

PROTOCOLO DE MONITOREO DE BIOSÓLIDOS

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	3
2	JUSTIFICACIÓN.....	4
3	OBJETIVO	4
3.1	Objetivo general.....	4
3.2	Objetivo específico	4
4	MARCO LEGAL	4
5	ALCANCE Y APLICACIÓN DEL PROTOCOLO.....	5
6	METODOLOGÍA	5
6.1	Toma y manejo de muestra	5
6.1.1	Plan de monitoreo – Control de calidad en el monitoreo	5
6.1.2	Toma de muestra.....	6
6.1.3	Preservación - Conservación y transporte de muestra.....	17
6.1.4	Frecuencia de monitoreo.....	19
6.1.5	Documentación	19
6.1.6	Normas y buenas prácticas nacionales e internacionales	21
6.2	Análisis de muestras en laboratorios.....	21
6.2.1	Parámetros relevantes.....	21
6.2.2	Número de análisis.....	22
6.2.3	Términos de referencia para el análisis en los primeros 3 años.....	22
6.2.4	Términos referencia para el análisis luego de los 3 años	27
6.2.5	Manejo de los resultados de monitoreo	27
7	BIBLIOGRAFÍA.....	28
8	ANEXOS	29
8.1	Etiqueta del envase de muestra.....	29
8.2	Protocolo de transporte – Cadena de custodia.....	30
8.3	Equipos de muestreo de lodos o biosólidos.....	31



Índice de ilustraciones

Ilustración 1:	Ejemplo de una tabla de números aleatorios (Brobst, 2017).....	13
Ilustración 2:	Las líneas 3 hasta 5 de la tabla de número aleatorios según Ilustración 1 con determinación de los 27 números de dos (2) dígitos que representan los números de las cuadras de donde se tomará la muestra de puntual del cuerpo del sustrato.	13
Ilustración 3:	Esquema de la laguna con malla de 100 cuadrados uniformes sobre toda la superficie de lodo o biosólido acumulado (cuadro con línea ancha).	14

Índice de tablas

Tabla 1: Cantidad de muestras requeridas (Brobst, 2017).....	12
Tabla 2: Equipos de toma de muestra según consistencia del lodo o biosólido (Brobst, 2017) (Véase también el anexo).....	16
Tabla 3: Condición de preservación y tiempos de almacenamiento de muestras de biosólidos (US EPA, POW Sludge Sampling And Analysis Guidance Document , 1989), (State of Ohio Environmental Protection Agency, 2009) (New Jersey Department of Environmental Protection, 2012).....	19
TABLA 4: Normas y recomendaciones internacionales para la medición de los parámetros de biosólidos relevantes según el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Moodley, Archer, Hawksworth, & Leibach, 2008) (New Jersey Department of Environmental Protection, 2012) (State of Ohio Environmental Protection Agency, 2009) (US EPA, Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge, 2003)	25



1 INTRODUCCIÓN

El Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos¹ establece entre las finalidades de la gestión integral, la valorización de los residuos, a través de la reutilización, reciclaje, compostaje u otras alternativas de aprovechamiento o disposición final.

Por otro lado, el precitado Decreto Legislativo establece en su Sexta Disposición Complementaria Final que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento regula el reaprovechamiento de lodos generados en las plantas de tratamiento de agua para consumo humano, las plantas de tratamiento de aguas residuales y otros sistemas vinculados a la prestación de los servicios de saneamiento, de acuerdo con el tipo de actividad a desarrollar.

En ese marco, se emitió el Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, el cual establece las características de los lodos; así como la clasificación, los parámetros para la producción y el control de la aplicación de biosólidos provenientes de la estabilización de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) domésticas o municipales.

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos es la herramienta que permite establecer los procedimientos y metodologías que deben cumplirse para determinar si un lodo proveniente de una PTAR puede ser calificado como biosólido, cumpliendo exigencias definidas respecto:

- Al grado mínimo de estabilización,
- A concentraciones máximas de metales pesados y
- A concentraciones máximas de parámetros microbiológicos, según el caso.

Además, permite determinar las restricciones en la tasa de aplicación de biosólidos en suelos para evitar dotaciones en exceso de nitrógeno y metales pesados.

La aplicación del protocolo, ante la ausencia de capacidades y oferta actual de laboratorios acreditados a nivel Nacional permite el desarrollo de actividades de monitoreo y control del cumplimiento de las disposiciones contenidas en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos Generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, contribuyendo a la protección del ambiente y la salud de las personas.



¹ Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos se emitió en el marco de la Ley N° 30506, Ley que delega en el Poder Ejecutivo la facultad de legislar en materia de reactivación económica y formalización, seguridad ciudadana, lucha contra la corrupción, agua y saneamiento y reorganización de Petroperú S.A., mediante la cual el Congreso de la República delega en el Poder Ejecutivo la facultad para legislar, por el término de noventa (90) días calendario, entre otras, en materia de reactivación económica y formalización, así como en agua y saneamiento.

2 JUSTIFICACIÓN

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos es la herramienta que brinda la orientación técnica necesaria para sustentar la producción de biosólidos y su reaprovechamiento adecuado, de conformidad con lo establecido en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Asimismo, permitirá el desarrollo de acciones de monitoreo a cargo de productores y comercializadores, siendo una herramienta indispensable para las acciones de supervisión y fiscalización ambiental, ante la ausencia de laboratorios con acreditación de métodos necesarios para la caracterización de biosólidos.

Esta herramienta podrá utilizarse supletoriamente para la determinación de la calidad de los lodos generados en las PTAR u otros sistemas de saneamiento para la disposición final o reaprovechamiento en el marco de la Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA.

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo general

Estandarizar la metodología y unidades para el desarrollo del monitoreo, análisis de muestras y evaluación de biosólidos.

3.2 Objetivo específico

El protocolo de monitoreo tiene los siguientes objetivos específicos:

- a) Determinar el procedimiento y criterio técnico para la toma y manejo de muestras de lodos o sustratos de lodo producido en una PTAR; y,
- b) Definir criterios de análisis de estas muestras para evaluar si el lodo o sustrato de lodo producido en una PTAR cumple los criterios para ser calificado como biosólido.

4 MARCO LEGAL

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos es la herramienta que sirve como base para el desarrollo de las acciones de monitoreo, supervisión y fiscalización en el marco de lo establecido en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. En este sentido estas acciones están vinculadas a la aplicación e implementación de las siguientes normas:

- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.
- Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- Ley N° 29325, Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
- Ley N° 30224, Ley que crea el Sistema Nacional para la Calidad y el Instituto Nacional de Calidad.
- Decreto Legislativo N° 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento.
- Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.



- Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, que aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- Decreto Supremo N° 019-2017-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento.
- Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Decreto Supremo N° 004-2015-PRODUCE, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Nacional de Calidad.
- Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA, que aprueba las Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final.

5 ALCANCE Y APLICACIÓN DEL PROTOCOLO

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos es aplicable de forma obligatoria para determinar si se ha producido un biosólido a partir de lodos o sustratos de lodos provenientes de una PTAR, así como para las acciones de monitoreo, supervisión y fiscalización en el proceso de producción y comercialización de biosólidos.

Por otro lado, el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos se centra en la definición de condiciones para el análisis de los parámetros con límites definidos en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y otros sistemas de saneamiento que los generen.

No obstante, según el Reglamento precitado, la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (en adelante, **MVCS**) puede exigir el monitoreo de parámetros adicionales. En este caso, es responsabilidad del productor o comercializador revisar si las condiciones definidas en el presente protocolo son aplicables para el monitoreo de parámetros adicionales.

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos debe ser aplicado para efectos de control operacional de los productores o comercializadores de biosólidos, sin perjuicio de la acreditación de laboratorios ante el Instituto Nacional de Calidad (en adelante, **INACAL**).

Asimismo, el presente Protocolo podrá ser aplicado para las actividades de monitoreo y supervisión en el marco de la Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA “Aprueban Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final”.

6 METODOLOGÍA

6.1 Toma y manejo de muestra

6.1.1 Plan de monitoreo – Control de calidad en el monitoreo

El plan de monitoreo del lodo o biosólido es un documento adicional al manual de operación y mantenimiento de una PTAR (productora del lodo o biosólido) y es la base principal para el control de la calidad en el monitoreo. El plan debe asegurar condiciones similares cada vez que se realiza el monitoreo, a fin de asegurar la comparabilidad de los resultados, considerando los siguientes puntos:

- Metodología para la toma de muestra (se deben considerar las condiciones operacionales representativas de la PTAR productora del lodo o biosólido,



punto de toma muestra – de ser posible georreferenciación, volúmenes de muestras, reactivos de preservación, equipamiento usado, descripción del procedimiento, seguridad del trabajo).

- Contratación de laboratorios externos (lista de laboratorios, verificación de acreditación por parámetro requerido, definición de análisis requeridos, organización de la cadena de custodia, asegurar la adecuada cantidad y calidad de envases para el transporte).
- Documentación (etiquetas estandarizadas, formato y/o registro en el libro de ocurrencias, cadena de custodia).
- Procesamiento de la data (ruta para la evaluación interna, reportes de resultados a terceros).

6.1.2 Toma de muestra

La correcta toma de muestra es crucial para la representatividad de los resultados del análisis del lodo o biosólido y, por lo tanto, para concluir que se cumple con los criterios o parámetros establecidos para los biosólidos, lo que permite su aprovechamiento con riesgos controlados.

La representatividad de los resultados de una toma de muestra se aumenta analizando varias muestras puntuales en una ocasión o muestras compuestas preparadas de varias muestras puntuales. Sin embargo, el mejor conocimiento y fiabilidad sobre la calidad de lodos o biosólidos a largo plazo se logra realizando los monitoreos con las frecuencias definidas en el presente protocolo.

Los lodos o los biosólidos se monitorean, principalmente, en las condiciones en las cuales son entregados al usuario o comercializador, en el momento de la extracción de la PTAR. En caso los lodos o los biosólidos proceden de diferentes procesos de una PTAR como, por ejemplo, de los lechos de secados de los Tanques Imhoff (tratamiento primario) o de las lagunas de estabilización (tratamiento secundario) de la misma PTAR, donde no se puede asegurar una buena homogenización de los diferentes sustratos, se debe realizar lo siguiente:

1. Analizar el lodo o el biosólido de cada procedencia por separado.
2. Producir muestras compuestas con fracciones relacionadas a la producción de cada lodo o biosólido dentro la producción total de estos.

6.1.2.1 Tipos de muestras

6.1.2.1.1 Muestra puntual

La muestra puntual es la muestra de cierto tamaño que ha sido tomada en un punto y momento determinado. La muestra puntual representa únicamente la calidad del lodo o biosólido en el momento del muestreo y respecto a un punto determinado.

La extrapolación de los resultados a partir de una sola muestra puntual a todo el lodo o biosólido producido no es válida. Para asegurar la representatividad sobre la calidad del lodo o biosólido se deben tomar varias muestras puntuales y analizar cada muestra de manera separada o preparar y analizar muestras compuestas a partir de varias muestras puntuales.

6.1.2.1.2 Muestra compuesta

La muestra compuesta es una muestra que resulta de la mezcla y homogenización de varias muestras puntuales. En caso del monitoreo de un lodo o biosólido acumulado por varias semanas o incluso por años, antes de la entrega al usuario (por ejemplo, en



contenedores, reservorios, lechos de secado, fondo de lagunas de estabilización, almiarés, etc.), la muestra compuesta se constituye de muestras puntuales tomadas al azar respecto a la ubicación en el cuerpo total del lodo acumulado, siguiendo las especificaciones en adelante.

Considerando que se trata de la toma de muestra de lodos o biosólidos acumulados por varias semanas, el tiempo entre dos (2) tomas de muestras puntuales no es un factor relevante para la calidad de la muestra compuesta. Se pueden tomar las muestras en el mismo momento o una tras otra, según el avance del trabajo de la toma de muestra.

En caso del monitoreo de un lodo o biosólido de un proceso productivo continuo (deshidratación mecánica, purga de lodo o biosólido líquido a un camión con tanque) la muestra compuesta se compone de muestras puntuales tomadas en el mismo punto. El intervalo entre la toma de cada muestra puntual debe ser por lo menos de treinta (30) minutos. Sin embargo, una mayor representatividad se asegura con la toma de un mínimo de cinco (5) muestras puntuales en un período de dos (2) semanas.

Generalmente, se produce la muestra compuesta de muestras puntuales de la misma masa o volumen. Es importante asegurar una buena homogenización de las muestras puntuales que forman la muestra compuesta, porque finalmente en el laboratorio se utiliza solo una menor parte de la muestra, lo que aumenta el riesgo de analizar solo la parte de una muestra puntual.

De toda la muestra compuesta se obtiene el volumen de muestra necesario para el análisis principal y en caso de su necesidad el volumen para la muestra dirimente.

El procedimiento práctico de la preparación y subdivisión de la muestra compuesta depende de la condición física de la muestra (véase los ítems 6.1.2.1.2.1 hasta 6.1.2.1.2.3).

6.1.2.1.2.1 La preparación de muestras compuestas de lodos o biosólidos líquidos

Las muestras compuestas de sustratos líquidos se producen asegurando una homogenización completa entre muestras puntuales dentro de un envase / botella de cuello ancho de plástico o acero inoxidable con un volumen que permite una agitación intensiva con barras batidoras de vidrio, teflón o cucharas de acero inoxidable.

Es importante que se evite la separación de las fases de la muestra por sedimentación, especialmente en el momento de transvasado de una submuestra, por ejemplo, para el envío al laboratorio. Una alternativa es la toma de la submuestra del volumen bien agitado mediante una pipeta con boca suficientemente abierta para tomar todas fracciones de sólidos de la muestra.

6.1.2.1.2.2 La preparación de muestras compuestas de lodos o biosólidos pastosos

Dependiendo de la consistencia se puede homogenizar lodos o biosólidos pastosos con batidoras mecánicas manuales. Otra opción aceptable es la homogenización con la mano (con guantes adecuados) de varias submuestras antes de juntar y homogenizar todo el sustrato.

La reducción de la muestra compuesta al volumen necesario para el análisis se realiza por cuarteo. Se forma de toda la muestra homogenizada una torta regular encima de una superficie lisa y limpia, partiéndola en 4 pedazos uniformes; 2 partes



diametralmente opuestas se homogeniza nuevamente y cuartea de la manera descrita antes, hasta cuando el volumen de la muestra se haya reducido al volumen necesario para el análisis principal y de ser el caso para la muestra dirimente.

La subdivisión y toma de la muestra se debe realizar rápidamente para evitar que se descomponga la mezcla.

6.1.2.1.2.3 La preparación de muestras compuestas de lodos o biosólidos secos

Los sustratos o lodos o biosólidos secos tienen la tendencia a formar conglomerantes de diferentes tamaños y de alta dureza. Por lo tanto, para una buena homogenización puede ser necesario reducir sus tamaños mediante el uso de molinos, batidoras o almireces.

Las submuestras, preparadas de tal manera, se juntan y homogenizan posteriormente en un envase cerrado, agitándolas o rotándolas.

En caso de grandes cantidades de muestras de sustrato granular se asegura la homogenización, ordenando las muestras puntuales en forma de un anillo encima de una superficie plana, lisa y limpia. Posteriormente, con una pala se lleva una parte del anillo hacia su centro avanzando por todo el perímetro del anillo donde se acumula un cono de las muestras mezcladas. Luego, se aplasta el cono para obtener un disco el cual se divide en cuatro (4) partes, se apila nuevamente en un cono, el cual se aplasta y divide nuevamente para su apilamiento. Este procedimiento se repite por lo menos 3 (tres) veces.

La reducción de la muestra compuesta al volumen necesario para el análisis se realiza por cuarteo como descrito en el ítem 6.1.2.1.2.2.

6.1.2.1.3 Tipo de muestras para el análisis de los diferentes parámetros

En caso del análisis de los parámetros químicos se analiza en el laboratorio muestras compuestas preparadas de un mínimo de cinco (5) muestras puntuales, salvo la definición de cantidades diferentes en el presente protocolo.

En caso del análisis de los parámetros microbiológicos se analizan muestras puntuales, sin mezcla con otras muestras.

6.1.2.2 Punto de la toma de muestra

Un buen punto de toma de muestra es representativo del material a evaluar, debe ser fácil de alcanzar sin peligros para la persona que toma la muestra. En el caso ideal debe asegurar la toma de muestra del lodo o biosólido en un proceso de movimiento, por ejemplo descargas de máquinas procesadoras del lodo, fajas transportadoras, tubos y canal de transporte de lodo. Sin embargo, esto depende mucho del proceso de generación del lodo y su condición física.

6.1.2.2.1 Lodos o biosólidos líquidos

Toma de muestra de tubos

Las muestras puntuales deben obtenerse directamente de tuberías transportadoras del lodo o biosólido. El punto de la toma de muestra debe ser siempre el mismo. Los puntos que aseguran una buena homogenización de las muestras son tubos de presión directamente después de la bomba de lodos, y tubos de mayor velocidad de flujo ($> 0,6$ m/s). La instalación de la toma de muestra (tubos, válvulas) debe ser lavado con el mismo flujo de lodo o biosólido ante de la toma de muestra. El tiempo de lavado debe asegurar un volumen de lavado correspondiente a mayor que 3 veces del



volumen de la instalación misma. Además, hay que asegurar que sedimentos filamentosos atrapados en la instalación de muestra no favorezcan una filtración de la muestra tomada.

La toma de muestra de canales abiertos se realiza en zonas de buena mezcla mediante baldes o probetas adecuadas. Dependiendo del contenido de sólidos del lodo es posible toma la muestra por bombeo.

Toma de muestra de reservorios o cisternas

En caso de la toma de muestras puntuales de reservorios con agitación completa se puede sacar muestras de lodos o biosólidos líquidos en cualquier punto que asegure la representatividad y la toma de muestra en condiciones de seguridad.

En caso de toma de muestra de reservorios o camiones cisternas sin mezcla completa, se toma las muestras puntuales preferentemente durante la descarga del contenido en determinados intervalos. De esta manera se asegura la toma de muestras de los distintos estratos que se pueden formar en el lodo estancado. De las muestras puntuales se prepara una muestra compuesta, representativa del lodo total.

En caso de toma de muestra de reservorios sin agitación completa y acceso correspondiente se puede sacar también muestras puntuales de diferentes puntos distribuidos al azar sobre la superficie del reservorio. La cantidad (N) mínima de muestras puntuales a tomar en este caso se puede determinar según la Ecuación 1. de un volumen de lodo o biosólido conocido (V en m³) se puede determinar según la siguiente fórmula:

Ecuación 1: Determinación de la cantidad mínima de muestras puntuales de un volumen de lodo o biosólido conocido

$$N = V^{0.5}/2.$$

N = Cantidad mínima de muestras puntuales

V = Volumen del lodo o biosólido en m³

La cantidad mínima (n) debe ser en todo caso mayor o igual que 5. Opcionalmente se puede aplicar también el método descrito en el ítem 6.1.2.2.1.

Si no es posible asegurar la toma de todo el perfil del lodo o biosólido, se puede tomar en los puntos definidos alternativamente submuestras en diferentes profundidades, por ejemplo, a 25%, 50%, 75% de la profundidad total del sustrato acumulado.

6.1.2.2.2 Lodos o biosólidos pastosos y secos

Toma de muestra de descargas

En caso de la toma de muestra de lodos o biosólidos deshidratados mecánicamente se deben tomar muestras puntuales de la descarga del equipo de deshidratación, de las caídas de las fajas transportadoras a otras fajas o al punto almacenamiento temporal (contenedor o apilamiento), cada vez captando la muestra directamente de la caída de los lodos o biosólidos. Si es posible se capta toda la caída durante un tiempo definido en un recipiente adecuado o solo una parte.

Toma de muestras de fajas transportadoras

Como conglomerados de lodo tienen la tendencia de clasificarse según tamaño en una faja transportadora es importante tomar muestras de la sección transversal completa



de la faja. Esto se logra por ejemplo pasando una pala de forma transversal de un lado al otro lado de la faja operativa, desviando la cantidad necesaria del lodo o biosólido al recipiente de la muestra. En caso que la cinta no opere se toma el volumen necesario de la muestra directamente de la cinta.

Toma de muestra de contenedores

En caso de la toma de muestra de un contenedor estándar para el transporte vial, se debe conseguir al menos cuatro (4) muestras de diferentes puntos del contenedor. Cada muestra debe contener todo el perfil del lodo o biosólido acumulado o submuestra de diferentes profundidades a lo largo del perfil. Es importante no tomar solo muestras superficiales, porque la superficie generalmente está expuesta a impactos climáticos, lo que puede afectar la concentración de sólidos, sólidos volátiles y nutrientes. Por lo tanto, preferentemente se toma muestras intermitentes durante el proceso de descarga del lodo o biosólido.

Toma de muestra de lechos de secado

En caso de toma de muestras de lechos de secado se divide la superficie de un lecho en cuatro (4) cuadros. Del centro de cada cuadro se saca una muestra puntual (en total cuatro (4) muestras) de todo el perfil del lodo o biosólido acumulado, permitiendo la preparación de una muestra compuesta por lecho a partir de las cuatro (4) muestras puntuales. Es importante evitar que la muestra de lodo sea contaminada con arena de la capa filtrante del lecho de secado.

En caso de la operación de varios lechos de secado en paralelo se repite este procedimiento en cada lecho.

Si los lechos de secado reciben el lodo o biosólido de diferentes procesos, por ejemplo, de diferentes Tanques Imhoff de una PTAR, es responsabilidad del productor decidir:

1. Si las unidades que alimentan los lechos de secado tienen un funcionamiento y eficiencia similar (por lo cual se pudiera esperar calidades similares en cada lecho de secado) y/o
2. El lodo o biosólido de los lechos de secado será bien homogenizado antes de su entrega.

En caso que se puedan homogenizar las muestras tomadas en cada lecho, se debe preparar mínimo una (1) muestra compuesta de las muestras compuestas por lecho de secado para el análisis en el laboratorio. De no ser posible, se deben analizar las muestras compuestas por lecho de secado separado.

Toma de muestra de almiar o apilamientos

En caso de la toma de muestra de almiar o apilamientos de lodos o biosólidos secos, que requieren ser removidos frecuentemente como en el proceso de compostaje, se obtienen las muestras puntuales de la máquina o del equipo que descarga el lodo o biosólido al envase de entrega o a diferentes profundidades de la parte del almiar desde la cual se está tomando el sustrato para el envasado. Es importante no tomar solo muestras superficiales, porque la superficie generalmente está expuesta a impactos climáticos, que pueden afectar la concentración de sólidos y nutrientes.



La cantidad mínima de muestras a tomar se puede determinar según la Ecuación 1. Opcionalmente se puede aplicar también el método descrito en el ítem 6.1.2.2.1.

En caso de toma de muestra desde arriba de almiares o apilamientos hay que tomar precauciones especiales respecto a la seguridad en el trabajo.

6.1.2.2.1 Muestras de cuerpos de lodo o biosólido acumulado de grandes extensiones

En caso de toma de muestras puntuales de cuerpos de lodo o biosólido acumulado de grandes extensiones, por ejemplo, en patios de acopio y/o en el fondo de lagunas de estabilización, se deberá determinar mediante consideraciones estadísticas:

- la ubicación de los puntos de la toma de muestra y
- la cantidad (N) mínima de muestras puntuales

La cantidad (N) de muestras puntuales a tomar por superficie del cuerpo de lodo o biosólido corresponde a lo indicado en la Tabla 1 y depende del caudal de ingreso a la PTAR generadora del lodo o biosólido.

Determinación de la ubicación de los puntos de muestra

Para determinar la ubicación de los puntos de toma de muestras puntuales se sigue los siguientes pasos:

- 1) Preparar un esquema del cuerpo del lodo o biosólido según escala en una hoja A4.
- 2) Poner una malla de 100 cuadrados de la misma superficie encima del esquema. Asignar a cada cuadrado un número, contando de 0 a 99 de un cuadrado al siguiente. Este procedimiento es comparable con el procedimiento para la definición de los puntos de medición cuando se realiza la batimetría de lodos en una laguna operativa.
- 3) Determinar en una tabla de números aleatorios la cantidad (N) de números de dos (2) dígitos. Se empieza con una línea de la tabla de números aleatorios elegida al azar. La Ilustración 1 demuestra el ejemplo de una tabla de números aleatorios. Entre los números de 2 dígitos determinados no se permite repeticiones.
- 4) Los (N) números aleatorios determinados corresponden con los números de los cuadrados de la malla puesta encima del esquema en el segundo paso.

Cabe mencionar que en caso de irregularidad del cuerpo de lodos o biosólidos algunos cuadrados de la malla quedan afuera de cuerpo de lodo o biosólido. En este caso hay que aumentar la cantidad de los números determinados de la tabla de número aleatorios hasta cuando la cantidad de los cuadrados dentro del cuerpo de biosólidos determinados corresponde con la cantidad (N) mínima de muestras a tomar "N".

Como se indica en el ítem 6.1.2.1.3, para el análisis de parámetros microbiológicos se analizan muestras puntuales. Por lo tanto, la Tabla 1 indica también la cantidad mínima de muestras puntuales del lodo o biosólido que se deben analizar en caso de necesidad, dependiendo del tamaño de la PTAR.



Tabla 1: Cantidad de muestras requeridas (Brobst, 2017)

Tamaño de la PTAR en caudal en L/s	Cantidad mínima de muestras puntuales tomadas "N" ^{1),3)} (Para preparar muestra compuesta)	Número de muestras compuestas preparadas a partir de (N) a analizar ^{1),2)}	Número mínimo de muestras puntuales para el análisis de parámetros microbiológicos ¹⁾
< 10	15	1	2
≥ 10 < 100	27	1	3
≥ 100 < 300	31	2	4
≥ 300	36	3	5

Nota:

- 1) En caso de lagunas el número de muestras se refiere a cada laguna.
- 2) Corresponde con la frecuencia anual de monitoreo para PTAR con producción anual de sustrato, según tabla 4 del Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales para biosólidos de Clase A
- 3) De forma opcional se puede determinar la cantidad mínima (N) de muestras puntuales por laguna según la Ecuación 1, considerando el volumen de lodo acumulado en la laguna.



39 65 76 45 45	19 90 69 64 61	20 26 36 31 62	38 24 97 14 97	95 06 70 99 00
73 71 23 70 90	65 97 60 12 11	31 56 34 19 19	47 83 75 51 33	30 62 38 20 46
72 20 47 33 84	51 67 47 97 19	98 40 07 17 66	23 05 09 51 80	59 78 11 52 49
75 17 25 69 17	17 95 21 78 58	24 33 45 77 48	69 81 84 09 29	93 22 70 45 00
37 48 79 88 74	63 52 06 34 30	01 31 60 10 27	35 07 79 71 53	28 99 52 01 41
02 89 08 16 94	85 53 83 29 95	56 27 09 24 43	21 78 55 09 82	72 61 88 73 61
87 18 15 70 07	37 79 49 12 38	48 13 93 53 96	41 92 45 71 51	09 18 25 38 94
98 83 71 70 15	89 09 39 59 24	00 06 41 41 20	14 36 59 25 47	54 45 17 24 89
10 08 58 07 04	76 62 16 48 68	58 76 17 14 86	59 53 11 52 21	66 04 18 72 87
47 90 56 37 31	71 82 13 50 41	27 55 10 24 92	28 04 67 53 44	95 23 00 84 47
93 05 31 03 07	34 18 04 52 35	74 13 39 35 22	68 95 23 92 35	36 63 70 35 33
21 89 11 47 99	11 20 99 45 18	76 51 94 84 86	13 79 93 37 55	98 16 04 41 67
95 18 94 06 97	27 37 83 28 71	79 57 95 13 91	09 61 87 25 21	56 20 11 32 44
97 08 31 55 73	10 65 81 92 59	77 31 61 95 46	20 44 90 32 64	26 99 76 75 63
69 26 86 86 13	59 71 74 17 32	48 38 75 93 29	73 37 32 04 65	60 82 29 20 25
41 47 10 25 03	87 63 93 95 17	81 83 83 04 49	77 45 85 50 51	79 88 01 97 30
91 94 14 63 62	08 61 74 51 69	92 79 43 89 79	29 18 94 51 23	14 85 11 47 23
80 66 54 18 47	08 52 85 08 40	48 40 35 94 22	72 65 71 08 86	50 03 42 99 36
67 72 77 63 99	89 85 84 46 06	64 71 06 21 66	89 37 20 70 01	61 65 70 22 12
59 40 24 13 75	42 29 72 23 19	06 94 76 10 08	81 30 15 39 14	81 83 17 16 33
63 62 66 34 41	79 53 36 02 95	94 61 09 43 62	20 21 14 68 86	94 95 48 46 45
78 47 23 53 90	79 93 96 38 63	34 85 52 05 09	85 43 01 72 73	14 93 87 81 40
87 68 62 15 43	97 48 72 66 48	53 16 71 13 81	59 97 50 99 52	24 62 20 42 31
47 60 92 10 77	26 97 05 73 51	88 46 38 03 58	72 68 49 29 31	75 70 16 08 24
36 88 87 59 41	06 87 37 78 48	65 88 69 58 39	88 02 84 27 83	85 81 56 39 38
22 17 68 65 84	87 02 22 57 51	68 69 80 95 44	11 29 01 95 80	49 34 35 86 47
19 36 27 59 46	39 77 32 77 09	79 57 92 36 59	89 74 39 82 15	08 58 94 34 74
16 77 23 02 77	28 06 24 25 93	22 45 44 84 11	87 80 61 65 31	09 71 91 74 25
78 43 76 71 61	97 67 63 99 61	80 45 67 93 82	59 73 19 85 23	53 33 65 97 21
03 28 28 26 08	69 30 16 09 05	53 58 47 70 93	66 56 45 65 79	45 56 20 19 47
04 31 17 21 56	33 73 99 19 87	28 72 39 27 67	53 77 57 68 93	60 61 97 22 61
61 06 98 03 91	87 14 77 43 96	43 00 65 98 50	45 60 33 01 07	98 99 46 50 47
23 68 35 26 00	99 53 93 61 28	52 70 05 48 34	56 65 05 61 88	90 92 10 70 80
15 39 25 70 99	93 86 52 77 85	15 33 59 05 28	22 87 26 07 47	86 96 98 29 06
58 71 96 30 24	18 46 23 34 27	85 13 99 24 44	49 18 09 79 49	74 16 32 23 02
93 22 53 64 39	07 10 63 76 35	87 03 64 79 88	08 13 13 85 51	55 34 57 72 69
78 76 58 54 74	92 38 70 96 92	52 06 79 79 45	82 63 18 27 44	69 66 92 19 09
61 81 31 96 82	00 57 25 60 59	46 72 60 18 77	55 66 12 62 11	08 99 55 64 57
42 88 07 10 05	24 98 65 63 21	47 21 61 88 32	27 80 30 21 60	10 92 35 36 12
77 94 30 65 39	28 10 99 00 27	12 73 73 99 12	49 99 57 94 82	96 88 57 17 91

Ilustración 1: Ejemplo de una tabla de números aleatorios (Brobst, 2017)

El siguiente ejemplo ilustra la determinación de los 27 puntos de monitoreo del lodo o biosólido de una laguna de una PTAR de un caudal de $\geq 10 < 100$ L/s.

- La Ilustración 2 indica la determinación de los 27 números de dos (2) dígitos en el rango de 00 hasta 99 de la tabla de números aleatorios según Ilustración 1, empezando con la línea 3, siguiendo con las líneas 4 y 5 de la tabla.

72 20 47 33 84
75 17 25 69 17
37 48 79 88 74

51 67 47 97 19
17 95 21 78 58
63 52 06 34 30

98 40 07 17 66
24 33 45 77 48
01 31 60 10 27

23 05 09 51 80
69 81 84 09 29
35 07 79 71 53

59 78 11 52 49
93 22 70 45 00
28 99 52 01 41

Ilustración 2: Las líneas 3 hasta 5 de la tabla de número aleatorios según Ilustración 1 con determinación de los 27 números de dos (2) dígitos que representan los números de las cuadras de donde se tomará la muestra de puntual del cuerpo del sustrato.



- La Ilustración 3 muestra el esquema de la laguna de estabilización con la malla de 0 hasta 99 cuadrados uniformes encima de su superficie (según el paso 1 del procedimiento definido anteriormente). Los cuadrados con líneas cruzadas representan los espacios determinados para la toma de muestra en el procedimiento indicado en la Ilustración 2. Las muestras se sacan del centro de cada cuadrado.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99

Ilustración 3: Esquema de la laguna con malla de 100 cuadrados uniformes sobre toda la superficie de lodo o biosólido acumulado (cuadro con línea ancha).

El incremento de la frecuencia de monitoreo a la que hace referencia el párrafo 17.5 del artículo 17 del Reglamento para el Reaprovechamiento de Lodos generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales no se considera para la toma de muestras establecidas en el presente numeral.

En caso que la calidad del lodo acumulado no corresponda a las exigencias de un biosólido, el reaprovechamiento no será posible.

6.1.2.3 Consideraciones para la muestra

Para la toma de muestra se debe considerar lo siguiente:

- En caso de no usar para cada toma de muestra un equipo nuevo, debe lavarse intensamente² el equipo usado, para prevenir la contaminación de las siguientes muestras.
- En caso del monitoreo de parámetros microbiológicos es importante la desinfección del equipo después de cada toma de muestra.
- El procedimiento de la toma de muestra debe ser adecuadamente documentado.

En caso de toma de muestra de tubos transportadores de lodo, se debe purgar los restos de muestras anteriores del tubo de toma y lodo o biosólido estancado en la

² El lavado intenso involucra las siguientes actividades:

1. Remoción de sólidos pegados en el equipo.
2. Lavado del equipo en un balde con detergente y escobilla.
3. Enjuagar el equipo con agua y después con agua destilada.
4. En caso de medición de parámetros microbiológicos esterilizar el equipo.



línea de transporte. El equipo de toma de muestra se enjuaga tres (3) veces cada vez, antes que se tome una muestra, para reducir la contaminación cruzada.

6.1.2.3.1 Volumen de la muestra

El análisis de los parámetros establecidos en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, requiere un volumen de aproximadamente 2 kg (2 litros aproximadamente) para el total de los parámetros químicos y 0,5 kg (0,5 litros aproximadamente) para los parámetros microbiológicos.

El volumen total de una muestra compuesta debe ser suficiente para realizar hasta un mínimo de dos (2) análisis en paralelo, para el análisis principal y para la posible muestra dirimente.

El volumen o masa necesaria para la muestra depende también de la concentración de los sólidos. El análisis de los parámetros químicos requiere siempre de una masa mínima de sólidos, por lo cual lodos o biosólidos muy líquidos requieren más volumen, para tener la misma cantidad de sólidos que un lodo o biosólido ya deshidratado.

Por lo tanto, en caso de contratación de laboratorios externos se debe consultar antes sobre los volúmenes o masas exactas requeridas para las muestras, generalmente los laboratorios suministran los envases adecuados y preparados para envasar la cantidad necesaria.

6.1.2.3.2 Equipo para la toma de muestra

El equipo correcto para la toma de muestras del lodo o biosólido depende de su consistencia y del punto de monitoreo. La Tabla 2 indica los equipos de toma de muestra, para el caso que no sea posible obtenerla directamente de una tubería de transporte o la descarga del lodo o biosólido no sea accesible para la toma de muestra.

En caso de muestras puntuales líquidas de un reservorio, tanque o laguna, ésta se toma con un tubo de metal, plástico o vidrio de 1 – 2 pulgadas, con una válvula check en el fondo. El tubo se desliza lentamente y verticalmente por el lodo o biosólido acumulado, entonces la válvula check se abre y el lodo o biosólido ingresa al tubo según el perfil del lodo o biosólido analizado. En el momento de retiro del tubo la válvula check cierra y el lodo o biosólido queda atrapado.

El extractor de muestras de lodos o biosólidos secos es similar a un extractor de muestras de suelo y contiene 2 tubos concéntricos. El tubo exterior tiene una punta con la cual permite la penetración de la muestra. El extractor se cierra rotando el tubo interior.

El barreno de barrilete tubular para lodos o biosólidos semisecos o pastosos es un tubo cortado y abierto a lo largo del eje longitudinal. Este equipo se utiliza también para el monitoreo de suelos. La punta de un lado es puntiaguda, lo que permite la penetración del lodo o biosólido. La muestra queda atrapada en el espacio hueco del tubo cortado una vez que se lo retira del lodo o biosólido.

El barreno manual de tipo espiral permite sacar muestras de lodos o biosólidos compactos, este equipo se utiliza también para el monitoreo de suelos.

En el caso de lodos o biosólidos granulares, una pala de mano permite obtener la muestra.



Tabla 2: Equipos de toma de muestra según consistencia del lodo o biosólido (Brobst, 2017) (Véase también el anexo)

Equipo	Tamaño de muestra	Consistencia del sustrato	Tamaño del equipo
Equipo de toma de lodos o biosólidos líquidos	Corte transversal de toda la columna de lodo o biosólido o solo de una cierta altura de la columna (según equipo)	Sustratos de fluidez libre	1,5 – 15 m
Extractor de muestras	Corte transversal de la columna de lodo o biosólido	Sustratos granulares o en polvo	0.5 – 1.0 m
Barreno de barrilete tubular	Corte transversal de la columna de lodo o biosólido	Sustratos pegajosos	hasta 1.0 m
Barreno manual de tipo espiral	Corte transversal de la columna de lodo biosólido, muestra puntual	Biosólido compacto	variable
Pala manual	Muestra puntual	Sustratos granular, polvorizado o suelto	variable

El material del equipo para tomar y procesar las muestras no debe ser fuente de contaminación para la muestra, por lo cual se debe utilizar dispositivos de vidrio, teflón, acero inoxidable o plástico.

6.1.2.3.3 Preparación de materiales y equipos

El siguiente listado considera los materiales, equipos e implementos de seguridad indispensables para llevar a cabo un monitoreo de forma efectiva. En ese sentido, es importante preparar con anticipación los materiales de trabajo, formatos (registro de datos de campo, etiquetas para las muestras de agua residual y cadena de custodia). Se debe contar, sin carácter limitante, con lo siguiente:

6.1.2.3.3.1 Materiales

- Fichas de registro de campo
- Fichas de cadena de custodia
- Papel secante
- Cinta adhesiva
- Plumón indeleble
- Frascos debidamente preparados y etiquetados
- Cajas térmicas (pequeña y grande)
- Hielo u otro refrigerante
- Bolsas de poliburbujas u otro material de embalaje adecuado
- Piseta
- Agua destilada y/o desionizada
- Reloj
- Cinta métrica
- Papel aluminio
- Plano con los puntos de monitoreo predefinidos (en caso de monitoreo de mayores cuerpos de lodo)

6.1.2.3.3.2 Equipos

- GPS para la identificación de los puntos de monitoreo



- Cámara fotográfica
- Equipamiento para la mezcla y homogenización según condición esperada del sustrato (botellas, batidora, pala, molino, almirez, etc.)
- Equipo de toma de muestra de lodo, según consistencia del biosólidos muestreado.

6.1.2.3.3 Implementos de seguridad

- Botines de seguridad
- Gafas de seguridad
- Guantes de jebe antideslizantes con cubierta de antebrazo
- Guantes de látex descartables
- Casco
- Arnés para profundidades mayores a 1,50 m
- Escalera móvil en caso de toma de muestra de contenedores
- Mascarilla protectora descartable
- Mascarillas con filtros antigases, cuando corresponda
- Mameluco (en caso de muestreo de biosólido en forma de polvo)

6.1.2.3.4 Seguridad de trabajo

Se establecen las siguientes consideraciones para prevenir daños personales, daños de materiales y equipos durante la ejecución del monitoreo de biosólidos:

1. Se debe preferir puntos de toma de muestra seguros, de fácil acceso.
2. Si la muestra se extrae por encima de un buzón, reactor, tanque, laguna u otro recipiente se deben guardar las medidas de seguridad para trabajos en alturas y/o encima de cuerpos de agua (uso de arnés, chalecos flotadores, máscara antigases, etc.)
3. Si el punto de muestreo está confinado es necesario ventilarlo antes de realizar la toma de muestra en un período mínimo de una hora. Es necesario, además, usar un detector de gas y/o usar un equipo de respiración autónoma.
4. Debe utilizarse guantes, zapatos antideslizantes y cascos.
5. Después del monitoreo es necesario cambiar los materiales, equipos e implementos de seguridad utilizados durante el mismo y que estuvieron en contacto con el lodo o biosólido, para prevenir contaminación de terceros.
6. El personal debe demostrar contar con vacunas vigentes a la fecha para Tetanus, Difteria, Polio, Hepatitis A, según correspondan.

En general se debe tener conocimiento de lo siguiente:

1. El peligro de explosión causado por la mezcla de gases explosivos en sistemas de alcantarillado o tanques de lodo insuficientemente estabilizados.
2. El riesgo de envenenamiento por gases tóxicos, por ejemplo, ácido sulfhídrico en lugares poco ventilados y aireados.
3. El riesgo de sofocación por la falta de oxígeno en lugares poco ventilados y aireados.
4. El riesgo de enfermedades causadas por organismos patógenos en biosólidos.
5. El riesgo de heridas físicas debido a caídas y deslizamiento.
6. El riesgo de ahogamiento.
7. El riesgo de impacto por objetos que puedan caer.

6.1.3 Preservación - Conservación y transporte de muestra

Las muestras se transportan en envases de boca ancha de polietileno o teflón, materiales que no reaccionan con las muestras. El uso de envases de vidrio es



posible, sin embargo, requiere precauciones de seguridad especiales, debido a que se pueden formar gases y mayores presiones durante el transporte de la muestra, lo cual genera el riesgo de destrucción del envase implicando riesgos para la salud del personal y la pérdida de la muestra.

Los envases tienen que ser libres de fisuras y resistentes contra fuerzas mecánicas típicas durante el envío de cargas, utilizando en caso de botellas de vidrio, bolsas de poliburbujas, de embalaje o de cualquier otro material. Las tapas de los envases deben asegurar el sello de la muestra contra el aire ambiental.

Es importante, que todos los envases sean lavados y esterilizados antes de llenarlos con la muestra. En caso del análisis por laboratorios acreditados, ellos normalmente entregan los envases adecuados, lavados y de ser el caso esterilizados, por lo tanto, preparados para el uso directo.

Durante todo el proceso de preparación de muestra, el personal debe cumplir con las exigencias mínimas para la prevención de una contaminación cruzada de las muestras.

Para conservar las muestras hay que guardarlas en ambientes oscuros con temperaturas menores a 4 °C. Estas temperaturas previenen procesos de digestión que pueden alterar la calidad de la muestra y conservan las condiciones biológicas³. Por tal razón, es importante realizar el enfriamiento en un corto período. Para acelerar el proceso de enfriamiento es recomendable poner las botellas con la muestra en un baño con cubos de hielo y agua o almohadillas refrigerantes. Una vez enfriada, la muestra debe colocarse en una caja de almacenamiento térmica con refrigerante (ice pack), para cumplir con la recomendación de temperatura indicada. En caso de utilizar hielo, se debe colocar éste en bolsas herméticas para evitar fugas de la caja donde se transportan las muestras.

La congelación es una opción para la preservación de muestras de lodos o biosólidos, salvo para aquellas que servirán para el análisis de parámetros microbiológicos establecidos en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. La conservación química de las muestras no es necesaria para el análisis de los mencionados parámetros.

A pesar de las temperaturas bajas, se debe tomar precauciones durante el transporte y la apertura de los envases ante la posible acumulación de gases dentro del envase.

Se permite diferentes tiempos de almacenamiento de la muestra, según el parámetro analizado, para realizar muestras dirimientes posteriormente. En tanto los parámetros microbiológicos deben ser analizados dentro de 24 horas a partir de la toma de muestra, para el análisis de metales pesados se puede guardar la muestra hasta seis (6) meses, véase la Tabla 3.

La muestra y su envase deben estar cerrados y sellados adecuadamente para su transporte. El formato de cadena de custodia debe acompañar a las muestras desde su obtención o toma, transporte hasta su ingreso al laboratorio.



³ Los parámetros microbiológicos deben ser analizados dentro de las 24 horas después de la toma de muestra.

Tabla 3: Condición de preservación y tiempos de almacenamiento de muestras de biosólidos (US EPA, POW Sludge Sampling And Analysis Guidance Document , 1989), (State of Ohio Environmental Protection Agency, 2009) (New Jersey Department of Environmental Protection, 2012)

Parámetros	Material del envase	Tiempo máximo de almacenamiento
Pérdida por calcinación (sólidos totales, sólidos volátiles)	Plástico, Vidrio	7 días con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo, Níquel, Zinc, Cromo	Plástico, Vidrio	6 meses con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Mercurio	Plástico, Vidrio	28 días con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Nitrógeno total		
Nitrógeno total de Kjeldahl	Plástico, Vidrio	28 días con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Nitrato	Plástico, Vidrio	28 días con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Escherichia coli	Plástico, Vidrio	24 horas con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Salmonella Sp.	Plástico, Vidrio	24 horas con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Huevos de helmintos viables	Plástico, Vidrio	1 mes con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$

6.1.4 Frecuencia de monitoreo

La obligación de monitoreo y de los parámetros monitoreados depende principalmente de la clase (A o B) que se pretende asignar o al biosólido producido, las exigencias normativas, los resultados de los monitoreos anteriores, el estado operativo y la tecnología del tratamiento de agua y lodo aplicada en la PTAR productora.

En caso de producción y calificación del lodo como biosólido, la Tabla 4 del Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales indica las frecuencias mínimas de monitoreo del biosólido dependiendo de la cantidad entregada por año y la Clase (A o B) y los resultados de los monitoreos anteriores.

En caso de producción y entrega del biosólido en períodos intermedios de varios años, por ejemplo, en caso del biosólido de lagunas de estabilización, la frecuencia de monitoreo es de menor importancia. En su caso importa más la cantidad de muestras puntuales a tomar para su análisis directo o el procesamiento de muestras compuestas, según las indicaciones del ítem 6.1.2.2.2.1.

6.1.5 Documentación

6.1.5.1 Etiquetado de la muestra

Los frascos deben ser etiquetados, con letra clara y legible. De preferencia debe usarse plumón de tinta indeleble y cubrir la etiqueta con cinta adhesiva transparente conteniendo la siguiente información:

- Número de identificación de la muestra.
- Nombre de la empresa y unidad del proceso donde se toma la muestra.
- Fecha y hora de la toma de muestra.
- Ubicación del punto de la toma de muestra (georeferenciada).



- Tipo de muestra (compuesta, puntual).
- Nombre de la persona que toma la muestra.
- Tipo y procedimiento de medidas de conservación.
- Parámetros analizados de la muestra.
- Comentarios.

Los envases pueden estar previamente etiquetados o se podrán utilizar adhesivos específicos para registrar o rotular la información indicada.

Un ejemplo para una etiqueta se encuentra en el ítem 8.1. del presente protocolo. Laboratorios acreditados ante INACAL pueden utilizar su propio formato de etiqueta.

6.1.5.2 Protocolo de transporte – Cadena de custodia

La Cadena de Custodia es el procedimiento documentado de la toma de muestra, su transporte y entrega al laboratorio. El formato de cadena de custodia debe indicar al menos:

- Número de muestra.
- Parámetros a evaluar.
- Tipo de frascos que contienen la muestra.
- Condiciones o características de la muestra de lodo o biosólido: líquido, pastoso o seco.
- Volumen de la muestra.
- Condiciones de conservación.
- Nombres y firmas de cada persona involucrada entre la toma de muestra hasta la recepción en el laboratorio. (Con hora y fecha de entrega en cada paso).
- Observaciones

Un ejemplo de formato se encuentra en el ítem 8.2. del presente protocolo. Laboratorios acreditados ante INACAL pueden utilizar su propio formato de etiqueta.

6.1.5.3 Libro de ocurrencias – Protocolo de la toma de muestra

El generador del lodo o biosólido debe contar con un libro de ocurrencia y monitoreo en el cual se anota información técnica del muestreo como condiciones del punto o puntos de muestreo y descripción del proceso, así como otros datos referenciales. Es recomendable trabajar con un formato propio.

La información del libro de ocurrencias y monitoreo sirve para aclarar incertidumbres en la interpretación de los resultados, pero también para analizar y eventualmente optimizar las actividades para el siguiente monitoreo. La información relevante para el registro, sin perjuicio de la información que el generador considere oportuna, es:

- Fecha, hora y ubicación de los puntos de la toma de muestra.
- Tipo, cantidad y volumen de las muestras tomadas.
- Personas participantes
- Condiciones climáticas.
- Equipo de toma de muestra.
- Descripción del proceso de la toma.
- Número de identificación de las muestras.
- Método y empresa responsable del transporte de las muestras.



6.1.6 Normas y buenas prácticas nacionales e internacionales

Los métodos de ensayo incluyen indicaciones sobre la toma de muestra para los lodos o biosólidos. Sin embargo, estos métodos deben estar acreditados por el INACAL o cualquier Organismo de acreditación firmante de acuerdos de Reconocimiento Multilateral (MLA) de la cooperación Internacional de Acreditación de laboratorios (ILAC).

No obstante, el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales permite en los primeros tres (3) años a partir de la publicación del protocolo de monitoreo, el análisis de los parámetros de los biosólidos previstos en el Reglamento, mediante laboratorios con aplicación de métodos no acreditados por INACAL.

Por tal razón, debido que para la calidad de una muestra es muy relevante la determinación del punto de la toma de muestra y siendo esta responsabilidad del productor y/o comercializador de biosólidos, el presente protocolo proporciona orientaciones respecto a normas internacionales reconocidas, relacionadas a la toma de muestra de lodos y biosólidos. Sin carácter limitante, algunas de estas son:

Normas del Deutsches Institut fuer Normung y de la International Standard Organisation - DIN ISO

- DIN EN ISO 5667-13:2011-08:
- DIN 38414-11:1987-08

United States Environmental Protection Agency – US EPA (nacional, federal)

- US EPA 833-B-89-100:
- US EPA: Biosolids Reference Sheet (Brobst, 2017)
- EPA New Jersey: New Jersey Sludge Sampling and Analytical Guidance Document
- EPA, Ohio: Manual of Ohio EPA Sludge Program Field Sampling Methods and Quality Assurance Practices

6.2 Análisis de muestras en laboratorios

6.2.1 Parámetros relevantes

El Reglamento para el Reaprovechamiento de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales establece en sus artículos 13 y 14, los parámetros relevantes para el análisis de biosólidos. A continuación, se indican los parámetros químicos y microbiológicos, así como las unidades para su análisis:

Los parámetros químicos relevantes para el análisis de biosólidos según el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales son:

- Pérdida por calcinación (determina el grado de estabilización) en % o $\text{kg}_{\text{Sólidos totales volátiles}} / \text{kg}_{\text{Sólidos totales}}$,
- Nitrógeno total en $\text{g}_{\text{Nitrógeno}} / \text{kg}_{\text{Sólidos totales}}$,
- Metales pesados (arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc) en $\text{mg}_{\text{Metal}} / \text{kg}_{\text{Sólidos totales}}$,

Los parámetros microbiológicos relevantes para el análisis de biosólidos según el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales son:



- Salmonellas sp. en NMP / 10 g Sólidos totales,
- Escherichia coli en NMP / 1g Sólidos totales
- Huevos viables de Helmintos en 1 / 4 g Sólido totales

Los laboratorios deben relacionar la masa o cantidad de la contaminación detectada a la masa de los sólidos totales de la muestra, por lo cual, parte del análisis de la muestra es siempre determinar también la concentración de los sólidos.

6.2.2 Número de análisis

Se debe realizar por cada parámetro al menos un análisis. En caso se realice más de un análisis, el resultado válido en caso de parámetros químicos será el promedio aritmético de ambos análisis y en caso de parámetros microbiológicos el promedio geométrico.

6.2.2.1 Muestra dirimente

La muestra dirimente es la muestra que se toma en la misma oportunidad que la muestra original, sea esta puntual o compuesta, la cual es analizada bajo los mismos criterios y es comparable en caso existan eventuales reclamos sobre la validez de los resultados de la muestra original. En este caso, se aplicará la muestra dirimente según lo establecido por el laboratorio de acuerdo al literal k, del numeral 4.6.1. del Reglamento para la Acreditación de Organismos de Evaluación de la Conformidad (OEC).

La muestra dirimente se aplica solo a los parámetros químicos y a la presencia de huevos de helmintos viables, aplicando las medidas de conservación de muestras adecuadas en el laboratorio.

La muestra dirimente se contrata separadamente, por lo cual los laboratorios tienen la obligación de informar a los productores y/o comercializadores de los lodos o biosólidos, previamente a su contratación sobre los alcances y costos de ella.

6.2.3 Términos de referencia para el análisis en los primeros 3 años

Los métodos de ensayo para el producto de lodos o biosólidos deberán estar acreditados por el INACAL o cualquier Organismo de acreditación firmante de acuerdos de Reconocimiento Multilateral (MLA) de la Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios (ILAC).

Si bien el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales permite en un período de tres (3) años de aprobado el protocolo de monitoreo, el análisis de parámetros a través de laboratorios con aplicación de métodos no acreditados por INACAL, debido a la importancia de un buen monitoreo de los lodos o biosólidos para la salud pública y el ambiente, también los laboratorios sin metodología acreditada deben aplicar metodologías según las buenas prácticas y normas internacionales indicadas en la TABLA 4.

A continuación se presentan algunos términos de referencia que contienen normas internacionales de referencia para el monitoreo del lodo o biosólido.

6.2.3.1 Parámetros químicos

6.2.3.1.1 Pérdida por calcinación

Para determinar la pérdida por calcinación se debe medir primero los sólidos totales, después se queman los sólidos, quedando la ceniza. La diferencia de masa entre los sólidos totales y la ceniza corresponde a la pérdida por calcinación o también a los



sólidos volátiles. La relación de la pérdida de calcinación y la masa de los sólidos totales en porcentaje (%) corresponde al indicador del grado de la estabilización del sustrato.

La información sobre los sólidos totales de la muestra es también base para el análisis de la presencia de metales pesados, nitrógeno y parámetros microbiológicos en el sustrato.

Normas y recomendaciones internacionales para la medición de sólidos totales y sólidos totales volátiles se encuentran en la TABLA 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

6.2.3.1.2 Metales pesados

Hay diferentes tecnologías para la detección de metales pesados.

1. Una tecnología normalizada internacionalmente para el análisis de lodos o biosólidos es la espectroscopia de emisión por plasma de acoplamiento inductivo (ISP), la cual sirve para detectar una gran parte de los metales pesados, menos el mercurio.

Al inicio de la medición hay que preparar una dilución de la muestra del lodo o biosólido que contiene todos los metales, esto se puede hacer por la extracción mediante agua regia. Dicho líquido alimenta el equipo analizador en el cual será transformado en un aerosol mediante el gas Argón para su ionización en un plasma generado por un campo magnético oscilante. Las temperaturas hasta 8000 K dentro del plasma aseguran que todos átomos serán ionizados.

Dependiendo del tipo de medición por ISP:

- a. Los iones serán acelerados por un campo eléctrico hacia un espectrómetro de masas, el cual detecta la presencia y concentración (masa) de presencia del elemento (p. e. metal pesado). En este caso se habla del ISP-MS.
- b. Sensores ópticos miden las radiaciones emitidas de los iones, las cuales tienen longitudes de ondas específicas por cada elemento y la intensidad de la radiación. De esta manera se identifica el elemento (p. e. metal pesado) presente y su concentración. En este caso se habla del ISP-OES

La tecnología tiene su debilidad en caso de dominancia de presencia de un elemento particular. Sin embargo, normalmente este punto no es relevante en los lodos o biosólidos dentro del marco del presente protocolo.

2. Otra tecnología normalizada internacionalmente para el análisis de presencia y concentraciones de metales pesados en lodos o biosólidos es la espectrometría de absorción atómica (AA). Se atomiza y activa los elementos (metales pesados) de una dilución de la muestra del lodo o biosólido, por ejemplo, en temperaturas elevadas, y manda luz de cierta longitud de onda por la nube de átomos. Dependiendo del tipo del átomo y la concentración de su presencia en la nube parte de la luz será adsorbida. La diferencia entre la luz emitida y adsorbida identifica el elemento y la concentración de su presencia en la muestra.

Dependiendo del tipo de atomización de la muestra del lodo o biosólido se diferencia los sistemas de análisis de la espectrometría de absorción atómica de mayor aplicación entre:



- a. El sistema de calentamiento en tubos de grafito (AA-ET) hasta temperaturas de 2500 °C,
- b. El sistema de reducción primero los elementos (metales pesados) presentes a sus hidruros gaseosos, tras reacción química y calentarlos después hasta temperaturas cerca de 1000 °C. En este caso se habla de la (AA-HG o AA Hidruro). Esta tecnología detecta solamente aquellos elementos que reaccionan a hidruros gaseosos.

En caso de la detección de mercurio se trabaja con otros químicos para su reducción y además con menores temperaturas. Por esto se habla en su caso con detección en vapor frío (AA-CV).

Normas y recomendaciones internacionales para la medición de metales pesados se encuentran en la TABLA 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

6.2.3.1.3 Nitrógeno total

El nitrógeno total se mide quemando la muestra en condiciones especiales, las cuales aseguran que todas las formas químicas de nitrógeno se conviertan en nitrógeno elemental, presente en el gas de incineración. El nitrógeno del gas se separa para la determinación de su concentración.

La concentración de nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal se determina mediante el método de Kjeldahl, donde se separa primero ambas fracciones del nitrógeno de la muestra del lodo o biosólido por digestión en condiciones ácidas y extracción en condiciones básicas. La cantidad del nitrógeno extraído se determina posteriormente.

El nitrato se mide en la solución de la muestra por ejemplo por fotometría.

Normas y recomendaciones internacionales para la medición de nitrógeno total se encuentran en la TABLA 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

6.2.3.2 Parámetros microbiológicos

6.2.3.2.1 Escherichia Coli

El primer paso para su análisis consiste en lavar la muestra del sustrato en agua destilada por cierto tiempo y diluir esta solución varias veces. De la dilución se realiza el monitoreo de Escherichia Coli según el procedimiento para la determinación del NMP en aguas vía tubos de incubación con sustrato de incubación de Escherichia Coli.

Normas y recomendaciones internacionales para la medición de Escherichia Coli se muestran en la Tabla 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

6.2.3.2.2 Salmonellas sp.

El procedimiento es similar al procedimiento para Escherichia Coli, pero se utiliza el medio de incubación correspondiente para Salmonellas sp.

Normas y recomendaciones internacionales para la medición de Salmonellas sp se detallan en la TABLA 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

6.2.3.2.3 Huevos de helmintos

En un proceso de lavado (con surfactantes), colado y centrifugado (con ciertos químicos) de la muestra en varias etapas, se separa los huevos de helmintos del resto de la sustancia particular de la muestra. En una segunda etapa se incuban los huevos separados para determinar su viabilidad.



Normas y recomendaciones internacionales para la medición de Huevos de Helmintos se detallan en la TABLA 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

TABLA 4: Normas y recomendaciones internacionales para la medición de los parámetros de biosólidos relevantes según el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Moodley, Archer, Hawksworth, & Leibach, 2008) (New Jersey Department of Environmental Protection, 2012) (State of Ohio Environmental Protection Agency, 2009) (US EPA, Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge, 2003)

Parámetro	Norma y/o método normalizada¹⁾
Pérdida por calcinación (sólidos totales)	SM 2540 G-1997 DIN EN 12880:2001-02
Pérdida por calcinación (sólidos totales volátiles)	SM 2540 G-1997 DIN EN 15935:2012-11
Arsénico	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7061 (AA Hidruro) SW-846 Method 7060*, SW-846 Method 7010 (AA ET) DIN 38405-35:2004-09 (AA) DIN EN ISO 15586:2004-02 (AA) ISO 17378-2:2014-02 (AA Hidruro) DIN EN ISO 17294-2: 2005-02 (ICP-MS) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES)
Cadmio	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7130*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7131*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS) DIN 38406-16:1990-03 (Voltametría)
Cromo	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7190*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7191*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS)
Cobre	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7210*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7211*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS) DIN 38406-7:1991-09 DIN 38406-16:1990-03 (Voltametría)



Parámetro	Norma y/o método normalizada ¹⁾
Plomo	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7420*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7421*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS) DIN 38406-6:1998-07 DIN 38406-16:1990-03 (Voltametría)
Mercurio	SW-846 Method 7471 (Cold Vapor (manual)) DIN EN ISO 17294-2 DIN EN ISO 12846:2012-08
Níquel	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7520*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7521*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS) DIN 38406-11:1991-09 DIN 38406-16:1990-03 (Voltametría)
Zinc	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7950*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7951*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS) DIN 38406-8:2004-10 DIN 38406-16:1990-03 (Voltametría)
Nitrógeno total	ISO 13878:1998-03
Nitrógeno total de Kjeldahl	SM 4500-Norg B or C-1997 EPA Method 351.1 (TKN) EPA Method 351.2 (TKN) SM 4500-Norg D-1997 DIN EN 13342:2001-01
Nitrógeno del nitrato	SW-846 Method 9056
Salmonellas Sp.	DIN 38414-13:1992-03 SM 9260 D EPA Method 1682 Note 11,12 "Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge", Appendix G (Kenner and Clark), EPA/625/R-92/013, July 2003 (Método de análisis) "Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge", Appendix F, EPA/625/R-92/013, July 2003



Parámetro	Norma y/o método normalizada ¹⁾
Escherichia Coli	(Método de preparación de muestra) SM-9221 C E-2006 EPA Method 1680 Note 15,12 EPA Method 1681 Note 16,12 (Método de análisis) "Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge", Appendix F, EPA/625/R-92/013, July 2003 (Método de preparación de muestra)
Huevos de helmintos viables	Yanko (1987) and "Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge", Appendix I, EPA/625/R-92/013, July 2003 Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Moodley et al: Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine–Diversion Waste in South Africa (Moodley, Archer, Hawksworth, & Leibach, 2008)

- 1) SM significa Método estandarizado para la examinación de aguas y aguas residuales, American Public Health Association, 1015 15th Street, NW., Washington, DC 20005
SW-846 significa Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, EPA Publication SW-846, incluyendo todas modificaciones y actualizaciones.
- 2) ISP, ISP-OES, ISP-MS, AA, AA-ET, AA-Hidruro véase el ítem 6.2.3.1.2.

6.2.4 Términos referencia para el análisis luego de los 3 años

Según el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales se reconoce después de un plazo de tres (3) años de adecuación solo resultados de mediciones en base de la aplicación de métodos de análisis acreditados por INACAL.

6.2.5 Manejo de los resultados de monitoreo

6.2.5.1 Registro y reportes internos

Los resultados de los análisis son almacenados y registrados colocando toda la información en orden cronológico (señalando la fecha de monitoreo) en una hoja de cálculo o una base de datos computarizada. La información es comparada con los límites de calidad para biosólidos establecidos en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

El registro cronológico de los datos es necesario para determinar tendencias a largo plazo respecto a la calidad del lodo o biosólido, permitiendo obtener conclusiones sobre el funcionamiento de su producción e ingreso de contaminantes (metales pesados) no controlados en el proceso de producción.

Esta información, conjuntamente con la información del protocolo de monitoreo, la cadena de Custodia y los documentos conteniendo los reportes de los análisis realizados en los laboratorios correspondientes, deberá ser almacenada por un periodo mínimo de cinco años, debiendo estar, el archivo, a disposición del MVCS.

6.2.5.2 Registro y reportes externos

Los resultados del monitoreo son reportados al Registro Nacional de Producción y Reaprovechamiento de Biosólidos, que administra el MVCS y entregados a los adquirentes y/o usuarios finales de biosólidos, según las indicaciones del Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales .



7 BIBLIOGRAFÍA

Andreoli, C. V., van Sperling, M., & Fernandes, F. (2007). *Sludge treatment and disposal*. London: IWA Publishing.

ATV (DWA). (1996). *ATV-Handbuch: Klärschlamm*. Berlin: Ernst & SohnVerlag.

BMU. (2012). *Klärschlammverordnung*. Berlin: Bundesgesetzblatt.

Brobst, R. (4 de 12 de 2017). *Biosolids Reference Sheet*. Obtenido de EPA: <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/handbook2.pdf>

Moodley, P., Archer, C., Hawksworth, D., & Leibach, L. (2008). *WRC Report No. TT322/08: Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine–Diversion Waste in South Africa*. Gezina: Water Research Commission.

New Jersey Department of Environmental Protection. (2012). *New Jersey Sludge Sampling and Analytical Guidance Document*. New Jersey: New Jersey Department of Environmental Protection.

State of Ohio Environmental Protection Agency. (2009). *Manual of Ohio EPA Sludge Program Field Sampling Methods And Quality Assurance Practices*. Ohio: State of Ohio Environmental Protection Agency.

US EPA. (1989). *POW Sludge Sampling And Analysis Guidance Document* . US EPA.

US EPA. (1993). *Preparing Sewage Sludge for Land Application or Surface Disposal*. US EPA.

US EPA. (1994). *A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule*. Washington, DC: US EPA.

US EPA. (2003). *Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge*. Cincinnati: US EPA.

US EPA. (2007). *Title 40: Protection of Environment Part 503—Standards for the use or disposal of sewage sludge*. US EPA.



8 ANEXOS

8.1 Etiqueta del envase de muestra

Nombre del productor o comercializador del lodo/biosólido:					
Denominación de la unidad ¹⁾ donde se toma de muestra:					
Ubicación georeferenciado del punto de muestreo:	Zona:		Este:		Norte:
Nº de muestra (orden de toma de muestra):					
Fecha y hora de la toma:					
Tipo de muestra:	<input type="checkbox"/> puntual		<input type="checkbox"/> compuesta		
Preservación:	<input type="checkbox"/> Enfriamiento insitu <input type="checkbox"/> Conservación en caja térmica con hielo <input type="checkbox"/> Otra <hr/>				
Parámetros físicos ²⁾ :	<input type="checkbox"/> ST	<input type="checkbox"/> STV	<input type="checkbox"/> Ar	<input type="checkbox"/> Cd	<input type="checkbox"/> Cu
	<input type="checkbox"/> Hg	<input type="checkbox"/> Ni	<input type="checkbox"/> Pb	<input type="checkbox"/> Zn	<input type="checkbox"/> N
Parámetros biológicos ³⁾ :	<input type="checkbox"/> CTT	<input type="checkbox"/> Salmonelas	<input type="checkbox"/> HH		
Otros parámetros:					
Operador de la toma de muestra (nombre/firma):					

1) Por ejemplo: Lecho de secado, centrífuga de lodos, fondo de laguna de estabilización.

2) ST: Sólidos totales, STV: Sólidos totales volátiles, Ar: Arsénicos, Cd: Cadmio, Cu: Cobre, Cr: Cromo, Hg: Mercurio, Ni: Níquel, Zn: Zinc, PB, Plomo, N: Nitrógeno total

3) CTT: Coliformes termotolerantes, HH: Huevos de helmintos viables

8.2 Protocolo de transporte – Cadena de custodia

Nombre del productor o comercializador del lodo/biosólido:																					
Nº de muestra	Tiempo de la toma		Muestra			Tipo de frasco	Parámetros a medir ¹⁾													Observaciones	
	Hora	Fecha	Volumen	Condición física	Conservación	Material	ST	STV	Ar	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	N	CTT	Salm		HH

Responsable del productor			
Nombre / Apellido	Institución	Hora / Fecha	Firma

Operador de la toma de muestra			
Nombre/ Apellido	Institución	Hora / Fecha	Firma

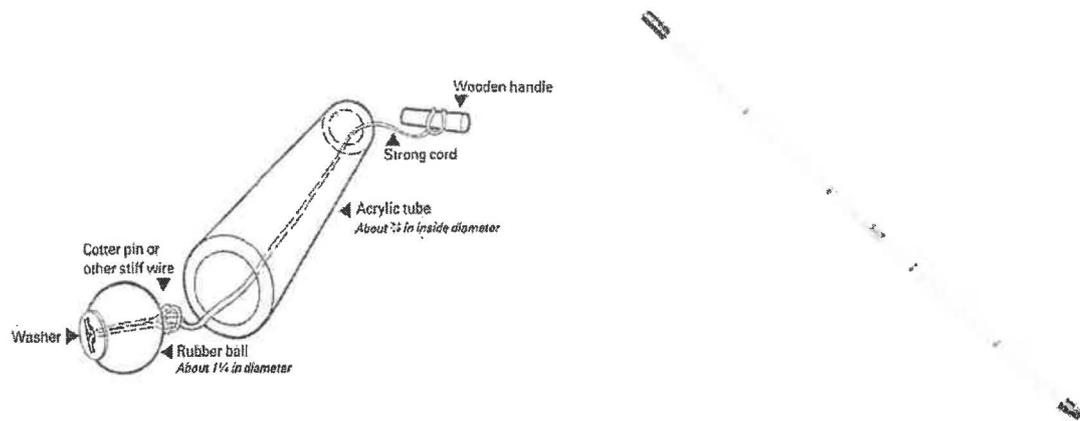
Custodía de la muestra			
Nombre/ Apellido	Institución	Hora / Fecha	Firma

Recepción de la muestra en el laboratorio			
Nombre/ Apellido	Institución	Hora / Fecha	Firma

1) ST: Sólidos totales, STV: Sólidos totales volátiles, Ar: Arsénicos, Cd: Cadmio, Cu: Cobre, N: Nitrógeno total, Cr: Cromo, Hg: Mercurio, Ni: Níquel, Zn: Zinc, Pb, Plomo, CTT: Coliformes termotolerantes, HH: Huevos de helmintos viables



8.3 Equipos de muestreo de lodos o biosólidos



Equipo de toma de lodos o biosólidos líquidos – Corte transversal de toda la columna de lodo o biosólidos o solo de una cierta altura de la columna (según equipo)

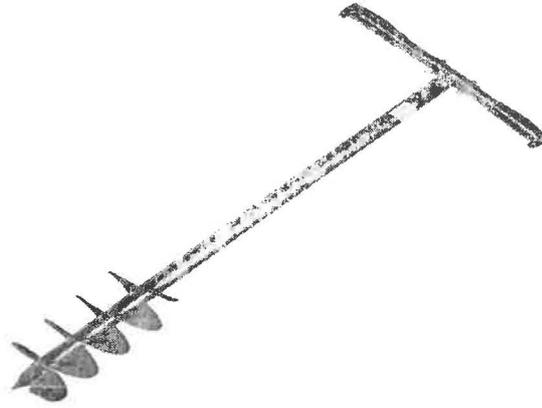


Extractor de muestras - Corte transversal de la columna de lodo o biosólido



Barreno de barrilete tubular - Corte transversal de la columna de lodo o biosólido





Barreno manual de tipo espiral - Corte transversal de la columna de lodo, muestra puntual



Pala manual - Muestra puntual

