

## **TRABAJOS PRÁCTICOS DE LABORATORIO EN LA DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO EN AGUAS POR MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO**

Nadver Enrique Restrepo Salcedo  
Universidad Pedagógica Nacional  
[naerresa@hotmail.com](mailto:naerresa@hotmail.com)  
[nerestrepos@upn.edu.co](mailto:nerestrepos@upn.edu.co)

Línea temática: Didáctica de las Ciencias Naturales en las Educación Superior  
Modalidad: Modalidad 6

### **Resumen**

El presente proyecto de investigación tiene como fin principal el diseño de una estrategia didáctica que permita a los estudiantes la adquisición de destrezas propias de la práctica experimental desde el desarrollo de los trabajos prácticos de laboratorio (TPL), realizando una serie de prácticas experimentales de análisis espectrofotométrico para la cuantificación de nitrógeno total en aguas, efectuando, además, un contraste entre el método analítico convencional (Kjeldahl), a partir de la determinación de variable de validación estadística. El proyecto busca una estrategia innovadora en la enseñanza del análisis químico instrumental, específicamente en el campo de la espectrofotometría de absorción molecular y que atiende a la necesidad de cuantificar parámetros fisicoquímicos del agua para regular la problemática de la eutrofización.

### **Palabras clave**

Espectrofotometría, Trabajos Prácticos de Laboratorio, Enseñanza,

### **Objetivos**

- Diseñar una propuesta enfocada en los trabajos prácticos de laboratorio (TPL) en la determinación espectrofotométrica de nitrógeno total en agua como estrategia didáctica en la enseñanza de análisis químico instrumental.
- Determinar parámetros de validación estadísticos para el método espectrofotométrico y volumétrico.
- Construir y evaluar una propuesta que permita la enseñanza de análisis químico instrumental y validación de este para el método espectrofotométrico en la región visible.

### **Marco Teórico**

Vargas Neira (2014) define los trabajos prácticos de laboratorio (TPL) como una serie de actividades que son diseñadas para que los estudiantes resuelvan problemas de carácter científicos o tecnológicos. Propone, además, una serie de características que han de tener los TPL para poder ser desarrollados, entre las que se encuentran:

- Deben ser realizadas por los estudiantes, puesto que se establece que el estudiante debe tener un rol activo de su propio proceso de aprendizaje.
- Es necesario que impliquen procedimientos científicos, haciendo alusión al método científico, donde el estudiante realice observaciones, formule hipótesis, realice ensayos experimentales para validar las hipótesis y por último plantee conclusiones.
- Tienen un nivel de complejidad mayor a las actividades tradicionales del aula de clase, puesto que involucran, además de un apropiamiento teórico y lógico matemático, una serie de destrezas y habilidades propias del manejo instrumental, de equipos y en el caso de la química de reactivos químicos.
- Se realiza en espacios diferentes al aula de clase, sin embargo, el autor especifica que también se pueden desarrollar dentro del aula haciendo uso de laboratorios móviles.

Los niveles de abertura son una técnica pedagógica, incluida dentro de los TPL, que busca un mayor esfuerzo cognitivo por parte de los estudiantes en la realización de prácticas experimentales. Shiland (1999) citado en Jiménez, Llobera y Llió (2006) propone que a medida que se desarrollan procesos cognitivos más complejos es necesario reducir la información que se le entrega al estudiante en el protocolo experimental y de esta manera aumenta el nivel de abertura de la práctica experimental.

Además, proponen que las prácticas que involucran los niveles más bajos son de carácter expositivo donde el docente orienta todos los procesos de la práctica experimental. Dentro del desarrollo de los TPL a nivel de educación superior se busca que los estudiantes logren alcanzar un nivel de abertura muy abierto, es decir, están en capacidad de plantear la problemática y metodología de resolución de la misma,

#### Espectro Electromagnético y Región Visible

Es una pequeña porción del espectro electromagnético, que comprende desde 380 nm hasta los 760 nm y en la cual cualquier energía que se produzca en este ancho de banda genera la sensación de color perceptible para el ojo humano. Se ubica posterior al ultravioleta *UV* y antes de la región del infrarrojo *IR*.

#### Espectrofotometría de Absorción Molecular

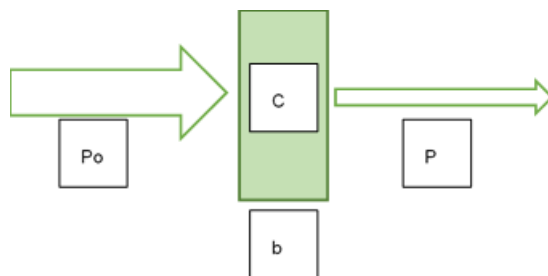
La espectrofotometría es una técnica de análisis químico que se emplea en la determinación y cuantificación de un analito presente en una muestra problema o de interés, se basa en la interacción entre un compuesto en solución de color y la absorción de luz acorde a la concentración de este.

En la espectrofotometría de absorción es necesario conocer cuál es la energía correspondiente a la excitación que absorbe la muestra, para pasar de un estado basal a uno excitado, en un proceso que se denomina *barrido* donde se varía la longitud de onda hasta encontrar una de máxima absorción para la muestra.

Según Skoog (2008) la espectrofotometría de absorción molecular se fundamenta en la medición de transmitancia  $T$  o de la absorbancia  $A$ , que se relacionan linealmente con la concentración del mensurando según la Ley de Beer:

$$A = -\text{Log}T = \frac{P}{P_0} = a * b * C$$

Donde  $a$  es la absorptividad específica, puede ser reemplazada por  $\epsilon$ , que de igual forma representa la absorptividad, pero para una concentración molar, es un valor constante para cada componente a determinada longitud de onda, generalmente la de máxima absorción,  $b$  es la longitud de la celda donde se localiza la solución que contiene la muestra y  $C$  es la concentración del analito en partes por millón ( $ppm$ ), en la ilustración 1 se puede observar como la potencia de la luz disminuye cuando pasa por una muestra de concentración  $C$  en una celda de longitud  $b$  (Clavijo Díaz, 2002).



*Ilustración 1 Disminución de potencia de la luz (Elaboración propia)*

## Absorción

Ocurre cuando la interacción resulta en la transferencia de energía de la radiación a la materia. Para explicar la absorción se pretende abordar la naturaleza particular de la luz, esbozada por la ecuación de Planck, donde la energía de un fotón está “cuantizada”, en esta teoría, cuando un fotón colisiona con un receptor existe una probabilidad, finita, que su energía se transfiera en un proceso discontinuo:

$$E = \frac{h}{\nu} \text{ Entonces } \Rightarrow M + h\nu \rightarrow M^*$$

Donde  $M^*$  es el receptor excitado o cargado con la energía del fotón. Sin embargo, la energía de excitación también está cuantizada, es decir, sólo habrá una “promoción” de un estado basal o inicial a un estado excitado siempre que el fotón transfiera la energía específica para que el electrón sea transferido al siguiente nivel de energía (Clavijo Díaz, 2002).

## Contaminación del Agua con Nitrógeno

Dentro del agua abundan iones secundarios denominados nutrientes, puesto que son empleados por las algas y otras especies para su actividad biológica, y estos son fosfato ( $PO_4$

<sup>-3</sup>), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Margalef, 1982, citado en INVEMAR, 2013).

Si bien los nutrientes son esenciales para el desarrollo de la vida y organismos vivos, el exceso de estos altera la armonía natural de los ecosistemas. En el caso de los ecosistemas acuáticos se le denomina eutrofización al exceso de nutrientes presente en el medio, sus consecuencias, principalmente, consisten en mal olor, aumento de turbidez, sedimentos de coloración oscura, sobrepoblación de algas y especies vegetales, además de la descomposición de materia orgánica que afecta paulatinamente las condiciones fisicoquímicas del agua (Chapa & Guerrero, *s.f.*).

El nitrógeno que llega al agua puede provenir de diferentes fuentes y en distintas formas iónicas, como se indicó anteriormente, las principales fuentes de contaminación no puntual de nitrógeno en agua según Carpenter *et al* (1998) son:

- Escorrentías en zonas agropecuarias que transportan material fecal o de desecho alimenticio cargado de proteínas
- Escorrentías desde zonas de pastoreo
- Escorrentías urbanas en zonas sin desagüe
- Lavado y escorrentía de sistemas sépticos.

### **Metodología**

Considerando los alcances de la profundización, el presente trabajo se presenta como una monografía investigativa, con un enfoque mixto (CUAN-cual), con un diseño anidado o incrustado concurrente de modelo dominante (DIAC), definido por Sampieri (2006) como un diseño dentro del cual se colectan simultáneamente datos cuantitativos (propios de la práctica experimental) y cualitativos (propios del alcance de la propuesta).

En este diseño existe un orden de prioridad, siendo el de mayor prioridad el central el cual responde a más preguntas relativas a la investigación. El método de menor prioridad se considera secundario y se emplea específicamente para atender a dudas que pueden surgir a partir del método central.

Ambas bases de datos proporcionan visiones del mismo problema desde diferentes perspectivas. Para la presente investigación prima el enfoque cuantitativo, puesto que se obtendrán resultados empíricos de la actividad experimental; el diseño incrustado será el cuantitativo, puesto que se obtienen resultados del nivel de abertura que se alcanza por medio de la propuesta.

### **Determinación espectrofotométrica de amonio en agua (método de Indofenol)**

El ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) reacciona con hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) en un medio citrato alcalino para formar la monocloroamina ( $\text{H}_2\text{N}-\text{Cl}$ ), la cual en presencia de fenol ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ) y Nitroprusiato de sodio (catalizador) forma un complejo colorado llamado azul de indofenol, además, por la acción del citrato se acomplejan los iones de calcio y magnesio eliminando

las interferencias que puedan generar (INVEMAR, 2003). El azul de indofenol se lee en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 640 nm (región visible).

#### Determinación espectrofotométrica de nitritos en agua

Para la determinación de nitritos, que son componentes intermedios en el ciclo del nitrógeno, se hacían múltiples reacciones que desencadenaban en la producción de ácido nitroso en un componente que teñía fuertemente y permitía su lectura en el espectrofotómetro, sin embargo, se empleaban componentes cancerígenos y altamente contaminantes, por lo cual se empleará una adaptación al método propuesta por Shin (1952) citado en INVEMAR, 2003; que consta de la producción de un compuesto azo rojo, el cual se forma tamponando la muestra a un pH que oscile entre 2,0 y 2,5 de allí con ayuda de sulfanilamida y N-(1-naftil)etilendiamina dicloruro (NED dicloruro) se lee a una longitud de onda de 543 nm

#### Determinación espectrofotométrica de nitratos (reducción con Cd)

En la determinación de iones nitrato, los más abundantes por estabilidad, se realiza una reducción a iones nitrito en la muestra, tratándola con cloruro de amonio que actuará como un buffer y posteriormente haciéndola fluir por una columna que contiene cadmio (Cd) recubierto con cobre coloidal a un pH de 8,5; de esta manera se eliminan interferentes y se hace uso del tratamiento descrito anteriormente (INVEMAR, 2003).

#### Determinación volumétrica de nitrógeno en agua

Como parte de la investigación consiste en identificar qué metodología resulta más lineal y con un mejor óptimo rango de trabajo, se procede a describir el método de determinación de nitrógeno total (prueba Kjeldahl).

El proceso consiste en la digestión de la muestra para transformar todo el nitrógeno (orgánico e inorgánico) hasta ion amonio, el cual se recolecta en una solución de ácido fuerte, cuyo volumen y concentración son conocidos, para una posterior valoración del exceso del ácido con una base fuerte, de esta manera se determina indirectamente la cantidad de nitrógeno total presente en la muestra (Clavijo Díaz, 2002).

## **Resultados**

Considerando que el componente didáctico de la intervención son los trabajos prácticos de laboratorio, se espera poder identificar los niveles de apertura en el que se encuentran los estudiantes antes de la intervención, para poder evaluar, a partir de la problemática que ellos planteen, el nivel de apertura alcanzado posterior a la intervención.

No se puede establecer en qué nivel de apertura se espera encontrar a los estudiantes, ya que la propuesta queda abierta a la implementación en diferentes niveles educativos, que van desde educación básica secundaria, media y superior, por lo cual, los resultados serán diferentes acudiendo al nivel educativo donde se encuentre la población.

El desarrollo de la propuesta permitirá realizar una evaluación que no involucra pretest ni postest, ya que los estudiantes, al plantear su situación problema, delimitan directamente su motivación hacia el desarrollo experimental, y plantean las barreras en su aprendizaje, siendo de esta manera un aprendizaje más significativo que el hecho de cuantificar una muestra entregada por el docente. La evaluación se realiza de manera individual considerando el informe de práctica experimental e implementando un cuestionario que permita evidenciar la resolución de problemas en un contexto diferente.

## Conclusiones

Las conclusiones resultan netamente teóricas, ya que el presente es un avance de proyecto de investigación que no se ha implementado. Atendiendo a los objetivos planteados para la elaboración del proyecto se puede establecer que:

- La estrategia didáctica resulta innovadora dentro de la enseñanza de la química analítica instrumental dentro del país, puesto que durante la revisión bibliográfica en el período comprendido entre 2013-2019, no existen más de tres trabajos de investigación de habla hispana que articulan la enseñanza de la química analítica instrumental, específicamente de la espectrofotometría de absorción atómica, con los trabajos prácticos de laboratorio.
- El análisis de parámetros de validación permite a los estudiantes el desarrollo de actividades con un mayor sustento matemático, que le da, a su vez, una mayor validez y soporte para el público que pueda leer sus investigaciones.
- La construcción de trabajos prácticos de laboratorio son una estrategia didáctica viable en la formación de profesionales en ciencias, ya que les brinda herramientas para el planteamiento y resolución de problemáticas que surgen de su propio interés y motivación para el desarrollo experimental, además de otorgar a los estudiantes destrezas propias de las prácticas de laboratorio.

## Bibliografía

Carpenter, S. R., Correll, D. L., Caraco, N. F., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). NONPOINT POLLUTION OF SURFACE WATERS WITH PHOSPHORUS AND NITROGEN. *The Ecological Society of America*.

Chapa Balcorta, C., & Guerrero Arenas, R. (s.f.). *Eutrofización: Abundancia que mata*. Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <http://bibliotecas.umar.mx/publicaciones/eutrofizacion.pdf>

Clavijo Díaz, A. (2002). *Fundamentos de Química analítica. Equilibrio iónico y análisis químico*. (U. N. Colombia, Productor)

Harris, D. (2007). *Análisis Químico Cuantitativo*. Barcelona: Reverté

Hernández Sampieri, R. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL.

INVEMAR. (2003). *MANUAL DE TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y CONTAMINANTES MARINOS (AGUAS, SEDIMENTOS Y ORGANISMOS)*. Santa Marta: INVEMAR.

Jiménez Valverde, G., Llobera Jiménez, R., & Llitjós Viza, A. (2006). La atención a la diversidad en las prácticas de laboratorio de química: los niveles de abertura. *Investigación Didáctica*, 59-70.

Vargas Neira, S. D. (2014). *Los trabajos prácticos de laboratorio y el aprendizaje significativo de los parámetros fisicoquímicos de calidad en aceites: Una mirada desde la ingeniería de alimentos*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.