



Revista Politécnica

ISSN: 1900-2351

ISSN: 2256-5353

rpolitecnica@elpoli.edu.co

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
Colombia

Obando Arango, Sara; Villegas, Nora
ESTANDARIZACIÓN DE UN MÉTODO DE LABORATORIO PARA LA MEDICIÓN DE LA
DEMANDA BÉNTICA DE OXÍGENO EN MATRICES SEDIMENTARIAS DE DIFERENTE ORIGEN
Revista Politécnica, vol. 14, núm. 27, 2018, Julio-, pp. 20-29
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
Colombia

DOI: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v14n27a2>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=607866319003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

ESTANDARIZACIÓN DE UN MÉTODO DE LABORATORIO PARA LA MEDICIÓN DE LA DEMANDA BÉNTICA DE OXÍGENO EN MATRICES SEDIMENTARIAS DE DIFERENTE ORIGEN

Sara Obando Arango ¹, Nora Villegas ²

¹ Ingeniera Sanitaria, Universidad de Antioquia. Medellín – Colombia. saraobandoarango@gmail.com

² Ingeniera Civil, M.Sc en Ingeniería Ambiental, Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental (GAIA), profesora asociada, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. nora.villegas@udea.edu.co

RESUMEN

Actualmente no hay un método estandarizado para medir la Demanda Béntica de Oxígeno (SOD, por sus siglas en inglés Sediment Oxygen Demand), por ello, se propuso en este trabajo estandarizar una metodología para la estimación de este parámetro utilizando sedimentos de distintas características, extraídos con una draga Eckman. Para determinar la SOD en el laboratorio, se realizaron mediciones del oxígeno disuelto cada hora durante cuatro horas, en una adaptación del montaje de laboratorio propuesto por Bowman y Delfino en 1980 [1], donde el reactor utilizado cumple con la relación volumen/área recomendada por estos autores (132 L/m²). Los sedimentos analizados, variaron su granulometría desde 1 a 0.5 mm, con contenidos de materia orgánica desde 0% hasta 54%. Se encontró que el método es preciso, mostrando coeficientes de variación entre el 1.81% y 19.51% para las muestras estudiadas, se comprobó la exactitud para una de ellas con un porcentaje de error de 1.54%; además, se encontró que el límite de detección del método fue de 0.102 g O₂/m²*d. Se concluyó también que al aumentar el contenido de materia orgánica en los sedimentos, aumenta el valor de la SOD.

Palabras clave: consumo de oxígeno, sedimentos, materia orgánica, oxígeno disuelto, precisión, exactitud.

Recibido: 16 de agosto de 2017. Aceptado: 10 de octubre de 2018

Received: August 16th, 2017 Accepted: October 10th, 2018

STANDARDIZATION OF A LABORATORY METHOD FOR MEASURING SEDIMENT OXYGEN DEMAND

ABSTRACT

*Currently there is no standardized method for measuring the Sediment Oxygen Demand (SOD), therefore, it was proposed in this work to standardize a methodology for estimating this parameter using sediments from different backgrounds, sampled by an Eckman dredge. To determine the SOD in the laboratory, measurements of dissolved oxygen were taken hourly for four hours in an adaptation of laboratory assembly proposed by Bowman and Delfino in 1980, where the reactor used meets the volume/area ratio given by these authors (132 L/m²). The sediments analyzed varied their particle size from 1 to 0.5 mm, with organic matter contents ranging from 0% to 54%. It was found that the method is accurate, showing coefficients of variation between 1.81% and 19.51% for the studied samples, the accuracy was verified for one of them with an error rate of 1.54%; in addition, it was found that the detection limit of the method was 0.102 g O₂/m²*d. It is also concluded that increasing the content of organic matter in sediments increases the value of SOD.*

Keywords: oxygen consumption, sediments, organic matter, dissolved oxygen, precision, accuracy.

Cómo citar este artículo: S. Obando Arango, N. Villegas, "Estandarización de un método de laboratorio para la medición de la demanda béntica de oxígeno en matrices sedimentarias de diferente origen", Revista Politécnica, vol. 14, no. 27 pp.20-29, 2018. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v14n27a2>

1. INTRODUCCIÓN

La Demanda Béntica de Oxígeno, también conocida como SOD (por las siglas en inglés de su nombre Sediment Oxygen Demand) es la velocidad a la que el oxígeno disuelto es removido de la columna de agua, a causa de la respiración de las comunidades bentónicas y la degradación bioquímica de los materiales orgánicos; lo que conlleva a que entre mayor sea la carga orgánica, más cantidad de oxígeno es utilizado para su mineralización [2]. Esta variable ha sido poco estudiada en el mundo, a pesar de ello, algunos investigadores han encontrado una relación directa de la SOD con algunos de los problemas ambientales que se presentan en fuentes hídricas [23].

La estimación de este parámetro, puede hacerse in situ o en laboratorio; la principal ventaja de las mediciones in situ es la minimización de la perturbación de los sedimentos y de las comunidades biológicas asociadas a estos; no obstante, este método es difícil de usar y necesita un equipo especial para arrojar resultados confiables. Este equipo aún no está estandarizado, consiste en una cámara abierta en la parte inferior con espacio para la ubicación del equipo de medición de los parámetros de interés, tubería y motobomba para la recirculación del agua; el diseño del mismo ha tenido diferentes adaptaciones por diferentes investigadores dado que su funcionamiento depende también de las condiciones de la fuente de agua donde se efectúan las mediciones. Respecto a la medición de la SOD en laboratorio, su mayor ventaja es que se pueden hacer replica de las mediciones y se tiene un control de factores adicionales entre los cuales la temperatura es el factor más importante; la desventaja de estas es la perturbación de los depósitos de sedimento al momento del muestreo [3]. Además de controlar la temperatura, otra de las ventajas de estimar la SOD en laboratorio incluye controlar la exposición a la luz, el grado de agitación y la concentración de oxígeno disuelto en el agua [24].

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de las mediciones realizadas “In situ” y en laboratorio, este trabajo pretende estandarizar un método para la medición de este parámetro en laboratorio; por medio de la realización de una serie de ensayos que permitan estimar la exactitud, precisión y límites de detección del mismo. La estandarización de un método consiste en confirmar por medio de un examen y suministrando evidencias objetivas que

demuestran que determinado método analítico cumple con los requisitos particulares para un uso específico en el laboratorio [4].

2. MATERIALES Y METODO

Las muestras analizadas correspondieron a sedimentos de fondo de los siguientes sistemas: laguna de neutralización de una empresa termoeléctrica (LN) cuyo sedimento de fondo es producto de la abundante sedimentación de material orgánico, originado en la muerte y descomposición de algas presentes en el cuerpo de agua y de la hojarasca proveniente del material arbóreo que rodea la laguna; la segunda muestra provino del lago urbano del Jardín Botánico de Medellín (LJB) ubicado en un bosque húmedo premontano, es ambiente permanente de distintas especies de animales y un sitio de paso de aves. La tercera muestra se tomó en la zona de entrada de una de las lagunas anaerobias de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la Ceja (LPTAR), esta recibe las aguas lluvias y residuales provenientes del sistema de alcantarillado combinado del municipio, se utilizó además, una muestra de arena procedente de un río con baja presión antrópica (AR), la cual cuenta con una variedad en los tamaños de los granos que la componen. Se integró una muestra, a partir de la integración de sub-muestras en diferentes sitios del fondo de los sistemas, mediante la utilización de una draga Ekman, la cual fue sumergida con cuidado de no causar la alteración del sedimento. La muestra se almacenó en recipientes de plástico opacos de 4 litros forrados con bolsas plásticas negras, para no permitir el paso de la luz, se preservaron refrigerándolas a 4°C para disminuir la actividad biológica de los organismos y de inmediato fueron llevadas al laboratorio.

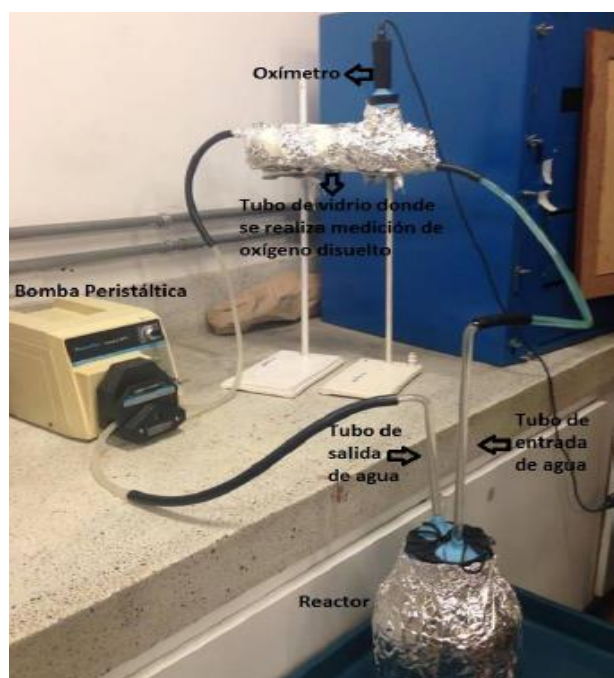
2.1. Caracterización de las muestras

Tanto a las muestras de sedimentos LN, LJB, LPTAR como al blanco (Arena), se les realizó pruebas de SOD, caracterización granulométrica según la norma ASTM D 422-63 [5], y se les midió el contenido de materia orgánica según norma ASTM D 2974-07 [5], para relacionar la influencia que la composición del sedimento pudiera tener sobre la SOD.

2.2. Descripción del montaje

El montaje empleado para realizar los ensayos de laboratorio fue el propuesto por Bowman y Delfino (1980) [1]. En dicho montaje (Ver *Fotografía 1*) se utilizó un recipiente herméticamente sellado, con una relación volumen/agua: V/A de 132 L/m²; en su fondo se ubicó una capa de sedimentos de 5 cm y el volumen se completó con agua destilada aireada hasta la saturación, enriquecida con micronutrientes y macronutrientes, como se realiza en la prueba de DBO₅ [6]. El montaje incluye la instalación de un sistema de medición del oxígeno disuelto por el cual se hace pasar el agua sobrenadante, la cual es recirculada con ayuda de una bomba, que operaba con velocidad de 111 ml/min, siempre cuidando de no generar re-suspensión.

En este trabajo, el espesor de la capa de sedimentos fue de cinco (5) cm de altura, se hizo el llenado del recipiente con el agua enriquecida teniendo cuidado de no re-suspender el sedimento. Después de 10 minutos de reposo, se adicionaron los micronutrientes y macronutrientes para proceder al sellado con la tapa y el recubrimiento del recipiente para evitar paso de luz y reducir cualquier aporte por actividad fotosintética. Se arranca la bomba y se inicia el registro del decaimiento del oxígeno en el recipiente.



Fotografía 1. Montaje empleado para la realización de los ensayos.

Finalmente, se da inicio con las mediciones de oxígeno cada hora hasta completar cuatro (4) horas, este tiempo se determinó luego de realizar ensayos preliminares que mostraron la mayor pendiente en la gráfica de consumo de oxígeno en el tiempo, lo que significa que durante este tiempo se presentó el mayor consumo de oxígeno por parte de los sedimentos. Es importante mencionar que todos los ensayos fueron realizados en un ambiente con una temperatura de 22°C y la temperatura promedio en los sitios de origen de las muestras fue de 24°C.

2.3 Determinación de la SOD

La ecuación (1) permite estimar la SOD, también fue utilizada por Caldwell & Doyle (1995) [7], también usada por Butts (1974) [8], Grajales, Aguirre y Palacio-Baena (2006) [9] y Utley et al., (2008) [10]:

$$SOD = 1.44 * \frac{V}{A} * b \quad (1)$$

Donde, SOD es la Demanda Béntica de Oxígeno (g O₂/m²*d), V es Volumen del recipiente (L), A es el Área del superficial del sedimento del fondo (m²), b es la pendiente de la curva de desoxigenación (mg/L*min) y 1.44 es la constante de conversión de unidades.

Posteriormente, el valor de la SOD arrojado en la Ecuación (1), debe ser corregido por temperatura usando la Ecuación (2):

$$SOD_{20} = \frac{SOD_T}{1.065^{T-20}} \quad (2)$$

Donde, SOD₂₀: Demanda Béntica de Oxígeno a 20°C y, SOD_T: demanda béntica de oxígeno a una temperatura T (°C).

2.4. Proceso de estandarización

2.4.1 1. Establecimiento del valor de referencia

Actualmente no se cuenta con un valor de referencia para encontrar el valor de la SOD, por ello, se intentó establecer uno que permitiera revisar la exactitud de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas de SOD.

Para establecer el valor de referencia se tomó la decisión de utilizar sustancias químicas en el reactor y sin agregar sedimento, bajo la suposición de que estas sustancias al no presentar una actividad biológica en los ensayos de SOD a los que se someterían, sus resultados tendrían poca o nula variación; permitiendo así establecer un valor de

referencia con el cual poder realizar comparaciones. Las sustancias químicas elegidas fueron ácido glutámico y glucosa, las cuales han sido ampliamente usadas como control para verificar resultados de las pruebas de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), dado que el ácido glutámico estabiliza la velocidad de oxidación de la glucosa. El valor de referencia se estableció con los tres (3) ensayos realizados con ácido glutámico, glucosa y sin sedimento.

Se aplicaron dos tratamientos a las muestras de sedimentos para someter a la prueba de SOD. Un primer tratamiento sin adición de sustancias químicas (ácido glutámico y glucosa) llamado en adelante como "Tratamiento 1", y el otro con adición de estas sustancias, en adelante llamado como "Tratamiento 2". A cada una de las muestras de cada grupo (LN, LJB y LPTAR) se les realizaron cinco (5) ensayos de SOD siguiendo la metodología descrita anteriormente, con la premisa de que los resultados obtenidos para la SOD con el tratamiento 2 serían iguales a la suma del valor de referencia establecido más la SOD obtenida con el tratamiento 1, y de esta manera se comprobaría la exactitud del método.

2.4.2. El blanco y el límite de detección

Como blanco se utilizó la muestra de arena, dado que por sus propiedades no es un hábitat donde se puedan establecer un gran número de comunidades bacterianas que ejerzan una demanda de oxígeno, por lo que de todos los sedimentos utilizados este arrojaría los valores de la SOD más bajos, y con ellos se estableció el límite de detección y el límite de cuantificación del método. Con el blanco se realizaron 15 ensayos. Se hicieron 10 ensayos de SOD bajo el tratamiento 1; esto para establecer los límites de detección y, cinco (5) ensayos bajo el tratamiento 2, para poder hacer una comparación de los resultados obtenidos con el valor de referencia ya establecido.

2.5. Proceso de estandarización

En cuanto a la estimación de los parámetros para la estandarización del método, se utilizan las Ecuaciones (3) y (4), correspondientes a la Exactitud y a la Precisión respectivamente.

$$\%Error = \frac{X_{exp} - X_{real}}{X_{real}} \quad (3)$$

Donde, X_{exp} es el promedio experimental y X_{real} es el promedio real. Dado que este es un método biológico, se decidió que el valor de exactitud máximo aceptado fuera $\leq 30\%$.

$$CV = \frac{s \cdot 100}{X} \quad (4)$$

Donde, S es la desviación estándar y X es el promedio. Dado que este es un método biológico, se decidió que el valor de precisión máximo aceptado fuera $\leq 30\%$ [11].

Previo a la determinación de la exactitud y la precisión del método, es necesario determinar los límites de detección y de cuantificación; esto se hace con todos los datos obtenidos de todos los ensayos, se calcula inicialmente la desviación estándar, la cual ayuda a calcular: primero, el límite de detección del método expresado como 3 veces la desviación estándar (3σ), y segundo, el límite de cuantificación expresado como 10 veces la desviación estándar (10σ) [12].

2.6. Tratamiento de los datos

El análisis de resultados para las muestras sometidas a los dos tratamientos se realiza mediante la prueba Kruskal – Wallis y la correlación de rangos de Spearman; la primera permite evaluar la existencia de diferencias significativas entre los grupos de la SOD y el tipo de sedimento estudiado, la segunda, permite establecer la relación entre la SOD y el contenido de materia orgánica. Para llevar estas pruebas a cabo se utilizó el programa STATGRAPHICS Centurion.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización del sedimento

Siguiendo la metodología del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS, por sus siglas en inglés Unified Soil Classification System); los sedimentos analizados se clasifican como tamaños arena con poca cantidad de finos ($< 5\%$) y pobremente gradada (SP), ver Tabla 1 y Fig. 1. En cuanto a los sedimentos de la Planta de tratamiento LPTAR, tanto su granulometría como su contenido orgánico, coincide con lo reportado por Bermeo e Idrovo (2014) [13]; quienes analizaron los lodos de la PTAR de Ucubamba (Ecuador).

Tabla 1. Resultados de los ensayos de granulometría y clasificación de los sedimentos.

Muestra	Porcentaje de finos que pasa la malla No 200	Coefficiente de Uniformidad (CU)	Coefficiente de Curvatura (CC)	Clasificación del sedimento según el sistema unificado (U.S.C.S)	Porcentaje de Materia Orgánica (%MO)
LN	2.17	0.20	0.66	SP – Arena con poca cantidad de finos	5.60
AR	3.45	0.21	0.93	SP – Arena con poca cantidad de finos	0.00
LJB	3.72	0.25	1.08	SP – Arena con poca cantidad de finos	31.55
LPTAR [13]	1.60	0.13	0.34	SP – Arena con poca cantidad de finos	54

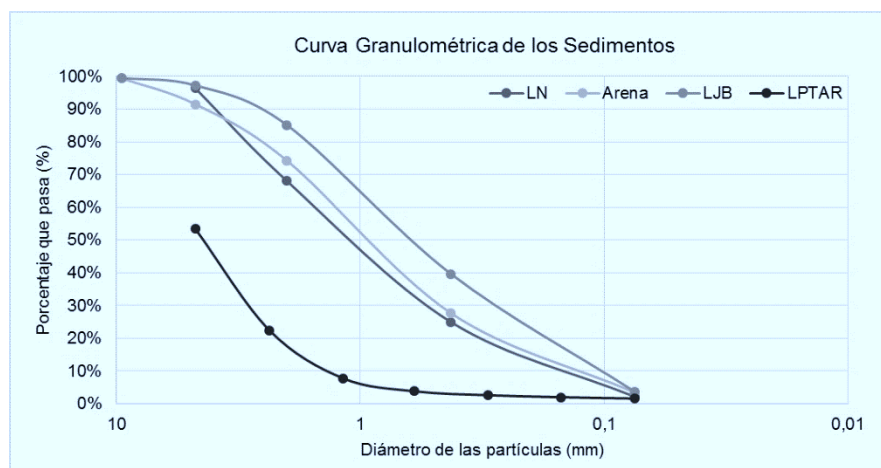


Fig. 1. Agrupación de las curvas granulométricas de los sedimentos estudiados.

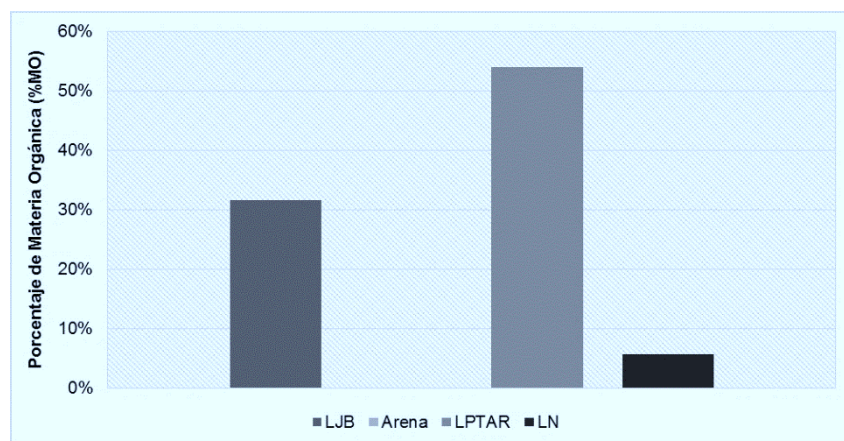


Fig. 2. Porcentajes de materia orgánica de los sedimentos estudiados.

3.2. Demanda Béntica de Oxígeno a las muestras de sedimento.

La SOD promedio ejercida por la sustancia de referencia (ácido glutámico y glucosa) fue 0.27 (g O₂/m²*d), con una desviación estándar de 0.005; este resultado se convierte en el valor de referencia del método. Como se mencionó anteriormente, el tratamiento 1 consiste en pruebas de SOD con la muestra de sedimento, y el tratamiento 2 consiste en pruebas de SOD con la muestra de sedimento adicionando glucosa y ácido glutámico. En la Tabla 2; se presentan estos resultados.

Para la laguna de neutralización (LN) la SOD fue de 0.376 g O₂/m²*d, para el lago urbano (LJB) fue de 0.51 g O₂/m²*d, estos valores se encuentran dentro del rango reportado para lagos y lagunas con relativo grado de mineralización, mostrando demandas bajas [14], [15]. Para la laguna de la PTAR la SOD fue de 2.89 g O₂/m²*d, este valor se encuentra en el rango de 2 – 10 g O₂/m²*d, reportado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) para sedimentos provenientes de desechos domésticos frescos [16]. La muestra de arena analizada mostró en promedio 0.18 g O₂/m²*d, que cae en el rango de clasificación de la SOD para lechos arenosos con escasa o nula demanda béntica [16].

Las muestras sometidas al tratamiento 2 evidenciaron un incremento significativo de la SOD, en comparación al tratamiento 1, atribuible a las sustancias químicas adicionadas a este. En el caso de la arena y la muestra del lago urbano (LJB) fue notable el incremento, el sedimento de la planta de tratamiento (LPTAR) mostró una demanda más equilibrada entre los dos tratamientos, posiblemente gracias al incremento de la actividad bacteriana, exhibiendo la mayor SOD.

Tabla 2. Estadígrafos básicos para los resultados de la SOD (g O₂/m²*d) para la sustancia de referencia y los tratamientos 1 y 2, donde; X es el promedio y S es la desviación estándar.

Sedimento	Tratamiento 1		Tratamiento 2	
	X	S	X	S
LN	0.36	0.007	-	-
LJB	0.51	0.058	1.49	0.034
LPTAR	2.89	0.564	3.11	0.058
AR (Blanco)	0.18	0.034	2.35	0.007

Acorde a los diferentes grupos de sedimentos se generó diferencias significativas (p= 0.001, prueba de Kruskal – Wallis), esto quiere decir que el origen de los sedimentos del fondo si influyen directamente en la cantidad de oxígeno que se demanda desde el fondo del ecosistema acuático. A continuación, se presenta diagrama de tendencias de distribución con el fin de visualizar las diferencias:

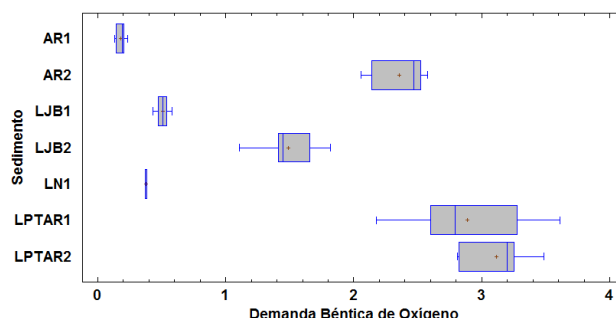


Fig. 3. Gráfico de caja y bigotes para la SOD según la procedencia del sedimento. En el eje Y, el numero 1 indica los ensayos realizados para el tratamiento 1 y el 2 indica la los ensayos realizados para el tratamiento 2.

Al analizar la relación entre la SOD y la cantidad de materia orgánica de los sedimentos por medio de la prueba de correlación por rangos de Spearman se obtuvo un (p= 0.001) y una correlación de 1.0. Valores de p menores a 0.5 indican correlaciones significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95%. En cuanto a la correlación de 1.0, quiere decir que hay una relación directa entre el contenido de materia orgánica de los sedimentos y la SOD. El análisis de correlación se encuentra estrechamente vinculado con el análisis de regresión y ambos pueden ser considerados de hecho como dos aspectos de un mismo problema. La correlación entre estas dos variables es el grado de asociación entre las mismas. En la Fig. 4 se graficó el comportamiento de estas dos variables bajo el modelo de regresión polinómica:

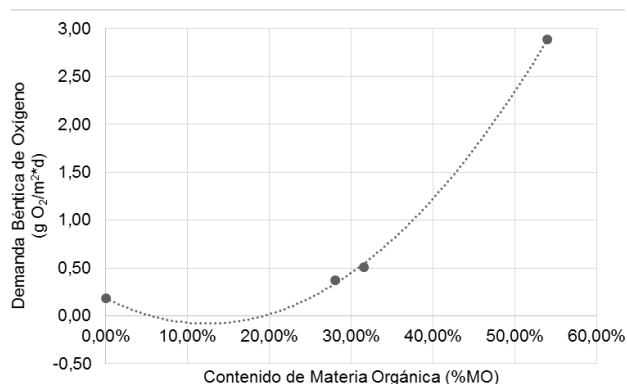


Fig. 4. Demanda Béntica de Oxígeno y contenido de materia orgánica.

Como se puede observar en la Fig. 4, a medida que aumentó el contenido de materia orgánica en los sedimentos, aumentó el valor de la SOD, con una distribución no lineal, lo cual es de esperarse, dado que el crecimiento de microorganismos en el medio, sigue este patrón.

3.3. Estandarización del método de laboratorio para la medición de la SOD

Para iniciar este proceso, en primer lugar, con los datos de la SOD obtenidos para el tratamiento 1, se definen los límites de detección (3σ) y de cuantificación del método (10σ), Tabla 2 y Tabla 3.

Tabla 3. Límites de detección y de cuantificación del método.

Blanco (Sedimento: Arena)	
Límite de detección del método	0.102 g O ₂ /m ² *d
Límite de cuantificación del método	0.339 g O ₂ /m ² *d

Prosiguiendo con el proceso de estandarización, se estima la precisión mediante el cálculo del coeficiente de variación. Cabe recordar que la precisión esta expresada como el coeficiente de variación, y en todos los casos fue inferior a 30% (Ver Tabla 4). Por lo tanto, es posible afirmar que el método elegido es preciso respecto a todos los sedimentos evaluados y también es preciso respecto a los tratamientos a los que fueron sometidos dichos sedimentos.

Tabla 4. Coeficientes de variación de los valores de la Demanda Béntica de Oxígeno (SOD) de los sedimentos.

Sedimento	Tratamiento 1		Tratamiento 2	
	S	%CV	S	%CV
LN	0.007	1.81	-	-
AR	0.058	18.73	0.034	10.08
LJB	0.564	11.52	0.058	18.02
LPTAR	0.034	19.51	0.007	9.37

Para determinar la exactitud del método, se procedió a calcular el porcentaje de error mediante la Ecuación 5, asumiendo que el resultado esperado de SOD para cada muestra sometida al tratamiento 2 sería aproximadamente igual a la suma de la SOD resultante bajo el tratamiento 1 sumada a la SOD ejercida por la sustancia de referencia (0.27 g O₂/m²*d).

$$\%Error = \frac{(SOD_{SR} + SOD_{Tratamiento\ 1}) - (SOD_{Tratamiento\ 2})}{(SOD_{SR} + SOD_{Tratamiento\ 1})} \quad (5)$$

Donde, SOD_{SR} es la demanda béntica ejercida por la sustancia de referencia.

El resultado obtenido arroja en el caso de LPTAR un error de 1.54%, muy inferior al límite establecido del 30%, en el caso de las demás muestras de sedimento, se supera ampliamente este límite, por lo que el método solo se puede considerar exacto para el sedimento LPTAR (ver Tabla 5).

Tabla 5. Porcentajes de error del método.

Sedimento	Porcentaje de Error (%E)
AR	417.90
LJB	90.64
LPTAR	1.54

Una posible explicación a estos resultados es que a mayor contenido de materia orgánica presente en el sedimento, se posibilita un medio adecuado para la proliferación de microorganismos, que ejercen una degradación más completa de la glucosa y el ácido glutámico en dicho sedimento, lo cual puede suceder con la muestra de sedimento de la planta de tratamiento (LPTAR).

4. DISCUSIÓN

Realizar estudios sobre la SOD pueden ser de gran utilidad para el desarrollo de modelos matemáticos predictivos en cuerpos de agua dominados por descargas contaminantes de origen orgánico [17], además de que brindan información sobre la calidad

del agua de los ecosistemas acuáticos. De acuerdo con López, Galindo y Romo (2009), la SOD se puede relacionar directamente con la calidad del agua de los diferentes ecosistemas acuáticos, ya que la cantidad de oxígeno disuelto en el agua es uno de los parámetros indicadores de su estado ambiental [18].

Estimar la SOD en laboratorio tiene como ventajas la posibilidad de realizar réplicas de la prueba y poder controlar los factores que más influyen en ella como la temperatura. Sin embargo, debe tenerse muchas precauciones en la toma de las muestra, puesto que su almacenamiento y transporte al laboratorio implica una perturbación del sedimento [3], que altera directamente los resultados del ensayo [19], [20], [10], [21].

De la temperatura dependen las tasas de reacción biológica y química, aumentos en la temperatura llevan a un aumento en la tasa de respiración bacteriana, obteniendo tasas de Demanda Béntica de Oxígeno mayores, es decir, cuando la temperatura varía influencia dichas tasas, causando un aumento o disminución en la Demanda Béntica de Oxígeno [22]. Sawyer (2000), citado por García (2008), opina que dicho principio tiene validez de forma condicionada en los sistemas biológicos, ya que la tasa de cambio de la velocidad a la que ocurren las reacciones disminuye paulatinamente a temperaturas altas [22]. Diferentes formulaciones que se han hecho por diferentes autores han sido aproximadas a que, si se da un aumento de 10°C en la temperatura de los procesos biológicos, estos aumentan su actividad al doble [21].

Respecto a otras condiciones ideales a tener en cuenta para la realización de los ensayos, es necesario siempre asegurarse que el sistema no tenga fugas ni burbujas, y que todas las muestras tengan el mismo tiempo de aclimatación, de esta manera se disminuye el margen de error en los resultados de los ensayos.

Una vez realizada la comparación de los resultados obtenidos para la Demanda Béntica de Oxígeno de los sedimentos estudiados, con los resultados reportados por otros autores, se puede observar que son similares a los obtenidos en este trabajo, brindando confiabilidad a los ensayos llevados a cabo bajo esta investigación.

En cuanto a la relación materia orgánica – sedimento, en la investigación de Utley et al. (2008)

se indicó que como se esperaba, la Demanda Béntica de Oxígeno aumenta cuando incrementa el contenido de materia orgánica y disminuye cuando aumenta el contenido de arena [10]; sin embargo, no se encontró una relación estadística entre la Demanda Béntica de Oxígeno y el contenido de arena, ni de la Demanda Béntica de Oxígeno y el contenido de materia orgánica.

Como se mencionó en los resultados, se observa que a medida que disminuye el contenido de materia orgánica, y por ende la cantidad de microorganismos presentes en la muestra de sedimento, se degrada en menor medida el ácido glutámico y la glucosa, por lo que es posible decir que si no hay una comunidad bacteriana que pueda degradar estos compuestos, no es posible obtener resultados con porcentajes de error bajos para la exactitud.

Hoy en día no existe una sustancia de referencia que proporcione un valor que permita compara los resultados obtenidos en las mediciones de laboratorio de la SOD, es por ello que en este trabajo se trató de establecer dicho valor, y así, comprobar la exactitud del método. Se logró implementar un proceso para la estandarización de la prueba de SOD en laboratorio, verificando los criterios más importantes como son la exactitud, la precisión y el límite de detección.

5. CONCLUSIÓN

La clasificación de características físicas de los sedimentos analizados indica que se trata de tamaños tipo arena con contenidos de materia orgánica desde muy baja para los sedimentos de la laguna de neutralización LN (5.6%) hasta media-alta en el caso del lago urbano LJB y de la laguna de la planta de tratamiento LPTAR (31.55% y 54%, respectivamente).

Según reportes de la literatura [14], los sedimentos analizados ejercieron demandas desde bajas, en el caso de la laguna de neutralización y del lago urbano con promedios de 0.376 g O₂/m²*d y 0.51 g O₂/m²*d, respectivamente; hasta un rango medio a alto como lo mostró el sedimento de la laguna de la planta de tratamiento con promedio de 2.89 g O₂/m²*d. Con los ensayos realizados se verificó la correlación directa de la SOD con el contenido de materia orgánica y la influencia del origen de los sedimentos del fondo sobre la SOD, mostrando mayores

demandas, aquellos con más alto contenido de materia orgánica.

Se comprobó el criterio de precisión del método para todas las muestras analizadas. Sin embargo, el criterio de exactitud del método sólo se verificó en el sedimento LPTAR (%error de 1.54%), lo que podría atribuirse a la afinidad de los microorganismos con la sustancia de referencia (ácido glutámico y glucosa), ya que ellas pueden degradar estos compuestos, lo que no sucede a las muestras baja presencia de estas poblaciones.

La estimación de la exactitud del método fue la mayor dificultad que se presentó en el desarrollo del trabajo, dado que no existe una sustancia de referencia estandarizada. Con la sustancia de referencia utilizada (ácido glutámico y glucosa), no se logró verificar el cumplimiento de este parámetro para todas las muestras de este experimento, por lo que se recomienda realizar más ensayos que incluyan sedimentos con una alta presencia de microorganismos y comprobar la aplicabilidad del método de estandarización seguido en este estudio para muestras con diferentes tamaño de población microbiana.

6. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se llevó a cabo gracias al apoyo del Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental (GAIA). A los profesores de la Escuela Ambiental de la Universidad de Antioquia Diana Catalina Rodríguez, Esneddy Hernández, Juan Camilo Viviescas y Camilo Castro, por su ayuda y colaboración. Al Laboratorio de Suelos, Concretos y Pavimentos, al Jardín Botánico de Medellín y a las Empresas Públicas de la Ceja E.S.P. por su cooperación.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Bowman, G. T. y Delfino, J. J. in Sediment Oxygen Demand techniques: A review and comparison of laboratory and in situ systems. *Water Research*, 14, 491-499, 1980.

[2] Abhilash, K.R., Raveendran, T.V., Limna Mol, V.P. y Deepak, M.P. in Sediment Oxygen Demand in Cochin backwaters, a tropical estuarine system in

the south-west coast of India. *Marine Environmental Research*, 79, 160-166, 2012.

[3] Yun, H. y Cheng, L. in Optimizing the design of in situ Sediment Oxygen Demand measurement chambers. *International Journal of Sediment Research*, 26, 222-229, 2011.

[4] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) Estandarización de métodos analíticos. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38152/Estandarizacion_metodos_analaticos.pdf/934bd941-dd47-4501-8507-d2721ef4f316 [consultado el 5 de noviembre de 2015].

[5] American Society for Testing Materials (ASTM). D 2487-00 Standard classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System). Pensilvania (U.S.A): ASTM International, 2007.

[6] APHA AWWA WEF 5210 BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND (BOD)*. Disponible en: <http://www.polyseed.com/misc/bod-std%20methods-8.04.pdf> [consultado el 8 de Febrero de 2016].

[7] Caldwell, J. M., y Doyle, M. C. in Sediment Oxygen Demand in the Lower Willamette River, Oregon, 1994, Portland, 1995.

[8] Butts, T. A. in Measurements of Sediment Oxygen Demand Characteristics of the Upper Illinois Waterway, Illinois, 1974.

[9] Grajales, H., Aguirre, N. J. y Palacio-Baena, J. A. in a Determinación de la demanda de oxígeno de la vegetación sumergida en la zona de represamiento de la quebrada La Vega (Antioquia), Colombia. *Actual Biol*, 28(84), 75-85, 2006.

[10] Utley, B. C., Vellidis, G., Lowrance, R. y Smith, M. C. in Factors affecting Sediment Oxygen Demand dynamics in blackwater streams of Georgia's Coastal Plain. *Journal of the American Water Resources Association*, 44, 742-753, 2008.

[11] Fornés, D. T. in a Validación de métodos microbiológicos alternativos, ainia, 2008.

[12] León, C. A. in a Estandarización y validación de una técnica para medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno por el método respirométrico

y la Demanda Química de Oxígeno por el método colorimétrico [Tesis de tecnología], Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira, 2009.

[13] Bermeo, A., y Idrovo, E. in Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en Plantas de Tratamiento de Agua Potable y Residual como agregado para materiales de construcción [tesis de pregrado], Cuenca, Universidad de Cuenca, 2014.

[14] Di Toro, D. M., Paquin, P. R., Subburamu, K. y Gruber, D. A. in a Sediment Oxygen Demand Model: Methane and Ammonia Oxidation. *Journal of Environmental Engineering*, 116, 945-986, 1990.

[15] Doyle, M. C. y Lynch, D. D. in Sediment Oxygen Demand in Lake Ewauna and the Klamath River, Oregon, June 2003. Oregon, 2003.

[16] Environmental Protection Agency (EPA) in Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling (Second Edition). Athens, 1985.

[17] Bridges, T. in Measurement of Sediment Oxygen Demand (SOD) in Upper New Meadows River and Quahog Bay Estuarine Areas, Maine. Maine, 2009.

[18] López, M. L., Galindo, D. F. y Romo, G. D. in a Determinación de la constante de desoxigenación por demanda béntica en el Río Pasto. *Criterios*, 23, 59-73, 2009.

[19] Baena, L. M., Silva, J. P. y Ramírez, C. in a Estudio experimental para la determinación de las constantes bénticas en el Río Cauca. *Ingeniería de recursos naturales y del ambiente*, 1, 12-18, 2004.

[20] Mateus, S. I. in Determinación de la influencia de los factores hidrodinámicos y de calidad del agua en la Demanda Béntica de la cuenca alta del río Bogotá [tesis de maestría]. Bogotá, 2011.

[21] Truax, D. D., Shindala, A. y Sartain, H. in a Comparison of two sediment oxygen demand measurement techniques. *Journal of Environmental Engineering*, 619-624, 1995.

[22] García, L. in Demanda de Oxígeno por Sedimentos en un ambiente lotico del altiplano de San Nicolás (Quebrada La Pereira) [Tesis de pregrado]. Medellín, Universidad de Antioquia, 2008.

[23] Benjumea, C. A. y Álvarez, G. Demanda de oxígeno por sedimentos en diferentes tramos del río Negro Rionegro, Antioquia, Colombia. *Producción + Limpia*. 12, 131-146, 2017.

[24] Rong, N., Shan, B. y Wang, C. Determination of Sediment Oxygen Demand in the Ziya River Watershed, China: Based on Laboratory Core Incubation and Microelectrode Measurements. *Environmental Research and Public Health*. 13, 232, 2016.