


aoxlab	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas.




AOXLAB S.A.S.

	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

DOCUMENTO CONTROLADO

PROC-TC-221 Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas

Copia controlada No.: 1

	Nombre	Puesto o función	Firma	Fecha
Elaboró:	Duvan Felipe Torrado García	Analista de investigación		2024-12-19
Revisó:	Angela P. Patiño Pérez	Directora calidad		2024-12-19
Aprobó:	Jonatan Zarate Álvarez	Director Técnico		2024-03-31
Localización del documento:		Plataforma SGC		

Control de Cambios

Estado	Fecha de Inicio de vigencia	Revisión	Descripción del cambio realizado	Realizó	Revisó	Aprobó
Obsoleto	2024-03-31	1	Ninguno (versión original).	DTG	YLCR	LSGF
Vigente	2024-12-20	2	Se especificó el fundamento del método con base en la tecnología BPC Blue, se incluyó información relacionada con el equipo y la tecnología y se corrigió el valor recomendado de producción de CO2 para el blanco	DTG	APPP	JOZA

aoxlab	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas	Identificación: PROC-TC-221
	AOXLAB S.A.S	Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

ÍNDICE

1.	OBJETIVO Y ALCANCE.....	5
1.1	Objetivo.....	5
1.2	Alcance.....	5
2.	DEFINICIONES Y NOTACIONES	5
2.1	Definiciones.....	5
2.2	Notaciones.....	6
3.	REFERENCIAS	7
4.	DESAROLLO.....	7
4.1	Fundamento del método.....	7
4.2	Resumen del método de prueba.....	8
4.3	Importancia y uso.....	8
4.3.1	Limitaciones.....	9
4.4	Equipos y montaje.....	9
4.4.1	Recipientes de compostaje.....	9
4.4.2	Baños de agua u otros medios de control de temperatura.....	9
4.4.3	Sistema de aire presurizado	9
4.4.4	Equipo de captura de dióxido de carbono (En caso de no contar con equipo de medición directa) 9	
4.4.5	Dispositivos y equipos analíticos adecuados para medir.....	10
4.4.6	Equipo o montaje opcional.....	10
4.5	Materiales y reactivos.....	10
4.5.1	Solución de Hidróxido de bario, aproximadamente (0,024N).....	10
4.5.2	Celulosa de grado analítico.....	10
4.5.3	Polietileno como control negativo	10
4.6	Peligros y riesgos	11
4.7	Inóculo del compost.....	11
4.8	Material De Ensayo	12
4.9	Procedimiento.....	12
4.9.1	Preparación de las muestras	12
4.9.2	Procedimiento de puesta en marcha.....	13
4.9.3	Procedimiento operativo.....	13

aoxlab	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

4.9.4	Finalización de la prueba	14
4.10	Cálculos	15
4.11	Interpretación.....	17
4.12	Reporte de resultados	17
4.13	Precisión y sesgo.....	18
	19
5.	RESPONSABILIDADES	19
6.	ANEXOS.....	21

aoxlab	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

1. OBJETIVO Y ALCANCE.

1.1 Objetivo.

Este procedimiento especifica un método para determinar la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas mediante la medición del consumo específico de oxígeno resultante de la producción de dióxido de carbono desprendido del carbono presente en el material plástico. El método está diseñado para producir una tasa óptima de biodegradación del material de ensayo y/o polímero ajustando la humedad, la aireación y la temperatura del recipiente de compostaje.

1.2 Alcance.

Materiales	Método de referencia	Técnica o Método
<ul style="list-style-type: none"> • Polímeros y copolímeros naturales y/o sintéticos o la mezcla de estos. • Materiales plásticos que contengan aditivos como plastificantes, colorantes u otros compuestos. • Polímeros solubles en agua. • Materiales que, bajo las condiciones de prueba no inhiben la actividad de los microorganismos presentes en el inóculo 	ASTM D5338-15:2021	Este método de prueba está diseñado para producir y medir un porcentaje de la conversión de carbono en la muestra a dióxido de carbono mientras se controla la tasa de biodegradación.


2. DEFINICIONES Y NOTACIONES.

2.1 Definiciones.

Compostaje [4]: Proceso o sistema apropiado para producir compost.

Compost [4]: Material resultante de la descomposición aeróbica de materiales orgánicos de origen natural, obtenida mediante un proceso de descomposición biológica.

Sólidos secos totales [4]: Cantidad de sólidos obtenidos tomando un volumen conocido de material de prueba o compost y secándolo a aproximadamente 105°C hasta masa constante.

	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

Sólidos volátiles [4]: Cantidad de sólidos obtenidos restando el residuo de un volumen conocido de material de prueba o compost después de la incineración a aproximadamente 550°C del total de sólidos secos de la misma muestra.

Biodegradación aeróbica final [5]: Proceso de descomposición de un compuesto orgánico por microorganismos en presencia de oxígeno, resultando en la transformación del material en dióxido de carbono, agua, sales minerales y nueva biomasa.

Cantidad teórica de dióxido de carbono desprendido (THCO₂) [4]: Cantidad teórica máxima de dióxido de carbono desprendida después de oxidar completamente un compuesto químico, calculada a partir de la fórmula molecular y expresada como miligramos de dióxido de carbono desprendidos por miligramo o gramo de compuesto de prueba.

Fase de latencia [5]: Intervalo de tiempo que transcurre desde el inicio de una prueba hasta que se alcanza la adaptación y/o selección de los microorganismos de degradación, y el grado de biodegradación de un compuesto químico o materia orgánica ha progresado hasta aproximadamente el 10% del nivel máximo de biodegradabilidad.

Nivel máximo de biodegradación [5]: Grado de biodegradación de un compuesto químico o materia orgánica en una prueba, por encima del cual no se produce ninguna biodegradación adicional durante la prueba.

Fase de meseta [5]: Período de tiempo, medido en días, que abarca desde el término de la fase de biodegradación hasta la conclusión total de la prueba.

Preexposición [4]: Proceso de preincubación de un inóculo en presencia del compuesto químico o materia orgánica sujeto a ensayo, con el propósito de potenciar la capacidad del inóculo para biodegradar el material de ensayo mediante la adaptación y/o selección de microorganismos.


Preacondicionamiento [4]: Proceso de preincubación de un inóculo en las condiciones previstas para la prueba posterior, sin la presencia del compuesto químico o materia orgánica sujeta a ensayo. Su propósito es mejorar la prueba mediante la aclimatación de los microorganismos a las condiciones específicas de la prueba.

Capacidad de retención del agua [4]: Relación entre la masa de agua evaporada del suelo previamente saturado, al secarse hasta alcanzar una masa constante a 105°C, y la masa seca total del suelo.

2.2 Notaciones.

Para propósitos de este documento, se hacen las siguientes consideraciones:

“Laboratorio”: se refiere al laboratorio AOXLAB S.A.S.

	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

“Servicios”: para referir a los servicios de ensayo que el Laboratorio ofrece. “Ítem”: se refiere a los objetos o materiales bajo ensayo

3. REFERENCIAS.


- [1] ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories / Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.
- [2] ISO 9001 :2015 Quality management systems — Requirements Systemes de management de la qualité — Exigences.
- [3] ISO 9000:2015 Quality management systems — Fundamentals and vocabulary
- [4] ISO 14855-2: Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions Method by analysis of evolved carbon dioxide Part 2: Gravimetric measurement of carbon dioxide evolved in a laboratory-scale test.
- [5] ASTM D5338-15:2021: Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials Under Controlled Composting Conditions, Incorporating Thermophilic Temperatures

4. DESAROLLO.

4.1 Fundamento del método

Este método de prueba está diseñado para alcanzar la tasa óptima de biodegradación de un material plástico en condiciones de compostaje, controlando variables críticas del proceso como humedad, concentración de oxígeno y temperatura en el recipiente del bioproceso. Su objetivo principal es determinar la biodegradabilidad final del material plástico mediante el uso de un reactor de 2 litros a escala pequeña. La tasa de biodegradación se mide periódicamente al evaluar el consumo específico de oxígeno de cada uno de los biorreactores con el inóculo de compost y el material plástico resultante de la producción de dióxido de carbono generada en el recipiente, donde el CO₂ producido se fija o reacciona con la solución alcalina de hidróxido de Bario que está ubicada en la parte superior de cada una de las botellas, lo cual genera una diferencia de presión o presión negativa que actúa como fuerza impulsora para que el oxígeno se desplace de las bolsas del equipo hacia cada uno de los biorreactores para reequilibrar la presión de los gases, de esta manera, la cantidad de dióxido de carbono generado al interior de cada recipiente es proporcional a la cantidad de oxígeno consumido.

El material plástico o polímero para ensayar se mezcla con un inóculo procedente de un compost municipal de residuos sólidos y con un material inerte como vermiculita, madera o arena de mar. La vermiculita, madera o arena de mar desempeñan un papel activo actuando como retenedor de humedad y facilitando las condiciones óptimas para llevar a cabo el

	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

proceso de biodegradación.

En este método, se determina el grado de biodegradación, expresado como porcentaje, al comparar el consumo de oxígeno resultante de la cantidad de dióxido de carbono liberado con la cantidad teórica y del blanco. La prueba concluye al alcanzar la fase de meseta de la biodegradación. Aunque el tiempo estándar de la prueba es de 45 días, en situaciones donde persistan picos de biodegradación después de este período, la prueba puede extenderse hasta 6 meses.

4.2 Resumen del método de prueba Este

método de prueba consta de lo siguiente:

- Selección de material plástico para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica en cualquier sistema de compostaje controlado.
- Obtención de un inóculo a partir de compost municipal de residuos sólidos.
- Exponer el material plástico o polímero de prueba a un proceso de compostaje aeróbico controlado junto con el inóculo.
- Medición del consumo específico de oxígeno resultante de la producción de dióxido de carbono evolucionado en función del tiempo y evaluación del porcentaje de biodegradabilidad.
- El porcentaje de biodegradabilidad se calcula al determinar el porcentaje de carbono en la sustancia de prueba que se transforma en CO₂ durante el período de incubación de la prueba. Este cálculo de biodegradabilidad no incluye la cantidad de carbono de la sustancia de prueba que se convierte en biomasa celular y no se metaboliza en CO₂ durante el desarrollo de la prueba.

La desintegración del material de prueba compacto se determina visualmente al final de la prueba. Además, se puede determinar la pérdida de peso del material de prueba.

4.3 Importancia y uso

La biodegradación de plásticos en una unidad de compostaje es un fenómeno crucial, ya que puede influir en la descomposición de otros materiales atrapados por el plástico, así como en la calidad y apariencia del material compostado resultante. Además, la biodegradación de los plásticos facilita su eliminación segura a través de grandes plantas de compostaje

aoxlab	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

profesionalmente gestionadas y unidades residenciales bien administradas, donde se alcanzan temperaturas termófilas. Este procedimiento ha sido desarrollado con el propósito de determinar la tasa y el grado de biodegradabilidad aeróbica de productos plásticos cuando se someten a un proceso de compostaje controlado.

4.3.1 Limitaciones

Debido a que existe una amplia variación en la construcción y operación de las instalaciones de compostaje y debido a que los requisitos reglamentarios para los sistemas de compostaje varían, este procedimiento no pretende simular el entorno de ningún sistema de compostaje en particular. Sin embargo, se espera que se parezca al entorno de un proceso de compostaje operado en condiciones óptimas donde se alcanzan temperaturas termófilas. Más específicamente, el procedimiento pretende crear un entorno de laboratorio estándar que permita una determinación rápida y reproducible de la capacidad de biodegradación aeróbica en condiciones de compostaje controladas.

4.4 Equipos y montaje

4.4.1 Recipientes de compostaje

Una serie de al menos 12 recipientes de compostaje, cada uno con una capacidad nominal de mínimo 2000mL. Tres de estos recipientes serán necesarios para el blanco (inóculo sin el material de prueba), otros tres recipientes necesarios para el control positivo (inóculo + material de referencia, otros tres recipientes para el control negativo (inóculo + material de prueba no biodegradable tipo polietileno) y tres recipientes para el polímero o material de prueba a ensayar.

4.4.2 Baños de agua u otros medios de control de temperatura

Con capacidad de mantener la temperatura de todos los recipientes de compostaje a $58^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

4.4.3 Sistema de aire presurizado

Capaz de proporcionar aire saturado con H_2O y libre de CO_2 a cada uno de los recipientes de compostaje con tasas de aireación precisas. Si se utiliza una medición directa del CO_2 entonces se puede utilizar aire normal.

4.4.4 Equipo de captura de dióxido de carbono (En caso de no contar con equipo de medición directa) Esencial para cuantificar el dióxido de carbono que se produce en cada uno de los recipientes de compostaje. Requiere lo siguiente:

- Al menos tres botellas de 100mL ubicadas en la parte superior de cada

aoxlab	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

biorreactor y que contengan Ba(OH)₂, (solución que atrapa el CO₂ generado).

- Tubería flexible, impermeable al CO₂.
- Tapones equipados con piezas de muestreo para gases.
- Balanza analítica (±1 mg) para pesar la muestra de prueba.
- Bureta de 100 mL.
- HCl 0,05 N.
- Medidor de pH.

4.4.5 Dispositivos y equipos analíticos adecuados para medir Sólidos secos (a 103°C ± 2°C), sólidos volátiles (a 550°C ± 50°C), ácido grasos volátiles mediante cromatografía gaseosa (FID) concentraciones totales de nitrógeno y carbono Kjeldahl.

4.4.6 Equipo automatizado de la tecnología BPC Blue Aerobic.
El montaje para la captura de CO₂ y el equipo de titulación se pueden reemplazar por un equipo automatizado como la tecnología BPC Blue que cuenta con las celdas de flujo, unidad de detección, baños termostáticos, bolsas de oxígeno, mangueras impermeables y todos los insumos necesarios para ofrecer un método eficiente, preciso y exacto en el que se determine la tasa de biodegradación de polímeros en condiciones aeróbicas. Este respirómetro volumétrico mide de forma continua el consumo de oxígeno resultante de la producción de CO₂ durante todo el experimento, proporcionando información en tiempo real sobre la dinámica del proceso de biodegradación, incluida información cinética y el perfil de degradación.


NOTA: Asegúrese que todo el material de vidrio esté completamente limpio y libre de materia orgánica.

4.5 Materiales y reactivos

4.5.1 Solución de Hidróxido de bario, aproximadamente (0,024N)
Se logra la estandarización disolviendo 4,0 g de Ba(OH)₂ en un litro de agua destilada. Posteriormente, se filtra esta solución a través de papel filtro y se almacena de manera sellada para mantener su transparencia y prevenir la absorción de CO₂ atmosférico.

4.5.2 Celulosa de grado analítico
Se puede usar la celulosa usada en cromatografía de capa fina, con un tamaño de partícula menor a 20 µm para emplearlo como control positivo.

4.5.3 Polietileno como control negativo

	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

Debe tener el mismo tamaño y la forma en cómo se analiza la muestra, por ejemplo, para muestras de granos de polietileno, debe analizarse la muestra también en granos de polietileno.

4.6 Peligros y riesgos

- Este método de prueba requiere el uso de productos químicos peligrosos. Asegúrese de seguir las instrucciones del fabricante, las instrucciones de los especialistas y las hojas de datos de seguridad del material.
- El inóculo del compost puede contener objetos punzantes. Tenga cuidado con la manipulación.
- Los recipientes de compostaje no están diseñados para soportar grandes presiones. El sistema debe funcionar a una presión cercana a la ambiental.


4.7 Inóculo del compost

El inóculo de compost recomendado debe ser un compost bien aireado con una edad de dos a cuatro meses, obtenido de la fracción orgánica de residuos sólidos municipales y tamizado con una criba de <10mm. En situaciones donde no esté disponible este tipo de compost, se puede recurrir al uso de abono de plantas proveniente del tratamiento de desechos verdes o de jardín, o a combinaciones de desechos verdes y desechos municipales.

Se recomienda que el inóculo del compost genere entre 50 mg y 150 mg de CO₂ por gramo de sólidos volátiles durante los primeros diez días de la prueba. Además, se sugiere que posea un contenido de cenizas por debajo del 70%, con un pH situado entre 7 y 8.2. El porcentaje total de sólidos secos debe oscilar entre 50% y 55%.

El inóculo del compost debe presentar la menor cantidad posible de materiales inertes de mayor tamaño, como vidrio, piedras y metales, entre otros. Es recomendable eliminar manualmente estos elementos en la medida de lo posible para garantizar la homogeneidad del inóculo de compost.

Se recomienda utilizar compost de suficiente porosidad para permitir que las condiciones sean lo más aeróbicas posibles. La adición de material estructural como pequeñas partículas de madera, arena o material inerte persistente o poco biodegradable puede favorecer estos procesos.

	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

4.8 Material De Ensayo

El material de ensayo debe tener suficiente carbono para producir dióxido de carbono que pueda medirse adecuadamente mediante el sistema de captura o mediciones directas de CO₂.

Es esencial optimizar todos los parámetros fundamentales del compostaje, tales como la relación C/N, la concentración de oxígeno en el recipiente de compostaje, la porosidad y el contenido de humedad, con el fin de facilitar un proceso de compostaje eficaz. Se recomienda que la relación C/N se encuentre preferiblemente entre 10 y 40, tanto para el inóculo como para la sustancia problema, asegurando una combinación equilibrada de carbono y nitrógeno.


Los niveles de oxígeno en los recipientes de compostaje deben ser al menos el 6% en todo momento y no debe haber agua estancada ni grumos del material.

Los materiales de ensayo pueden adicionarse en forma de películas, laminas, fragmentos, gránulos o polvo.

4.9 Procedimiento

4.9.1 Preparación de las muestras

- Obtenga un inóculo de una planta de compostaje aeróbico que funcione correctamente y trate residuos sólidos municipales o su fracción orgánica. De ser necesario, establezca aún más el inóculo en el laboratorio para lograr una baja producción de CO₂ en el control.
- Tamice el inóculo a un tamaño inferior a 10 mm y elimine manualmente cualquier elemento inerte de gran tamaño, como trozos de vidrio, piedras o madera. Posteriormente, determine los sólidos volátiles, los sólidos secos y el contenido de nitrógeno utilizando los métodos de prueba D53590, D1888 y los métodos de prueba APHA 2540D y 2540E. Determine los sólidos volátiles, los sólidos secos y el contenido de carbono de todas las sustancias de prueba de acuerdo con los métodos de prueba APHA 2540B y 2545E y el método de prueba D4129.
- Pese aproximadamente 600 g de sólidos secos del inóculo y mézclelos con alrededor de 100 g de sólidos secos de la muestra. En caso de que requiera pesar menor cantidad de muestra e inóculo debe mantenerse la proporción 6 a 1 entre ambos. Ajuste el contenido de sólidos secos en el recipiente a aproximadamente 50% mediante la adición de agua destilada. En caso de que la relación C/N sea superior a 40, adicione

	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

cloruro de amonio.


- Pese los recipientes con todo el contenido inmediatamente antes de iniciar el proceso de compostaje.
- El blanco consiste únicamente en el inóculo y contiene aproximadamente 600g de sólidos secos. Como referencia utilice celulosa como control positivo y polietileno como control negativo.
- El material de prueba puede ser agregado en forma de película, artículo, polvo, gránulos o láminas. La superficie máxima de un material de prueba compacto utilizado debe ser de aproximadamente 2 cm por 2 cm. En caso de que el material de prueba original sea más grande, redúzcalo en tamaño de partícula.
- No llene la mezcla de ensayo más del 75% ($\frac{3}{4}$ partes) del volumen total del recipiente. Es necesario mantener un espacio suficiente para permitir la agitación adecuada de la mezcla de ensayo.

4.9.2 Procedimiento de puesta en marcha

Una vez tenga los recipientes dentro de los baños termostáticos, es necesario dejarlos por al menos 2 horas para que el interior de la botella alcance la misma temperatura del agua y no se genera una presión negativa, después de esto, comience la aireación de los recipientes de compostaje con tasas de flujo de aire lo suficientemente elevadas para asegurar que los niveles de oxígeno no descendan por debajo del 6% en el aire de salida.

4.9.3 Procedimiento operativo

- Incube los recipientes de compostaje en condiciones de oscuridad o luz difusa durante un periodo de 45 días en un recinto libre de vapores tóxicos para los microorganismos.
- Mantenga la temperatura constante a $58^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. En situaciones particulares, como cuando el punto de fusión del material de prueba es bajo, se puede optar por otra temperatura. Esta temperatura elegida debe mantenerse de manera constante durante todo el ensayo y permanecer dentro de un rango de $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Cualquier cambio en la temperatura debe ser debidamente justificado y claramente indicado en el informe de prueba.

	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

- Verifique diariamente las gráficas del consumo específico de oxígeno resultante de la producción de dióxido de carbono para verificar que cada una de las líneas y sus aperturas estén funcionando de manera correcta.
- Verifique diariamente el flujo de aire tanto antes de ingresar a los recipientes de compostaje como en las salidas, asegurándose de que no haya fugas en todo el sistema. Ajuste el flujo de aire para mantener una concentración de CO₂ de al menos 2% V/V, permitiendo así una determinación precisa del nivel de CO₂ en el aire de escape.
- Asegúrese de que las condiciones de compostaje sean óptimas. Realice agitación semanal de los recipientes de compostaje para evitar la formación de canales extensos, asegurando un ataque uniforme a la muestra de ensayo y una distribución homogénea de la humedad. En caso de observar niveles excesivos de humedad, como agua estancada en los recipientes o aglomeraciones debido a un alto contenido de humedad, elimine el exceso de líquido inyectando aire seco o mediante drenaje a través de la entrada de aire. Si se detectan condiciones excesivamente secas, que podrían ralentizar el proceso de descomposición, añada humedad. A lo largo del ensayo, realice ajustes para garantizar condiciones de compostaje adecuadas. En caso de realizar ajustes, monitoree cuidadosamente las concentraciones de CO₂ y O₂ durante las siguientes 72 horas, midiendo al menos dos veces al día con un intervalo superior a 6 horas.
- En la agitación semanal y al final de la prueba, registre las observaciones visuales con respecto a la estructura del compost, el contenido de humedad, el color, el desarrollo de hongos, el olor del aire de salida y la desintegración de la muestra.

NOTA: El tiempo de incubación de 45 días puede prolongarse si se sigue observando una biodegradación significativa de la sustancia de ensayo.

4.9.4 Finalización de la prueba

- Al finalizar la prueba, pese los recipientes con su contenido y determine la concentración de sólidos secos que queda en el material compostado. Los sólidos volátiles pueden determinarse si se va a calcular la pérdida de peso.
- Mida el pH siguiendo los métodos de prueba D1293. En caso de que el pH sea inferior a 7, evalúe el espectro de ácidos grasos volátiles para detectar la

aoxlab	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

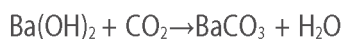
acidificación en el contenido del recipiente de compostaje, conforme a la práctica D2908. Realice la medición del pH diluyendo la muestra en una proporción de 5:1 p/p de agua destilada respecto al inóculo o residuo de compost. Asegúrese de mezclar la solución agitando manualmente y mida inmediatamente. Si se forman más de 2 g de ácidos grasos volátiles por kilogramo de materia seca en el recipiente de compostaje, la prueba debe considerarse inválida.

4.10 Cálculos

- Determine el contenido total de carbono del material de ensayo mediante análisis elemental o mediante cálculo si la composición química está bien establecida. Esto permite calcular la cantidad teórica de evolución del dióxido de carbono de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 &\text{material} = w \% \text{ carbon} \\
 &w/100 \times \text{g of material charged} = Y \text{ g carbon charged to} \\
 &\text{compost vessel} = C_1 \\
 &\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 \\
 &12 \text{ g C yields } 44 \text{ g CO}_2 \\
 &Y \text{ g C yields } \frac{44 \times Y}{12} \text{ g CO}_2
 \end{aligned}$$

- Determine la producción acumulada de CO₂ (en gramos) a partir de las sustancias de ensayo.
- Determine la cantidad de CO₂ producida por la diferencia, en mililitros de valorante, entre la sustancia de ensayo y las trampas de Ba(OH)₂ en blanco. Realizar la valoración con HCl 0,05 N.
- Cuando el CO₂ entra en las botellas que lo atrapan, reacciona de la siguiente manera:



El BaCO₃ formado es insoluble y se precipita.

- Determine la cantidad de Ba(OH)₂ que queda en disolución por valoración en punto final con HCl utilizando fenolftaleína como indicador según la siguiente ecuación:

aoxlab	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20



De las dos ecuaciones anteriores se deduce que el número de mmol de CO₂ producidos es:

$$\text{mmol CO}_2 = \text{mmol Ba(OH)}_2 \text{ iniciales} - \frac{\text{mmol HCl}}{2}$$

Para el análisis directo de CO₂, la producción acumulada de CO₂ (en gramos) se determina a partir de las mediciones del caudal y la composición del gas y tras recalcular a condiciones STP (temperatura y presión estándar).

- Calcule la cantidad de carbono gaseoso acumulado producido por cada reactor.
- Calcule el promedio (considerando las tres réplicas) de la producción neta de carbono gaseoso para cada sustancia de ensayo, restando la producción promedio de carbono gaseoso del control (también con tres réplicas), que únicamente contiene el inóculo.
- Calcule el porcentaje de biodegradación dividiendo la producción neta promedio de carbono gaseoso del compuesto de ensayo por la cantidad promedio original de carbono en el compuesto de ensayo y multiplicando por 100:

$$\% \text{ de B} = \frac{X C \text{ del material de prueba} - X C \text{ del blanco}}{C_i} * 100$$

Donde:

% de B: Porcentaje de biodegradación del material de prueba.

$\bar{X} C$: Cantidad de carbono del material de prueba producido en gramos. \bar{x}


C_i: Cantidad de carbono del compuesto añadido en gramos

- Calcule el error estándar (SE), del porcentaje de biodegradación de la siguiente manera:

$$SE = \text{SQRT} * \left(\left(\frac{S^2_{prueba}}{n1} \right) + \left(\frac{S^2_{blanco}}{n2} \right) \right) * \frac{100}{C1}$$

Donde:

n1 y n2 son el número de réplicas de los recipientes de ensayo y de control, respectivamente.

	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

s es la desviación típica del carbono gaseoso total producido.

- Calcule los límites de confianza (LC) del 95 % de la siguiente manera:

$$95\% \text{ LC} = \% \text{Biodegradación} \pm (t * \text{SE})$$

Donde:

t es el valor de la distribución t para una probabilidad del 95 % con $(n_1 + n_2 - 2)$ grados de libertad; por tanto, $n = 3 + 3 - 2 = 4$.

4.11 Interpretación:

La información sobre la toxicidad del material plástico puede ser útil para interpretar los efectos inhibidores.


En la mayoría de los casos, cuando se investiga un material plástico, es necesaria una sustancia de referencia o de control que se sepa que se biodegrada para comprobar la actividad del inóculo. En caso de que no se observe una biodegradación suficiente (un mínimo del 70 % para la celulosa en un plazo de 45 días) con la referencia positiva, el ensayo debe considerarse inválido y repetirse utilizando un nuevo inóculo.

Si la desviación del porcentaje de biodegradación de la referencia positiva es superior o igual al 20 % al final de la prueba, ésta se considerará no válida.

4.12 Reporte de resultados:

Reporte los siguientes datos e información:

- Información sobre el inóculo, incluida la fuente, el porcentaje de sólidos secos, el porcentaje de sólidos volátiles, el nitrógeno total Kjeldahl, la actividad (producción de CO₂ en los diez primeros días), la fecha de recogida, el almacenamiento y la manipulación.
- Contenido de carbono de los materiales plásticos, control positivo y negativo, y cálculo de la producción máxima teórica de dióxido de carbono.
- Información específica sobre el tamaño, la forma, el volumen y el grosor de los materiales plásticos sometidos a ensayo, junto con la forma del material plástico, es decir, lámina, polvo, gránulos, entre otros.


	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

- Peso de los recipientes con contenido antes y al final de la prueba.
- Registrar la evolución acumulada de dióxido de carbono y el consumo de oxígeno a lo largo del tiempo, además de proporcionar representaciones gráficas. Incluir detalles sobre los dispositivos utilizados para llevar a cabo el método de ensayo
- Porcentaje de biodegradación aeróbica para cada material plástico ensayado, la desviación estándar y el intervalo de confianza del 95 % para cada material o sustancia de control ensayado para el porcentaje de biodegradación.
- Porcentaje de biodegradación en relación con la referencia positiva (celulosa = 100 %).
- Temperatura de ensayo en ° Celsius.
- PH del inóculo de compost y pH de los residuos finales. Concentración de ácidos grasos volátiles en los recipientes con un pH final inferior a 7.
- Resultados de las observaciones visuales del inóculo de compost y del material de ensayo durante y al final del ensayo, como el contenido de humedad, el desarrollo fúngico, la estructura, el color y el olor.
- Descripción cualitativa de la desintegración del material de ensayo en el caso de ensayar con un material de ensayo compacto. Añadir más información, como fotografías o valores físicos medidos, si se dispone de ellos.
- Resultados de las mediciones de peso de los recipientes de compost al inicio y al final de la prueba, y pérdida de peso del material de prueba, si se determina.

4.13 Precisión y sesgo:

Se está determinando la precisión y el sesgo del procedimiento de este método de ensayo.

En la Tabla 1 se presentan los resultados preliminares de las pruebas de repetibilidad dentro del laboratorio del método de referencia, utilizando un sistema de compostaje controlado con cromatógrafo de gases. Estos datos representan tres determinaciones diferentes de la degradación de la celulosa como referencia positiva.

	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

La degradación media de la celulosa después de 45 días de compostaje a 50 °C fue del 75,3% con una desviación típica media del 2,5% y un intervalo de confianza del 95% de $\pm 5\%$. Las tres pruebas, realizadas por los mismos operarios en un periodo de siete meses, muestran que alcanzó una biodegradabilidad promedio del 75,3% para las tres réplicas con celulosa como control positivo. La desviación estándar promedio fue de 2,5%, y el intervalo de confianza del 95% fue de $\pm 5\%$. Los gráficos representan los resultados de tres réplicas para el inóculo como blanco, celulosa como control positivo y la producción neta de CO₂ por gramo de celulosa añadida.

TABLE 1 Results from Within-Laboratory Testing for the Aerobic Biodegradability of Cellulose as a Positive Control Under Controlled Composting Conditions


	Biodegradability after 45 days, %	Standard Deviation, %	95 % Confidence Limit, %
Run 1	76.7	4.9	8.2
Run 2	70.3	2.4	4.8
Run 3	78.9	0.3	2.0
Mean of Three Runs	75.3	2.5	5.0

5. RESPONSABILIDADES.

Director de Técnico:

- Asegurar la aplicación del presente documento y tomar decisiones en casos especiales no contemplados.
- Revisar y aprobar los informes técnicos una vez han sido revisados por el Líder de Laboratorio. Asesorar y orientar los analistas en la resolución de dudas e inconvenientes surgidos durante el desarrollo de los ensayos.
- Realizar o revisar las investigaciones pertinentes a los trabajos no conformes derivados de la ejecución del método y autorizar las indicaciones a seguir.
- Establecer los casos en los cuales se realiza la retención de muestras.

Director de Calidad:

	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20


- Asegurar la aplicación del presente documento y tomar decisiones en casos especiales no contemplados.
- Realizar y registrar las investigaciones pertinentes a los trabajos no conformes derivados de la ejecución del método.
- Archivar los registros técnicos relacionados con los ensayos.

Líder de Laboratorio:

- Asegurar la aplicación del presente documento por el personal subordinado o supervisado.
- Revisar los resultados ingresados por el analista, haciendo seguimiento de la trazabilidad del análisis (Cuadros de mando, formato de solicitud de servicio y salvaguardia de muestras, formatos de datos primarios) antes de enviar el informe final al director técnico.
- Realizar la revisión de resultados teniendo en cuenta la normativa vigente si esta aplica. Informar al director técnico las desviaciones que se den durante el desarrollo del método.
- Reportar y registrar los trabajos no conformes derivados del análisis al líder de calidad y al director técnico.
- Informar los casos en los que se deben de retener las muestras.
- Supervisar el cumplimiento de las actividades de aseguramiento de calidad.

Analista:

- Seguir todas las instrucciones establecidas en este procedimiento y en el reglamento del laboratorio Ingresar y entregar todos los resultados en los tiempos pactados.
- Entregar formatos de datos primarios completamente diligenciados al líder del laboratorio.
- Realizar revisión de datos primarios y cálculos realizados en los cuadros de mandos, informar al líder del laboratorio en caso de observar alguna desviación en los resultados obtenidos teniendo en cuenta las cartas control.

	Procedimiento para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas AOXLAB S.A.S	Identificación: PROC-TC-221
		Revisión: 2
		Inicio de vigencia: 2024-12-20

- Registrar los resultados de los ensayos de control de calidad y hacer el análisis de tendencias de estos.

6. ANEXOS.

No aplica