

Artículo de investigación

Cómo citar: Y. Moscoso, J. Rivera y M. Hurtado, "Utilización de técnicas electroanalíticas para la detección de metales pesados en el riego La Ramada, vereda Tibaitatá (Mosquera - Cundinamarca)". *Inventum*, vol. 18 n.º 35, pp. 60-71, julio - diciembre 2023 doi: 10.26620/uniminuto.inventum.18.35.2023.60-71

Editorial: Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO.

ISSN: 1909-2520
eISSN: 2590-8219

Fecha de recibido: 01 de junio de 2023
Fecha de aprobado: 01 de julio de 2023
Fecha de publicación: 15 de julio de 2023

Conflicto de intereses: los autores han declarado que no existen intereses en competencia.

Utilización de técnicas electroanalíticas para la detección de metales pesados en el riego La Ramada, vereda Tibaitatá (Mosquera - Cundinamarca)¹

Use of electroanalytical techniques for the detection of heavy metals in The Ramada river, Tibaitatá village (Mosquera - Cundinamarca)

Utilização de técnicas eletroanalíticas para a detecção de metais pesados no riego La Ramada, vereda Tibaitatá (Mosquera - Cundinamarca)

Resumen:

La presente investigación surge a partir del recurso hídrico de la vereda Tibaitatá, municipio de Mosquera, Cundinamarca. Este vallado pertenece al distrito de riego La Ramada, proveniente del río Bogotá, tiene grados altos de contaminación ya que ha pasado por municipios y ciudades más poblados, que contaminan el riego gracias a las grandes problemáticas como: inadecuadas deposiciones de residuos químicos peligrosos (metales), los cuales tienen agentes contaminantes como lo son los metales pesados. Adicionalmente, estas aguas son utilizadas por productores de la zona como riego para los cultivos. Los resultados obtenidos arrojan que el agua contiene un pH levemente ácido. De otra parte, en el proceso de electrodeposición mediante la placa de vidrio de ITO, se fijaron bastantes metales en el análisis porcentual y elemental mediante la técnica de barrido SEM, en la que se encontró un valor de 0.4 partes por millón de Cu y otras sales, que pertenecen al grupo de metales emergentes. Ahora, es preciso señalar que el potencioestado de baja escala satisface la necesidad de detectar y fijar los metales pesados en muestras líquidas y además estas sales tienen impactos en el suelo que repercuten con el medio ambiente.

Palabras claves: potenciometría, metales pesados, SEM, distrito de riego, agua potable, vidrio de ITO.

Y. Moscoso

Estudiante de IX semestre del Programa de Ingeniería Agroecológica, Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria Minuto de Dios.
email: yeni.moscoso@uniminuto.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9554-9257>

J. Rivera

Docente de tiempo completo del Programa de Ingeniería Agroecológica. Docente líder de los semilleros de Gestión Ambiental del Grupo (Agroeco) y Gestión Ambiental, Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria Minuto de Dios.
email: julio.rivera@uniminuto.edu
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0086-711X>

M. Hurtado

Investigador asociado, docente del Programa de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria Minuto de Dios.
email: mikel.hurtado@uniminuto.edu
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7588-9313>

¹ Artículo de investigación derivado del proyecto de investigación C122 - 200 - 4507, titulado "Prácticas limpias en UNIMINUTO. Disminución de la concentración de metales pesados en residuos químicos peligrosos derivados de las prácticas de Laboratorio. Una aproximación científica, pedagógica y social", financiado por el Parque Científico de Innovación Social (PCIS) de la Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO.



Abstract:

This research arises from the water resource of the Tibaitatá village, municipality of Mosquera, Cundinamarca. This fence belongs to the La Ramada irrigation district, coming from the Bogotá river, has high levels of contamination since it has passed through more populated municipalities and cities, which contaminate the irrigation due to major problems such as: inadequate deposition of hazardous chemical waste (metals), which have polluting agents such as heavy metals. In addition, these waters are used by local producers to irrigate their crops. The results obtained show that the water has an acid pH slightly. On the other hand, in the electrodeposition process using the ITO glass plate, quite a few metals were fixed in the percentage and elemental analysis using the SEM scanning technique, in which it was found a value 0.4 of parts per million of Cu and other salts, which belong to the group of emerging metals. Now, it should be noted that the low scale potencioestate satisfies the need to detect and fix heavy metals in liquid samples and also these salts have impacts on the soil that have repercussions on the environment.

Keywords: potentiometry, heavy metals, SEM, irrigation district, drinking water, ITO glass.

Resumo:

A presente pesquisa surgiu do recurso hídrico da aldeia Tibaitatá, município de Mosquera, Cundinamarca. Essa cerca pertence ao distrito de irrigação La Ramada, proveniente do rio Bogotá, tem altos níveis de contaminação por ter passado por municípios e cidades mais populosos, que contaminam a irrigação devido a problemas importantes, como: deposição inadequada de resíduos químicos perigosos (metais), que têm poluentes como metais pesados. Além disso, essa água é utilizada pelos agricultores locais para irrigar suas plantações. Os resultados obtidos mostram que a água contém um pH um pouco ácido. Por outro lado, no processo de eletrodeposição usando a placa de vidro ITO, alguns metais foram fixados na porcentagem e na análise elementar usando a técnica de varredura SEM, na qual se constatou um valor de 0.4 partes por milhão de Cu e outros sais, que pertencem ao grupo de metais emergentes. Agora, deve-se observar que o potencioacetato em baixa escala atende à necessidade de detectar e fixar metais pesados em amostras líquidas e também esses sais têm impactos no solo que repercutem no meio ambiente.

Palavras-chave: potenciometria, metais pesados, MEV, distrito de irrigação, água potável, vidro ITO.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de las grandes dificultades de tipo ambiental tiene que ver con los procesos de potabilización de aguas aptas para el consumo [1, 2]. A pesar de los avances científicos y tecnológicos, estas son consideradas como acciones incipientes que posibilitan la generación de cambio frente a los agentes contaminantes (metales pesados) derivados del sector industrial y minero, o a través del sector doméstico. De acuerdo con lo anterior, cabe señalar que los procesos de regulación y control se encuentran alejados de una política ambiental ordenada y sistematizada para el contexto de cada país, que en muchas ocasiones es ajeno a los enfoques de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Esta situación se extiende a las instituciones de educación superior, en la medida en que no existen en muchos casos planes integrales de gestión que permitan la minimización, separación y tratamiento de metales pesados. Hay que tener presente que dichos metales pesados presentan una demanda significativa en las prácticas de laboratorio de química, siendo un problema que debe preocupar a la comunidad universitaria [3].

Es así que, la realización de un sin número de prácticas de laboratorio, tipo receta, en espacios académicos de los primeros cursos de ciencia e ingeniería producen un gran volumen de desechos químicos, que en ocasiones se realizan ignorando las implicaciones sociales y ambientales cuando estos desechos llegan a los cuerpos de agua circundantes, causando contaminación al agua, los componentes del suelo, el aire e incluso daños colaterales en el nivel atmosférico [4]. Sin embargo, el problema se extiende aún más cuando las técnicas analíticas se describen como una cuestión puramente mecánica, donde el papel del instrumento en la producción de conocimiento científico se vuelve como una caja negra que solamente puede manejar y manipular un erudito versado en ciencia e ingeniería, dejando de lado el aprendizaje de los estudiantes [4]. En este sentido, la actividad experimental realizada se convierte en una serie de pasos operativos y mecánicos de tipo repetitivo y algorítmicos, dejando de lado la comprensión y el uso de los instrumentos analíticos, como herramientas científicas, que permitan la oferta de servicios a las comunidades externas con problemas ambientales determinados.

Cobra vital importancia referir que la revisión exhaustiva de publicaciones en revistas indexadas nacionales e internacionales refleja una serie de trabajos centrados en el uso de instrumentos y técnicas analíticas para el

análisis de metales pesados [5, 6, 7]. En una minoría de estas publicaciones, se hace referencia a la técnica, su fundamento y el uso del equipo [8, 9, 10]; además, en el que son conocidos los respectivos manuales de operación [11, 12, 13], y las respectivas orientaciones a través de su uso [14, 15]. Lo cierto es que, se debe potenciar la utilización de herramientas que faciliten el proceso de enseñanza-aprendizaje del análisis instrumental en los primeros cursos de química, como uno de los grandes desafíos para las ciencias y la ingeniería.

Por lo anterior, es oportuno señalar que desde las instituciones de educación superior, a través de los procesos de docencia, investigación y proyección social, existen mecanismos a través de la investigación para posibilitar acciones de cambio mediante el uso de las técnicas electroanalíticas para el análisis y detección de los metales pesados de manera experimental. No obstante, antes de entrar en materia de cada uno de las técnicas, es oportuno referir una serie de hechos históricos para su comprensión y familiarización conceptual en la comunidad científica.

Primero, la construcción de pilas permite el proceso de la electrólisis desde la experimentación química en el laboratorio, en donde se conectan los extremos a un recipiente con agua para observar que en unos de los terminales se almacena hidrógeno y en el otro oxígeno. Este descubrimiento abrió diferentes hallazgos y aplicaciones, lo que dio como resultado que nacieran diferentes disciplinas como la Electroquímica, abriendo diversos debates entre los científicos de la época. Posteriormente, la realización de experimentaciones por medio de los cuales se genera la descomposición electroquímica, permite el desarrollo conceptual para la comunidad científica sobre: electrodo, ánodo, cátodo, electrolito, ion, anión y catión [16].

Luego, surgen los métodos electroanalíticos, los cuales buscan información sobre el analito y se da a partir de medidas de la intensidad de corriente en una celda electroquímica. Igualmente, la potenciometría involucra todas las propiedades electroquímicas de medidas que permiten cuantificar la concentración del analito y la detección de los puntos finales de los métodos volumétricos [17].

Convencionalmente, una celda electroquímica tiene un *electrodo de trabajo*, en el que se pueden evidenciar los fenómenos relacionados con la oxidación o reducción de una especie química bajo la influencia de un potencial eléctrico, para este caso de estudio se empleó (ITO/Glass). Además, la celda electroquímica consta de un

electrodo de referencia, generalmente uno de AgCl, el cual se utiliza para comparar cómo cambia el potencial del sistema en estudio. Finalmente, hay un tercer electrodo llamado típicamente un *contra-electrodo de platino* que permite cerrar la celda electroquímica [18, 19].

Por otra parte, el microscopio electrónico de barrido, como instrumento de observación fuera del rango visible (longitudes de onda cortas equivalentes a alta energía), permite que los electrones de una fuente se aceleren en un potencial entre 5.0 y 30.0 KV, los cuales al impactar una superficie logran generar varios fenómenos de interacción de radiación con materia. Dentro de los fenómenos fundamentales más comúnmente utilizados, los electrones primarios hacen que los electrones de la muestra se liberen en diferentes direcciones, lo que provoca los llamados electrones secundarios.

Estos últimos, permiten tener una muy alta resolución de imágenes de la superficie de los materiales en estudio, pero adicionalmente logran liberar rayos X que, cuando se analizan, permiten inferir la naturaleza química de la muestra en estudio. Finalmente, es oportuno señalar que el equipo SEM requiere condiciones de alto vacío (HV 1×10^{-6} mbar) para generar exclusivamente la composición química de las muestras y no la de los gases circundantes, lo cual implica que los electrones primarios no se encuentren en su trayectoria con núcleos que los desvíen, para que la imagen y el análisis químico sea preciso.

Estas técnicas se emplean como alternativas para mitigar los impactos ambientales en el recurso hídrico y para la disminución de los metales pesados.

Una técnica de fácil acceso es la espectrometría de absorción atómica, esto se debe a razón de su rapidez, fiabilidad, sencillez y economía; pues utiliza los métodos de llama, horno de grafito o generador de hidruros [20].

II. METODOLOGÍA

La metodología empleada es de tipo mixto con enfoque experimental y se desarrolló en seis fases con base en la Norma Técnica Colombiana NTC- ISO 5667-1, que refiere al proceso de gestión ambiental y calidad de agua. Se describe, entonces, cada una de las fases realizadas

a continuación: 1) localización del sitio de muestreo; 2) recolección de las muestras en la vereda Tibaitatá; 3) caracterización fisicoquímica e identificación de propiedades organolépticas como pH, temperatura y potencial; 4) utilización de la técnica potenciométrica a través de un potenciostato de bajo costo para la detección de metales pesados cuyo valor en la incertidumbre de las medidas es de $\pm 0,02$ V 5) utilización de la técnica de microscopía de barrido electrónico empleando sonda de análisis elemental por dispersión de rayos-X (SEM-EDS); 6) análisis de resultados y la afectación que tiene en el suelo; y 7) socialización y divulgación de los hallazgos en eventos.

A. Localización del sitio de muestreo

El muestreo para la presente investigación se realizó en el vallado de riego La Ramada en la vereda Tibaitatá del municipio de Mosquera, Cundinamarca. Este cuerpo de agua o vallado se conforma por el río Bogotá en la parte occidental. Mediante la aplicación de Google Maps, en la figura 1, se puede evidenciar geográficamente que este tipo de agua es suministrada para riego.

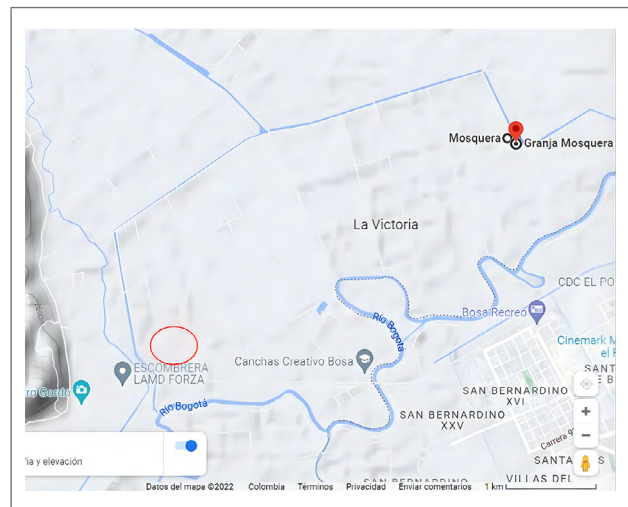


Figura 1. Localización geográfica para la recolección de las muestras de agua, vereda Tibaitatá en Mosquera-Cundinamarca.

Fuente: Google Maps.

En el círculo rojo que se evidencia en la figura 1, es el punto donde se alimenta el cuerpo de agua, y de donde se obtuvieron las muestras. La figura 2 es una fotografía del vallado.



Figura 2. Cuerpo de agua donde se obtuvieron las muestras.
Fuente: elaboración propia.

Donde se origina esta fuente secundaria del río Bogotá (figura 3), hay una planta de tratamiento llamada “CAR El Tabaco”, pero esto no quiere decir que está exonerado de residuos, metales pesados y materia inorgánica u orgánica.

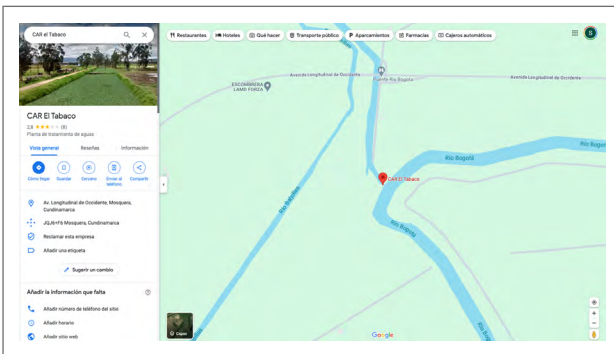


Figura 3. “Captura de pantalla de nacimiento del vallado.
Fuente: Google Maps.

B. Información del proceso de muestreo. Vereda Tibaitatá municipio de Mosquera, Cundinamarca



Figura 4. Frascos de muestra (16 de septiembre de 2022).
Fuente: elaboración propia.

El 16 de septiembre del 2022 se llevó a cabo el muestreo para lo cual se tenían listos cinco frascos de muestra (figura 4) marcados con la fecha del muestreo y enumerados, doble par de guantes de nitrilo, tapabocas, botas de caucho y de seguridad. Para seguridad de la persona que tomó el muestreo, se ató una cuerda a la cintura, como se evidencia en la figura 5.



Figura 5. Procedimiento de muestreo.
Fuente: elaboración propia.

C. Caracterización fisicoquímica e identificación de propiedades organolépticas como pH, temperatura y voltaje



Figura 6. Muestras obtenidas del muestreo en el cuerpo de agua.
Fuente: elaboración propia.

Fueron etiquetadas las muestras obtenidas de la vereda Tibaitatá, municipio de Mosquera, Cundinamarca (figura 6). Cada una de ellas se encuentra previamente marcada y rotulada para el análisis fisicoquímico en el laboratorio como se evidencia en la tabla 1.

D. Utilización de la técnica potenciométrica para la detección de metales pesados

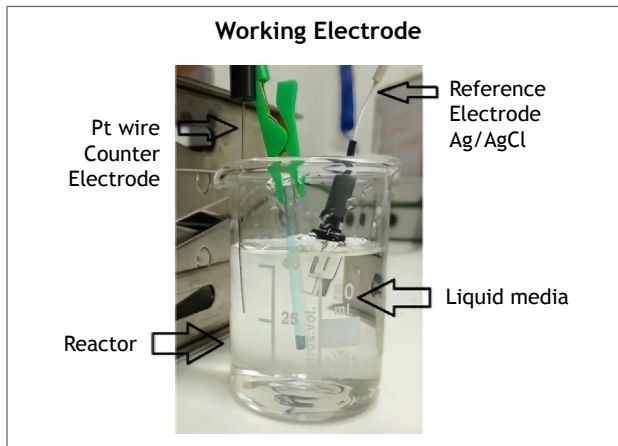


Figura 7. Fijación de metales pesados mediante el potencioestado.
 Fuente: elaboración propia.

Se emplea la instrumentación para la detección de metales pesados en cuerpos de agua en la vereda Tibaitatá en Mosquera (figura 7) en un rango de potencia entre 2 y 10 Voltios. En la figura 8, se refleja la utilización del brazo mecánico para la identificación del electrodo de trabajo ITO/Glass, a base de platino, y el contraelectrodo de platino, debido a que por sus condiciones químicas y físicas es muy difícil de oxidar, lo que permitió la detección de metales pesados en las muestras de agua. El sistema funciona manteniendo el potencial de un electrodo a un nivel constante con respecto a un segundo electrodo de referencia mediante el ajuste de la corriente del circuito en volteos.

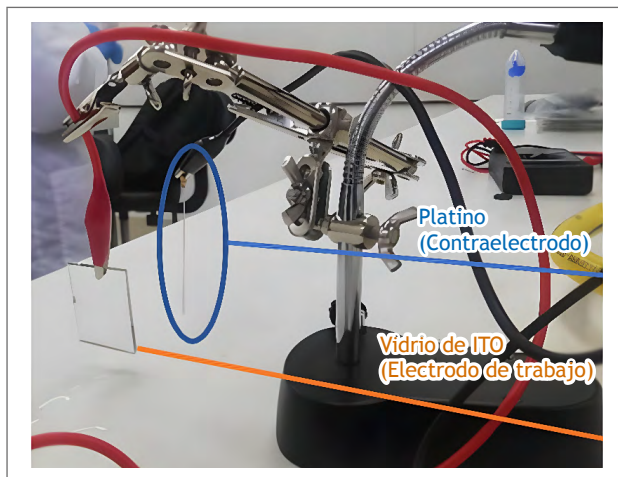


Figura 8. Utilización del brazo mecánico para la identificación del electrodo y contraelectrodo de trabajo sujetos por la tercera mano.
 Fuente: elaboración propia.

E. Utilización de la técnica de microscopía de barrido electrónico (SEM) empleando ondas de análisis elemental por dispersión de rayos -X (SEM-EDS)

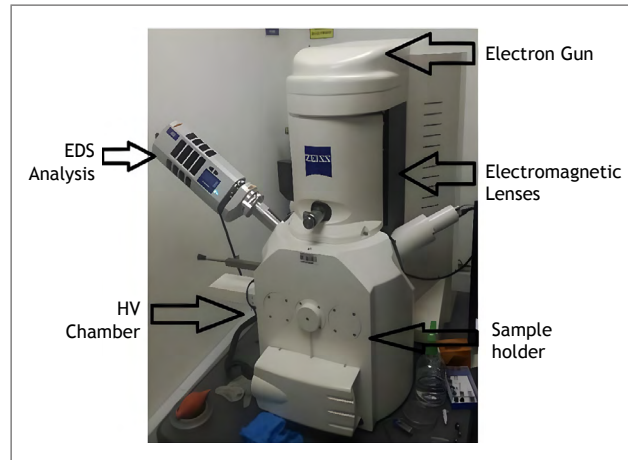


Figura 9. Escáner electrónico de microscopía.
 Fuente: elaboración propia.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la figura 3, aparece la localización geográfica del cuerpo de agua de riego La Ramada ubicado en la vereda Tibaitatá del municipio de Mosquera. El cual está conformado por el río Bogotá en la parte occidental de la Sabana, donde empieza el nacimiento del vallado se encuentra una planta de tratamiento llamada “CAR El Tabaco”. En las muestras obtenidas (figura 6) se evidencia la presencia de materia orgánica, agua turbia junto con malos olores después de dieciséis días del muestreo.

Los resultados fisicoquímicos que se obtienen en la tabla 1 de las cinco muestras (antes de agitar), reflejan un pH que oscila desde 6,50 hasta 6,87. Junto con la escala, se concluye que es un pH levemente ácido, con un potencial que oscila entre 20 a 43 mV.

No.	pH	Potencial	Temperatura ° C
1	6,76	20	19,0
2	6,63	29	19.1
3	6,77	16	18.7
4	6,86	15	18,7
5	6,93	9	18,7

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de muestras de agua de la vereda Tibaitatá en Mosquera, Cundinamarca.
 Fuente: elaboración propia.

No.	pH	Potencial	Temperatura °C
1	6,67	43	19,0
2	6,71	29	19.1
3	6,50	34	18.7
4	6,74	28	18,7
5	6,87	20	18,7

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica de muestras de agua después de la agitación de la vereda Tibaitatá en Mosquera, Cundinamarca.

Fuente: elaboración propia.

La tabla 2 está conformada con nuevos valores fisicoquímicos de las mismas cinco muestras obtenidas, después de ser agitadas. Se evidencia que, después de este fenómeno, el pH aumenta oscilando desde 6,63 hasta 6,93 sigue siendo ácido y un potencial entre 9 y 29 mV, dado que al realizar este fenómeno de agitaciones los iones disueltos en las muestras disminuyen su capacidad eléctrica y la salinidad.

Los valores obtenidos en la tabla 1 y la tabla 2 se compararon con el pH de agua destilada que fue 6,97 con un potencial de 25; además con el pH de agua de la llave del laboratorio de química que fue 6,99 con un potencial de 42. Estos son puntos referentes para las propiedades fisicoquímicas que son de agua apta para su consumo, debido a su pH llega a ser neutro y con un potencial apto para el riego.

La utilización de la técnica electroanalítica para la detección de metales pesados es un instrumento electrónico que controla una celda de tres electrodos, es decir realiza un proceso de voltamperometría para analizar la reactividad de un analito o muestra de análisis. En la mayoría de estos experimentos, se controla el potencial (voltaje) de un electrodo mientras se mide la corriente resultante (amperios), dado así que el sistema funciona manteniendo el potencial de un electrodo a un nivel constante con respecto a un segundo electrodo de referencia, mediante el ajuste de la corriente del circuito con el electrodo auxiliar.

En la figura 10, se refleja la utilización del brazo mecánico para la identificación del electrodo de trabajo ITO/Glass a base de platino y el contraelectrodo de platino que permitieron la detección de metales pesados en cuerpos de agua de riego La Ramada, vereda Tibaitatá en Mosquera.

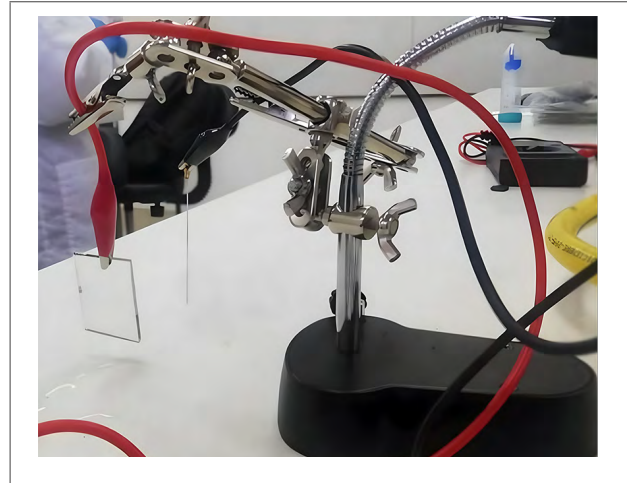


Figura 10. Utilización del brazo mecánico para la identificación del electrodo y contraelectrodo de trabajo.

Fuente: elaboración propia.

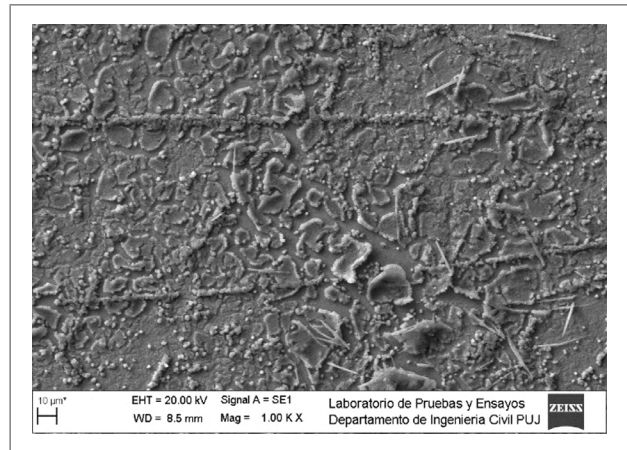


Figura 11. Electrodo de trabajo ITO/Glass para la detección de agentes contaminantes - muestra de agua de la vereda Tibaitatá vista por el Scanner Electron Microscopy.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 11, se encuentra que a través de los ensayos de potenciometría realizados en la celda electroquímica empleando como electrodo de trabajo ITO y contraelectrodo de Pt a una diferencia de potencial de 10 V, se fijan diferentes estructuras dentro de las cuales se pueden destacar: sistemas de tipo hojuelas compuestas principalmente de elementos metálicos. En la misma medida, se detecta la presencia a nivel microbiológico de conidios (asociados a la presencia de hongos) que se fijan como agentes contaminantes en el cuerpo de agua analizado. Desde esta primera observación con electrones secundarios, se destaca la formación conjunta de agregados laminares típico de la formación de películas delgadas a base de metales y estructuras con geometría de esférulas del tipo conidio microorgánico.

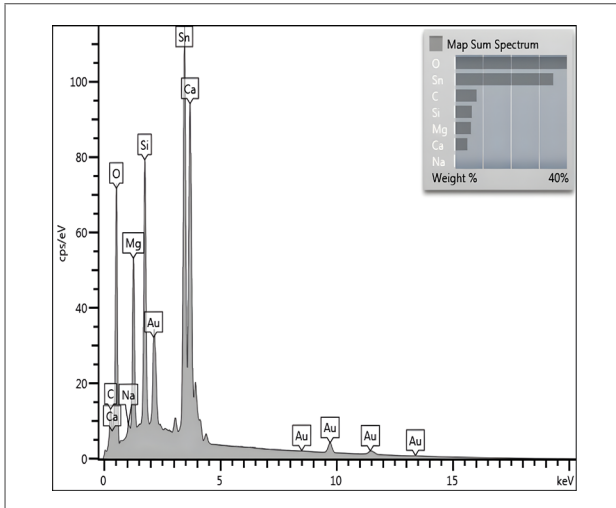


Figura 12. Análisis EDS para agentes contaminantes - muestra de agua de la vereda Tibaitatá vista por el Scanner Electro Microscopy.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la figura 12, las señales más intensas corresponden a Na (sodio), Mg (magnesio) y Ca (calcio), típicos contraiones de sales empleadas en diversos procesos industriales los cuales pueden estar asociados con las empresas o microempresas cercanas al sector en donde fueron recolectadas las muestras de agua.

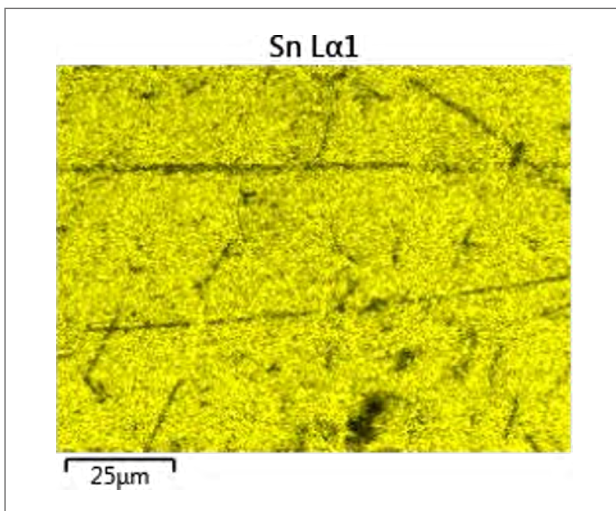


Figura 13. Análisis elemental de Estaño en la muestra de agua muestra de agua de la vereda Tibaitatá vista por el Scanner Electro Microscopy.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 13, se refleja que la señal de análisis EDS es predominante, ya que el ITO es el óxido de indio dopado con estaño $In_2O_3: Sn$, de modo que es una estructura donde predomina el In (indio), siendo propio del electrodo y no proveniente de la fuente hídrica.

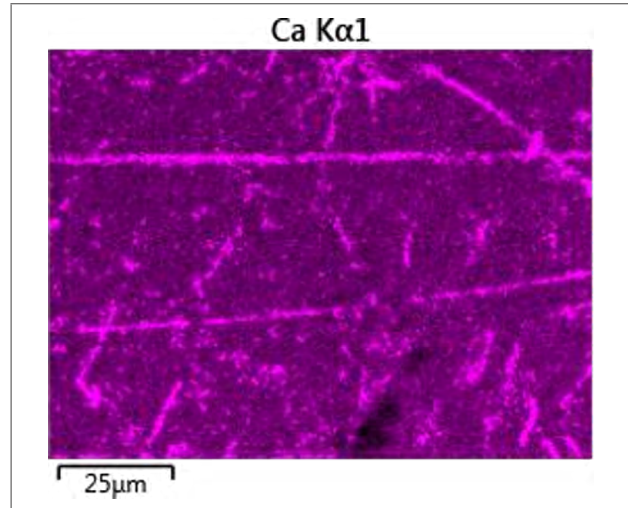


Figura 14. Análisis elemental de Calcio en la muestra de agua de la vereda Tibaitatá vista por el Scanner Electro Microscopy.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 14, se evidencia el Ca (calcio) como catión predominante de abundancia en fuentes contaminadas con bajos DQO. La presencia de los conidios corrobora la alta actividad microbiológica favorecida en un ambiente con bajos contenidos de oxígeno disuelto.

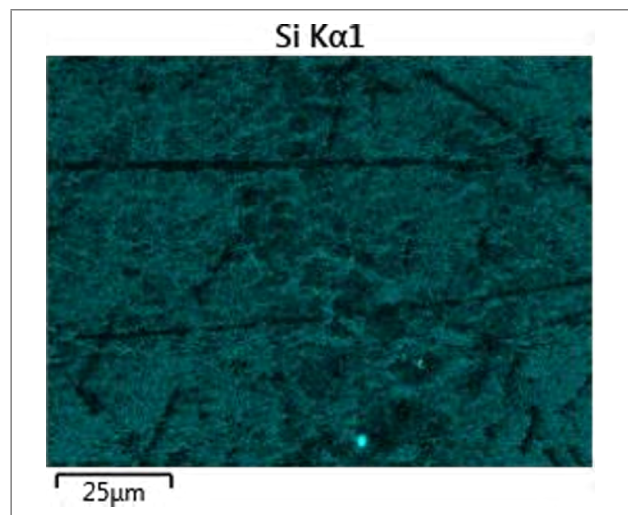


Figura 15. Análisis elemental de Silicio en la muestra de agua de la vereda Tibaitatá vista por el Scanner Electro Microscopy.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 15, se observa la predominancia del Si (silicio), el cual es característico de la estructura de los sistemas de vidrio, siendo parte de la familia estructural de los borosilicatos y, frecuentemente, conocidos como los óxidos de sílice. Por lo tanto, se refleja en la micrografía la composición predominante del material utilizado para el análisis de las muestras de agua recolectadas.

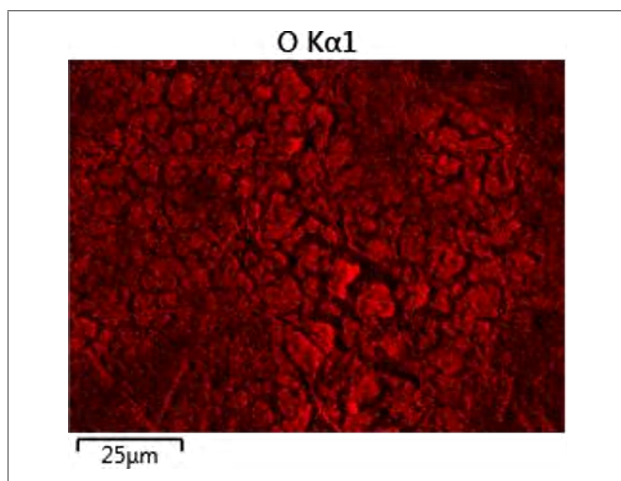


Figura 16. Análisis elemental de Potasio en la muestra de agua de la vereda Tibaitatá vista por el Scanner Electro Microscopy.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 16, se observan las señales propias del oxígeno, muestran un alto contraste en profundidad, indicando la presencia o la formación de múltiples especies oxigenadas debido a los diferentes procesos llevados a cabo en el electrodo de trabajo. Este es un indicio bastante claro de la baja calidad que poseen estas aguas para el consumo humano directo, e incluso, para procesos de riego de cultivos agrícolas.

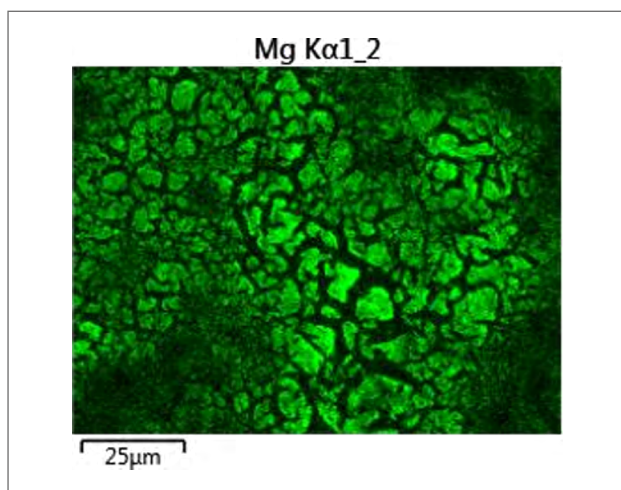


Figura 17. Análisis elemental de Magnesio en la muestra de agua de la vereda Tibaitatá vista por el Scanner Electro Microscopy.

Fuente: elaboración propia.

Dentro de la figura 17 aparece la señal EDS del Mg (magnesio), esto hace que estas aguas se clasifiquen como duras. Ahora, teniendo en cuenta la significativa presencia de oxígeno en las muestras, esto permite inferir la formación de los óxidos propios. Las fuentes de Mg pueden

ser diversas dentro de las cuales están: liberación directa por industrias, zonas geológicas con alta concentración de compuestos basados en Mg, plaguicidas, insecticidas y otras sustancias agroquímicas.

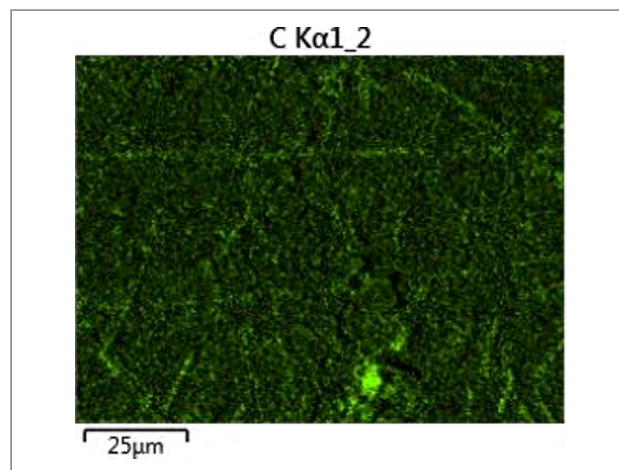


Figura 18. Análisis elemental de Carbono en la muestra de agua de la vereda Tibaitatá vista por el Scanner Electro Microscopy.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la figura 18, se encuentra la presencia de C (carbono), lo cual es señal de las diversas estructuras orgánicas que se presentan en un ambiente altamente contaminado, como el que se está analizando, ya que se trata de una vereda en la cual se pueden conglomerar y asociar diferentes tipos de material orgánico derivados de la actividad humana.

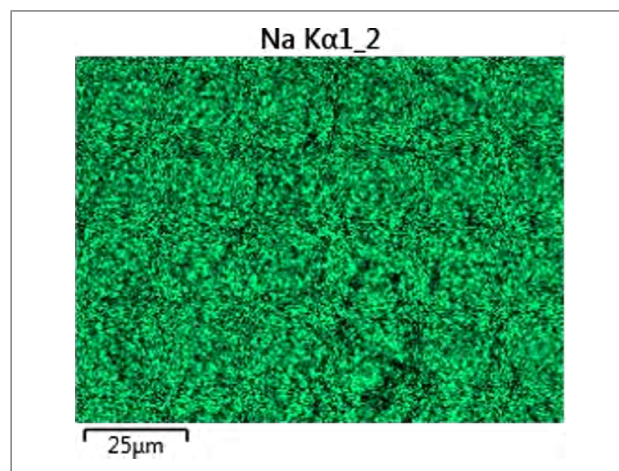


Figura 19. Análisis elemental de Sodio en la muestra de agua de la vereda Tibaitatá vista por el Scanner Electro Microscopy.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 19 se detecta la alta concentración de Na (sodio) que es comparativamente similar a lo ya explicado con el Mg. La presencia de grandes cantidades Na suman

a la clasificación de la muestra de agua recolectada como agua dura, cuyo nivel de dureza depende geológicamente del suelo y del área geográfica de la vereda en donde se llevó a cabo la investigación y de los cuerpos de agua recolectados para la detección de metales pesados.

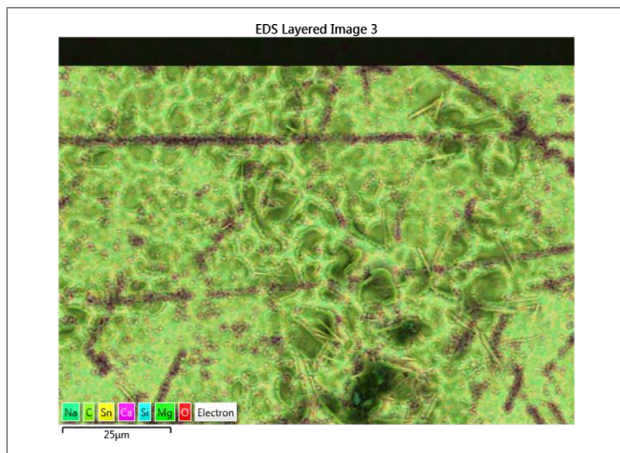


Figura 20. Análisis elemental de forma global en la muestra de agua de la vereda Tibaitatá vista por el Scanner Electro Microscopy.

Fuente: elaboración propia.

La figura 20 muestra la superposición de la composición elemental del sistema en estudio. Dentro de las trazas de metales pesados en estas muestras solo se evidenció Cu (cobre), sin embargo, los cationes Na, Mg y Ca se encuentran en concentraciones nocivas para el consumo humano.

Estas aguas se denominan como duras, debido a que tienen mayor presencia de cationes los cuales fueron de Na, Mg y Ca. Son sales provenientes de diferentes procesos industriales, los cuales han sido vertidos en el río Bogotá. Esta agua es sometida para riego de cultivos en la vereda, dando como impacto negativo la acumulación en el suelo de excesivas sales, causado por la evaporación, teniendo como nombre este proceso la salinización por irrigación. Adicionalmente, en la medida que sea regado el suelo con este tipo de agua y junto con las elevadas temperaturas que se han tenido actualmente, se tendrían impactos mayores como la erosión, la acumulación a gran escala de sales afectando tanto a los microorganismos del suelo como a la presencia del cobre, lo que disminuiría la biomasa y la actividad bacteriana. Esto conlleva a una pérdida de fertilidad en los suelos y de producción de los cultivos, por lo que es importante considerar que este sitio es característico por la producción a mayor escala de los cultivos de hortalizas, los cuales mediante las estomas tiene mayor cantidad de absorción y acumulación. Esto

último, podría ser un factor para la afectación de la salud en las personas, gracias al consumo de estas cosechas. Finalmente, cabe señalar que esta agua no es apta para el consumo humano.

IV. CONCLUSIONES

En relación con el planteamiento del problema de este proyecto de investigación, se puede señalar que a nivel experimental se da cumplimiento al mismo, ya que fue posible la relación de un diseño en construcción para la detección de metales por la técnica potenciométrica. De otra parte, la técnica SEM - EDS permitió por microscopía y espectroscopía la detección de Cu [21] y de cationes de Na, Mg y Ca, los cuales se encuentran en concentraciones nocivas para ser consumida por la especie humana [22, 23].

El análisis fisicoquímico de las muestras de agua refleja, en gran medida, sólidos en suspensión, que luego por diferencia de densidades, se depositan en la parte inferior de las muestras, las cuales generan un olor fétido y poco característico de un cuerpo de agua apto para el consumo. De igual forma, el uso de técnicas electroanalítica permitió la detección principalmente, mediante el análisis elemental, de Cu como agente contaminante y la presencia de hongos de carácter microbiano, los cuales disminuyen significativamente el oxígeno presente en los cuerpos de agua analizados en la vereda Tibaitatá, en Mosquera, Cundinamarca.

La detección de estos elementos y cationes encontrados en las muestras pertenecen al grupo de contaminantes emergentes y procedentes de diferentes actividades industriales, productos, subproductos o aditivos. Adicionalmente, la presencia de microorganismos en la fuente hídrica permite la transición de estos mediante el riego lo que favorece la propagación, incidencia y la mortalidad asociada a enfermedades referentes al consumo de este tipo de agua. El cobre en las plantas genera cambios en los tejidos afectando directamente a los estomas y la raíz de la planta, para las personas lesiones hepáticas. En cambio, los cationes de Na, Mg y Ca provocan la segregación del suelo, la planta y las personas; una acumulación a mayor escala de estos aumentan los efectos.

De acuerdo con la investigación adelantada, la comunidad debe implementar estrategias de mejoramiento para el tratamiento de dichas aguas, las cuales sirvan como insumos residuales y puedan ser tratadas mediante la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales aptas para los procesos de riego. En el mismo

sentido, y en estos momentos, se encuentra que las condiciones de dichos cuerpos no son consideradas como cuerpos de agua para procesos de riego en cultivos.

Es oportuno señalar que en el desarrollo de esta investigación esta se articulan con los Objetivos de Desarrollo Sostenible números 4, 6, 9 y 11, en lo que refiere a los procesos de calidad, agua limpia y saneamiento básico, industria, innovación e infraestructura, y ciudades y comunidades sostenibles. Se considera este tipo de investigación, como uno de los proyectos pioneros para el desarrollo de la línea de investigación sobre aguas, la cual permita el desarrollo social y los procesos de innovación a través de las ingenierías y tecnologías [10, 24]

REFERENCIAS

- [1] M. H. Huesemann, "The failure of eco-efficiency to guarantee sustainability: Future challenges for industrial ecology", *Environmental Progress*, vol. 23, no. 4, pp. 264-270, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1002/ep.10044>
- [2] F. Lozano, P. Freire, G. Guillén-Gozalbez, C. Jiménez-Gonzalez, T. Sakao, N. Mac Dowel, M. Ortiz, A. Trianni, A. Carpenter, & T. Viveros, "New perspectives for sustainable resource and energy use, management and transformation: approaches from green and sustainable chemistry and engineering", *Journal of Cleaner Production*, vol. 118, pp. 1-3, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.041>
- [3] J. Rivera Rodríguez, "La química verde como una solución alternativa para el tratamiento de metales pesados en maestrías y programas de doctorado", tesis doctoral, Universidad Americana de Europa, Cancún, México, 2022.
- [4] J. A. Villanueva, "Manual a la nueva nomenclatura electroquímica y su recepción en español", *Revista de Investigación Lingüística*, vol. 20, pp. 97-118. Disponible en: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/manuala-nueva-nomenclatura-electroquimica-y-su/docview/1989169024/se-2>
- [5] J. Winefordner, *Chemical Analysis. A Serie of monographs on Analytical Chemistry and its applications*, vol. 162, Hoboken: Wiley-Interscience, 2003.
- [6] R.-K. Smith. *Guide to Environmental Analytical Methods*, 5th ed., Amsterdam: Genium Publishing Corporation, 2008.
- [7] F. Rouessac, A. Roussac, & J. Towe, *Chemical Analysis. Modern instrumental methods and techniques*, New York: John Wiley & Sons, 2004.
- [8] P. W. Lee, & J. J. Murphy, eds., *Handbook of residua analytical methods for agrochemicals*, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons, 2003.
- [9] J. M. Pingarrón y P. Sánchez, *Química electroanalítica. fundamentos y aplicaciones*. Madrid: Editorial Síntesis, 2010.
- [10] C. Hernández-Domínguez, P. Álvarez-Muñoz y J. Zapa-Cedeño, "Técnicas analíticas para el control de la contaminación ambiental", *Revista Ciencia UNEMI*, vol. 9, no. 20, pp. 118-131, 2016. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/5826/582663826016.pdf>
- [11] K. Vinod, R. Daman, A. Sharma, P. Bakshi, G. Singh, A. Bale, I. Karaouzas, R. Bhardwaj, A. Kumar, Y. Gyasi-Agyei, & J. Rodrigo, "Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses", *Chemosphere*, vol. 236, 124364, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124364>
- [12] Hirokazu, H. Contaminación por metales pesados inmutable antes y después del cambio en los residuos industriales. Procedimiento de tratamiento Nature Scientific Reports 1-12 (2019) doi: 10.18632/oncotarget.26726
- [13] N. Reza, R. Alam, Z. Ahmed, S. Begumm, & S. Akhter, "Sanitation Status and Waste Disposal Pattern in the Slum Area of Sylhet City Corporation", *Asian Research Journal of Arts & Social Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 1-10, 2019. Doi: <https://doi.org/10.9734/arjass/2019/v9i130114>
- [14] F. N. Asubbaie, "Assessment of the levels of some heavy metals in water in Alahsa Oasis farms, Saudi Arabia, with analysis by atomic absorption spectrophotometry", *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 8, no. 2, pp 240-245, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.08.018>
- [15] C. Sánchez Vallarino, "Detección de los metales pesados en agua", tesis de maestría, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Puebla, México, 2011. Disponible en: <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/671/1/ChavezVC.pdf>

- [16] A. L. Trujillo, P. Vega y L. Barajas, “Potenciometría: usos y aplicaciones”, *CienciAcierta*, no. 38, 2014. Disponible en: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2014/06/05/potenciometria-usos-y-aplicaciones/>
- [17] J. Estrada, J. Hernández, A. García, J. Peralta, & F. Cerino, “Electroanalytical determination of heavy metals in aqueous solutions by using a carbon paste electrode modified with spent coffee grounds”, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 857, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2019.113663>.
- [18] Y. Koike, K. Hagiwara, & T. Nakamura, “Enhancement of the atomic absorbance of Cr, Zn, Cd, and Pb in metal furnace atomic absorption spectrometry using absorption tubes”, *Analytical Chemistry Research*, vol. 11, pp. 9-12, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ancr.2016.11.004>
- [19] T.-J. Jiang, Z. Gou, J.-H. Liu, & X.-J. Huang, “Electroadsorption-Assisted direct determination of trace arsenic without interference using transmission X-ray fluorescence spectroscopy”, *Analytical Chemistry*, vol. 87, no. 16, pp. 8503-8509, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5b01957>
- [20] E. Pérez y C. Barrantes, “Evaluación de tres métodos para la recuperación de metales pesados en fertilizantes”, *Cuadernos de Investigación UNED*, vol. 9, no. 2, pp. 257-265, 2017. Doi: <https://doi.org/10.22458/urj.v9i2.1666>
- [21] D. Apaza, B. Mestas, F. Romero y R. Navarro, “Toxicidad del cobre sobre la morfología de estomas de *Gochnatia arequipensis* Sandwith (Asteraceae) de dos localidades de Arequipa, Perú”, *Idesia (Arica)*, vol. 37, no. 3, pp. 81-87, 2019. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v37n3/0718-3429-idesia-37-03-81.pdf>
- [22] D. Caviades, R. Muñoz, A. Perdomo, D. Rodríguez y I. Sandoval, “Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión”, *Revista de Ingeniería y Región*, vol. 13, no. 1, pp. 73-90, 2015. Doi: <https://doi.org/10.25054/22161325.710>
- [23] S. E. Pabón, R. Benítez, R. Sarria-Villa y J. A. Gallo, “Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión”, *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 14, no. 27, pp. 9-18, enero-junio 2020. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v14n27/1909-8367-ecei-14-27-9.pdf>
- [24] Y. Reyes, I. Vergara, O. Torres, M. Díaz-Lagos y E. González, “Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria”, *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, vol. 16, no. 2, pp. 66-77, julio-diciembre 2016. Doi: <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447>