**Propuesta de investigación con coinvestigadores**

**Diseño de un sistema inteligente basado en biosensores y sensores electroquímicos para la detección de metales pesados provenientes de las aguas residuales**

**Ing. Angela Viviana Alzate García**

**Docente**

**Magister en Instrumentación Física**

**Estudiante de Doctorado en Ciencias-Física**

**Facultad de Ciencias e Ingeniería**

**Universidad de Manizales**

**Manizales**

**2025**

**Diseño de un sistema inteligente basado en biosensores y sensores electroquímicos**

**para la detección de metales pesados provenientes de las aguas residuales**

**INTRODUCCIÓN**

El cromo, cadmio, zinc, níquel, cobre, entre otros, son metales pesados comúnmente presentes en las aguas residuales, que conllevan a múltiples retos medioambientales por los posibles niveles de contaminación en las fuentes hídricas y riesgos para la salud. Actualmente, existen diversas tecnologías que permiten disminuir la presencia de metales pesados en los vertimientos que realiza la industria de la galvanotecnia; a su vez, existen métodos analíticos estandarizados y normativa definida para cuantificar la posible presencia de estos compuestos. Justamente esto, genera que la demanda de estas evaluaciones sea muy alta, dispendiosa, y su tecnología muy costosa, ocasionando una pérdida de información que no permite la toma de decisiones de manera eficaz.

Esta tesis doctoral propone la implementación de un sistema inteligente portable basado en una red híbrida de sensores enzimáticos y electroquímicos que permita las medidas *in situ*, y una respuesta rápida al usar las estrategias de *IoT* (internet de las cosas)y *Smart cities.* La red de sensores estará conformada por biosensores intervenidos con la técnica de deposición de ángulo rasante (GLAD) que consiste en crear películas delgadas del material, que en este caso es cobre. El GLAD combina la deposición de ángulo rasante y el control de la posición del sustrato, con el fin de crear apilamientos de tamaño nanométrico con porosidad y formas controladas. Adicionalmente, los biosensores se basarán en la enzima glucosa oxidasa, enzima que tiene buena respuesta en interacción con varios metales pesados. Se trabajará con sensores electroquímicos serigrafiados (SPE, por sus siglas en inglés), que presentan electrodos de trabajo modificados con nanotubos de carbono (Multicapa en 110CNT, monopared en 110SWCNT), polipirrol, óxido de grafeno, óxido de Bismuto (III), nanopartículas de oro, ferrocianuro, prussian blue, meldola´s blue, entre otros. Usando modelos estadísticos y quimiométricos se seleccionará la red de sensores definitiva que mejor se adapta al problema y, posteriormente, se realizarán las pruebas de funcionamiento y conexión con los sistemas embebidos mediante el lenguaje de programación PYTHON. Luego, se implementará el algoritmo para la conexión inalámbrica entre ambos sistemas que hacen parte para que el dispositivo de toma de medidas sea portátil usando una miniPC y una pantalla y demás elementos necesarios que cumplan con las condiciones deseadas: conexión Wi-Fi/Bluetooth para el intercambio de información en la nube y la administración de datos provenientes de sensores, y que permite la comunicación móvil de datos. Dicho algoritmo se desarrollará en PYTHON. Una vez se valide el correcto funcionamiento de lo anteriormente descrito, se diseñará e implementará la aplicación móvil para la interacción con el usuario. Finalmente, se integrarán los sensores y los módulos con los sistemas embebidos y con la aplicación para el completo funcionamiento del sistema inteligente. Se realizarán pruebas analíticas tradicionales, para comprobar el funcionamiento de cada uno de los sensores, además del alcance de la conexión inalámbrica que proveen los módulos, y la conexión entre el sistema embebido encargado de subir los datos a la nube, con el servidor escogido para almacenar los datos.

Este sistema permitirá la detección de metales pesados en las aguas residuales de la galvanotecnia, de manera eficiente y a bajo costo. Además, se facilitará un monitoreo de la calidad del agua, tanto para empresas como para autoridades reguladoras. El uso de tecnologías avanzadas ofrece ventajas en eficiencia, portabilidad y accesibilidad. Además, los sistemas inteligentes de monitoreo remoto agilizan la acumulación de información y reducen los tiempos asociados con los métodos tradicionales de muestreo y análisis. La interconexión de sensores y el procesamiento de datos mejoran los procesos industriales, permitiendo decisiones y medidas correctivas oportunas.

Este proyecto de tesis doctoral se encuentra radicado y aprobado en la Universidad de Caldas en el en el programa en red del Doctorado de Ciencias- Física con la Universidad Tecnológica de Pereira y la Universidad del Quindío, titulado “Diseño de un sistema inteligente basado en biosensores y sensores electroquímicos para la detección de metales pesados provenientes de las aguas residuales”. Esté proyecto está dirigido por la Dra. Natalia Prieto Castañeda adscrita al Departamento de Física de la Universidad de Caldas y docente de catedra de la Universidad Nacional y codirigida por el Dr. Francesc Xavier Muñoz Berbel, investigador asociado al Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM), que forma parte del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

**SUBPROYECTO**

**Introducción.**

En el marco del proyecto principal orientado a la detección de metales pesados en aguas residuales de la industria de la galvanotecnia mediante una red híbrida de sensores electroquímicos y biosensores enzimáticos, surge el presente subproyecto, cuyo objetivo es desarrollar la interfaz de usuario y los algoritmos de procesamiento de datos para la correcta clasificación de las muestras analizadas, utilizando Python como lenguaje de programación principal.

Este subproyecto contará con la participación de 2 estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones quienes son Nicolas Ramírez Villamizar y Camilo Rubio Pazmiño quienes asumirán el rol de coinvestigadores y estarán encargados del diseño y desarrollo de la interfaz de usuario. Además, se integrarán dos estudiante del programa de Análisis de Datos, Isabela Rodríguez Duque y Santiago García López quienes apoyarán como coinvestigadores en el procesamiento de la información y en la implementación del algoritmo de clasificación, también desarrollado en Python.

El trabajo en conjunto entre ambas disciplinas hará posible el desarrollo de una plataforma capaz de recopilar, analizar y visualizar datos en tiempo real de manera eficiente. La interfaz de usuario será diseñada para que la interacción con el sistema inteligente portátil sea sencilla e intuitiva, garantizando accesibilidad al usuario. Mientras tanto, los algoritmos de procesamiento de datos utilizarán técnicas de quimiometría y aprendizaje automático para identificar la presencia de metales pesados en las muestras analizadas.

Este subproyecto es clave dentro del proyecto general, ya que permitirá integrar estrategias de IoT y Smart Cities para mejorar la gestión y el monitoreo de la calidad del agua. Al optimizar la detección de contaminantes en fuentes hídricas, se impulsará el desarrollo de soluciones tecnológicas más accesibles y eficientes, facilitando la toma de decisiones tanto en el sector industrial como en el ámbito regulador.

**Objetivo General**

Desarrollar una interfaz de usuario intuitiva que integre la recopilación, procesamiento, y visualización de datos en tiempo real, que permita la detección y diferenciación de aguas residuales de la galvanotecnia con metales pesados y sin ellos basados en técnicas quimiométricas y análisis multivariado.

**Objetivos Específicos**

1. Diseñar una interfaz de usuario intuitiva que permita la interacción con el sistema de detección, la recopilación y visualización de los datos obtenidos por la red de sensores.
2. Desarrollar algoritmos de procesamiento de datos empleando técnicas quimiométricas para clasificar las muestras de agua según la presencia o ausencia de metales pesados.
3. Integrar la interfaz de usuario con el sistema de detección y la infraestructura IoT, permitiendo la transmisión y almacenamiento eficiente de datos en la nube para su posterior análisis y toma de decisiones.