

Estandarización de los métodos para la determinación de DQO, DBO5 y SST para el laboratorio de aguas, UNISANGIL sede San Gil

Standardization methods to determine COD, BOD5 and TSS for the waters laboratory in, UNISANGIL, San Gil campus

Buenahora S, Yeni¹ y Vargas L, Sara¹, Estupiñán P, Rafael Antonio²
Fundación Universitaria de San Gil –UNISANGIL- Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
San Gil, Colombia

yenibuenahora@unisangil.edu.co
saravargas@unisangil.edu.co
restupinan@unisangil.edu.co

Fecha de recepción: 22 de julio de 2017
Fecha de aceptación: 22 de noviembre de 2017

I. INTRODUCCIÓN

Resumen — Este artículo contiene el desarrollo de la estandarización de métodos para la determinación de parámetros fisicoquímicos: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Sólidos Suspendedos Totales. La estandarización es un requisito indispensable para los laboratorios que deseen acreditarse bajo los lineamientos de la Norma ISO NTC 17025/2005. La metodología se basó principalmente en el uso de métodos estandarizados, usando como referencia el Standard Methods for the examination of water and wastewater, edición 22; y la Guía estandarización de los métodos Analíticos del IDEAM. La confiabilidad de cada método validado se comprobó mediante el cálculo de los siguientes parámetros que se tomarán como criterios de confianza del método: Límite de detección, límite de cuantificación, rango de trabajo, exactitud, precisión y linealidad.

Palabras clave— Estandarización, precisión, DBO₅, DQO, SST, Métodos de laboratorio.

Abstract – This article shows the development of standardization methods to determine the Physico chemical parameters: chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand and total suspended solids. Standardization is a mandatory prerequisite for laboratories seeking accreditation under the guidelines of ISO 17025/2005 NTC. The methodology was based primarily on the use of standardized methods, using as reference the Standard Methods for the examination of water and wastewater, 22nd edition, and the Standardization guideline of the analytical methods by IDEAM. The reliability of each validated method was checked with calculation of the following quality criteria used as the criteria of trust for this method: Limit of detection, limit of quantification, working range, accuracy, precision and linearity

Keywords - Validation, BOD 5, COD, TSS, statistical method.

En la actualidad es indispensable asegurar una mejor calidad del entorno, es por ello que se hace necesario la utilización de herramientas como son los laboratorios, los cuales suministran información de una manera más real y concreta. Con el fin de obtener estos resultados se hace necesario validar los métodos que el laboratorio emplea para el análisis de aguas. El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en el laboratorio de aguas de la Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL mediante el análisis de demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendedos totales. El desarrollo consistió en: la identificación de los requisitos que se deben cumplir para la validación de los métodos de determinación del DQO, DBO₅ y SST bajo los estándares de la norma ISO 17025, el desarrollo de los métodos de ensayo para el análisis de parámetros fisicoquímicos DQO, DBO₅ y SST, y en la estimación de estadísticos necesarios para la estandarización de dichos parámetros: exactitud, precisión, sensibilidad, límite de detección instrumental, y cuantificación.

II. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

A. Sólidos Suspendedos Totales (SST)

Sólidos suspendedos totales son aquel residuo no filtrable de una muestra de agua natural, agua residual doméstica o residual no doméstica; se definen como la porción de sólidos mayores a 2 μm retenidos por un filtro de fibra de lana de vidrio que posteriormente se seca a 103 -105 °C hasta peso constante. [1]

¹ Ingeniera Ambiental, UNISANGIL

² Ingeniero Químico, Coordinador Laboratorio de Aguas, UNISANGIL

B. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Es la cantidad de oxígeno consumido durante un periodo de incubación específico, para la degradación bioquímica de la materia orgánica [2]. También permite determinar el oxígeno necesario para oxidar las formas reducidas del nitrógeno (demanda nitrogenada) a menos que su oxidación se prevenga con un inhibidor [3].

C. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la cantidad de un oxidante específico que reacciona con la muestra en condiciones controladas [4]. La cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalente de oxígeno.

D. Rango de trabajo

Para la estandarización de los métodos seleccionados, se definió un rango de trabajo, teniendo en cuenta las necesidades que se expresan en la normatividad legal y los requerimientos técnicos del laboratorio. En la tabla 1 se presenta el rango de trabajo para cada parámetro.

TABLA 1. RANGO DE TRABAJO PARA CADA PARÁMETRO

Parámetro	SST	DBO ₅	DQO
Rango de validación	0 mg/l a 350 mg/l	0 mg O ₂ /l a 1000 mg O ₂ /l	0 mg/l a 500 mg/l
Concentraciones de trabajo	0 mg/l a 332,5 mg/l	0 mg O ₂ /l a 990 mg O ₂ /l	0 mg/l a 500 mg/l
Patrón	Caolín	Solución ácido glutámico-glucosa	Bifitalato de Potasio
Numero de operarios	Dos	Dos	Dos
Repeticiones	9	9	9
Nivel de significancia	0,01	0,01	0,01
% Confianza	95%	95%	95%
T Critico	3,355	3,355	3,355

III. CRITERIOS DE VALIDACION MÉTODOS ANALÍTICOS

C. Límite de detección instrumental

El límite de detección instrumental es la concentración de analito que produce una señal superior a cinco veces la relación señal/ruido del instrumento [5] [6]; se ha establecido en 1,645 veces el valor de la desviación estándar –s- de los análisis de blancos. Resulta muy útil para valorar la concentración de analito o la cantidad de un extracto necesaria para producir una señal que permita calcular un Límite de Detección del Método –LDM- estimado [6]. El límite de detección instrumental está dado por (1).

$$LDI = 1,645 * S \quad (1)$$

D. Límite de cuantificación

Una característica del funcionamiento del método que suele expresarse como señal del valor (verdadero) de la medición que producirá estimaciones con una desviación estándar relativa (RSD) generalmente de 10 % (o 6 %) [5]. El cual se determina (2).

$$LDQ = k * Sb \quad (2)$$

K: constante que está entre 5-20, en este caso se tomó 10.
Sb: Desviación estándar de blancos.

E. Rechazo de datos

En la realización de una serie de mediciones similares se puede presentar en algunos casos que uno o más de los valores numéricos obtenidos queden considerablemente fuera de los demás y se debe analizar si se justifica rechazarlo o aceptarlo. Rechazo de datos atípicos como muestra en (3).

$$T = \frac{X_{prom} - X_{ALTO}}{S} \quad (\text{para un valor alto}) \quad (3)$$

$$T = \frac{X_{prom} - X_{BAJO}}{S} \quad (\text{para un valor bajo}) \quad (4)$$

F. Precisión

Indica el grado de concordancia entre los resultados obtenidos para réplicas de una misma muestra, aplicando el mismo procedimiento experimental bajo condiciones prefijadas. Usualmente se expresa en términos de la DESVIACIÓN ESTÁNDAR. Otra forma de expresar la precisión es la Desviación Estándar Relativa o COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV), [6]. está dado por la muestra en (4).

$$CV\% = \frac{S * 100}{X_{med}} \quad (5)$$

Si el CV% es menor de 7%, es precisa; está entre 8% y 14% tiene precisión aceptable; entre 15% y 20% tiene precisión regular; y mayor de 20% es poco precisa.

De igual forma mediante Coeficiente de Horwitz se realiza análisis de precisión por repetibilidad y reproducibilidad.

Repetibilidad: Es la precisión bajo las condiciones de repetibilidad, es decir, condiciones donde los resultados de análisis independientes se obtienen con el mismo método en ítems de análisis idénticos en el mismo laboratorio por el mismo operador utilizando el mismo equipamiento dentro de intervalos cortos de tiempo. Bajo los criterios de aceptación al método siendo: En el caso de la reproducibilidad interlaboratorio el CVR% < CVh*0.8495%, para la reproducibilidad interna (intralaboratorio) CVRi% < (2*CVh%/3).

Reproducibilidad: Es la precisión bajo las condiciones de reproducibilidad, es decir, condiciones donde los resultados de los análisis se obtienen con el mismo método en ítem idénticos de análisis en condiciones diferentes ya sea de laboratorio, diferentes operadores, usando distintos equipos, entre otros. Bajo los criterios de aceptación el CVr % obtenido debe ser $< (CV\%/2)$ De igual forma se empleó el análisis de Anova para la determinación de precisión por repetibilidad y reproducibilidad conocido como análisis de varianzas; es el análisis estadístico en el cual se compara más de dos medias entre sí. Para ese fin, se debe proceder a comparar las diferencias entre cada grupo y las observaciones realizadas. Como criterio se determinó que F calculado $< F$ crítico se concluye que no hay diferencias significativas se aceptan los datos. F calculado $> F$ crítico se concluye que hay diferencias significativas no se aceptan los datos.

G. Exactitud

El término “exactitud” está aplicado a un conjunto de resultados de un ensayo y supone una combinación de componentes aleatorios y un componente común de error sistemático o sesgo. Cuando se aplica a un método de ensayo, el término “exactitud” se refiere a una combinación de veracidad y precisión [5]. La veracidad determina el grado de coincidencia existente entre el valor medio obtenido de una serie de resultados y un valor de referencia aceptado. La veracidad puede ser determinada por sesgo o recuperación.

Sesgo (s): La diferencia entre la expectativa relativa a los resultados de un ensayo o una medición y el valor verdadero. En la práctica el valor convencional de cantidad puede sustituir el valor verdadero. Se establece que F calculado $< F$ crítico se concluye que no hay diferencias significativas el método es aceptable. F calculado $> F$ crítico se concluye que hay diferencias significativas el método no es aceptable. El sesgo es el error sistemático total en contraposición al error aleatorio se determina como se muestra (5)

$$S = X - X_a \quad (6)$$

Donde: X es el valor promedio de las lecturas obtenidas y X_a es el valor asignado o valor del certificado.

Para evaluar el sesgo, se debe realizar la prueba de t cal

$$tcal = \frac{X_a - X}{s_x \sqrt{n}} \quad (7)$$

Se establece que F calculado $< F$ crítico se concluye que no hay diferencias significativas el método es aceptable. F calculado $> F$ crítico se concluye que hay diferencias significativas el método no es aceptable.

H. Linealidad

La linealidad es la capacidad de un método de análisis, dentro de un determinado intervalo, de dar una respuesta o resultados instrumentales que sean proporcionales a la cantidad del analito que se habrá de determinar en la muestra de laboratorio [5]. Teniendo en cuenta que el coeficiente de correlación obtenido sea mayor o igual a 0.999, aunque para el caso de trazas se admite un valor igual o mayor que 0.99.

IV. METODOLOGÍA

El siguiente paso del proyecto consistió en hacer las pruebas según cada método y registrar la información en un simulador en Excel para ver el desempeño e identificar las mejoras y correcciones que se requieren hacer.

De esta forma, cada objetivo específico propuesto se cumplió a través de las siguientes etapas:

- Etapa 1: identificación de parámetros y condiciones que permitieran obtener información relevante y orientada al proceso de la estandarización.
- Etapa 2: revisión de los requisitos técnicos exigidos en la norma ISO 17025/2005 para la validación de los métodos por medio de los factores que influyen en la validez y fiabilidad de los ensayos y/o calibraciones realizados en un laboratorio.
- Etapa 3: Realizar una lista de reactivos, materiales, equipos necesarios para realizar la implementación de los métodos respectivamente DQO, DBO5 Y SST según el Standard Methods para el desarrollo de esta etapa se realizará como tarea una Base de datos correspondiente a los reactivos, materiales y equipos para cada método. (11) (12)
- Etapa 4: establecimiento del rango de trabajo, cantidad de repeticiones, concentraciones y procedimientos de cada parámetro.
- Etapa 5: implementación de los procedimientos para DBO₅, DQO Y SST. (11) (12)
- Etapa 6: realización de las memorias de cálculo de los análisis estadísticos de las mediciones de los parámetros exactitud, precisión, linealidad, límite de detección instrumental y cuantificación cumpliendo con los estándares exigidos por la IDEAM, para esta etapa se realizó una planilla en Excel para cada método con el fin de evaluar y analizar los resultados de los ensayos.

V. RESULTADOS

Los resultados se presentan por medio de tablas de Excel, herramienta adquirida con el fin de poder simular el comportamiento de los métodos frente al análisis estadístico y poder determinar la estandarización del método.

I. Límite de detección instrumental y cuantificación

Se determinó que según el laboratorio de aguas de UNISANGIL el límite de cuantificación es la cantidad de analito que el método puede detectar en las condiciones que el laboratorio proporciona a la muestra (ver tabla 2).

TABLA 2. LÍMITE DE DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE CADA MÉTODO

Límite de detección y cuantificación blancos			
Parámetro	SST (mg/l)	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	DQO (mg/l)
PROMEDIO	0,1444	0,1667	0,1333
DESVIEST	0,113	0,0240	0,3929
LDM	0,1859	0,0394	0,6463
LCM	1,8595	0,3945	6,4633

II. Precisión

El análisis de precisión se tuvo en cuenta como primera medida el análisis por ANOVA ya que es el método que evalúa la información permitiendo hacer el análisis por la t-student para el coeficiente de Horwitz. Según como se muestra en la tabla 3.

TABLA 3. ANÁLISIS DE PRECISIÓN POR ANOVA

CONCENTRACIONES PARA SST (mg/l)							
Concentración Teórica	4,75	14,25	19	95	237,5	285	332,5
F _{Calculado}	0,0909	0,8857	2,5860	1,0260	0,3575	3,0070	3,4680
F _{Crítico}	5,1432	5,1432	5,1432	5,1432	5,1432	5,1432	5,1432
CONCENTRACIONES PARA DBO ₅ (mg O ₂ /l)							
Concentración Teórica	1,98	4,95	9,9	49,1	198	396	990
F _{Calculado}	1,0793	1,8679	0,0502	0,8335	0,5712	1,9634	1,1230
F _{Crítico}	5,1432	5,1432	5,1432	5,1432	5,1432	5,1432	5,1432
CONCENTRACIONES PARA DQO (mg/l)							
Concentración Teórica	4,75	14,25	19	95	237,5	285	332,5
F _{Calculado}	0,6294	0,1381	0,1381	0,2118	0,0308	0,0699	0,1775
F _{Crítico}	5,1432	5,1432	5,1432	5,1432	5,1432	5,1432	5,1432

De acuerdo al criterio establecido por el análisis de varianza en donde se establece que si el F_{Calculado} < F_{Crítico} se determinó que en los tres métodos se acepta los valores obtenidos, pues no existe diferencia significativa entre el F calculado y el F crítico y permite determinar que los métodos son repetibles y reproducibles, en la tabla 4 se presenta este caso.

TABLA 4. COEFICIENTE DE HORWITZ

Determinación de precisión SST (Repetibilidad y reproducibilidad)								
	Valores teóricos rangos de trabajo (mg)							
	4,75	14,25	19	95	237,5	285	332,5	
	Valores del laboratorio (mg)							
CV%	4,3639	2,4202	4,9502	3,9209	4,0708	1,1662	1,4975	
COEFIC IHOR	1,5819	1,3305	1,2741	1,0000	0,8712	1,6952	0,8282	
REPETIBILIDAD	0,7909	0,6652	0,6371	0,5000	0,4356	0,8476	0,4141	
CONDICIONAL	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	
REPRODUCIBILIDAD	1,05460	0,88699	0,84940	0,66667	0,58078	1,13012	0,55210	
CONDICIONAL	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	
Determinación de precisión DQO (Repetibilidad y reproducibilidad)								
	Valores teóricos rangos de trabajo (mg)							
	50	100	200	300	400	500		
	Valores del laboratorio (mg)							
PROMEDIO	44,8667	94,9250	191,5333	287,4500	380,7833	474,6583		
DESVIA EST	4,7744	6,4827	14,8877	21,5562	32,4564	35,7980		
CV%	10,6413	6,8293	7,7729	7,4991	8,5236	7,5418		
COEFIC IHOR	1,3305	1,2741	1,0000	0,8712	1,6952	0,8282		
REPETIBILIDAD	0,6652	0,6371	0,5000	0,4356	0,8476	0,4141		
CONDICIONAL	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	
REPRODUCIBILIDAD	0,88699	0,84940	0,66667	0,58078	1,13012	0,55210		
CONDICIONAL	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	
Determinación de precisión DBO ₅ (Repetibilidad y reproducibilidad)								
	Valores teóricos rangos de trabajo (mg O ₂ /l)							
	1,98	4,95	9,9	49,1	198	396	990	
	Valores del laboratorio (mg)							
PROMEDIO	1,96	4,86	9,47	52,07	199,76	394,63	994,25	
DESVIA EST	0,07	0,08	0,67	5,42	2,41	2,79	4,69	
CV%	3,38	1,71	7,03	10,42	1,21	0,71	0,47	
COEFIC IHOR	1,80	1,57	1,42	1,11	0,90	0,81	0,71	
REPETIBILIDAD	0,90	0,79	0,71	0,56	0,45	0,41	0,35	
CONDICIONAL	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	
REPRODUCIBILIDAD	1,20	1,05	0,94	0,74	0,60	0,54	0,47	
CONDICIONAL	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	

Según el criterio de Horwitz se estableció que los métodos son repetibles y reproducibles, de igual forma se tuvo en cuenta que el coeficiente de variación no fuera mayor a 20% por lo cual son datos homogéneos.

III. Exactitud

Para el análisis de exactitud los tres métodos presentaron valores menores reduciendo la probabilidad de error en la información. Dentro del criterio establecido para T_{calculado} < T_{crítico} estimándose los métodos como métodos exactos, ver tabla 5.

TABLA 5. ANÁLISIS DE SESGO

Determinación de Exactitud SST								
	Valores teóricos rangos de trabajo (mg)							
	4,75	14,25	19	95	237,5	285	332,5	
	Valores del laboratorio (mg)							
PROMEDIO	4,7444	14,3111	18,8889	97,5556	237,777	282,777	331,555	
DESVIAEST	0,194	0,388	1,152	4,639	8,955	4,867	5,811	
SESGO	-0,005	0,061	-0,111	2,555	0,277	-2,222	-0,944	
T _{cal}	0,0095	0,052	0,032	0,183	0,010	0,152	0,054	
T _{crítico}	3,3550	3,355	3,355	3,355	3,355	3,355	3,355	
Condiciona	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	
Determinación de Exactitud DQO								
	Valores teóricos rangos de trabajo (mg)							
	50	100	200	300	400	500		
	Valores del laboratorio (mg)							
PROMEDIO	47,42	101,31	204,47	307,05	406,05	502,52		
DESVIAEST	5,49	10,87	23,10	34,64	46,03	50,66		
SESGO	-2,58	1,31	4,47	7,05	6,05	2,52		
T _{cal}	0,1566	0,0402	0,0645	0,0678	0,0438	0,0166		
T _{crítico}	3,355	3,355	3,355	3,355	3,355	3,355		
Condiciona	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	
Determinación de Exactitud DBO ₅								
	Valores teóricos rangos de trabajo (mg O ₂ /l)							
	1,98	4,95	9,9	49,1	198	396	990	
	Valores del laboratorio (mg)							
PROMEDIO	1,97	5,03	9,85	52,09	199,22	395,20	994,83	
DESVIAEST	0,06	0,29	0,92	4,73	3,26	3,63	4,09	
SESGO	-0,01	0,08	-0,05	2,99	1,22	-0,80	4,83	
T _{cal}	0,0646	0,0946	0,0194	0,2106	0,1254	0,0735	0,3937	
T _{crítico}	3,355	3,355	3,355	3,355	3,355	3,355	3,355	
Condiciona	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	SE ACEPTA	

IV. Linealidad

En las figuras 1, 2 y 3 se puede observar el comportamiento de los datos en los 3 métodos según sus rangos de trabajo cumpliendo con el criterio en el cual el coeficiente de correlación fuera mayor a 0.999, lo cual permite deducir que son métodos directamente proporcionales a los rangos de trabajo.

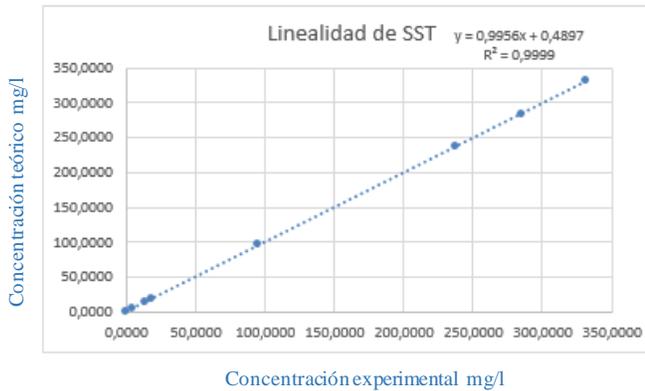


Fig. 1 Linealidad para SST

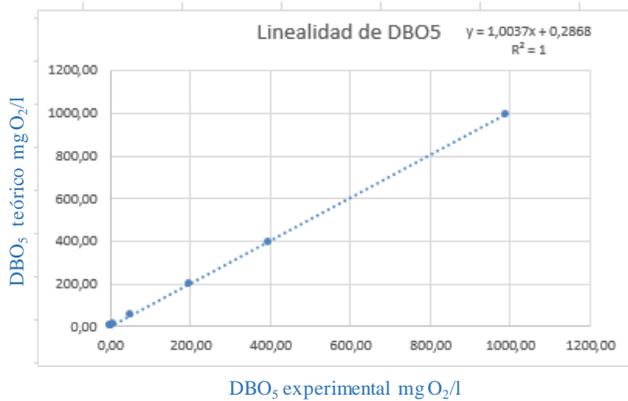


Fig. 2 Linealidad para DBO₅

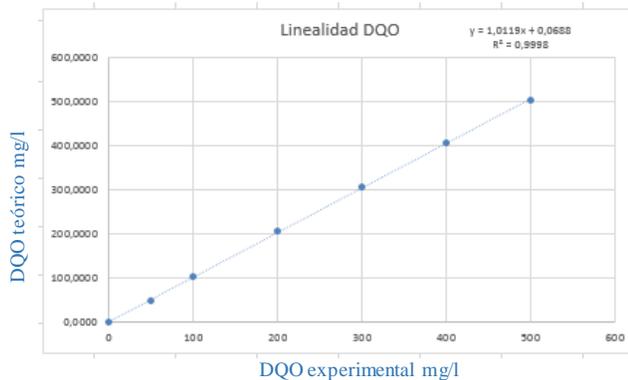


Fig. 3 Linealidad para DQO

VI. CONCLUSIONES

La estandarización de los métodos analíticos del Laboratorio de Aguas de UNISANGIL corresponde al cumplimiento de la Norma ISO 17025 con el fin de garantizar la confiabilidad de los resultados que reporta el laboratorio.

La estandarización de los métodos DQO, DBO₅ Y SST por medio de la determinación de límite de detección límite de cuantificación, precisión, exactitud, linealidad los cuales dieron valores entre los límites aceptados, se adecúa a los procedimientos simplificados establecidos por el IDEAM que incluye los parámetros fundamentales que requiere un método analítico.

Para el caso de DBO se tomó como estándar la mezcla de glucosa-ácido glutámico, la cual tiene una velocidad de degradación estable y por lo tanto se obtienen resultados que se consideran repetibles y reproducibles, esto se refleja en los valores obtenidos para la estandarización de este parámetro y se observa en la gráfica de linealidad.

De acuerdo a los valores obtenidos para la precisión usando ANOVA y Horwitz, los métodos evaluados son repetibles y reproducibles en condiciones de ensayo similares a las establecidas en este documento, teniendo en cuenta que para DBO₅ varían las condiciones de acuerdo a la cepa, el cuidado que se realice con respecto al agua de dilución y la manipulación de los equipos.

La sensibilidad del método de DQO demostró que pequeños cambios en la absorbancia se ven reflejados en grandes cambios en la concentración, por lo tanto, se debe tener especial cuidado en la operación del equipo, construir curvas de calibración para cada jornada de trabajo y controlar la presencia de impurezas.

Los límites de detección y cuantificación son bajos para el caso de DBO comparados con valores reportados en otros estudios y laboratorios, lo anterior es altamente positivo pues permite determinar valores bajos de carga contaminante. Para el caso de SST y DQO se tienen también valores bajos, pero a la vez están más cercanos a los reportados en literatura.

La linealidad de los tres métodos en el rango de trabajo seleccionado asegura una gran proporcionalidad entre la concentración de cada analito y la respuesta obtenida por el método.

La estandarización de los métodos por parte de los laboratorios de ensayo es un requisito indispensable para la implementación de los métodos de análisis, constituyéndose en la base del aseguramiento y control de la calidad, asegurando que los resultados que reporte sean válidos y

confiables, lo que repercute que la toma de decisiones que se haga con datos válidos sean adecuadas para los estudios que se realicen.

REFERENCIAS

- [1] D. Blanco, “Validación de los métodos de análisis DQO reflujo cerrado, sulfato y nitratos, en aguas, en el laboratorio de análisis químico de aguas residuales de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga”, (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2012.
- [2] A. León, “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 pregrado). Universidad tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, 2009.
- [3] M. López, “Optimización del sistema de calidad analítica en el laboratorio de análisis de agua de la Carder” (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia, 2008.
- [4] G. Ibáñez, “Validación de las técnicas de análisis de agua: DQO, DBO5, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos y Disueltos a través de evidencias estadísticas conforme a lo dispuesto en la Norma ISO 17025 del 2005 y la identificación de mesófilos, coliformes totales y fecales, s, 2010.
- [5] Instituto de Salud Pública de Chile, “Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición: “Aspectos generales sobre la validación de métodos” (Guía). Santiago, Chil, 2010.
- [6] Instituto de hidrología, Meteorología y Estudio Ambientales, IDEAM.. “Estandarización de Métodos Analíticos” Colombia, 2006.
- [7] D., Maza, “Validación de métodos analíticos para: DBO, DQO, nitritos, sólidos totales, cloruros y dureza total para análisis de aguas naturales, aguas de consumo humano y aguas residuales en el laboratorio de Ingeniería Ambiental (Laboratorio UTPL)”, (tesis de pregrado). Universidad técnica particular de Loja, Loja, Ecuador, 2013.
- [8] F., Pulido, “Validación de la técnica analítica demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) en el laboratorio de PSL pro análisis lida determinando el oxígeno disuelto por el método yodo métrico y por el método electrométrico”, (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2007.
- [9] Standard Methods for the examination of water and wastewater American Public Health association, American Water Works Association, American water environment federation. 22 th Ed., New York, 1995. American Public Health Association 1015 Fifteen Street, NW. Washington, DC, 2012.
- [10] M. Villamizar, “Estandarización de métodos analíticos usados para el análisis de agua, en el laboratorio del centro de estudios e investigación ambientales (CELAM),” (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2008.
- [11] W. Lozano-Rivas. Calidad fisicoquímica del agua. Métodos simplificados para su muestreo y análisis. Universidad Piloto de Colombia, 2013.
- [12] M. Hincapie Pérez y G. Chaverra Cardona. Diagnóstico de aguas. Manual de Laboratorio. Universidad de Medellín, 2015.