeridos en cultivos hortícolas deberá contemplar una metodología que evite el contacto directo del material con la parte aérea de las plantas.

7. RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE DIGERIDO Y REGULACIÓN DE MAQUINARIA A UTILIZAR

La aplicación del digerido debe asegurar su correcta distribución en toda la superficie objetivo, sin derivas ni pérdidas por escurrimiento. Al igual que al aplicar un fertilizante químico, una distribución espacial heterogénea puede provocar pérdida de plantas. La pérdida de plantas puede deberse a toxicidad por exceso de nutrientes o una dosis insuficiente que puede generar heterogeneidad en la arquitectura del cultivo (altura de las plantas, diámetro de los tallos; por ejemplo), lo cual constituye un factor que aumenta las pérdidas de cosecha.

7.1. Condiciones ambientales, del terreno y del cultivo a considerar

Para una correcta aplicación de los digeridos deben verificarse las condiciones ambientales, del terreno y del cultivo.

Las condiciones ambientales que afectan la aplicación son:

- **Velocidad del viento:** El aumento de la velocidad del viento aumenta la deriva. Considerar la dirección predominante del viento, su intensidad y la proximidad a viviendas o establecimientos para evitar las molestias por olores. Cuando la intensidad del viento supere los 15 km/h no se debe realizar la aplicación de digerido.
- **Temperatura y humedad atmosférica:** A temperaturas ambiente superiores a 25 °C con humedad relativa baja, las gotas pequeñas del digerido son especialmente propensas a la deriva debido a los efectos de evaporación y se producen mayores malos olores.
- **Lluvias:** Los niveles de precipitación generan efectos negativos sobre la aplicación de digeridos, dependiendo de la intensidad de la precipitación y del tiempo transcurrido entre la aplicación y la lluvia. No se debe realizar la aplicación de digerido en caso de pronóstico de posibles precipitaciones erosivas durante los 5 días posteriores a la aplicación. El índice de erosividad de las lluvias propuesto por Wischmeier y Smith (1978) denomina erosivas a aquellas lluvias que superan los 13 mm en 15 minutos o que superan la intensidad de 8 mm en 15 minutos con una separación entre eventos de 6 o más horas.
- **Terreno:** Es importante verificar que el mismo no presente exceso de humedad.

Otra cuestión a considerar para obtener una distribución uniforme del digerido es el solapamiento de las aplicaciones. Cuando se utiliza una estercolera de abanico o centrífuga, la distribución no es uniforme, siendo mayor en el centro de la trocha. Para que la distribución sea uniforme es necesario realizar un solapamiento o superposición entre dos pasadas contiguas de la máquina para garantizar que la distribución transversal sea igual en todo el ancho de trabajo y de esa manera la aplicación sea homogénea. Para realizar una buena labor se deben seguir las instrucciones del manual de uso de la estercolera a utilizar.

En relación al momento de aplicación se recomienda realizarla en un período mayor a los 5 días previos a la siembra o durante el desarrollo del cultivo en el momento de mayores requerimientos, con el objetivo de evitar la inhibición o retraso en la germinación de las semillas y el contacto con plantas muy jóvenes.

7.2. Equipo aplicador a utilizar

En nuestro país los equipos más utilizados son las estercoleras abonadoras de líquidos con aplicación en abanico, las cuales realizan una aplicación superficial del digerido (Figura 13). En el mercado existen estercoleras con capacidad de tanque desde 3.000 a 20.000 L. Estos equipos presentan ventajas e inconvenientes. Dentro de las ventajas se pueden mencionar:

- Precio de adquisición más económico respecto a otro tipo de equipos de aplicación con incorporación o inyección del digerido al suelo.
- No es necesaria una gran potencia en el tractor.
- No presenta problemas de obturación al aplicar digeridos espesos.

Por su parte, los inconvenientes observados son:

- Distribución heterogénea y muy sensible al viento.
- A dosis bajas la regulación es muy difícil y genera mayor heterogeneidad de distribución del digerido.
- A dosis altas existe riesgo de escorrentía si el terreno presenta pendiente.
- Dispersión de olores y volatilización de nitrógeno.

Debido a este último inconveniente, es recomendable que posteriormente a la aplicación se realice una labranza para la incorporación del digerido por ejemplo, con arado de discos o arado-rastra.

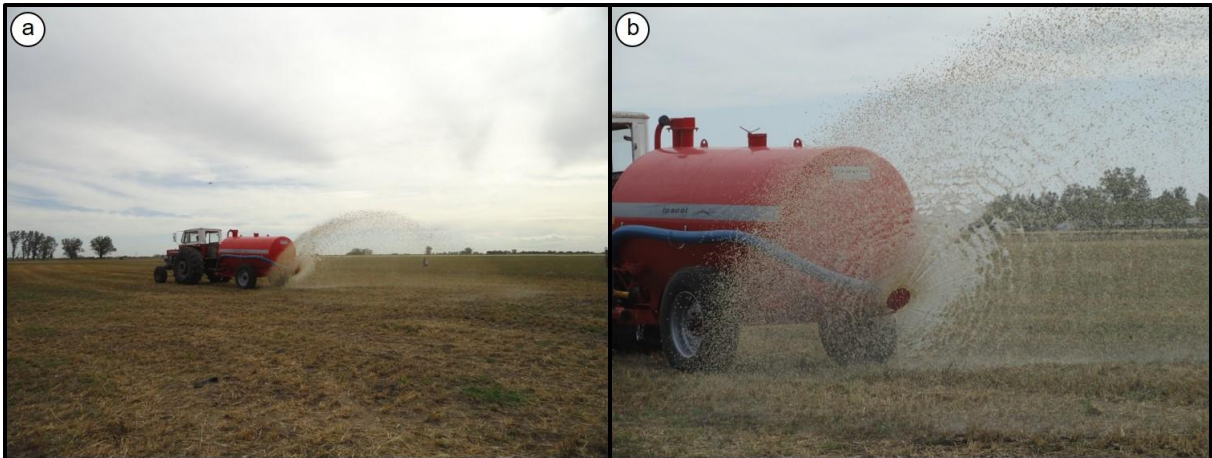


Figura 13. a) Estercolera/abonadora de líquidos con aplicación en abanico. b) Detalle de la forma de aplicación.

7.3. Definición de variables de trabajo

La ecuación de dosis de aplicación de la maquinaria que se utiliza es la siguiente:

$$\text{Ecuación 7} \quad \text{Dosis de aplicación de la maquinaria} = (\text{Caudal} * 600 / \text{Ancho de trabajo} * \text{Velocidad})$$

Dónde: **Dosis** de aplicación de la maquinaria: (L/ha)

Caudal: (L/ha)

Ancho de trabajo: (m)

Velocidad: (Km/h)

A partir de la dosis de aplicación de digerido (L/ha) calculada en el PASO 4: Cálculo de dosis de aplicación del digerido y utilizando el manual de uso de la estercolera se deben definir los valores de caudal, ancho de trabajo y velocidad de aplicación.

En caso de que la velocidad resulte muy baja (debido a que debe aplicarse una alta dosis de digerido por ha), la dosis de aplicación puede dividirse en dos pasadas por hectárea, que pueden ser perpendiculares entre sí para evitar el formado de huellas y mejorar la distribución del digerido.

En el caso de que el número de aplicaciones calculado resulte excesivo y por tal motivo impracticable, se recomienda realizar el mayor número de aplicaciones de digerido posibles y complementar los requerimientos nutricionales del cultivo con fertilización química inorgánica.

8. HIGIENE Y SEGURIDAD EN LA MANIPULACIÓN Y APLICACIÓN DE DIGERIDOS

8.1. Factores de riesgo en la manipulación de digeridos

Los trabajadores que manipulan digeridos para su aplicación en el campo pueden estar expuestos a agentes biológicos, los cuales pueden constituir un factor de riesgo, ya que los microorganismos presentes en los digeridos pueden causar infecciones, alergias o intoxicaciones.

Por lo tanto, es necesario proponer un conjunto de medidas preventivas a fin de evitar o minimizar la exposición durante su manipulación. Para ello, se deben usar elementos de protección personal (EPP) adecuados, realizar la correcta limpieza de los equipos, maquinarias y áreas de trabajo; y mantener el cuidado de la higiene personal de quienes manipulen los digeridos.

8.2. Elementos de protección personal (EPP)

Un elemento de protección personal (EPP), es cualquier equipo o dispositivo destinado a ser utilizado por quienes manipulen el digerido con el objetivo de protegerlo de uno o varios riesgos y aumentar su seguridad o preservar su salud. Es importante destacar que los EPP deben ser de uso individual y no deben intercambiarse entre los usuarios. Los EPP que sean reutilizables deben ser lavados convenientemente con desinfectantes, lavandina, amonio cuaternario o similar. Los EPP descartables deben ser descartados en los sitios correspondientes a ese fin y deben brindarse capacitaciones para su correcto uso.

Los EPP recomendados para el trabajo con digeridos son:

Protección facial: barbijos del tipo N95, uso de anteojos con protectores laterales o pantallas faciales y capuchas de cabeza entera o cofias (Figura 14a).

Protección del cuerpo: camisa y pantalón de trabajo cubiertos por mameluco de PVC impermeable (Figura 14b).

Protección de manos: guantes de nitrilo o de acrílo-nitrilo de puño corto o medio. El puño del guante debe cubrir el puño del mameluco por fuera (Figura 14b).

Protección de pies: botas de goma caña alta. La botamanga del mameluco de PVC debe colocarse cubriendo la bota por fuera (Figura 14c).



Figura 14: Elementos de protección personal: a) Protección facial, b) Protección de pies, c) Protección del cuerpo.



Durante la manipulación y aplicación de los digeridos deberán utilizarse los elementos de protección personal (EPP).

8.3. Cuidados en el transporte de digeridos al campo

Los digeridos deben transportarse en vehículos preparados para el traslado de sustancias líquidas. Evitando ser transportados a personas, ropa, alimentos u otros enseres. Debe contemplarse un plan de emergencia ante derrame o accidentes: kit antiderrame (barrera de contención para derrames, material absorbente granulado, paños absorbentes, guantes, protectores oculares, bolsas de residuos), EPP.



Se prohíbe comer, beber y fumar durante la carga, descarga y manipulación de digeridos.

8.4. Limpieza de materiales y equipos luego de la aplicación

Se debe definir un área de lavado para la limpieza de materiales y equipos que estuvieron en contacto con los digeridos utilizando los EPP.

Realizar triple lavado de los materiales y equipos en contacto con los digeridos. Para el caso de los envases en contacto con digeridos que no vuelvan a utilizarse, deben pasar no solo por un proceso de triple lavado y posterior agujereado antes de descartarlos.

También, los vehículos empleados durante la manipulación y aplicación de digeridos deben pasar por un proceso de lavado y posteriormente por un enjuague para luego continuar con la desinfección con hipoclorito de sodio diluido o amonio cuaternario.



Es importante lavar muy bien para eliminar todo resto orgánico.

Para la preparación del hipoclorito de sodio diluido, si la solución de hipoclorito con la que se cuenta es de 5 % (55 g de cloro por litro) (solución comercial), la dilución se prepara mezclando 1 parte de hipoclorito de sodio 5% (solución comercial) con 9 partes de agua, es decir 1/10. Reservar en envase opaco y cerrado y no conservarlo por más 24 horas. Para la preparación del amonio cuaternario deben seguirse las recomendaciones del

fabricante. Si la limpieza y desinfección se hace con un producto detergente-desinfectante (ej: amonio cuaternario “Surfanios”) el proceso es en un solo paso.

8.5. Limpieza de áreas de almacenamiento o preparación de EPP y de elementos de manipulación y aplicación de los digeridos

Las áreas de almacenamiento, preparación, limpieza y guardado de EPP y de elementos de manipulación y aplicación de los digeridos deben estar debidamente señalizadas.

La limpieza y la desinfección deberán estar a cargo de personal capacitado. El procedimiento de limpieza siempre se debe realizar desde las áreas más limpias a las más sucias utilizando la técnica de arrastre por medios húmedos sin utilizar métodos secos (escobas, escobillones, plumeros, etc.) que movilicen el polvo ambiental. Se deberá realizar con agua, cepillo, exclusivos del sector, y detergente. Posteriormente, desinfectar con hipoclorito de sodio diluido preparado como se indica en el punto 8.5.



No se debe mezclar hipoclorito de sodio con detergente ya que además de inactivar el producto, produce emanación de gases tóxicos.

En el caso de los elementos utilizados (aplicadores, mochilas, baldes, recipientes) y los EPP reutilizables deben ser lavados y desinfectados antes de guardarlos en el lugar destinado a tal fin.

8.6. Higiene del personal

Al terminar la limpieza, el personal se quitará los guantes y se lavará las manos con jabón antiséptico. Una buena higiene de las manos se logra con la siguiente técnica de lavado:

1. Humedecer las manos
2. Colocar una dosis de jabón antiséptico
3. Enjabonar toda la superficie de manos y muñecas
4. Friccionar durante 15 segundos fuera del chorro del agua corriente, entre los dedos, muñecas, palma y contrapalma
5. Enjuagar con abundante agua

6. Secar con toalla de papel ambas manos y muñecas
7. Cerrar la canilla usando esa toalla de papel
8. Descartar la toalla en bolsa negra

9. ALMACENAMIENTO DE LOS DIGERIDOS

El almacenamiento debe realizarse con el objetivo de:

- Preservar el valor y la calidad del digerido.
- Atenuar las emisiones de olores u otros compuestos que tengan un impacto negativo en el ambiente o la salud humana.

A los fines de garantizar una correcta gestión de los distintos tipos de digeridos que evite riesgos para la salud, el bienestar de la población o el ambiente, se recomienda que éstos sean almacenados cumpliendo con la ubicación, características y requisitos siguientes establecidos en la Norma Técnica.

Se recomienda que en el diseño de las instalaciones de almacenamiento se evalúen las siguientes consideraciones:

- Que cualquier material rechazado o material almacenado contaminado no esté en contacto con ningún otro material en el sitio.
- Que el digerido no se contamine con materias primas que ingresan al proceso o material de rechazo (tratado o no).

A su vez, se recomienda planificar y prever un sector o área del establecimiento destinado a enviar materiales ya digeridos que no cumplan con los requisitos previamente establecidos (por encontrarse fuera de los límites de uno o más parámetros).

9.1. Dentro de la planta de digestión anaeróbica

Con respecto a la ubicación de las estructuras de almacenamiento, dentro de la planta de digestión, se recomienda que se coloquen en un sitio:

- protegido del viento;
- en una zona alta;
- de fácil acceso para el ingreso del transporte (carga-descarga de material);

- evitar zonas con vegetación arbórea, ya que esto incrementa los riesgos potenciales de contaminación del digerido siempre y cuando la estructura de almacenamiento no posea una cubierta.

Las estructuras de almacenamiento son variadas y su elección dependerá del tipo de digerido, del tratamiento posterior aplicado, disponibilidad y costos de materiales y recursos disponibles. Cualquiera sea la instalación de almacenamiento adoptada, el depósito del digerido debe, principalmente, permitir la conservación de la calidad a través del tiempo y minimizar las emisiones de gases. Algunas de las estructuras de almacenamiento utilizadas son:

- tanques herméticos,
- lagunas,
- silos,
- bolsas flexibles.

Si la estructura de almacenamiento no tiene una capa protectora, es necesario tener en cuenta para el cálculo del volumen de la estructura de almacenamiento, el promedio de las precipitaciones según la región.

Para el correcto almacenamiento del digerido se recomienda:

- Impermeabilizar las estructuras de almacenamiento para evitar lixiviación, fugas o derrames del digerido.
- El piso deberá disponer de una membrana plástica por debajo del hormigón (en caso de que la estructura sea un tanque) o por encima del suelo (para lagunas) y estar impermeabilizado a fin de evitar derrames internos.
- Deberá contar con un sistema de contención en el suelo que impida cualquier fuga desde la estructura de almacenamiento.
- Se recomienda, para todo tipo de estructura de almacenamiento, utilizar una cubierta protectora, ya que esto minimizará la posibilidad de contaminación del digerido, reducirá las emisiones gaseosas al ambiente y la acumulación de agua de lluvia (con la

consecuente dilución del digerido). Los materiales utilizados para la cubierta no deben afectar adversamente la calidad del digerido.

- La agitación garantiza la homogeneidad del material y sólo debe ocurrir cuando se tomen muestras del depósito de almacenamiento o bien, antes de la utilización final del digerido.
- El sistema de almacenamiento debe tener las dimensiones adecuadas que permita el almacenamiento de los digeridos al menos durante el periodo en que no es aconsejable su aplicación al suelo.
- Contar con un cerco perimetral a fin de evitar que cualquier persona ajena pueda ingresar tanto a la zona de almacenamiento como a las demás áreas del establecimiento.

Para preservar la calidad del digerido, a diferencia del estiércol animal crudo y otras materias primas para la digestión anaeróbica, el digerido sanitizado presenta un riesgo mínimo de transferencia de patógenos por manipulación y aplicación. Por lo tanto, es importante evitar la recontaminación por estiércol crudo y purines, así como por otros materiales y fuentes no desinfectadas. Se deben tomar precauciones, tanto en la planta de digestión anaeróbica, como en otras áreas de almacenamiento del digerido para preservar su calidad hasta su utilización final.

Para la seguridad general de la salud animal y humana y para evitar la recontaminación del digerido se recomiendan las siguientes medidas de higiene:

- En cada planta de digestión anaeróbica debe haber un "área sucia" estrictamente definida para materia prima fresca/materiales no desinfectados y un "área limpia" dedicada a materiales desinfectados, digerido y otras actividades y materiales "limpios".
- Cualquier movimiento de vehículos y personas entre las áreas "sucias" y "limpias" debe tratarse de manera adecuada, por ej. desinfección de los vehículos o cambio de calzado y ropa de las personas.
- No se debe suministrar materia prima de establecimientos agropecuarios donde haya ganado con problemas de salud graves.
- Para las plantas de digestión anaeróbica que transportan biomasa hacia y desde establecimientos agropecuarios, es vital que no haya contaminación entre establecimientos. Esto se puede lograr asegurándose de que solo se preste servicio a un establecimiento a la vez y que los conductores tomen las precauciones adecuadas

(permanezcan en el vehículo de entrega durante la carga o descarga de biomasa) para evitar la transferencia de contaminantes.

- La eficiencia del transporte se puede mejorar si los camiones cisterna viajan con cargas completas, por lo que la entrega de digerido es seguida por la recolección de purines frescos para la digestión anaeróbica.

Debe evitarse la contaminación cruzada entre materia prima fresca y digerida. Para ello, es necesario tomar estrictas medidas de higiene. Por lo tanto, después de la entrega de materia prima fresca a una planta de digestión anaeróbica, todos los camiones cisterna deben limpiarse antes de ser cargados con digerido para su posterior entrega. Por esta razón, debe haber procedimientos para la limpieza de vehículos en la planta de digestión anaeróbica:

1. Luego de vaciar el tanque del vehículo que contenía la materia prima, todas las superficies internas deberán lavarse con agua del grifo.
2. A continuación, se desinfecta el interior del tanque del vehículo enjuagándolo con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 0,2 % durante 2 minutos. Se recomienda utilizar al menos 200 litros para un camión cisterna de 30 m³ y al menos 150 litros para un camión cisterna de 15 m³.
3. Finalmente, se enjuagan y desinfectan todas las partes exteriores del vehículo, en particular las ruedas.

10. REGISTROS

Se recomienda el establecimiento de un sistema de registro que asegure la trazabilidad del digerido según lo que indica la Norma Técnica:

- Se debe llevar un registro de ingreso de la materia prima indicando el tipo, origen, cantidades, tiempos de retención hidráulica y de las temperaturas durante el proceso.
- Se debe poseer un registro de cada partida de digerido producida, con la siguiente información:
 - Método de digestión empleado.
 - Tipo de material que conforma cada partida de acuerdo a lo señalado en la Tabla 1 en esta Guía (Anexo III de la Norma Técnica).
 - Fecha de inicio y de término de formación de la partida.
 - Destino de aplicación.
 - Otros registros que establezca cada jurisdicción.
- Se debe contar con los informes de ensayos de laboratorio.
- Se debe poseer un registro del destino de aplicación del digerido:
 - Terreno propio: corresponde llevar un registro de la aplicación del mismo.
 - Terreno de terceros: no corresponde, a quien genera el material, llevar un registro de aplicación, pero se debe elaborar un documento de tránsito y transportar el digerido de manera adecuada según los requisitos establecidos por la jurisdicción local. A su vez, previo a su entrega, el material deberá estar caracterizado y cumplir con los parámetros de calidad establecidos en la Tabla 3 en esta Guía (Tabla 1 del Anexo V de la Norma Técnica).
- Quien aplique digerido de terceros, deberá llevar un registro de su aplicación conteniendo la siguiente información:
 - Materia prima que dio origen al digerido.
 - Establecimiento del cual proviene.
 - Volumen recibido.
 - Análisis de caracterización (parámetros de calidad de la Tabla 3 en esta Guía (Tabla 1 del Anexo V de la Norma Técnica).
 - Dosis de aplicación.
 - Lugar de aplicación.

● Si el digerido no se aplica directamente y es transformado a través de algún proceso como por ejemplo compostaje, es necesario llevar un registro conteniendo la siguiente información:

- Materia prima que dio origen al digerido.
- Proveniencia del digerido.
- Volumen de digerido recibido.
- Análisis de caracterización (parámetros de calidad de la Tabla 3 en esta Guía, Tabla 1 del Anexo V de la Norma Técnica).
- Cantidad de digerido usado en la mezcla a compostar.
- Lugar de aplicación o destino del compost.

11. RECOMENDACIONES ADICIONALES PARA LA CORRECTA UTILIZACIÓN DEL DIGERIDO

Es importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones para maximizar los efectos positivos y minimizar cualquier impacto negativo que pudiera producirse por la aplicación de digeridos al suelo:

- Incorporar el digerido al suelo después de la aplicación o al día siguiente, a fin de reducir las pérdidas N por volatilización de amoníaco (NH_3), emisión de óxido nitroso (N_2O) y generación de olores desagradables.
- Incorporar el digerido con un adecuado sistema de aplicación, como un sistema de inyección en suelo o inyectores de arrastre, con lo cual se reducen las pérdidas de amoníaco por encima del 95 %.
- Realizar la aplicación del digerido en el momento de mayor requerimiento del cultivo o fraccionar la dosis aplicando una parte antes de la siembra y otra en el período de mayor requerimiento, considerando que el digerido no puede tomar contacto con órganos comestibles cosechables.
- Cuando no se pueda aplicar la dosis completa de digerido requerida, por ejemplo por contenido de EPTs, se puede complementar los requerimientos de N y P con fertilización química inorgánica.
- No realizar la aplicación de digerido en suelos con conductividad eléctrica (CE) $> 4 \text{ ds/m}$ o con relación de absorción de sodio (RAS) $\geq 12 \text{ meq/L}$ o con porcentaje de sodio intercambiable (PSI) $\geq 15 \text{ cmol}^{\text{c}}/\text{kg}$.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Ciampitti, I. A. & F. O. García. 2007a. "Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. II. Hortalizas, frutales y forrajeras", *IPNI Archivo Agronómico (AA)*; 12: 1-4.
- Ciampitti, I. A. & F. O. García. 2007b. "Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosos e industriales", *IPNI Archivo Agronómico (AA)*; 11: 13-16.
- Clapp, R. B. & G. M. Homberger. 1978. "Empirical equations for some soil hydraulic properties", *Water Resources Res.*; 14: 601.
- Ibáñez Asensio, S.; H. Moreno Ramón & J. M. Gisbert Blanquer. 2012. "El uso del permeámetro de laboratorio", Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/16572>
- Israelsen, O. W. & V. E. Hansen. 1979. "Principios y aplicaciones del riego", Editorial Reverté: Barcelona. 396 p.
- Keller, T. & I. Håkansson. 2010. "Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content", *Geoderma*; 154: 398-406.
- Meisinger, J. 1984. "Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems", Chapter 26, pp 389-416. *In*: Hauck, R. D. 1984. Nitrogen in crop production, ASA, CSSA, and SSSA Books: Wisconsin. 804 p.
- SGAYDS (Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable). 2019. "Resolución 19/2019. Norma Técnica para la Aplicación Agrícola de Digerido Proveniente de Plantas de Digestión Anaeróbica". *Boletín Oficial*, 34.041 - Primera Sección. pp 22-24.
- Swedish Gas Centre. 2007. "SPCR 120 - Certification rules for digestate from biowaste by the quality assurance system of Swedish Waste Management". Avfall Sverige: Borås, Sweden.
- Wischmeier, W. H. & D. D. Smith. 1978. "Predicting Rainfall Erosion Losses – A guide to Conservation Planning", USDA- Agricultural Research Service: Washington DC. *Agriculture Handbook*, 537.

13. ANEXOS

ANEXO A. GLOSARIO DE TÉRMINOS DEFINIDOS EN LA NORMA TÉCNICA

ABONO ORGÁNICO: es el término usado para referirse a la mezcla de materiales que se obtienen de la degradación y mineralización de residuos orgánicos de origen animal (estiércoles), vegetal (restos de cosechas) y restos leñosos e industriales (lodos de depuradoras) que se aplican a los suelos con el propósito de mejorar sus características químicas, físicas y biológicas, ya que aportan nutrientes que activan e incrementan la actividad microbiana, son ricos en materia orgánica, energía y microorganismos y bajos en elementos inorgánicos.

ACUÍFERO: formación geológica subterránea, formada por distintas rocas y minerales según material parental, cuyo espacio poroso se encuentra saturado de agua.

ACUÍFERO CONFINADO: formación en la que el agua subterránea se encuentra encerrada entre dos capas impermeables y es sometida a una presión superior a la atmosférica. El agua de lluvia ingresa en sectores donde el acuífero no está confinado.

ACUÍFERO LIBRE: es aquel acuífero o porción de éste que se encuentra en contacto directo con la zona parcialmente saturada del suelo. En este acuífero la presión de agua en la zona superior es igual a la presión atmosférica, aumentando en profundidad a medida que aumenta el espesor saturado.

ACUÍFERO SEMICONFINADO: acuífero completamente saturado sometido a presión que está limitado en su parte superior por una capa semipermeable y en su parte inferior por una capa impermeable o semipermeable.

BIODIGESTOR: en su forma más simple es un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita materia orgánica de distinto origen (vegetal y animal), al cual además se le agrega agua. Esta mezcla, mediante la fermentación anaeróbica que realizan los microorganismos, es degradada obteniendo como productos metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y trazas de otros gases (biogás). También, se obtiene un subproducto líquido rico en nutrientes, denominado digerido.

BIOGAS: gas combustible que es obtenido mediante la transformación de la biomasa vegetal o animal, que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, mediante la acción de microorganismos como bacterias metanogénicas, entre otras.

BIORRESIDUOS: residuos biodegradables de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y establecimientos de consumo al por menor, y residuos comparables procedentes de plantas de transformación de alimentos. A los fines de la Norma Técnica para la Aplicación Agrícola de Digerido Proveniente de Plantas de Digestión Anaeróbica, los mismos deben provenir de una separación en origen.

CO-DIGESTIÓN: proceso de digestión anaeróbica de sustratos orgánicos diferentes que se realiza de manera conjunta y permite aprovechar el efecto sinérgico de la mezcla.

CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES LÓTICOS: masa de agua que se mueve continuamente en una misma dirección como arroyos y ríos.

CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES LÉNTICOS: masa de agua que no presentan corriente continua, como lagos, embalses y lagunas.

DIGERIDO: material residual obtenido a partir del proceso de digestión anaeróbica de materias primas detalladas en el Anexo III de la Norma Técnica para la Aplicación Agrícola de Digerido Proveniente de Plantas de Digestión Anaeróbica, utilizadas como único sustrato o en co-digestión. Dícese del producto obtenido a la salida del reactor o luego de un periodo de almacenamiento, en cualquiera de sus fracciones sólida o líquida obtenidas luego de un proceso de separación.

DIGESTIÓN ANAERÓBICA (DA): proceso de degradación biológica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno y que, bajo condiciones controladas, permite obtener biogás y digerido.

ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS (EPT): es un término que incluye a metales pesados, metaloides y micronutrientes que, dependiendo de sus características y concentración, pueden ser tóxicos para los seres vivos.

ESTABILIDAD: estado estacionario de un proceso de biodegradación en el cual la actividad biológica se mantiene sin variaciones significativas en el tiempo.

FORSU: fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.

HIGIENIZACIÓN: proceso que involucra el o los tratamientos tendientes a disminuir la presencia de organismos patogénicos a niveles que no provoquen riesgos a la salud y al ambiente.

MATERIAS PRIMAS: materiales orgánicos pasibles de ser tratados por digestión anaeróbica.

MÉTODO DE TRATAMIENTO: a los fines de la Norma Técnica para la Aplicación Agrícola de Digerido Proveniente de Plantas de Digestión Anaeróbica es el/los proceso/s utilizado/s para la higienización de los subproductos de origen animal descriptos en el Anexo IV.

MINERALIZACIÓN: es el proceso por el cual los microorganismos convierten el material orgánico del suelo a formas inorgánicas, liberando nutrientes asimilables para las plantas.

PLAN DE APLICACIÓN: es un protocolo que contempla las características del digerido a aplicar, el sistema suelo, la vegetación y el ambiente circundante. Establece requisitos mínimos en cuanto a parámetros y acciones. Tiene como objetivo que el digerido actúe como proveedor de nutrientes sin generar efectos negativos en el ambiente.

PATÓGENO: también llamado agente biológico patógeno, es un microorganismo capaz de producir enfermedad o daño a la biología de un huésped, sea animal o vegetal.

RECOLECCIÓN DIFERENCIADA: la recogida en la que un flujo de residuos separados en origen, se mantiene diferenciada, según su tipo y naturaleza, para facilitar un tratamiento específico.

RESIDUO BIODEGRADABLE: es un material que puede ser degradado por medios biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales.

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: son aquellos residuos que se generan en los núcleos urbanos o en sus zonas de influencia. Los residuos sólidos urbanos se componen de residuos

orgánicos (alimentos, excedentes de comida), cartón, papel, madera y en general materiales inorgánicos como vidrio, plástico y metales.

SEPARACIÓN EN ORIGEN: segregación de residuos en el sitio en que son generados según categorías que permitan un tratamiento específico de valorización.

SUBPRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL: se encuentran detallados en el punto 4 de la presente guía. Se dividen en tres categorías que reflejan el nivel de riesgo para la salud de las personas y de los animales.

Anexo B. Norma técnica para la aplicación agrícola de digerido proveniente de plantas de digestión anaeróbica (Resolución 19/2019)

La norma técnica puede ser descargada de los siguientes links:

<https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/200656/20190124>

[InfoLEG - Ministerio de Justicia y Derechos Humanos - Argentina](#)

[res19.pdf \(infoleg.gob.ar\)](#)

Anexo C. Métodos de tratamiento de subproductos animales

C.1. Pasteurización

La planta de digestión anaeróbica que utiliza subproductos animales deberá contar con una unidad de pasteurización que podrá recibir únicamente materiales con tamaño de partícula inferior a 12 mm; la planta, a su vez, tendrá que tener:

- sistema de monitoreo que garantice que la temperatura de 70 °C es mantenida durante 1 hora en todo el material a tratar;
- dispositivos de registro continuos de las temperaturas medidas;
- un sistema robusto que impida que la temperatura se encuentre por debajo del umbral mínimo estipulado (70 °C).

La unidad de pasteurización no es necesaria para aquellas plantas que procesan únicamente:

- materiales de Categoría II tratados según el método de **esterilización bajo presión**;
- materiales de Categoría III tratados por alguno de los métodos de **esterilización sin presión** (C3) descritos a continuación en el presente Anexo;
- materiales de la Categoría III que fueron pasteurizados en otra planta habilitada;
- estiércol, guano no mineralizado y contenido del tubo digestivo, productos a base de leche y productos derivados de huevos (Categoría III);
- alimentos balanceados para mascotas o alimentos balanceados de origen animal o que contengan subproductos animales o productos derivados, que no son aptos para la alimentación animal por motivos comerciales, problemas de fabricación u otros defectos pero que no presentan riesgos para la salud pública o de los animales (Categoría III);
- los subproductos de origen animal, si luego el digerido sólido es compostado y la fracción líquida no se utiliza como fertilizante.

C.2. Esterilización bajo presión

Reducción:

Si las partículas de origen animal que deben tratarse son superiores a 50 mm, éstas deben ser reducidas utilizando un equipamiento que garantice que su tamaño no sea superior a 50 mm luego de la reducción.

Duración, temperatura y presión:

Los subproductos de origen animal con partículas de dimensión igual o inferior a 50 mm serán calentados llevando la temperatura en el centro de la masa a más de 133 °C por al menos 20 minutos ininterrumpidamente **bajo presión** (absoluta) de al menos 3 bar. La presión se producirá mediante la evacuación de todo el aire en la cámara de esterilización y la sustitución de este por vapor (vapor saturado); el procedimiento térmico puede ser aplicado como tratamiento único o como fase de esterilización preliminar o sucesiva a la transformación. El tratamiento se puede realizar de manera continua o discontinua.

C.3. Métodos de esterilización sin presión:

Opción a.

Reducción:

Si las partículas de origen animal que deben tratarse son superiores a 150 mm, éstas deben ser reducidas utilizando un equipamiento que garantice que su tamaño no sea superior a 150 mm luego de la reducción.

Duración y temperatura:

Luego de la reducción los subproductos de origen animal serán calentados llevando la temperatura en el centro de la masa a más de 100 °C por al menos 125 minutos, a más de 110 °C por al menos 120 minutos y por último a más de 120 °C por al menos 50 minutos.

Las temperaturas en el centro de la masa pueden ser logradas consecutivamente o mediante la combinación de los períodos de tiempos indicados. El tratamiento se realiza con un sistema discontinuo.

Opción b.

Reducción:

Si las partículas de origen animal que deben tratarse son superiores a 30 mm, éstas deben ser reducidas utilizando un equipamiento que garantice que su tamaño no sea superior a 30 mm luego de la reducción.

Duración y temperatura:

Luego de la reducción los subproductos de origen animal serán calentados llevando la temperatura en el centro de la masa a más de 100 °C por al menos 95 minutos, a más de 110 °C por al menos 55 minutos y por último a más de 120 °C por al menos 13 minutos.

Las temperaturas en el centro de la masa pueden ser logradas consecutivamente o mediante la combinación de los períodos de tiempos indicados. El tratamiento se puede realizar con un sistema continuo o discontinuo.

Opción c.

Reducción:

Si las partículas de origen animal que deben tratarse son superiores a 30 mm, éstas deben ser reducidas utilizando un equipamiento que garantice que su tamaño no sea superior a 30 mm luego de la reducción.

Duración y temperatura:

Luego de la reducción los subproductos de origen animal serán calentados llevando la temperatura en el centro de la masa a más de 100 °C por al menos 16 minutos, a más de 110 °C por al menos 13 minutos, a más de 120 °C por al menos 8 minutos y por último a más de 130 °C por al menos 3 minutos.

Las temperaturas en el centro de la masa pueden ser logradas consecutivamente o mediante la combinación de los períodos de tiempos indicados. El tratamiento se puede realizar con un sistema continuo o discontinuo.

Opción d.

Reducción:

Si las partículas de origen animal que deben tratarse son superiores a 20 mm, éstas deben ser reducidas utilizando un equipamiento que garantice que su tamaño no sea superior a 20 mm luego de la reducción.

Duración y temperatura:

Luego de la reducción, los subproductos de origen animal deben ser calentados hasta lograr su coagulación y prensados para eliminar grasas y agua del material proteico. Posteriormente, debe ser calentado llevando la temperatura en el centro de la masa a más de 80 °C por al menos 120 minutos y por último a más de 100 °C por al menos 60 minutos.

Las temperaturas en el centro de la masa pueden ser logradas consecutivamente o mediante la combinación de los períodos de tiempos indicados. El tratamiento se puede realizar con un sistema continuo o discontinuo.

C.4. Otros métodos:

Cualquier otro método de tratamiento autorizado por la jurisdicción local para el cual el operador ha demostrado que:

- Ha identificado los riesgos pertinentes a la materia prima utilizada;
- El método de tratamiento tiene la capacidad para reducir significativamente los riesgos para la salud humana y de los animales;
- El muestreo del producto final tomado diariamente durante un período de 30 días de producción cumple con los límites establecidos para los parámetros de higienización indicados en la Tabla 1 del Anexo V de la Norma Técnica.

Anexo D. Ejemplo de cálculo de la dosis máxima anual de digerido (DMAD)

Para el cálculo de la dosis máxima anual de digerido (DMAD) se deben considerar las concentraciones de cada EPT presentes en el digerido y los valores límite de dosis anual de carga para los EPT (VLA) establecidos en la Norma Técnica.

Primeramente, debe corroborarse que los EPT presentes en el digerido, no sobrepasen los valores límite establecidos en la Norma Técnica (Tabla d.1). Para esto es necesario realizar previamente la caracterización química del digerido. En este ejemplo, ninguno de los EPT presentes en el digerido sobrepasa el valor límite, por lo que el digerido puede ser aplicado al suelo.

Tabla d.1. Concentraciones de elementos potencialmente tóxicos (EPT) en el digerido a aplicar al suelo según caracterización química del mismo y valores límite establecidos en la Norma Técnica.

EPT	Digerido (mg/L)	Digerido (mg/kg MS)	Valor límite en digerido (mg/kg MS)
Arsénico	0,1024	12,8	15
Cadmio	0,00328	1,2	1,5
Zinc	2,2072	275,9	300
Cobre	1,1488	143,6	150
Cromo Total	0,6992	87,4	100
Mercurio	no detectado	no detectado	0,7
Níquel	0,1096	13,7	30
Plomo	0,06136	7,67	100

Posteriormente, para calcular la **DOSIS MÁXIMA ANUAL DE DIGERIDO (DMAD)** se aplica la siguiente fórmula para cada uno de los EPT presentes en el digerido:

Ecuación 1

$$DMAD = (VLA * 1.000)/C$$

Dónde: **DMAD**: DOSIS MÁXIMA ANUAL DE DIGERIDO expresado en t/ha·año en base seca.

VLA (Valor Límite Anual): Cantidad de EPT para el EPT "nn" expresado en kg/ha·año que se encuentran en la Tabla d.2.

C: Concentración del EPT "nn" en el digerido expresado en mg/kg (base materia seca) que se encuentra en la Tabla d.1.

1.000: Factor de conversión de unidades.

Tabla d.2. Valores límites recomendados en la Norma Técnica para las cantidades de EPT que se podrán aplicar al suelo anualmente (kg/ha·año).

PARÁMETRO	VALOR LÍMITE DE DOSIS ANUAL DE DIGERIDO (VLA) (kg/ha·año)
Arsénico	0,5
Cadmio	0,15
Zinc	30
Cobre	12
Cromo Total	3
Mercurio	0,1
Níquel	3
Plomo	15

Cálculo de DMAD para **arsénico**

$$DMAD_{\text{arsénico}} = (0,5 * 1.000)/12,8$$

$$DMAD_{\text{arsénico}} = 39,1 \text{ t/ha·año}$$

Cálculo de DMAD para *cadmio*

$$\text{DMAD}_{\text{cadmio}} = (0,15 * 1.000)/1,2$$

$$\text{DMAD}_{\text{cadmio}} = 125 \text{ t/ha-año}$$

Cálculo de DMAD para *zinc*

$$\text{DMAD}_{\text{zinc}} = (30 * 1.000)/275,9$$

$$\text{DMAD}_{\text{zinc}} = 108,7 \text{ t/ha-año}$$

Cálculo de DMAD para *cobre*

$$\text{DMAD}_{\text{cobre}} = (12 * 1.000)/143,6$$

$$\text{DMAD}_{\text{cobre}} = 83,6 \text{ t/ha-año}$$

Cálculo de DMAD para *romo total*

$$\text{DMAD}_{\text{romo total}} = (3 * 1.000)/87,4$$

$$\text{DMAD}_{\text{romo total}} = 34,3 \text{ t/ha-año}$$

Cálculo de DMAD para *mercurio*

NO detectado, no se hace el cálculo

Cálculo de DMAD para *níquel*

$$\text{DMAD}_{\text{níquel}} = (3 * 1.000)/13,7$$

$$\text{DMAD}_{\text{níquel}} = 219 \text{ t/ha-año}$$

Cálculo de DMAD para *plomo*

$$\text{DMAD}_{\text{plomo}} = (15 * 1.000)/7,67$$

$$\text{DMAD}_{\text{plomo}} = 1955,7 \text{ t/ha-año}$$

La DMAD que puede aplicarse corresponde al cromo total por ser la de menor DMAD calculada en este ejemplo: 34,3 t/ha-año

Para calcular a cuantos litros de digerido fresco equivalen 34,3 t de digerido en base seca, se debe considerar el % de materia seca del digerido (%MS). En este caso, el %MS del digerido es de 0,8 %. Por lo tanto 0,8 g de digerido en base seca equivalen a 100 ml de digerido fresco, o lo que es lo mismo: 0,008 kg de digerido en base seca equivalen a 1 L de digerido fresco. Por lo tanto:

$$\begin{array}{l} 0,0008 \text{ kg digerido base seca} \text{ ----- } 1 \text{ L digerido fresco} \\ 34.300 \text{ kg (34.3 t) digerido base seca} \text{ ----- } \mathbf{x = 4.287.500 \text{ L digerido fresco}} \end{array}$$

La DMAD a aplicar (en este ejemplo) = 4.287.500 L/ha·año

Anexo E. Ejemplo de cálculo de dosis de aplicación de digerido en base a nitrógeno ($P_{ext} \text{ suelo} < 50 \text{ ppm}$) para un cultivo de trigo

Cálculo de dosis de **N a aplicar** con el digerido

En la Tabla e.1 encontramos detallada la información necesaria para realizar este cálculo:

Tabla e.1. Valores de los parámetros necesarios para realizar el cálculo de la dosis del N a aplicar en un cultivo de trigo.

PARÁMETRO	VALOR (EJEMPLO)
Rendimiento esperado	4.000 kg ha ⁻¹ = 4 t/ha
Requerimiento de N del cultivo	30 kg N/t
N total del suelo 0-20 cm	2,82 g/kg
N-NO ₃ ⁻ del suelo 0-20 cm a la siembra	14,2 ppm
N-NO ₃ ⁻ del suelo 20-40 cm a la siembra	8,3 ppm
N-NO ₃ ⁻ del suelo 40-60 cm a la siembra	7,3 ppm
N-NH ₄ ⁺ del suelo 0-20 cm a la siembra	3,1 ppm
N-NH ₄ ⁺ del suelo 20-40 cm a la siembra	1,2 ppm
N-NH ₄ ⁺ del suelo 40-60 cm a la siembra	0,7 ppm
Densidad aparente del suelo 0-20 cm	1,2 t/m ³
Densidad aparente del suelo 20-40 cm	1,2 t/m ³
Densidad aparente del suelo 40-60 cm	1,3 t/m ³

Para realizar este cálculo utilizar la Ecuación 2.

Ecuación 2

N disponible del suelo

$$N_{a \text{ aplicar}} = \text{Requerimiento } N_{\text{cultivo}} - [(N\text{-NO}_3^- \text{ a la siembra} + N\text{-NH}_4^+ \text{ a la siembra}) * E_s + (N_{\text{org min}} * E_m)]$$

Dónde: $N_{a \text{ aplicar}}$: cantidad de N a aplicar con el digerido (kg N/ha).

Requerimiento N_{cultivo} : cantidad de N requerida por el cultivo según rendimiento esperado (kg N/ha).

$N\text{-NO}_3^-$ a la siembra: contenido de $N\text{-NO}_3^-$ del suelo a la siembra en la profundidad de 0-60 cm (kg N/ha).

$N\text{-NH}_4^+$ a la siembra: contenido de $N\text{-NH}_4^+$ del suelo a la siembra en la profundidad de 0-60 cm (kg N/ha).

E_s : Eficiencia de uso del N inorgánico disponible ($N\text{-NO}_3^-$ a la siembra + $N\text{-NH}_4^+$ a la siembra). Se toma un valor de $E_s = 0,5$ según valores promedios de Meisinger (1984) para el método del balance.

$N_{\text{org min}}$: N orgánico mineralizable. La tasa de mineralización no es constante y cambia según condiciones de humedad y temperatura, de acuerdo a las características del suelo, del ambiente y del sistema de producción. Sin embargo, para realizar el cálculo de la dosis de aplicación se sugiere considerar un valor de $N_{\text{org min}}$ (N mineralizado durante el ciclo del cultivo) correspondiente al 1,5 % del N total del suelo en la profundidad de 0-20 cm (kg N/ha).

E_m : Eficiencia de uso del N org min. Se toma un valor de $E_s = 0,6$ según valores promedios de Meisinger (1984) para el método del balance.

A continuación, realizaremos el cálculo de cada uno de los términos de la Ecuación 2 para el cálculo de la cantidad de N a aplicar utilizando los valores de la Tabla e.1.

Cálculo del $\text{Requerimiento } N_{\text{cultivo}}$: cantidad de N requerida por el cultivo según rendimiento esperado (kg N/ha) para el cultivo de trigo (Ecuación 2.a).

Ecuación 2.a

$$\text{Requerimiento N}_{\text{cultivo}} = \text{Requerimiento N} * \text{Rendimiento esperado}$$

Para realizar el cálculo utilizamos los valores de la Tabla e.1

$$\text{Requerimiento N}_{\text{cultivo}} = 30 \text{ kg-N/t} * 4 \text{ t/ha}$$

$$\text{Requerimiento N}_{\text{cultivo}} = 120 \text{ kg-N/ha}$$

Cálculo del N-NO_3^- a la siembra: contenido de N-NO_3^- del suelo a la siembra en la profundidad de 0-60 cm (kg N/ha).

El cálculo del contenido de N-NO_3^- en la profundidad de 0-60 cm: es la sumatoria del contenido N-NO_3^- de cada profundidad y se expresa en kg/ha (Ecuación 2.b).

Ecuación 2.b

$$\text{N-NO}_3^-_{0 \text{ a } 60} = \text{N-NO}_3^-_{0 \text{ a } 20} + \text{N-NO}_3^-_{20 \text{ a } 40} + \text{N-NO}_3^-_{40 \text{ a } 60}$$

Para calcular el contenido N-NO_3^- para cada profundidad se utiliza la Ecuación 2.c.

Ecuación 2.c

$$\text{N-NO}_3^-_{\text{x profundidad}} = (\text{N-NO}_3^-_{\text{profundidad}} * \text{masa del suelo})/1.000$$

Dónde: $\text{N-NO}_3^-_{\text{x profundidad}}$: cantidad de N-NO_3^- en cada profundidad del suelo (kg/ha).

$\text{N-NO}_3^-_{\text{profundidad}}$: contenido de $\text{N-NO}_3^-_{\text{profundidad}}$ en una profundidad dada del suelo (ppm = g/t).

masa del suelo: ver Ecuación 2.d (t/ha).

1.000: Factor de conversión de unidades.

Lo primero que debemos calcular es la **Masa del Suelo** para ello se utiliza la Ecuación 2.d.

Ecuación 2.d

$$\text{Masa del suelo} = \text{DAP} * \text{Altura de capa de suelo} * \text{Superficie del suelo}$$

Dónde: **Masa del suelo:** (t/ha).

DAP: densidad aparente (t/m³).

Altura de capa de suelo: (m).

Superficie del suelo: (m²).

En la Tabla e.2 se indican los parámetros necesarios para el cálculo de la masa del suelo para cada profundidad.

Tabla e.2. Valores de los parámetros necesarios para realizar el cálculo de la dosis del N a aplicar en un cultivo de trigo.

Profundidad del suelo (cm)	Densidad aparente del suelo (t/m ³)	Altura de la capa del suelo (m)	Superficie del suelo (m ²)
0-20 cm	1,2	0,2	10.000
20-40 cm	1,2	0,2	10.000
40-60 cm	1,3	0,2	10.000

$$\text{Masa del suelo 0 -20 cm} = 1,2 \text{ t/m}^3 * 0,2 \text{ m} * 10.000 \text{ m}^2$$

$$\text{Masa del suelo 0 -20 cm} = 2.400 \text{ t/ha}$$

$$\text{Masa del suelo 20 -40 cm} = 1,2 \text{ t/m}^3 * 0,2 \text{ m} * 10.000 \text{ m}^2$$

$$\text{Masa del suelo 20 - 40 cm} = 2.400 \text{ t/ha}$$

$$\text{Masa del suelo 40 - 60 cm} = 1,3 \text{ t/m}^3 * 0,2 \text{ m} * 10.000 \text{ m}^2$$

$$\text{Masa del suelo 40 - 60 cm} = 2.600 \text{ t/ha}$$

Una vez calculada la masa del suelo el paso siguiente es calcular el contenido ***N-NO₃*** para cada ***profundidad*** utilizando la Ecuación 2.c y los valores dados, para este ejemplo, en la Tabla e.1.

$$\text{N-NO}_3^- \text{ a } 20 = (14,2 \text{ g/t} * 2.400 \text{ t/ha}) / 1.000$$

$$\text{N-NO}_3^- \text{ a } 20 = 34,08 \text{ kg/ha}$$

$$\text{N-NO}_3^- \text{ a } 40 = (8,3 \text{ g/t} * 2.400 \text{ t/ha}) / 1.000$$

$$\text{N-NO}_3^- \text{ a } 40 = 19,92 \text{ kg/ha}$$

$$\text{N-NO}_3^- \text{ a } 60 = (7,3 \text{ g/t} * 2.600 \text{ t/ha}) / 1.000$$

$$\text{N-NO}_3^- \text{ a } 60 = 18,98 \text{ kg/ha}$$

A partir de los resultados obtenidos se calcula el contenido de ***N-NO₃*** en la ***profundidad de 0-60 cm*** utilizando la Ecuación 2.b.

$$\text{N-NO}_3^-_{0 \text{ a } 60} = 34,08 \text{ kg/ha} + 19,92 \text{ kg/ha} + 18,98 \text{ kg/ha}$$

$$\text{N-NO}_3^-_{0 \text{ a } 60} = 72,98 \text{ kg/ha}$$

Cálculo del N-NH_4^+ a la siembra: contenido de N-NH_4^+ del suelo a la siembra en la profundidad de 0-60 cm (kg N/ha).

El cálculo del contenido de N-NH_4^+ en la profundidad de 0-60 cm, al igual que para el contenido de N-NO_3^- es la sumatoria del contenido N-NH_4^+ de cada profundidad y se expresa en kg/ha (Ecuación 2.e).

Ecuación 2.e

$$\text{N-NH}_4^+_{0 \text{ a } 60} = \text{N-NH}_4^+_{0 \text{ a } 20} + \text{N-NH}_4^+_{20 \text{ a } 40} + \text{N-NH}_4^+_{40 \text{ a } 60}$$

Para calcular el contenido N-NH_4^+ para cada profundidad se utiliza la Ecuación 2.f.

Ecuación 2.f

$$\text{N-NH}_4^+_{x \text{ profundidad}} = (\text{N-NH}_4^+_{\text{profundidad}} * \text{masa del suelo})/1.000$$

Dónde: $\text{N-NH}_4^+_{x \text{ profundidad}}$: cantidad de N-NH_4^+ en cada profundidad del suelo (kg/ha).

$\text{N-NH}_4^+_{\text{profundidad}}$: contenido de $\text{N-NH}_4^+_{\text{profundidad}}$ en una profundidad dada del suelo (ppm = g/t).

masa del suelo: ver Ecuación 2.d (t/ha).

1.000: Factor de conversión de unidades.

Entonces, para calcular el contenido **N-NH_4^+ para cada profundidad ($\text{N-NH}_4^+_{x \text{ profundidad}}$)** se utiliza la Ecuación 2.f, los valores de la masa de suelos calculados para $\text{N-NO}_3^-_{0 \text{ a } 60}$ de acuerdo con la Ecuación 2.d y los valores que indica la Tabla e.1, para este ejemplo.

$$\text{N-NH}_4^+_{0 \text{ a } 20} = (3,1 \text{ g/t} * 2.400 \text{ t/ha}) / 1.000$$

$$\text{N-NH}_4^+_{0 \text{ a } 20} = 7,44 \text{ kg/ha}$$

$$\text{N-NH}_4^+_{20 \text{ a } 40} = (1,1 \text{ g/t} * 2.400 \text{ t/ha}) / 1.000$$

$$\text{N-NH}_4^+_{20 \text{ a } 40} = 2,88 \text{ kg/ha}$$

$$\text{N-NH}_4^+_{40 \text{ a } 60} = (0,7 \text{ g/t} * 2.600 \text{ t/ha}) / 1.000$$

$$\text{N-NH}_4^+_{20 \text{ a } 40} = 1,82 \text{ kg/ha}$$

A partir de los resultados obtenidos se calcula el contenido de ***N-NH₄⁺ en la profundidad de 0-60 cm*** utilizando la Ecuación 2.e.

$$\text{N-NH}_4^+_{0 \text{ a } 60} = 7,44 \text{ kg/ha} + 2,88 \text{ kg/ha} + 1,82 \text{ kg/ha}$$

$$\text{N-NH}_4^+_{0 \text{ a } 60} = 12,14 \text{ kg/ha}$$

La Tabla e.3 resume los valores calculados de Nitrógeno disponible en el suelo y los datos utilizados para su cálculo.

Tabla e.3: Contenidos de N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺ del suelo a la siembra en la profundidad de 0-60 cm.

	Profundidad del suelo (cm)			
	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 -60 cm	0 – 60 cm
Densidad aparente del suelo (t/m ³)	1,2	1,2	1,3	
Altura de la capa del suelo (m)	0,2	0,2	0,2	
Superficie del suelo (m ²)	10.000	10.000	10.000	
Masa del suelo (t/ha) Ecuación 2.d	2.400	2.400	2.600	
Contenido N-NO ₃ ⁻ (ppm = g/t)	14,2	8,3	7,3	
Total N-NO ₃ ⁻ (kg/ha) Ecuación 2.b	34,08	19,92	18,98	72,98
Contenido N-NH ₄ ⁺ (ppm = g/t)	3,1	1,2	0,7	
Total N-NH ₄ ⁺ (kg/ha) Ecuación 2.e	7,44	2,88	1,82	12,14

Cálculo del N orgánico mineralizable ($N_{org\ min}$): corresponde al 1,5 % del N total del suelo en la profundidad de 0-20 cm (kg N/ha) (Ecuación 2.g).

Ecuación 2.g

$$N_{org\ min} = N_{total\ suelo\ 0-20\ cm} * 0,015$$

Dónde: **N orgánico mineralizable ($N_{org\ min}$):** 1,5 % del N total del suelo en la profundidad de 0 – 20 cm (kg N/ha).

N total suelo $_{0-20\ cm}$: (kg/ha).

0,015: corresponde al porcentaje.

En primer lugar, se debe convertir el valor de N total del suelo de 0 - 20 cm en kg/ha (Ecuación 2.h).

Ecuación 2.h

$$N_{total\ suelo\ 0-20\ cm\ kg/ha} = N_{total\ suelo\ 0-20\ cm} * masa\ del\ suelo$$

Dónde: **N total suelo $_{0-20\ cm}$ kg/ha:** N total del suelo en la profundidad de 0 - 20 cm expresado en kg/ha.

N total suelo $_{0-20\ cm}$: N total del suelo en la profundidad de 0 - 20 cm dado expresado en kg/kg (Tabla e.1).

masa del suelo: Masa del suelo calculada para la profundidad de 0 - 20 cm expresada en (kg/ha) (Ecuación 2.d – Tabla e.3).

De acuerdo con el ejemplo dado el valor de N total del suelo en la profundidad de 0 - 20 cm es de **2,82 g/kg** (Tabla e.1) y la masa del suelo calculada para esa profundidad es de **2.400 t/ha** (Tabla e.3). Para poder llevar adelante esta conversión es importante que ambos valores estén expresados en la misma unidad de peso, en este caso kg/kg y kg/ha respectivamente.

$$\mathbf{N \text{ total suelo}_{0-20 \text{ cm}} \text{ kg/ha} = (2,82 \text{ g/kg} / 1.000) * (2.400 \text{ t/ha} * 1.000)}$$

$$\mathbf{N \text{ total suelo}_{0-20 \text{ cm}} \text{ kg/ha} = 0,00282 \text{ kg/kg} * 2.400.000 \text{ kg/ha}}$$

$$\mathbf{N \text{ total suelo}_{0-20 \text{ cm}} \text{ kg/ ha} = 6,768 \text{ kg/ha}}$$

Posteriormente, aplicando la Ecuación 2.g se puede calcular el ***N orgánico mineralizable***.

$$\mathbf{N_{org \text{ min}} = 6,768 \text{ kg/ha} * 0,015}$$

$$\mathbf{N_{org \text{ min}} = 101,52 \text{ kg/ha}}$$

Finalmente, con los parámetros calculados ya estamos en condiciones de realizar el cálculo final del ***N a aplicar*** con el digerido (Ecuación 2).

En la siguiente tabla (Tabla e.4) se resumen los parámetros calculados a lo largo del Anexo E.

Tabla e.4: Resumen de los parámetros calculados para realizar el cálculo de N a aplicar con el digerido

PARAMETRO	VALOR
Requerimiento N _{cultivo}	120 kg/ha
N-NO ₃ ⁻ a la siembra	72.98 kg/ha
N-NH ₄ ⁺ a la siembra	12,14 kg/ha
Es	0,5
N _{org min}	101,52 kg/ha
Em	0,6

$$N_{a \text{ aplicar}} = 120 \text{ kg/ha} - [(72,98 \text{ kg/ha} + 12,14 \text{ kg/ha}) * 0,5 + (101,52 \text{ kg/ha} * 0,6)]$$

$$N_{a \text{ aplicar}} = 16,53 \text{ kg N/ha}$$

El Nitrógeno a aplicar para el ejemplo dado es de 16,53 kg N/ha

El paso siguiente consiste en calcular la cantidad de **N aportado por el digerido**. Para ello, se utiliza la Ecuación 3.

Ecuación 3

$$N_{\text{aportado por digerido}} = N\text{-NO}_3^- \text{ digerido} + (N\text{-NH}_4^+ \text{ digerido} * K_v)$$

Dónde: **N_{aportado por digerido}**: en kg N por litro de digerido (kg/L).

N-NO₃⁻ digerido: contenido de N-NO₃⁻ en el digerido (kg/L).

N-NH₄⁺ digerido: contenido de N-NH₄⁺ en el digerido (kg/L).

K_v: constante de volatilización de amonio en base al sistema de aplicación (0,25 incorporado al suelo; 0,5 aplicado en superficie; 1,0 inyectado).

Para realizar este cálculo se debe contar con los siguientes valores: N-NO₃⁻ del digerido y N-NH₄⁺ del digerido. En la Tabla e.5 se indican, a modo de ejemplo, valores de ambos parámetros.

Tabla e.5: Valores, a modo de ejemplo, requeridos para el cálculo de N aportado por el digerido porcino

PARAMETRO	VALOR
N-NO ₃ ⁻ del digerido	NO detectado
N-NH ₄ ⁺ del digerido	4,9 g/L = 0,0049 kg/L
K _v : constante de volatilización	0,5

Cálculo del N aportado por el digerido: de acuerdo con la Ecuación 3 y los valores de la Tabla e.5. Dado que el N-NO₃⁻ del digerido no posee un valor detectable, en este caso, este término se suprime de la ecuación.

$$N_{\text{aportado por digerido}} = (0,0049 * 0,5)$$

$$N_{\text{aportado por digerido}} = 0,001225 \text{ kg/L}$$

Por último, solo nos queda por delante calcular la dosis del digerido que se debe aplicar. Para ello utilizaremos la Ecuación 4.

Ecuación 4
$$\text{Dosis de digerido a aplicar} = (N_{\text{a aplicar}} / N_{\text{aportado por digerido}})$$

Dónde: **Dosis de digerido a aplicar:** litros de digerido a aplicar por ha (L/ha).

N_{a aplicar}: (kg N/ha) (Ecuación 2).

N_{aportado por digerido}: (kg N/L) (Ecuación 3).

De acuerdo con los cálculos realizados a lo largo del Anexo E para el ejemplo dado los valores a utilizar en el desarrollo de la Ecuación 4 son:

N_{a aplicar}	16,53 kg/ha
N_{aportado por digerido}	0,00125 kg/L

Calculo de la Dosis de digerido a aplicar

$$\text{Dosis de digerido a aplicar} = (16,53 \text{ kg/ha} / 0,001225 \text{ kg/ha})$$

Dosis de digerido a aplicar = 13.493,9 L/ha

De acuerdo con los cálculos realizados en base a N, en el ejemplo dado para un cultivo de trigo, la dosis de digerido porcino a aplicar es de 13.493,9 L/ha

Anexo F. Ejemplo de cálculo de dosis de aplicación de digerido en base a fósforo (Pext suelo entre 50 y 100 ppm)

Cálculo de dosis de **a aplicar** con el digerido a partir de P.

En la Tabla f.1 encontramos detallada la información necesaria para realizar este cálculo:

Tabla f.1. Valores de los parámetros necesarios para realizar el cálculo de la dosis del N a aplicar en un cultivo de trigo.

PARÁMETRO	VALOR (EJEMPLO)
Rendimiento esperado	4.000 kg/ha = 4 t/ha
Requerimiento de P del cultivo	5 kg P/t
P aportado por el digerido (P total digerido)	332,85 mg/L = 0,00033285 kg/L

La Ecuación 5 indica cómo realizar el cálculo de la dosis del digerido a aplicar en base al P.

Ecuación 5

$$\text{Dosis de digerido a aplicar} = (P_{\text{a aplicar}} / P_{\text{aportado por digerido}})$$

Dónde: **Dosis de digerido a aplicar:** litros de digerido a aplicar por ha (L/ha).

P_{a aplicar}: requerimiento de P por el cultivo según rendimiento esperado (kg/ha).

P_{aportado por digerido}: P Total del digerido según análisis de caracterización del mismo (kg/L).

En primer lugar, **calcular el P_{a aplicar}**. Este cálculo se hace en función del rendimiento esperado y del requerimiento de P por parte del cultivo (Ecuación 5.a).

Ecuación 5.a

$$P_{\text{a aplicar}} = \text{Requerimiento P} * \text{Rendimiento esperado}$$

Para realizar el cálculo utilizar los valores de la Tabla f.1.

$$P_{\text{a aplicar}} = 5 \text{ kg-P/t} * 4 \text{ t/ha}$$

$$P_{\text{a aplicar}} = 20 \text{ kg/ha}$$

A partir de este dato calcular la dosis de digerido a aplicar en base al P utilizando la Ecuación 5.

$$\text{Dosis de digerido a aplicar} = (20 \text{ kg/ha} / 0,00033285 \text{ kg/L})$$

$$\text{Dosis de digerido a aplicar} = 60.087,1 \text{ L/ha}$$

Según los cálculos realizados en base a P, en este ejemplo, la dosis de digerido porcino a aplicar para un cultivo de trigo es de 60.087,1 L/ha

Es importante destacar que si el cálculo de la dosis de aplicación de digerido se debe realizar en base a P y se comprueba que con esta dosis no se cubren los requerimientos de N del cultivo, se puede complementar el N faltante con fertilizante nitrogenado inorgánico.

Anexo G. Ejemplo de verificación de la carga máxima admitida de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT)

En este ejemplo se realizaron dos aplicaciones previas de digerido en los dos años anteriores (1er y 2do año), correspondiendo la próxima aplicación a realizarse en el presente año, a un tercer año. En la Tabla g.1 se presenta la sumatoria de las tres aplicaciones y los valores de carga máxima admitida de la Norma Técnica.

Tabla g.1. Cantidades de EPT aplicadas en los años anteriores (1er y 2do año), cantidades a aplicarse en el presente año (3er año), sumatoria de las tres aplicaciones y valores de carga máxima admitida de la Norma Técnica.

PARÁMETRO	1er año (kg/ha)	2do año (kg/ha)	3er año (kg/ha) (próxima aplicación)	Sumatoria (kg/ha)	CARGA MÁXIMA ADMITIDA (kg/ha)
Arsénico	0,00210	0,00180	0,00138	0,00528	1,8
Cadmio	0,00005	0,00004	0,00004	0,00013	0,5
Zinc	0,03542	0,03352	0,02978	0,09872	100
Cobre	0,01687	0,02145	0,01550	0,05382	40
Cromo Total	0,00925	0,00895	0,00943	0,02764	10
Mercurio	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,3
Níquel	0,00136	0,00154	0,00148	0,00438	10
Plomo	0,00079	0,00081	0,00083	0,00243	50

Como puede observarse, ninguno de los valores de la sumatoria supera los valores de carga máxima admitida. Esto significa que la aplicación de este digerido puede ser realizada.

Anexo H. Ejemplo de cálculo del volumen máximo de digerido que soporta un suelo (VMS)

En la Tabla h.1 encontramos detallada la información necesaria para realizar este cálculo:

Tabla h.1. Valores de los parámetros necesarios para realizar el cálculo del Volumen Máximo de digerido que soporta un cultivo.

PARÁMETRO	VALOR (EJEMPLO)
Capacidad de Campo (CC)	0,36 g/g
Humedad gravimétrica (Hg)	0,15 g/g
Densidad Aparente (DAp)	1,21 g/cm ³
Profundidad del suelo (prof_suelo)	20 cm

Cálculo del **VMS**

Ecuación 6

$$\text{VMS} = [(\text{CC} - \text{Hg}) * \text{DAp} * \text{prof_suelo}] * 100.000$$

Dónde: **VMS**: volumen máximo de digerido que soporta el suelo (L/ha).

CC: capacidad de campo del horizonte superficial (horizonte A) (g/g).

Hg: Humedad gravimétrica del horizonte superficial (horizonte A) (g/g).

DAp: densidad aparente del horizonte superficial (horizonte A) (g/cm).

prof_suelo: equivalente a la profundidad del horizonte superficial (horizonte A), en general este horizonte no supera los 30 cm.

$$\text{VMS} = [(0,36 \text{ g/g} - 0,15 \text{ g/g}) * 1,21 \text{ g/cm}^3 * 20 \text{ cm}] * 100.000$$

$$\text{VMS} = 508.200 \text{ L/ha}$$

Según los cálculos realizados, el volumen máximo de aplicación de digerido que soporta este suelo (VMS) sin que se produzca encharcamiento y/o escurrimiento es de 508.200 L/ha.

Anexo I. Ejemplo de cálculo de dosis real de aplicación de digerido

Según los cálculos realizados en este ejemplo, la dosis de digerido a aplicar para un cultivo de trigo con un rendimiento esperado de 4 t/ha es de 13.493,9 L/ha (Paso 4 – Anexo E). Por otro lado, el volumen máximo de digerido que soporta el suelo (VMS) en este caso es de 508.200 L/ha (Paso 6 – Anexo H). Al ser el VMS mayor a la dosis de aplicación de digerido, significa que esta última puede ser aplicada sin que se produzca encharcamiento o escurrimiento por lo que es la **dosis real de digerido** (L/ha) que será aplicada al suelo.

La elaboración de esta Guía de Buenas Prácticas fue realizada por un equipo de trabajo multidisciplinario conformado por investigadores especialistas en distintas áreas relacionadas a la temática.

La presente Guía tiene por objeto brindar información sobre la adopción de buenas prácticas y la correcta aplicación agrícola de los digeridos provenientes de plantas de digestión anaeróbicas, fomentando el uso agrícola sustentable de estos materiales, considerando y tomando como base la Normativa existente en Argentina (Norma Técnica para la Aplicación Agrícola de Digerido Proveniente de Plantas de Digestión Anaeróbica (Resolución 19/2019).

Los contenidos de esta Guía junto con el asesoramiento/acompañamiento de un profesional del área son un material de importancia para la toma de decisiones antes y durante el plan de aplicación de digeridos.



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria

Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca



Ministerio de Economía
Argentina