

Propuesta de Práctica Académica
Modalidad Trabajo de grado



Identificación del estudiante

Nombres y apellidos	Jhon Anderson Lopera Cortés
Documento de identidad	1035868117
Teléfono	3158164110
Semestre académico	10
Fecha de entrega de la propuesta	23/03/2018
E-mail	jhona.lopera@udea.edu.co

Identificación del asesor interno (U. de A.)

Nombres y apellidos	Ana María Cárdenas Soto
Teléfono	2198569
Oficina	19-422
E-mail	ana.cardenas@udea.edu.co

Nombres y apellidos	Juan Diego Zapata Caro
Teléfono	2195560
Oficina	18-310
E-mail	jdzapa@gmail.com

Identificación del grupo de investigación (si aplica)

Nombre del grupo de investigación o Empresa	GITA-Grupo de Investigación en Telecomunicaciones Aplicadas
Nombre del coordinador del grupo o Representante de la empresa	Juan Rafael Orozco Arroyave
Teléfono	2198523
Oficina	18-333 A
E-mail	rafael.orozco@udea.edu.co

Caracterización del desempeño de fuente de luz no ionizante para detección de mercurio mediante espectrometría de absorción atómica como parte de un sistema de monitoreo remoto

Introducción

El estudio de la contaminación por mercurio se ha convertido en un tema de gran impacto ambiental, no solo por su presencia en el aire en zonas cercanas a algunas industrias o por la contaminación en ríos en regiones de explotación minera, sino por las implicaciones que trae en la vida acuática que eventualmente será el alimento de muchas personas.

Esta que parecía ser una amenaza se volvió realidad en agosto de 2017, cuando el periódico El colombiano¹ informó que el Invima dio una alerta sobre el consumo de 2 lotes (3270 latas) de atún Vam Camp's que habían sobrepasados los límites de mercurio establecidos por resolución 148 de 2007, esto es, 1 mg de mercurio por cada kg de atún. Adicionalmente, se informó que es la segunda vez que el Invima encuentra una infracción a la norma por parte de la misma empresa, ya que en octubre del 2016 tuvieron que retirar un lote de atún que sobrepasaba la concentración máxima permitida.

El mercurio (Hg) aunque puede ser lanzado al aire por actividad volcánica, en su mayoría es producto de actividades humanas como quema de residuos industriales, amalgamado del oro y fabricación de cemento. Debido a que su punto de ebullición es bajo (360 °C aproximadamente), el Hg es fácilmente convertido en vapor, lo que le permite transportarse por la atmósfera hasta llegar a ríos y mares, donde puede tener un gran impacto en la vida humana, ya que los peces y otras formas de vida acuática poseen la capacidad de transformar el mercurio inorgánico en orgánico (metilmercurio) y almacenarlo en sus tejidos a lo largo de su vida mientras consumen alimentos que se encuentren contaminadas con Hg. Este proceso se conoce como bioacumulación y trae como consecuencia un problema aún mayor: la biomagnificación, que consiste en el incremento de las cantidades de Hg a medida que se escala en la cadena trófica, es decir, si un pez se alimenta de otras formas de vida, por ejemplo, otros peces que se encuentren contaminados con Hg, dicho pez almacenará todo el Hg que sus presas consumieron a lo largo de su vida, lo cual puede incrementar de forma considerable la concentración de Hg presente en un único pez, llegando así a concentraciones que pueden ser peligrosas para el consumidor final [1].

La detección de Hg en pescado se ha convertido en un importante tema de estudio debido a la facilidad con la que estos pueden contaminarse y al peligro que representa el Hg incluso en concentraciones relativamente bajas (1 mg/kg según la ley 148 de 2007) para el ser humano. Por ejemplo, el envenenamiento con Hg puede producir problemas auditivos, visuales, de

¹ Tomado de: <http://www.elcolombiano.com/colombia/salud/efectos-en-la-salud-de-consumir-atun-contaminado-por-mercurio-AN7168389>

habla, parálisis, daño en el sistema nervioso de los fetos e incluso la muerte en pocas semanas luego de que aparecen los síntomas. Además, una vez ingerido, el tiempo de vida medio del Hg en un cuerpo adulto es de 60 a 70 días [2,3].

Algunos organismos internacionales han dedicado esfuerzos a regular y estandarizar los niveles máximos de concentración Hg que deberían tener diferentes tipos de pescados para que puedan ser consumidos sin generar ningún problema en la salud, los cuales de una forma muy general varían entre 0.5 mg/kg y 1 mg/kg dependiendo del estándar [2].

Existen muchas técnicas que permiten determinar la concentración de Hg incluso en muestras orgánicas, el problema con algunas de ellas es que requieren una preparación de la muestra previa a las medidas y que los dispositivos finales, aunque poseen una gran sensibilidad, son tan robustos que se vuelven costosos y no portables [2,3,4].

El propósito de largo plazo, al que contribuye este proyecto, es fabricar un prototipo de un dispositivo de bajo costo que, basado en espectrometría de absorción atómica (ASS), permita medir la concentración de Hg en pescado con la sensibilidad suficiente para cumplir los estándares adoptados por los organismos internacionales citados en la tabla 1 (0.5mg/kg -1mg/kg). Adicionalmente el dispositivo se conectará a una base de datos en la nube y se enviará la ubicación del mismo en caso de que un análisis de concentración supere los estándares citados en la tabla 1. El objetivo de esto es monitorear, a largo plazo, las regiones con más riesgos de intoxicación con Hg.

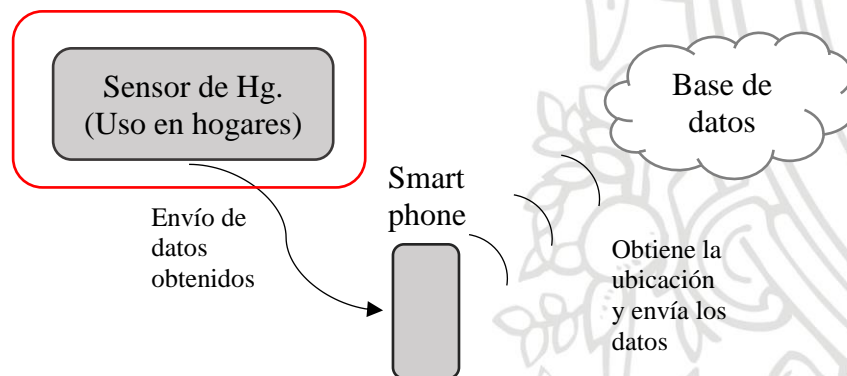


Figura 0: Esquema conexión del sensor de Hg con la base de datos

El alcance concreto de este trabajo de grado será estudiar una fuente luz alternativa cuya longitud de onda que no represente un riesgo para la salud humana, y determinar si dicha longitud de onda permite realizar un análisis de concentración sobre una muestra patronada de mercurio y cuál es el valor mínimo de concentración que se podría medir con esta..

Tabla 1: Niveles máximos de Hg adoptados por algunos organismos internacionales [2].

Organización	Tipo de pescado	Hg total (mg/kg)	Hg orgánico (mg/kg)
Comisión EU	Peces no carnívoros y crustáceos		0.5
	Peces carnívoros		1
Codex Alimentarius	Peces no carnívoros y crustáceos		0.5
	Peces carnívoros		1
US FDA	Pescados, mariscos, crustáceos y otra comida acuática		1
China	Peces no carnívoros y crustáceos		0.5
	Peces carnívoros		1
Japón	Todos los peces, mariscos y productos acuáticos	0.4	0.3
Australia	Peces no carnívoros, crustáceos y moluscos	0.5	
	Peces carnívoros	1	
Canadá	Peces no carnívoros crustáceos y moluscos	0.5	
	Peces carnívoros	1	

OBJETIVOS

Objetivo general:

Caracterizar una fuente de luz no ionizante que sirva para realizar medidas de concentración de Hg, en muestras líquidas o gaseosas, a partir de una técnica de espectrometría de absorción.

Objetivos Específicos:

1. Evaluar la fiabilidad del uso de fuentes no ionizantes como alternativa a las fuentes UV (253.7 nm) que se utilizan normalmente en ASS.
2. Probar diferentes sensores de luz implementados para la tarjeta microcontroladora Arduino, y determinar si su sensibilidad es suficiente como para determinar un cambio intensidad de luz debido a la absorción por partículas de mercurio.

3. Obtener la constante de absorción del Hg para la longitud de onda empleada y trazar basados en esta, la curva de absorbancia vs. concentración de Hg.
4. Programar un algoritmo que procese los valores de intensidad obtenidos por el sensor de luz, y basado en éstos calcule la concentración de Hg en una muestra, para su posterior envío a una base de datos en la nube.

Marco Teórico

EL MERCURIO EN PESCADO

Muchos microorganismos acuáticos poseen la capacidad de transformar el mercurio elemental que ingieren, en alguna forma de mercurio orgánico. El más común de todos es el metilmercurio, que además de estar presente en casi todas las formas de vida acuática, tiende a bioacumularse y biomagnificarse. Estas dos características hacen que sea posible encontrar grandes concentraciones de mercurio en un único espécimen de vida acuática, ya que aparte de poder acumular Hg a lo largo de su vida mientras consume alimentos contaminados (bioacumulación), también pueden “transferir” el Hg almacenado a sus predadores (biomagnificación) [6].

Una vez en el organismo, el Hg puede deprimir mecanismos enzimáticos que interfieren con el metabolismo y algunas funciones celulares. El Hg se distribuye en los diversos órganos de forma selectiva dependiendo de la cantidad, el grado de oxidación y la forma (elemental, orgánico o inorgánico). Por ejemplo, la forma orgánica tiende a distribuirse en órganos que son ricos en lípidos (es liposoluble), tales como el cerebro, el hígado, los riñones y el tejido adiposo. Además, tiene la capacidad de atravesar barreras biológicas, como la placenta y la barrera hematoencefálica, afectando la formación del feto, el sistema nervioso, e incluso causar alteraciones morfológicas en el cerebro [7]. De aquí el interés de analizar el pescado que consumimos, principalmente proveniente de lugares donde se sabe hay extracción minera, por los altos riesgos de su contaminación con mercurio.

ANTECEDENTES DE IMPLEMENTACIONES SIMILARES

Existen diversos métodos para la detección de Hg total o de metilmercurio, como se muestra en la tabla 2. Todos los métodos tienen ventajas y desventajas unos respecto a otros, las cuales, en resumen, consisten en la complejidad del dispositivo, el costo, la sensibilidad, el tiempo de análisis y la necesidad de realizar una preparación previa de la muestra antes de las medidas.

Tabla 2: Métodos de detección usados frecuentemente y sus límites de detección [8]

Método	Límite de detección para Hg total
Método colorimétrico de ditizona	0,01-0,1 mg/g
Espectrometría de absorción atómica - horno de grafito (GF AAS)	1 ng/g, 0,01-1 ng/g, 0,001-0,01 ng/g
Radioquímica (RNAA)	0,01-1 ng/g
Análisis por activación neutrónica-instrumental (INAA) Radioquímica (RNAA)	1-10 ng/g
Cromatografía gaseosa - detector de captura electrónica	0,01-0,05 ng/g
Detector de emisión atómica	~ 0,05 ng/g
Espectrometría de masas	0,1 ng/g
Cromatografía líquida de alta eficiencia - detector de UV	1 ng/mL
CVAAS (Cold Vapor Atomic Absorption Spectroscopy)	0,5 ng/mL
CVAFS (Cold vapour atomic fluorescence spectroscopy)	0,08 ng/mL
Electroquímico	0,1-1 ng/mL
Plasma acoplado inductivamente-espectrometría masas (ICP MS)	0,01 ng/mL
Espectrometría de emisión atómica (ICP AES)	2 ng/mL
Espectrometría foto-acústica	0,05 ng
Fluorescencia de rayos X	5 ng/g - 1 mg/g
Métodos electroquímicos	0,1-1 mg/g

Dentro de estas técnicas de análisis de Hg, las de principal interés son las que se basan en espectrometría, tales como: la espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CV AAS), espectrometría de fluorescencia atómica (CV AFS) con vapor frío, espectrometría de masas (ICP-MS) con plasma acoplado inductivamente [8].

El método más usado, entre las técnicas espectrométricas, es la espectrometría de absorción atómica con vapor frío y esto se debe a que tiene una sensibilidad alta. La desventaja de este método es que su tiempo de análisis es grande, y esto se debe en parte, a que es necesario un pre procesamiento de la muestra (digestión) para convertir todas las formas de Hg presentes en Hg^{2+} [8]. Otra forma de separar el mercurio de la muestra es utilizando la combustión, y analizar el vapor resultante usando espectrometría de absorción atómica (AAS). Se han reportado límites de detección para este método en un rango entre 0.9 ng/g y 1 nm/g según [4] y la Tabla 2.

Usar combustión en vez de digestión de la muestra, reduce significativamente los tiempos de análisis, según se indican algunos en los equipos comerciales ². Revisando algunas de estas técnicas que detectan mercurio por combustión de la muestra y espectroscopia, se pueden distinguir cuatro fases, mostradas en la figura 1:

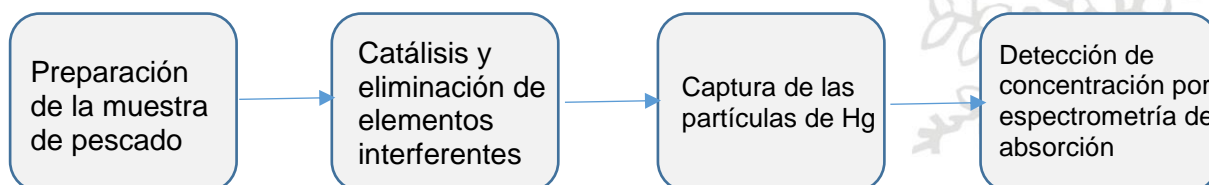


Figura 1. Esquema general de un proceso de análisis de Hg en pescado por espectrometría de absorción.

El alcance del proyecto se centra en entender y probar la sección de espectrometría de absorción, con fuentes diferentes a las lámparas ultravioletas (UV) en 253.7 nm [2, 5, 14], y determinar si es posible cumplir, como mínimo, con los estándares de detección especificados en la tabla 1. La elección típica de 253,7 nm como longitud de onda para el análisis se hace debido a la fuerte absorción del Hg en ese punto del espectro (ver figura 2 y [9]). Sin embargo, cabe probar si es posible el cambio a longitudes de onda no ionizantes, como la 435,8 o 546.1 nm, que siguen teniendo una absorción relativamente buena según la figura 2, y presentan menos riesgos para la salud.

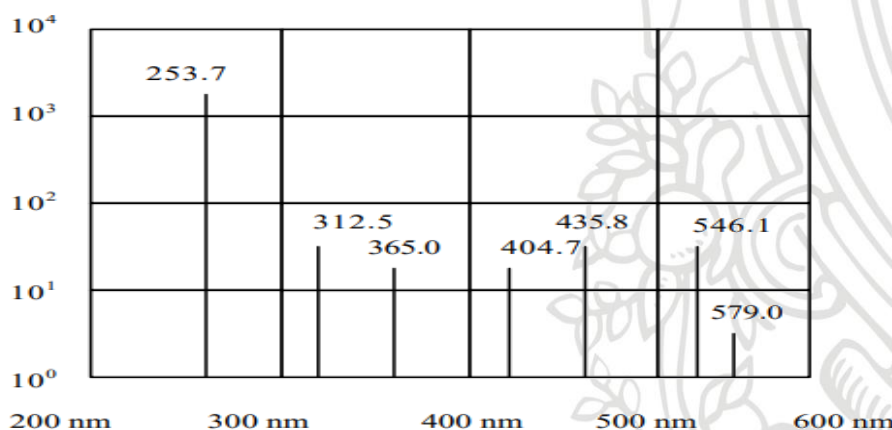


Figura 2. Intensidad relativa de absorción vs longitud en una lámpara de Hg [10]

ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

² Espectrómetros de absorción atómica Kymos, tomado de: <https://www.agilent.com/en-us/products/atomic-absorption/atomic-absorption-systems> [consultado el 20/03/2018]

Absorción atómica

Los átomos de un elemento están formados por núcleos alrededor de los cuales hay un determinado número de electrones. Dicho número de electrones depende del elemento, y está asociado a una estructura orbital que es única de cada para cada uno ellos. La ocupación de un electrón en un orbital se da de forma ordenada y predecible, además dependiendo de la posición de los electrones en un determinado orbital se puede decir que el átomo se encuentra en un cierto estado de energía. Todo elemento en la naturaleza tiende a estar en el menor estado energético posible, el cual se conoce generalmente como estado fundamental y corresponde a la configuración atómica más estable [11].

Ahora, si se le transfiere una cantidad adecuada de energía a un átomo, este podrá pasar de su estado de energía mínimo a un estado excitado que ya no es estable. La cantidad de energía necesaria para producir dicho fenómeno depende nuevamente del elemento con el que se esté trabajando. En este punto se pueden dar dos procesos que tienen gran relevancia en el tema de la espectroscopia; uno se conoce como emisión y ocurre cuando el átomo, en el intento de regresar a su estado fundamental, irradia el exceso de energía en forma de luz, liberando un fotón con una longitud de onda que depende directamente de la cantidad de energía con la que se excitó [11].

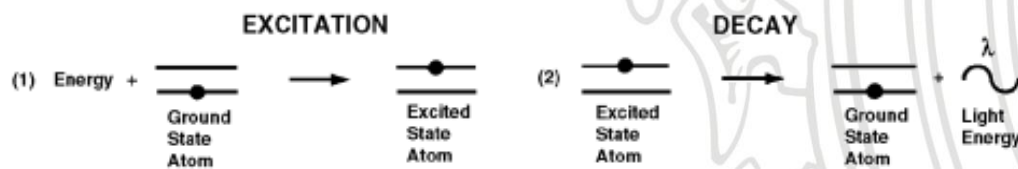


Figura 3: Proceso de emisión de un fotón [11].

El otro proceso es la absorción y ocurre cuando la energía con la que se excita un átomo es absorbida por el mismo. En este caso no hay emisión de luz cuando el átomo regresa al estado fundamental [12].



Figura 4: Proceso de absorción atómica [12].

Si se transfiere energía al átomo usando una fuente lumínica, es posible asociar, según la ecuación de Planck $E = hc/\lambda$, la energía necesaria para que haya absorción atómica con la longitud de onda de la luz. Dicho proceso es

fundamental para la técnica de espectrometría por absorción, debido a que las longitudes de onda para que exista absorción atómica son muy particulares de cada elemento.

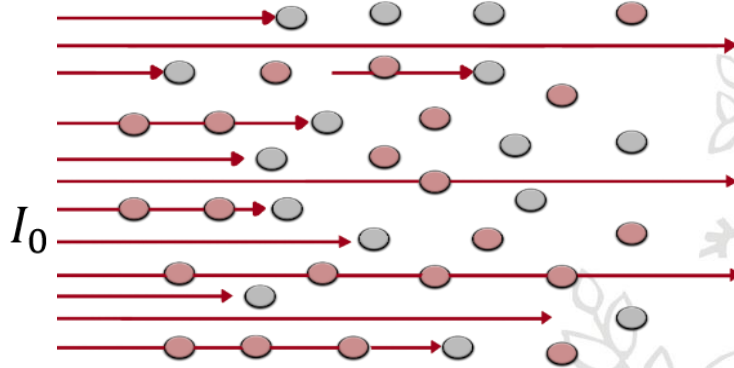


Figura 5: Absorción de luz debido a átomos del mismo elemento.

Mientras más átomos de un mismo elemento estén presentes en el camino óptico un haz de luz con la longitud de onda adecuada para que haya absorción, mayor cantidad de luz será absorbida, lo que significa que es posible medir la concentración de un elemento que esté presente, por ejemplo, en un gas, si se logra medir que cantidad de luz fue absorbida y se determina una expresión que relacione las dos cantidades [12].

Ley de Beer-Lambert

La relación entre la intensidad de luz que incide sobre un gas y la que se absorbe al pasar a través de él, está dada por la ley de Beer-Lambert. Esta ley enuncia que cuando una luz que proviene de una fuente monocromática (o al menos de banda estrecha) atraviesa un medio gaseoso, una parte de la luz será absorbida por el gas si la longitud de onda de la luz corresponde a uno de los valores de energía donde se da una transición de estado y se estimula el proceso de absorción atómica [13].

La expresión matemática de la ley de Beer-Lambert está representada en la Ecuación (1).

$$I = I_0 e^{-\alpha(\lambda)lc} \quad (1)$$

$\alpha(\lambda)$: Coeficiente de absorción del elemento (varía en función de λ)

l : Longitud de camino óptico.

c : Concentración.

Expresar (1) como la división de intensidades I/I_0 y luego cambiar a escala logarítmica, nos dará una relación lineal entre la intensidad de luz medida por el sensor y la concentración del elemento que se desea analizar.

$$A = -\log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) = \log_{10}(e) \alpha(\lambda) l c \quad (2)$$

$$A = 0.434 \alpha(\lambda) c l \quad (3)$$

Esta cantidad se conoce como absorbancia y es habitual referirse a ella cuando se trabaja con técnicas espectrométricas [13].

Esquema del prototipo del sensor de Hg.

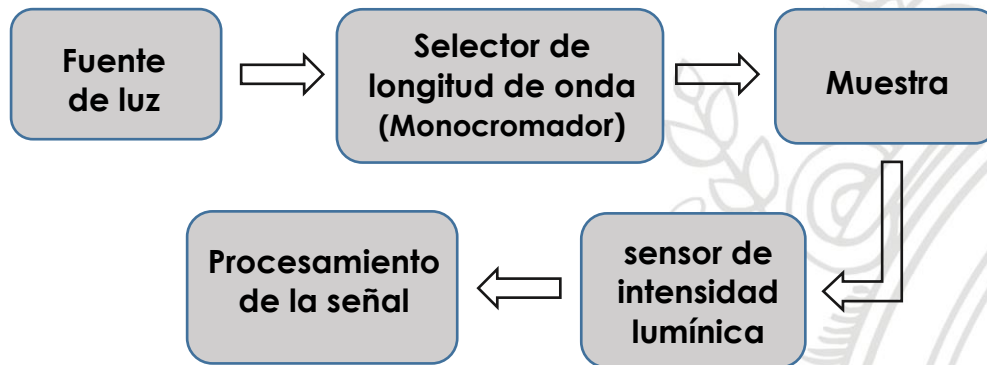


Figura 6: Esquema del prototipo del sensor de Hg.

El selector de longitud de onda se hará con un monocromador cuya red de difracción estará fija. Se plantea de esta manera porque la idea no es medir el espectro de absorción del Hg (para lo cual sería necesario rotar gradualmente la red de difracción), si no filtrar y monocromar una única longitud de onda en la cual se han reportado intensidades relativamente grandes (435.8 o 546.1nm) [9].

Metodología

A continuación, se explica el procedimiento para alcanzar los objetivos de la propuesta:

Objetivo 1: Evaluar la fiabilidad del uso de fuentes no ionizantes como alternativa a las tradicionales lámparas de mercurio que se utilizan en ASS.

Actividad 1.1: Estudiar distintos mecanismos de emisión de luz en una longitud de onda donde el Hg tenga buena absorción y se garantice que la radiación no sea peligrosa para la salud.

Actividad 1.2: Se analizarán distintas técnicas reportadas en la literatura, para obtener emisión de luz en una longitud de onda de interés de acuerdo con el espectro de absorción del mercurio. En este caso particular se desea obtener luz en 435.8 o en 546.1

Actividad 1.3: Una vez elegida la longitud de onda, es necesario implementar un sistema monocromador. Esto se debe a que las fuentes de luz que tienen dicha longitud de onda³, pueden ser fuentes con un ancho espectral grande en comparación con el ancho de una transición atómica.

Objetivo 2 Probar diferentes sensores de luz implementados para la tarjeta microcontroladora Arduino, y determinar si su sensibilidad es suficiente para medir el cambio intensidad de luz debido a la absorción por partículas de Hg.

Actividad 2.1: Con base en la fuente de luz seleccionada, escoger y probar un sensor, de acuerdo con el criterio de sensibilidad, bajo costo y facilidad de montaje.

Objetivo 3: Obtener y validar la constante de absorción del Hg y curva de absorbancia vs. concentración de mercurio, con el fin de calibrar el prototipo.

Actividad 3.1: Para hallar la constante de absorción dada en la ecuación (1), se usarán soluciones de Hg (probablemente en ácido nítrico) con concentraciones certificadas⁴. Sobre dichas soluciones se hará incidir, desde una distancia conocida l , un haz de luz de intensidad I_0 , se medirá la intensidad (I) al otro lado del recipiente que contiene el Hg, y conociendo la concentración de mercurio en la solución se calculará la constante absorción $\alpha(\lambda)$. Se contará con apoyo del laboratorio del GAIA.

Actividad 3.2: Con base en varias mediciones, se trazará la curva de absorbancia vs. concentración de Hg.

Actividad 3.3: Una vez obtenida la constante de absorción del Hg en la longitud de onda deseada, se realizarán pruebas en muestras con una concentración de Hg arbitraria (Hg disuelto en ácido nítrico). Luego se medirá la concentración Hg en la misma muestra usando el equipo disponible en los laboratorios de GAIA⁵. La idea de esto es determinar la confiabilidad de la medida realizada por el prototipo implementado.

Objetivo 4. Programar un algoritmo que procese los valores de intensidad obtenidos por el sensor de luz, y basado en éstos calcule la concentración de Hg en una muestra, para su posterior envío a una base de datos en la nube.

³ Láser FP en 435nm, disponible en: <https://www.rpmlasers.com/product/tg435-435nm-blue-laser-diode-copy-2/>

⁴ El grupo de investigación GAIA-UdeA utiliza y recomienda este método para hacer la curva de calibración.

⁵ VP100 Continuous Flow Vapor Generator. <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/942316805641>

Actividad 4.1: Procesar los datos entregados por el prototipo del sensor (intensidades lumínicas) y obtener basados en la ley de Beer-Lamber, la concentración Hg presente en una columna de gas o disolución.

Actividad 4.2: Investigar cuál es el protocolo adecuado para enviar información a una base datos en la nube. Las primeras pruebas se realizarán usando UBIDOTS que utiliza el protocolo HTTP (plataforma online) y TCP (a nivel de enlace).

Cronograma de Actividades

Objetivos	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Evaluar la fiabilidad del uso de fuentes no ionizantes como alternativa a las tradicionales lámparas de mercurio que se utilizan en ASS, con el fin de tener un prototipo de medición de uso doméstico.						
Probar diferentes sensores de luz implementados para la tarjeta microcontroladora Arduino, y determinar si su sensibilidad es suficiente para medir el cambio intensidad de luz debido a la absorción por partículas de Hg.						
Obtener la constante de absorción del Hg y curva de absorbancia vs. concentración de mercurio, con el fin de calibrar el prototipo.						
Programar un algoritmo que procese los valores de intensidad obtenidos por el sensor de luz, y basado en éstos calcule la concentración de Hg en una muestra, para su posterior envío a una base de datos en la nube.						
Escritura y presentación de resultado.						

Resultados Esperados

Este trabajo se centrará en obtener la factibilidad del uso de una fuente de luz no ionizante para mediciones de mercurio usando la técnica de espectrometría de absorción atómica, y en el despliegue de información hacia el usuario y la base datos en la nube.

Entregables.

Hoja de datos con las especificaciones de la fuente y el detector utilizados, y el análisis de resultados de su fiabilidad para medición de concentración de mercurio, utilizando como validadores las medidas de equipos de laboratorio de la Facultad.

La parte de combustión y catálisis no se realizara debido al alcance que tiene el trabajo de pregrado

Presupuesto

Rubro	Descripcion	Justificación rubro	FUENTES DE FINANCIACIÓN					Total
			CODI ¹	UDEA:Grupo Instrumentación		Recursos externos:indique la		
				Rec. Fresco	Rec. Especie	Rec. Fresco	Rec. Especie	
Recursos humanos	Estudiante	Dedicación de 30 horas semanales durante 6 meses	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 15.120.000	\$ 15.120.000
Recursos humanos	profesor asesores	Dedicación de 2 horas/semana durante 6 meses	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 2.400.000	\$ 2.400.000
bibliografia	Bases da datos bibliográficas de la Ude A	para estudiar distintas técnicas de emisión de luz	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 900.000	\$ 900.000
Material y Suministro	Sensores Ópticos luz visible - TSL25911	Para medir la absorcion de Hg	\$ 120.000	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 120.000
Material y Suministro.	Tarjeta microcontroladora Arduino 1	Para analizar los datos obtenidos por el sensor optico y desplegar el resultado de analisis al usuario	\$ 100.000	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 100.000
Servicios técnicos	Uso de elementos lab de fotónica-GITA	Montaje y pruebas de prototipo inicial	\$ 0	0	\$ 1.800.000	0	0	\$ 1.800.000
Servicios técnicos	Pruebas de espectro de fuente (equipo de Instituto Fisica)	Sistema para generar campos magnéticos. Genarar luz polarizada. Sistemas de medida.	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 400.000	\$ 400.000
Servicios técnicos	Pruebas de absorción de mercurio y calibración (Lab GAIA)		\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000
Material y Suministro	Material de laboratorio y componentes electrónicos.	Para el diseño de la fuente la fuente de luz que se usara en el analisis de cuantificacion de Hg	\$ 1.500.000	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 1.500.000
Material y Suministro	Implementos para analisis con Hg: guantes, gafas y tapabocas	Implementos de seguridad minimos para trabajar con Hg en los laboratorios de GAIA	\$ 50.000	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 50.000
Material y Suministro	Disolucion con concentracion certificada de Hg en acido nitrico.	Necesario para calibrar el dispositivo y hallar la constante de absorcion que rige la ley de Beer-lambert	\$ 230.000	\$ 100.000	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 330.000
	SUBTOTAL		\$ 2.000.000	\$ 100.000	\$ 1.800.000	\$ 0	\$ 20.020.000	\$ 23.920.000
	Administración 3%		\$ 0					\$ 0
	TOTAL		\$ 2.000.000	\$ 100.000	\$ 1.800.000	\$ 0	\$ 20.020.000	\$ 23.920.000

Referencias bibliográficas

- [1] Tamara Perez, Marc Pouilly, Bioacumulación y biomagnificación del mercurio en los peces de la cuenca Itenez,
- [2] Accurate Analysis of Low Levels of Mercury in Fish by Vapor Generation AA Rebecca Price, Thermo Fisher Scientific, Cambridge, UK,2016.
- [3] PSA Mercury Analyser-Detecting mercury in seafood[online]. Disponible en: <http://mercuryanalyser.com/mercury-analyzer/detecting-mercury-in-seafood/index.html>
- [4] James V. Cizdziel, Thomas A. Hinnners, and Edward M. Heithmar, Determination of total mercury in fish tissues using combustion atomic absorption spectrometry with gold amalgamation, Universidad de Nevada Las vegas,2001.
- [5] Determination of Mercury in Environmental Samples by Direct Solid Analysis Dr. Heinz Rüdél, Dr. Jan Kösters, Diana Homrighausen, Fraunhofer Institute for Molecular Biology and Applied Ecology.

- [6] J Poulin, H Gibb, Mercurio Evaluación de la carga de morbilidad ambiental a nivel nacional y local, organización mundial de la salud, salud pública y medio ambiente, Ginebra 2008.
- [7] Mercurio: Cartilla de información, Movimiento mundial para el cuidado de la salud libre de mercurio, Salud sin daño, 2008.
- [8] I. Ruiz, Metodologías analíticas utilizadas actualmente para la determinación de mercurio en músculo de pescado, Universidad de Costa Rica, 2016.
- [9] Persistent Lines of Neutral Mercury, Basic atomic spectroscopic data [online], disponible en: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/Tables/mercurytable3.htm>, [Consultado el 14/03/2008].
- [10]. Princeton instruments, Mercury Pen-Ray Light Source, Model MS-416 datasheet [online], Massachusetts, disponible <ftp://ftp.princetoninstruments.com/public/manuals/Acton/MS-416-220.pdf>
- [11] R D. Beaty, J D. Kerber, "The Atom and Atomic Spectroscopy" Concepts, Instrumentation and Techniques in Atomic Absorption Spectrophotometry, The Perkin-Elmer Corporation.
- [12] Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy, The Perkin-Elmer Corporation, 1996.
- [13] A.M Cubillas, O.M. Conde, C. Jáuregui, A. Cobo, J.M. Lopez, Detección de gas metano mediante espectroscopia de absorción óptica y algorítmica multilínea ILS, Universidad de Cantabria, España.
- [14] C. García, Determinación de mercurio por generación de vapor frío y detección vía absorción y fluorescencia atómica, Universidad Simón Bolívar, 2010.

Visto bueno del asesor

Como asesor conozco la propuesta y avalo el contenido de la misma.

Ana María Cárdenas Soto
C.C. 43.497.317

