Trabajo de grado modalidad investigación e innovación

"ENSAYOS PRELIMINARES PARA EL RECONOCIMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA A PARTIR DE IMÁGENES"

Estudiantes de Ingeniería Sanitaria:

Alexa Fernanda Pérez Hernández[1] y Catalina Moreno Moreno[2]

[1]Código: 20181181005

[2]Código: 20181181030

Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José De Caldas

Notas de autor

Contacto: [1] afperez@udistrital.edu.co; [2] cmorenom@udistrital.edu.co

“ENSAYOS PRELIMINARES PARA EL RECONOCIMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA A PARTIR DE IMÁGENES”

TRABAJO DE GRADO MODALIDAD INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

DOCENTE DIRECTOR

M. Sc. Jorge Alonso Cárdenas León

Químico, M. Sc. Hidrogeología

Docente de Ingeniería Sanitaria

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA SANITARIA

Abril, 2023

BOGOTÁ D.C.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los docentes por compartir su conocimiento en el transcurso de nuestra carrera, a nuestros compañeros que nos han brindado su conocimiento, amistad y apoyo, motivándonos a seguir adelante enfocados por nuestra carrera, de igual forma a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, por las oportunidades que nos ha brindado y todas las puertas que se nos ha abierto.

Resaltamos su especial contribución a este proyecto de investigación a nuestro Docente director Jorge Cárdenas por la paciencia y por guiarnos en todo este proceso, a Juan Camilo Moreno por su paciencia y compartir sus conocimientos en el laboratorio de calidad del agua, a los compañeros que nos apoyaron con muestras de agua para este proyecto de investigación como Brian y Diego Alejandro Romero.

Finalmente dedicamos este logro a nuestras familias y personas especiales en nuestra vida, les agradecemos por apoyarnos en todo este camino, por la confianza que siempre nos brindaron que nos ayudan a sentirnos capaces de cumplir todas las metas que nos proponemos.

Tabla de Contenido

1. Resumen 9

2. Descripción del problema 10

3. Introducción 11

4. Justificación 16

5. Objetivos 18

5.1. Objetivo general 18

5.2. Objetivos específicos 18

6. Marco Legal 19

7. Metodología 21

7.1. Muestreo y actividades preliminares 21

7.2. Parámetros de estudio 22

7.2.1. pH 22

7.2.2. Conductividad eléctrica 22

7.2.3. TDS 23

7.2.4. Turbidez 24

7.2.5. Cloruros 24

7.2.6. DQO 25

7.2.7. Titración 26

7.2.8. Colorimétrico 26

7.2.9. Espectrofotometría 27

7.2.10. Filtración 28

7.2.11. Estereoscopio 28

7.3. Métodos para análisis de las muestras 29

7.3.1. pH 29

7.3.2. Conductividad eléctrica y TDS 29

7.3.3. Turbidez 30

7.3.4. Cloruros 30

7.3.5. DQO 30

7.3.6. Espectrofotometría 31
7.3.7. Filtración 32
7.3.8. Estereoscopio 32
7.4. Selección y ubicación geográfica de las muestras 33
7.4.1. Lluvia 33
7.4.2. Quebrada la vieja 34
7.4.3. Lago Artificial de los Novios 35
7.4.4. Humedal Neuta Cabeza 1 36
7.4.5. Humedal Neuta Cabeza 8 37
7.4.6. Acuario 38
7.4.7. Agua Residual Domestica canal Ciudad Montes 39
8. Resultados y análisis 40
8.1. Resultados 40
8.1.1. Desionizada 41
8.1.2. Potable 42
8.1.3. Lluvia 44
8.1.4. Acuario 45
8.1.5. Quebrada la vieja 46
8.1.6. Lago Artificial de los Novios 48
8.1.7. Humedal Neuta Cabeza 1 49
8.1.8. Humedal Neuta Cabeza 8 51
8.1.9. Agua Residual Domestica canal Ciudad Montes 52
8.1.10. Lavadero de Automóviles 53
8.2. Análisis de las muestras de Agua 55
8.2.1. Análisis pH 55
8.2.2. Análisis Conductividad Eléctrica y TDS 55
8.2.3. Análisis Turbiedad 57
8.2.4. Análisis de Cloruros 57
8.2.5. Análisis de DQO 58
8.2.6. Análisis de Imágenes tipo 59
9. Conclusiones 60

10. Recomendaciones *61*

11. Referencias *62*

Índice de Tablas.

Tabla 1 Marco Legal aplicado al estudio. *18*

Tabla 2 Mediana de los resultados de cada muestra de agua *39*

Índice de Figuras.

Figura 1 Punto de Muestreo Agua Lluvia 33
Figura 2 Punto de Muestreo Agua en la Quebrada la Vieja 34
Figura 3 Punto de Muestreo Agua en el Lago Artificial de Los Novios 35
Figura 4 Punto de Muestreo Agua del Humedal Neuta Cabezal 1 36
Figura 5 Punto de Muestreo Agua del Humedal Neuta Cabezal 8 37
Figura 6 Punto de Muestreo Agua de Acuario 38
Figura 7 Punto de Muestreo de Agua Residual Doméstica en el canal de Cuidad Montes 39
Figura 8 Resultados Imágenes Análisis 1 Desionizada 41
Figura 9 Resultados Imágenes Análisis 2 Desionizada 42
Figura 10 Resultados Imágenes Análisis 1 Potable 43
Figura 11 Resultados Imágenes Análisis 2 Potable 43
Figura 12 Resultados Imágenes Análisis 1 Lluvia 44
Figura 13 Resultados Imágenes Análisis 2 Lluvia 45
Figura 15 Resultados Imágenes Análisis 1 Acuario 45
Figura 16 Resultados Imágenes Análisis 2 Acuario 46
Figura 17 Resultados Imágenes Análisis 1 Quebrada la Vieja 47
Figura 18 Resultados Imágenes Análisis 2 Quebrada la Vieja 47
Figura l9 Resultados Imágenes Análisis 1 Lago Artificial de los Novios. 48
Figura 20 Resultados Imágenes Análisis 2 Lago Artificial de los Novios. 49
Figura 21 Resultados Imágenes Análisis 1 Humedal Neuta Cabezal 1 50
Figura 22 Resultados Imágenes Análisis 2 Humedal Neuta Cabezal 1 50
Figura 23 Resultados Imágenes Análisis 1 Humedal Neuta Cabezal 8 51
Figura 24 Resultados Imágenes Análisis 2 Humedal Neuta Cabezal 8 52
Figura 25 Resultados Imágenes Análisis 2 Agua Residual Domestica. 52
Figura 26 Resultados Imágenes Análisis 4 Agua Residual Domestica. 53
Figura 27 Resultados Imágenes Análisis 4 Lavadero de Automóviles. 54
Figura 28 Resultados Imágenes Análisis 5 Lavadero de Automóviles. 54

1. **Resumen**

El propósito de este estudio es establecer las bases para el reconocimiento de la calidad del agua mediante el uso de imágenes seleccionadas. En esencia, se trata de determinar cuáles son esas imágenes características que se asocian a 'muestras tipo', con el objeto de que, dada una base de datos o banco de imágenes, se pueda estimar a priori, el origen, la composición y calidad aproximada, de una determinada muestra problema. Se ensayan inicialmente, el espectro UV / VIS, la imagen del residuo generado por filtración en membrana y una imagen estereoscópica de una columna de agua, a un centímetro de espesor, proveniente de la muestra problema homogenizada. Dichas imágenes se correlacionan con algunos análisis fisicoquímicos específicos.

Se proyecta construir, a corto plazo, una base de datos suficientemente grandes, conformados por aproximadamente 100 tipos de agua característicos, de tal forma que se pueda, a partir de ella, inferir su calidad de una determinada muestra problema.

2. **Descripción del problema**

¿Es posible establecer una relación, entre las características de calidad del agua de una muestra y una o varias imágenes de sus imágenes características?

La respuesta a esa pregunta conduce a diseñar y proponer soluciones innovadoras, que van de la mano con los avances tecnológicos, algo fundamental en el desarrollo del conocimiento académico. En ese sentido, éste proyecto investigación pretende seleccionar algunas imágenes características y relacionarlas con algunos parámetros de calidad del agua, tales como, conductividad eléctrica, turbidez, concentración de cloruros y DQO. Como muestras tipo se proponen, agua residual doméstica, agua potable, agua de un humedal limpio, agua de un humedal contaminado, agua lluvia, agua de mar y agua subterránea, entre otras.

Se espera que esta investigación sea el inicio de un estudio mucho más extenso, que conduzca finalmente a establecer una correlación definitiva entre una serie de imágenes características y la estimación de la calidad del agua de donde proceden las muestras.

3. **Introducción**

En una primera aproximación podemos definir la inteligencia artificial como una ciencia que tiene como objetivo el diseño y construcción de máquinas capaces de imitar el comportamiento inteligente de las personas. Una rama especializada de la informática que investiga y produce razonamiento por medio de máquinas automáticas y que pretende fabricar artefactos dotados de la capacidad de pensar. Un saber que se encuadra dentro del proyecto de la modernidad que Kant condensó en la pregunta por el hombre. Culmen por otra parte, del racionalismo que se inicia con descartes (Álvarez Munárriz, 1994). Si bien es cierto que las expectativas iniciales pueden hacer que alguien se decepcione con el estado del arte actual de la inteligencia artificial, no lo es menos que en las últimas décadas ha habido nuevos avances y se ha reactivado el interés por investigar en este campo. Sin duda, el auge de internet y la necesidad de aplicar cierta 'inteligencia' para poder manejar cantidades ingentes de información, como es el caso de buscadores como google, han sido un buen catalizador (García Serrano, 2012).

Aunque a veces no sea demasiado evidente, la inteligencia artificial está presente cada vez más en nuestro día a día, ayudándonos casi sin darnos cuenta de ello. Cada vez que usamos una cámara fotográfica, un algoritmo de IA está identificando las caras de la imagen y enfocándose. Algunas incluso reconocen a la persona sonriendo para hacer el disparo. Tampoco es extraño ver cómo es posible controlar algunas de las funciones de nuestro vehículo o de nuestro teléfono móvil hablándoles directamente. Un complejo

algoritmo de reconocimiento de voz está detrás de toda esta tecnología para facilitarnos la vida diaria (García Serrano, 2012).

En 1956 una nueva generación de investigadores define las directrices y líneas de actuación futuras, tomando como hipótesis de trabajo la siguiente proposición: *todo aspecto de aprendizaje o cualquier otra característica de inteligencia puede ser definido de forma tan precisa que puede construirse una máquina para simularlo* (Escolano Ruiz, Cazorla Quevedo, Alfonso, Colomina Pardo , & Lozano Ortega, 2003).

En el siglo XXI el desarrollo vertiginoso de la inteligencia artificial está amenazando con desplazar la mano de obra en procesos automatizados y el trabajo intelectual que en muchas áreas desarrollan aún los trabajadores de oficina, los contadores, los controladores de almacén, los choferes, etc, los cuales podrían ser sustituidos por sistemas de inteligencia artificial. Los cambios que está trayendo esta ciencia y esta tecnología tendrán profundas alteraciones en el mundo moderno. Lo dicho por el presidente de Rusia Vladimir Putin de que “quién domine la inteligencia artificial dominará el mundo’’ da una idea de lo que está por venir (Robledo Sosa, 2007). Al igual que hace unos años era imposible imaginar que a través de la imagen de una cara podríamos decir a quién corresponde, con nombre, apellidos y número del documento nacional de identidad; o que podríamos detectar determinados estados de felicidad/tristeza, incluso enfermedades, hoy esto ya es algo totalmente normal (Peréz, 2022).

Se entiende como biometría a "la medición y análisis de características físicas o de comportamiento únicas (como las huellas dactilares o los patrones de voz) especialmente como medios para verificar la identidad personal" (Sherman, 2005).Si bien la biometría

tiene un origen y una base científica, no es en sí una ciencia, sino una técnica de medición. Analiza o mide una característica física o de comportamiento considerada única; es decir, de la cual se haya comprobado científicamente que no se repite en ningún otro ser humano, ni siquiera en los gemelos idénticos: desde las huellas dactilares, el iris del ojo y el rostro, hasta la disposición de las venas de los dedos, la voz y el aliento (Holder Jr, 2002).

La razón de esta medición y análisis es poder diferenciar a una persona de las demás. Esta diferenciación puede requerirse por diversos motivos; el principal, es establecer la identidad de esa persona (Peralta Castellano, 2015). Cuando, en 1892, el antropólogo argentino nacido en Croacia, Iván Vučetić -luego castellanizado como Juan Vucetich- investigaba el cruel homicidio de dos niños por sendos cortes en la garganta, tuvo la oportunidad de poner en práctica sus teorías y estudios respecto a la unicidad de las impresiones dactilares humanas. En la investigación efectuada por la policía de La Plata se obtuvo, en un lugar de la escena del crimen accesible sólo para el asesino, la impresión dactilar en sangre del pulgar derecho de una persona. Con ayuda de Vucetich se pudo establecer que esta impresión dactilar pertenecía nada menos que a la madre de los niños, quien resultó ser la asesina. Así, Francisca Rojas se convirtió en la primera persona en el mundo en ser condenada a partir de la evidencia de sus huellas dactilares (Peralta Castellano, 2015).

En 1990 la importancia que recibe la creación e implementación de la Inteligencia artificial destaca según lo mencionado por Kurzweil donde indica que *"El arte de crear máquinas con capacidad de realizar funciones que realizadas por personas requieren de inteligencia."* (Alemany, 2009) y por Schalkoff en donde considera que es "*Un campo de estudio que se enfoca a la explicación y emulación de la conducta inteligente en función de*

procesos computacionales." (López Takeyas, 2007.). Así mismo en 1991 se destaca el comportamiento de estos nuevos sistemas que según Rich y Knight son *"El estudio de cómo lograr que las computadoras realicen tareas que, por el momento, los humanos hacen mejor"* (Benítez Guerrero, 2010). En estas definiciones se hace especial enfoque hacia las facultades mentales y su relación con las actividades realizadas por los seres humanos por medio de sistemas de cómputo (López Takeyas, 2007.).

El agua se encuentra en nuestro planeta en forma líquida, sólida y gaseosa. El total de agua en la Tierra se estima en unos 1.400 millones de km3, de los cuáles un 3% del total corresponde a agua dulce. La provisión global de agua en la Tierra (invariable desde hace miles de millones de años) está sometida al denominado "Ciclo Hidrológico" que consiste en una serie de cambios de fase, de características físicas, químicas, y microbiológicas, e incluso, de emplazamiento físico (mares, nubes, glaciares, ríos, aguas subterráneas) cuyo último efecto es la "renovación" periódica de la dotación de agua en las grandes acumulaciones de ésta del planeta: océanos, ríos y lagos, atmósfera y litosfera (Marin Galvin, 2008).

El agua líquida parece estar formada por asociaciones de moléculas de 2, 3 y hasta 12 unidades de "H2O", estando dotada de una estructura tridimensional fluctuante, mientras el hielo es una mezcla de cuatro isómeros distintos, compuestos a su vez de diferente número de moléculas y/o con diferente estructura (Marin Galvin, 2008).

El estudio de las fuentes hídricas basado en imágenes estándar de identidad es un campo nuevo y prometedor que podría, mediante el análisis de 'imágenes tipo', identificar o ayudar a identificar rápidamente, una muestra o tipo de agua, dentro de un universo

relativamente pequeño de muestras diferentes de agua. Este sistema ya ha sido usado con éxito para determinar rápidamente la identidad de un ser humano, inmerso dentro de un universo gigantesco de posibilidades. Por esta razón, la hipótesis de este estudio consiste en afirmar que, ‘es posible identificar o deducir el origen y la composición aproximada de una muestra típica de agua, a partir del análisis de algunas imágenes estándar, previamente definidas (MORENO, 2021)

Puesto que en este momento no se conocen ‘las imágenes estándar de comparación’, en esta primera fase del estudio se exploran diversas imágenes macro y microscópicas y se correlacionan con la composición fisicoquímica de las muestras. Si una imagen estándar del rostro de una persona permite identificar rápidamente a un ser humano, dentro de un universo de miles o millones de personas, entonces, con este estudio, se busca, en principio, ‘ayudar a identificar esas cinco o diez imágenes características’ que, al ser usadas como elementos de comparación, permiten identificar un tipo de agua, dentro de un universo relativamente pequeño de posibilidades (ANGELICA MARIA LAMPREA FORERO, 2021)

4. **Justificación**

La inteligencia artificial convencional, conocida como IA simbólico deductiva, está basada en el análisis formal y estadístico del comportamiento humano ante diferentes problemas. Ayuda a tomar decisiones mientras se resuelven ciertos problemas concretos y requieren de un buen funcionamiento. Facilita la toma de decisiones complejas y proponiendo una solución a un determinado problema. Esta inteligencia contiene, además, autonomía y puede auto regularse y controlarse para mejorar (Gutiérrez Ossa & Flórez Hernández, 2020).

El reconocimiento de objetos en imágenes es un campo cada vez más investigado y que se aplica principalmente a la recuperación de imágenes basada en contenido, es decir, a buscadores de imágenes que encontrarán la solución a una consulta basándose en si la imagen contiene ciertos objetos o no en función de su contenido visual, y no de las anotaciones textuales colindantes. Su aplicación surge de la necesidad de sistemas de gestión automatizada de documentos multimedia que sustituyan a la gestión manual, ya que ciertas bases de datos de información multimedia tienen tamaños impracticables para realizar una anotación manual. La recuperación de imágenes basada en contenido mejoraría significativamente la calidad de las búsquedas. Para ello es necesario disponer de modelos que se enfrenten a la clasificación de una imagen a partir de sus características de bajo nivel (Pardo Feijoo, 2009).

Como antecedentes se identificaron dos trabajos de grado enfocados en el tema: “Correlaciones de calidad fisicoquímica con imágenes microscópicas, en cinco (5) puntos

del Río Tunjuelito” , “Caracterización microscópica, microbiológica y fisicoquímica de 5 tipos de aguas representativas para estructurar a corto plazo una base de datos” y “Water Quality Assessment by Image Processing” (estudio realizado en república checa); siendo este un proyecto que demanda altos costos de trabajo de campo, análisis e investigación, el cual se basa en la toma y análisis de varias imágenes con el objeto de llegar a una 'imagen estándar' para ser usada en la base de datos existente, para ello se deben analizar una serie de parámetros en las muestras de agua como lo son la turbidez, conductividad, sólidos sedimentables, cloruros, DQO, entre otros.

El objetivo particular es desarrollar e implementar un algoritmo capaz de identificar el tipo de agua a la que pertenece una muestra a partir de la imagen de un ejemplar. El uso de la aplicación hará tomar conciencia de la importancia de la calidad del agua para el medio ambiente, ya que obligará al usuario a informarse sobre los tipos de muestras que vea.

La investigación propuesta contribuye en la recolección de información para establecer 'imagen estándar' con el fin de establecer características o parámetros que permitan la identificación de la calidad de una muestra de agua por medio de una imagen.

5. **Objetivos**

5.1. **Objetivo general**

Establecer la correlación entre imágenes y los análisis de pH, conductividad eléctrica, DQO, turbidez y cloruros, entre otras; y proponer ensayos para el reconocimiento de la calidad del agua a través de la captura de imágenes.

5.2. **Objetivos específicos**

- Seleccionar y muestrear varios tipos de calidad, de preferencia dentro del casco urbano de Bogotá.
- Caracterizar, mediante los parámetros seleccionados, un conjunto de muestras de calidad representativa o ´muestras tipo'.
- Seleccionar y registrar una serie de imágenes características, a cada una de las muestras de trabajo.
- Establecer una relación entre los resultados obtenidos mediante imágenes y las características de calidad, medidas en el laboratorio.

6. **Marco Legal**

Durante la investigación es indispensable contar con el marco normativo en el cual se contemplan la importancia de la evaluación de la calidad del agua en diferentes tipos de fuentes. La normativa que se contempla en dicho estudio se contempla en la Tabla 1

Tabla 1 Marco Legal aplicado al estudio.

Normativa	**Descripción**
DECRETO 1575 DE 2007	"Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano" Ministerio de Protección social"
RESOLUCIÓN 2115 - 2007	"Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano". Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio"
DECRETO 1541 DE 1978	"Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973."
DECRETO 1594 DE	"Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI 1984 - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos."

Normativa	Descripción
RESOLUCIÓN 250 DE 1997	"Por la cual se fijan tasas para el aprovechamiento de aguas subterráneas". El director del Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente"
RESOLUCIÓN 250 DE 1997	"Por la cual se fijan tasas para el aprovechamiento de aguas subterráneas". El director del Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente"
LEY 99 DE 1993 DEL CONGRESO DE LA REPÚBLICA	"Por el cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente', quien como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, se encarga de impulsar una relación de respeto y armonía del hombre con la naturaleza y de definir, en los términos de la presente ley, las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación a fin de asegurar el desarrollo sostenible"
RESOLUCIÓN 631 DE 2015 del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones"

Fuente: Autores.

7. **Metodología**

7.1. **Muestreo y actividades preliminares**

En esta sección se describe las actividades realizadas para el muestreo que son:

- Se realizaron reuniones para discutir los puntos de muestreo relevantes, entre otras actividades.
- Se definieron los puntos de muestreo, para ello se tuvieron en cuentan las siguientes características: todas las muestras debían ser representativas y tener diferencias notables entre sí, los lugares de muestreo deberían garantizar el flujo de agua constante durante el año, se definió el tipo el tipo de muestreo como puntual y previo a máximo 2 días del análisis en laboratorio.

Teniendo en cuenta las características anteriores los puntos seleccionados para la toma de muestras semanales fueron: agua potable, desionizada y acuario de las instalaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas sede Bosa; lluvia y residual domestica de puntos específicos en ciudad montes; superficial de la quebrada la vieja y laguna artificial de los novios; humedal Neuta cabezal 1 y 8.

Una vez realizado la recolección de las muestras se realiza el análisis de laboratorio de ensayo con el fin de conocer y apropiarnos de los procesos del laboratorio, actividades como: limpieza, selección y alistamiento de materiales de vidrio y equipos a usar, preparación de reactivos.

Los resultados de los análisis del laboratorio incluidos en este estudio ser realizaron los siguientes días: 27 de octubre de 2022 (análisis 1), el 10 de noviembre de 2022 (análisis 2), el 17 de noviembre de 2022 (análisis 3), el 24 de noviembre de 2022 (análisis 4) y el 01 de diciembre de 2022 (análisis 5).

7.2. **Parámetros de estudio**

7.2.1. ***pH***

El valor de pH de aguas superficiales está entre 6-8,5, siendo las aguas subterráneas más ácidas que las superficiales. En lagos y embalses, el pH varía cíclicamente, disminuyendo con la profundidad del agua. Durante la mezcla el pH en la columna de agua es uniforme (±0,1-0,15 u.pH); durante la estratificación térmica, las aguas superficiales ricas en fitoplancton que usan CO2 como alimento aumentan mucho su pH (>9,0 u. pH). Las zonas profundas (pobres en O2 y con flora reductora) exhiben valores de pH más bajos, del orden de 6,5 u.pH o inferiores (Marin Galvin, 2008).

7.2.2. ***Conductividad eléctrica***

La conductividad eléctrica es la capacidad de la materia para permitir el flujo de la corriente eléctrica a través de sus partículas. Dicha capacidad depende directamente de la estructura atómica y molecular del material, así como de otros factores físicos como la temperatura a la que se encuentre o el estado en el que esté (líquido, sólido, gaseoso).

La conductividad eléctrica es lo contrario a la resistividad, es decir, la resistencia al paso de la electricidad de los materiales. Hay entonces materiales buenos y materiales malos conductores eléctricos, en la medida en que sean más o menos resistentes (Ondarse Álvarez, 2021).

La CE refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración y tipo de sales disueltas en el agua (Aumassanne & Fontanella, 2018).

La conductividad es producida por los electrolitos disueltos en agua y en ella influyen: terreno drenado, composición mineralógica, tiempo de contacto, gases disueltos, pH y todo lo que afecte a la solubilidad de sales (Marin Galvin, 2008).

7.2.3. ***TDS***

El término TDS describe la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. La TDS y la conductividad eléctrica están estrechamente relacionadas. Cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica. La mayoría de los sólidos que permanecen en el agua tras una filtración de arena, son iones disueltos. El cloruro de sodio por ejemplo se encuentra en el agua como Na^+ y Cl^-. El agua de alta pureza que en el caso ideal contiene solo H_2O sin sales o minerales tiene una conductividad eléctrica muy baja. La temperatura del agua afecta a la conductividad eléctrica de forma que su valor aumenta de un 2 a un 3 % por grado Celsius (Figueroa Casas, s.f.).

7.2.4. ***Turbidez***

"La turbidez tiene una gran importancia sanitaria, ya que refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación" (M., 1999)

La turbidez del agua se genera por la presencia de partículas en suspensión. La velocidad de sedimentación de las partículas pequeñas (menores al micrón de diámetro) es muy baja, por lo que requieren tratamiento para lograrla en tiempos útiles. Las mayores a un micrón se sedimentan espontáneamente. Mientras algunas son de naturaleza inorgánica (arcillas, fangos y óxidos minerales), que provienen de la erosión del suelo, otras son de naturaleza orgánica (bacterias, parásitos, algas, zooplancton, ácidos fúlvicos y coloides húmicos). Además de las fuentes naturales, las actividades humanas generan efluentes cargados de estas partículas y el aporte de otras sustancias que pueden combinarse con ellas (virus entéricos, contaminantes químicos, cloro, etc…) tanto en el cuerpo de agua como en las plantas y redes de distribución (Metzler, Ricardo Marcó, & García, 2004).

7.2.5. ***Cloruros***

Los cloruros son sales que resultan de la combinación del gas cloruro (ión negativo) con un metal (ion positivo). El cloro (Cl_2) es altamente tóxico y es usualmente utilizado como desinfectante, sin embargo, en combinación con un metal, como el sodio (Na), es esencial para la vida, dado que, pequeñas cantidades de cloruros son requeridas para la función celular en los seres vivos. En la naturaleza las sales de cloruro de sodio, cloruro de

potasio, y cloruro de calcio están ampliamente distribuidas, su solubilidad en agua fría es: 357, 344, 745 g/L, respectivamente. El cloruro, en forma de ion Cl^-, es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua, su contenido procede de fuentes naturales, aguas residuales y vertidos industriales. El efecto antropogénico está mayormente asociado con el ion sodio (García Vargas, y otros, 2012)

Los niveles de concentración de cloruros en agua no contaminada se encuentran a valores menores de 10 mg/L y en agua que se ha sometido a procesos de cloración ha reportado resultados de 40 a 63 mg/L. En los alimentos los niveles de cloruros permanecen en niveles menores a 0,36 mg/g llegando a reportar valores de 100 mg/ día, sin embargo, la adición ya sea en el procesado, al cocinar o comer llegan a incrementar los niveles resultando un consumo de 6 g/día lo cual se llega a incrementar a 12 g/día en algunos casos. Con base a un consumo de 2 litros de agua con una concentración de 10 mg/L la ingestión diaria de NaCl es de 20 mg/L, llegando a reportarse valores de 100 mg/día, con estos datos y asumiendo un consumo de 6 g/día, el agua de beber aporta del 0,33 a 1,6 % del requerimiento diario. En los humanos el 88 % de cloruros es extracelular y contribuye a la actividad osmótica del cuerpo (García Vargas, y otros, 2012)

7.2.6. ***DQO***

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se define como cualquier sustancia tanto orgánica como inorgánica susceptible de ser oxidada, mediante un oxidante fuerte. La cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno. DQO se expresa en mg/l O_2.

El método DQO se usa a menudo para medir los contaminantes en las aguas naturales y residuales y para evaluar la fuerza de desechos tales como aguas residuales municipales e industriales. El método DQO se usa también en aplicaciones en centrales eléctricas, industria química, industria papelera, lavanderías, estudios medioambientales y educación general. En las plantas potabilizadoras de agua, los valores DQO deberán ser inferiores a 10 mg/l O_2 al final del ciclo de tratamiento (Hanna Instruments, 2020).

7.2.7. Titración

Una muestra es retenida en una solución fuertemente ácida con un exceso conocido de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Tras la digestión el $K_2Cr_2O_7$ sin reducir restante es titrado con sulfato de amonio ferroso para determinar la cantidad de $K_2Cr_2O_7$ consumida y la materia oxidable se calcula en términos de equivalente en oxígeno. Este procedimiento es aplicable a los valores DQO entre 40 y 400 mg/l. Se pueden obtener valores DQO más altos mediante una cuidadosa dilución o utilizando concentraciones más altas de Solución de digestión de dicromato (Espinoza Villanueva, 2015).

7.2.8. *Colorimétrico*

Cuando una muestra es digerida, el material DQO en esa muestra se oxida por el ión dicromato. Como resultado, el Cromo pasa de estado hexavalente (VI) a trivalente (III). Ambas especies de Cromo exhiben un color y absorben luz en la región visible del espectro.

En la región 400 nm el ión dicromato ($Cr_2O_2^-$) absorbe mucha luz mientras que el ión crómico (Cr_3^+) absorbe mucho menos. En la región 600 nm es el ión crómico el que absorbe mucho y el ión dicromato tiene una absorción prácticamente nula (Hanna Instruments, 2020).

7.2.9. ***Espectrofotometría***

Al momento de decidir el nivel de precisión que se requiere para analizar el agua, hay una serie de opciones disponibles, como lo son las bandas de testeo, la Fotometría y la Espectrofotometría. Todos estos métodos ofrecen variadas ventajas, pero para un análisis profundo y con alta precisión, un espectrofotómetro es la mejor opción.

El espectrofotómetro puede utilizarse en todas las áreas del análisis de aguas y aguas residuales. Estos equipos pueden también ser utilizados para control de calidad en varios tipos de industria como lo son los alimentos y bebidas.

Un aspecto clave de este rango es la medición de la turbidez, de acuerdo con las normas establecidas. La habilidad de medir la luz parásita nefelométrica desde 0,1 hasta 1.000 NTU, mejora la precisión del análisis de una muestra, al eliminar los problemas relacionados con la turbidez en el momento del análisis.

Al utilizar un espectrofotómetro, este automáticamente rechaza las muestras que están turbias, basándose en criterios predeterminados, y el usuario tiene la opción de esperar a que la turbidez de la muestra llegue a niveles aceptables o simplemente tomar una muestra nueva (Cromtek, 2022).

7.2.10. ***Filtración***

La filtración por membrana es el mecanismo mediante el cual se atrapan en la superficie de la membrana microorganismos cuyo tamaño es mayor que el tamaño del poro 0,45 um, esto gracias a que una bomba eléctrica ejerce una presión diferencial sobre la muestra de agua haciendo que se filtre. Los contaminantes de tamaño menor que el específico del poro atraviesan la membrana o se quedan retenidos en su interior, las bacterias quedan en la superficie de la membrana y luego está es llevada a un medio de enriquecimiento selectivo, en el IDEAM se utiliza el medio de cultivo Chromocult el cual promueve el crecimiento y la identificación (Ideam, 2007).

7.2.11. ***Estereoscopio***

El Estereoscopio es usado en la fotogrametría y también para la producción de estereogramas. El estereoscopio es útil en la inspección de imágenes dadas de juegos de datos grandes multidimensionales como son producidos por datos experimentales. Además, la combinación de pares estereoscópicos de fotografías aéreas y estereoscopio es indispensable en la cartografía geológica. Este método permite la visualización de estructuras como pliegues y fallas que de otro modo exigirían un complicado trabajo sobre el terreno (Flores Mamani, s.f.).

7.3. **Métodos para análisis de las muestras**

Para el desarrollo del proyecto de investigación y análisis de cada una de las muestras de agua el laboratorio de calidad del agua de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas cuenta con los equipos necesarios para medir cada uno de los parámetros seleccionados como objeto de estudio.

7.3.1. ***pH:***

Se usó el pH metro "es un equipo que funciona midiendo la diferencia de potencial entre electrodos sumergidos en una solución conductora y luego traduciendo esa señal eléctrica en una escala de pH", dichos electrodos se encuentran en un solo cuerpo denominado electrodo de pH (Cárdenas Léon, 2022).

7.3.2. ***Conductividad eléctrica y TDS***

Se utilizó el conductímetro "consta de un sensor o electrodo, equipado con un par de placas metálicas a través de las cuales se aplica una diferencia de potencial de voltio y de un componente electrónico que mide la corriente generada y la reporta en el tablero digital en unidades de $\mu S/cm$ o mS/cm" (Cárdenas Léon, 2022). El conductímetro disponible en el laboratorio cuenta con las funciones para la medición de salinidad o solidos disueltos totales.

7.3.3. ***Turbidez***

El equipo usado para la medición de este parámetro se llama turbidímetro “la determinación instrumental de la turbidez en el agua se fundamenta en la medición de la dispersión captada en un ángulo de 90°, con respecto a la dirección de un haz de luz que incide sobre la muestra” (Cárdenas Léon, 2022).

7.3.4. ***Cloruros***

El método volumétrico titulación con nitrato de plata usado para determinar cloruros en las muestras, “consiste en titular una alícuota de muestra con solución de nitrato de plata estándar en el rango de pH de 6 a 9, utilizando cromato de potasio, como indicador. Puesto que el cromato de potasio es de amarillo, mientras que el cromato de plata es de color rojizo, en la titulación se parte de una mezcla amarilla que se va enturbiando durante la titulación, y se llega hasta una mezcla de tonalidad rojiza, persistente” (Cárdenas Léon, 2022).

7.3.5. ***DQO***

la demanda química de oxígeno “se mide por oxidación forzada de todas las sustancias contenidas en la muestra, que son susceptibles de sufrir oxidación química bajo las condiciones de prueba” (Cárdenas Léon, 2022).

En este estudio se realizó la medición con el método de digestión en sistema cerrado "se utiliza pequeños volúmenes de muestra y eso implica que las muestras analizadas deben ser altamente homogéneas y representativas o, que debe existir un procedimiento previo de homogenización. Se hace reaccionar el volumen de la mezcla con dicromato de potasio, de concentración 0,1 N, durante dos horas a 150°C, posteriormente, se titula el excedente de dicromato con solución de sulfato ferroso amónico, FAS" (Cárdenas Léon, 2022).

7.3.6. ***Espectrofotometría***

Se utilizó un espectrofotómetro "es una de las técnicas de análisis más comunes y eficientes en los laboratorios y se basa en la relación que existe entre la energía radiante y la materia, estando ésta como átomos o moléculas en estado puro o en solución" (Libro: calidad del agua).

En este estudio se usó específicamente la espectrofotometría de absorción "es una técnica basada en la medición de la reducción de la intensidad de la luz que pasa a través de una determinada sustancia (analito), que está contenida o dispersa en la muestra, generalmente en forma de solución" (Cárdenas Léon, 2022).

Para la recolección de información se toman aproximadamente 5 ml de muestra homogenizada y se deposita en el recipiente de cuarzo del espectrofotómetro, subsiguientemente el equipo se programa la longitud de onda en el espectro 250 y 600 nanómetros, en la pantalla del mismo se observa la gráfica de absorbancia para la muestra de agua.

7.3.7. ***Filtración***

En este procedimiento se utilizan 25 ml del muestra homogenizada, posteriormente se pasó por una membrana filtrante de 45 μm, (la filtración se realizó con un embudo y una bomba de vacío), consecutivamente la membrana filtrante se dejó secar; las imágenes se capturaron con un teléfono móvil procurando presentar en cada imagen la presencia de materia orgánica o ausencia de esta en la membrana filtrante.

7.3.8. ***Estereoscopio***

Se empleó con el fin de capturar las imágenes estereoscópicas de cada muestra, es importante resaltar que todas las imágenes fueron tomadas con las mismas características, es decir, la intensidad de luz se estableció en medio (RC 6), el encendido en la mitad, el zoom en 1, el tornillo micrométrico se ubicó de tal manera que permitiera ver el exactamente circulo de la muestra por medio de los oculares de esta forma la imagen proyectada en el equipo de cómputo se tomaba en un mismo punto para todas las muestras; en cuanto al disco inicialmente se utilizó el DF, posteriormente se cambió a BF este cambio se realizó debido a que, las muestras con fondo oscuro mostraban defectos en el porta muestra y disminuía la identificación de materia orgánica, microorganismos, entre otros.

Como se menciona anteriormente se tomó 5ml aproximadamente de muestra homogenizada, se depositó en el porta muestra y se ubicó en el estereoscopio para la captura de la imagen.

7.4. **Selección y ubicación geográfica de las muestras**

Para la investigación en la siguiente sección se indican los puntos de muestreo en el cual se hizo el análisis de los parámetros establecidos en la sección 7.3.

Cada punto se seleccionó teniendo como enfoque el contraste entre cada muestra de agua y que este fuera notorio para que al momento de realizarle los análisis a cada muestra los parámetros de estudio tuvieran cambios significativos.

7.4.1. ***Lluvia***

El primer punto de muestreo como lo indica la Figura 1, se realiza en la cuidad de Bogotá en la localidad de Puente Aranda

Figura 1 Punto de Muestreo Agua Lluvia

Fuente: Google Earth

7.4.2. *Quebrada la vieja*

La Quebrada la Vieja ubicada en la Figura 2 se encuentra en los Cerros Orientales de Bogotá a 2.600 msnm en la localidad de Chapinero, donde se conservan 2.500 hectáreas protegidas de suelo rural. La Quebrada La Vieja es un patrimonio ambiental, cuyo nacimiento comienza a 2 km de la Av. circunvalar en el sector centro Norte (calle 70).

Figura 2 Punto de Muestreo Agua en la Quebrada la Vieja

Fuente: Google Earth

7.4.3. *Lago Artificial de los Novios*

El Lago o parque Los Novios según la Figura 3, está ubicado en la localidad de Barrios Unidos, al costado norte de la avenida calle 63 –calle 63 #45-10–, y cuenta con una superficie de 23 hectáreas. Se trata, sin duda, de uno de los recintos lúdicos más reconocidos por la ciudadanía bogotana.

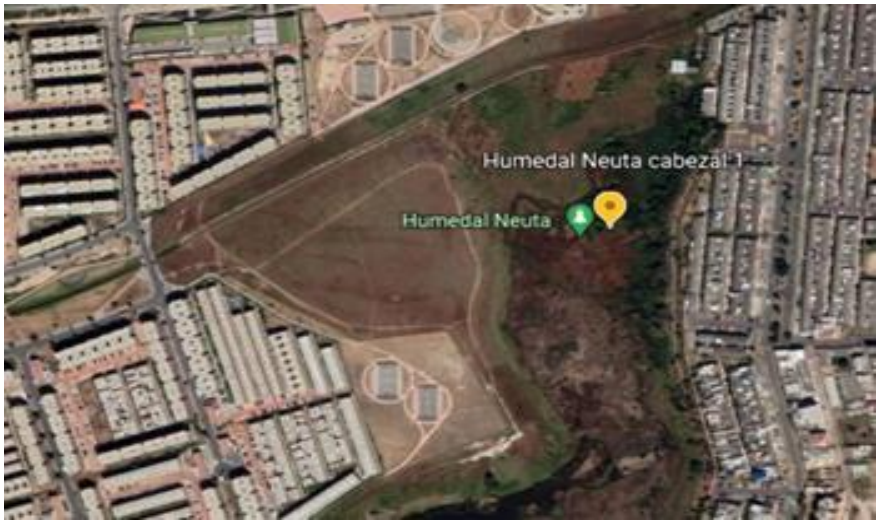
Figura 3 Punto de Muestreo Agua en el Lago Artificial de Los Novios

Fuente: Google Earth

7.4.4. *Humedal Neuta cabezal 1*

Este punto de muestreo según la Figura 4 está ubicado al occidente del casco urbano, en la Comuna 1 de Compartir, se encuentra rodeado por las ciudadelas Hogares Soacha y Parque Campestre y los barrios Bosques del Zapan, Ducales y Quintas de La Laguna.

Figura 4 Punto de Muestreo Agua del Humedal Neuta Cabezal 1

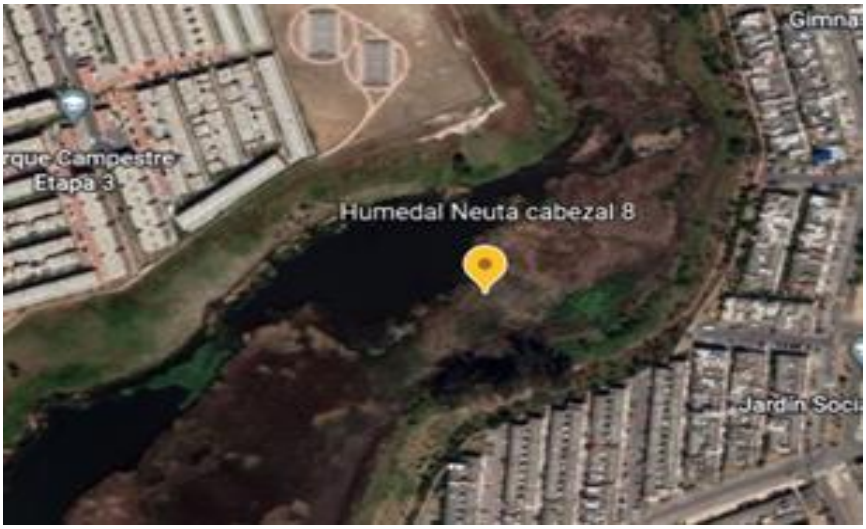


Fuente: Google Earth

7.4.5. *Humedal Neuta cabezal 8*

Este punto de muestreo según la Figura 5 está ubicado al occidente del casco urbano, en la Comuna 8 de Compartir.

Figura 5 Punto de Muestreo Agua del Humedal Neuta Cabezal 8



Fuente: Google Earth

7.4.6. *Acuario*

El primer punto de muestreo como lo indica la Figura 6, se realiza en la cuidad de Bogotá en la localidad de Bosa, obtenida del laboratorio de Epidemiología y Zoonosis.

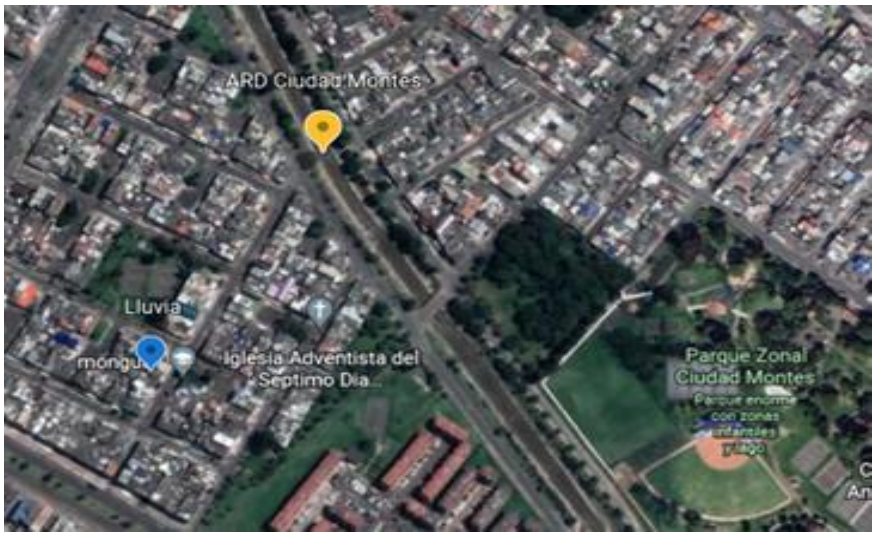
Figura 6 Punto de Muestreo Agua de Acuario

Fuente: Google Earth

7.4.7. *Agua Residual Doméstica canal Ciudad Montes*

El barrio Ciudad Montes como lo indica la Figura 7, está ubicado al sur de la ciudad de Bogotá y pertenece a la localidad de Puente Aranda. Cuenta con una diversidad de parques, iglesias, colegios, jardines, bares, karaokes, gimnasios, centros de entretenimiento, bancos, droguerías y lugares de comercio (locales). Una de sus avenidas principales es la calle octava sur, que es un área dispuesta para que tanto visitantes como locales caminen y transiten por esta vía entrando en contacto directo con el comercio del barrio.

Figura 7 Punto de Muestreo de Agua Residual Doméstica en el canal de Cuidad Montes



Fuente: Google Earth

8. **Resultados y análisis**

Los resultados del proyecto de investigación se presentan en la sección 8 en la cual se contemplan los datos obtenidos para las diferentes muestras y el análisis de estas.

8.1. **Resultados**

En esta sección se contemplan los resultados obtenidos en el laboratorio de las muestras de agua de interés con cada uno de los parámetros e imágenes obtenidas recordando que se realizaron los días 27 de octubre de 2022 (análisis 1), el 10 de noviembre de 2022 (análisis 2), el 17 de noviembre de 2022 (análisis 3), el 24 de noviembre de 2022 (análisis 4) y el 01 de diciembre de 2022 (análisis 5).

Tabla 2 Mediana de los resultados de cada muestra de agua.

Promedio de Resultados para cada Muestra						
Muestra de agua	**Análisis Laboratorio**					
	pH	**Conductividad (µS/cm)**	**TDS (ppm)**	**Turbiedad (NTU)**	**Cloruros (mg Cl^-/1)**	**DQO (mg O_2/l)**
Desionizada	5,95	1,73	0,87	0,39	<5	No aplica
Potable	6,36	113,88	56,98	4,30	<5	25,17
Lluvia	6,81	40,40	20,20	5,99	<5	30,12
Acuario	6,79	287,20	143,38	1,08	<5	10,49
Quebrada la Vieja	6,79	26,90	13,44	51,74	12,94	19,48
Lago Artificial Novios	6,84	138,26	69,10	47,97	16,24	63,58
Humedal Nueta Cabezal 1	7,02	534,62	267,42	649,80	33,93	237,91

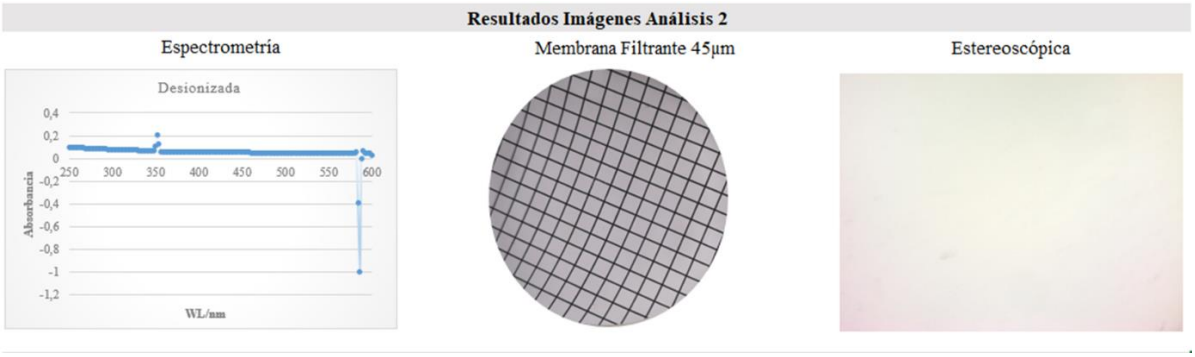
Humedal Nueta Cabezal 8	7,12	273,86	136,82	262,65	28,89	97,98
ARD canal	7,44	391,17	195,57	327,56	33,85	191,00
Lavadero Autos	6,84	400,00	200,00	23,95	46,00	73,24

Fuente: Autores.

8.1.1. ***Desionizada***

En la Tabla 2 se contemplan los parámetros de calidad del agua obtenidos para la muestra de agua Desionizada y en la Figura 8, Figura 9, se contemplan los resultados obtenidos para las pruebas de espectrometría y estereoscópicas.

Figura 8 Resultados Imágenes Análisis 2 Desionizada



Fuente: Autores.

Para la figura 8, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 2: pH de 4.96, conductividad eléctrica de 1.21 µS/cm, Solidos disueltos totales de 0.61 ppm, Turbiedad de 0.51 NTU, Cloruros menor a 5 mg Cl-/1. En las imágenes se evidencia la ausencia de materia orgánica.

Figura 9 Resultados Imágenes Análisis 5 Desionizada

Fuente: Autores.

Para la figura 9, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 5: pH de 6.62, conductividad eléctrica de 1.90 µS/cm, Solidos disueltos totales de 0.96 ppm, Turbiedad de 0.17 NTU, Cloruros menor a 5 mg Cl-/1. En las imágenes se evidencia la ausencia de materia orgánica.

8.1.2. ***Potable***

Para la muestra de agua potable en la Tabla 2 se contemplan los parámetros de calidad del agua obtenidos en el laboratorio y en la Figura 10, Figura 11, se contemplan los resultados obtenidos para las pruebas de espectrometría y estereoscópicas de los análisis.

Para la figura 10, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 4: pH de 6.60, conductividad eléctrica de 112.40 µS/cm, Solidos disueltos totales de 56.40 ppm, Turbiedad de 1.18 NTU, Cloruros menor a 5 mg Cl^-/1, Demanda Química de Oxigeno de 20.59 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia la ausencia de materia orgánica.

Figura 10 Resultados Imágenes Análisis 4 Potable

Fuente: Autores.

Figura 11 Resultados Imágenes Análisis 5 Potable

Fuente: Autores.

Para la figura 11, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 5: pH de 6.65, conductividad eléctrica de 117.20 µS/cm, Solidos disueltos totales de 58.60 ppm, Turbiedad de 1.43 NTU, Cloruros menor a 5 mg Cl^-/1, Demanda Química de Oxigeno de 17.54 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia la ausencia de materia orgánica.

8.1.3. *Lluvia*

Para la muestra de agua lluvia en la Tabla 2 se contemplan los parámetros de calidad del agua obtenidos en el laboratorio y en la Figura 12 y Figura 13 se contemplan los resultados obtenidos para las pruebas de espectrometría y estereoscópicas de los análisis.

Figura 12 Resultados Imágenes Análisis 4 Lluvia

Fuente: Autores.

Para la figura 12, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 4: pH de 7.70, conductividad eléctrica de 47.80 µS/cm, Solidos disueltos totales de 23.90 ppm, Turbiedad de 8.43 NTU, Cloruros menor a 5 mg Cl^-/1, Demanda Química de Oxigeno de 80.01 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia la ausencia de materia orgánica, sin embrago; la imagen correspondiente a la membrana filtrante tiene una leve coloración roja esto es debido al recipiente en el que almaceno la muestra.

En la figura 13, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 5: pH de 6.64, conductividad eléctrica de 40.70 µS/cm, Solidos disueltos totales de 20.30 ppm, Turbiedad de 2.29 NTU, Cloruros menor a 5 mg Cl^-/1, Demanda Química de Oxigeno de 9.73 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia la ausencia de materia orgánica.

Figura 13 Resultados Imágenes Análisis 5 Lluvia

Fuente: Autores.

8.1.4. ***Acuario***

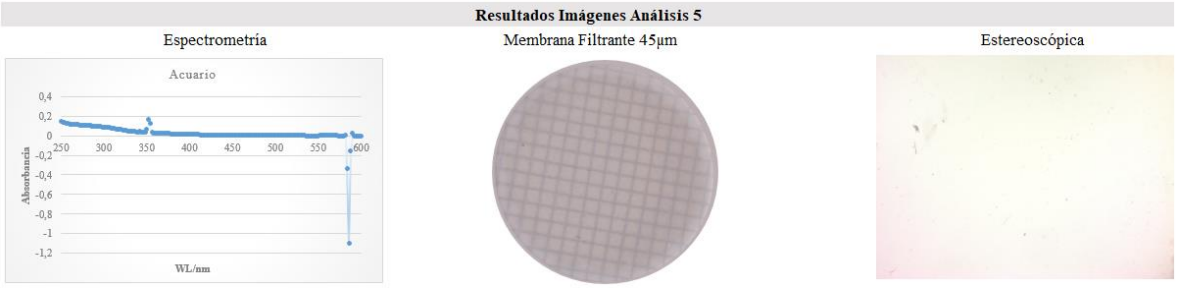
Para la muestra de agua de acuario en la Tabla 2 se contemplan los parámetros de calidad del agua obtenidos en el laboratorio y en la Figura 14 y Figura 15 se contemplan los resultados obtenidos para las pruebas de espectrometría y estereoscópicas de los análisis.

Figura 14 Resultados Imágenes Análisis 3 Acuario

Fuente: Autores.

En la figura 14, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 3: pH de 7.09, conductividad eléctrica de 269,70 µS/cm, Solidos disueltos totales de 148.30 ppm, Turbiedad de 0.77 NTU, Cloruros menor a 5 mg Cl^-/1, Demanda Química de Oxigeno de 17.68 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia escasa presencia de materia orgánica.

Figura 15 Resultados Imágenes Análisis 5 Acuario



Fuente: Autores.

En la figura 15, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 5: pH de 6.69, conductividad eléctrica de 333 µS/cm, Solidos disueltos totales de 166 ppm, Turbiedad de 2.11 NTU, Cloruros menor a 5 mg Cl^-/1, Demanda Química de Oxigeno de 9.06 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia escasa presencia de materia orgánica.

8.1.5. ***Quebrada la Vieja***

Para la muestra de agua de la Quebrada la Vieja en la Tabla 2 se contemplan los parámetros de calidad del agua obtenidos en el laboratorio y en la Figura 16 y Figura 17, se contemplan los resultados obtenidos para las pruebas de espectrometría y estereoscópicas de los análisis.

Figura 16 Resultados Imágenes Análisis 3 Quebrada la Vieja

Fuente: Autores.

En la figura 16, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 3: pH de 7.17, conductividad eléctrica de 20 µS/cm, Solidos disueltos totales de 9.97 ppm, Turbiedad de 105.33 NTU, Cloruros de 7.80 mg Cl^-/1, Demanda Química de Oxigeno de 10.94 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia presencia leve principalmente de material vegetal.

Figura 17 Resultados Imágenes Análisis 5 Quebrada la Vieja

Fuente: Autores.

En la figura 17, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 5: pH de 7.17, conductividad eléctrica de 22,63 µS/cm, Solidos disueltos totales de 11.31 ppm, Turbiedad de 40.40 NTU, Cloruros de 25.52 mg Cl^-/1, Demanda Química de Oxigeno de

26.30 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia presencia leve principalmente de material vegetal.

8.1.6. *Lago Artificial de los Novios*

Para la muestra de agua del Lago Artificial de los Novios en la Tabla 2 se contemplan los parámetros de calidad del agua obtenidos en el laboratorio y en la Figura 18 y Figura 19 se contemplan los resultados obtenidos para las pruebas de espectrometría y estereoscópicas de los análisis.

Figura 18 Resultados Imágenes Análisis 3 Lago Artificial de los Novios.

Fuente: Autores.

En la figura 18, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 3: pH de 7.12, conductividad eléctrica de 137.20 µS/cm, Solidos disueltos totales de 68.60 ppm, Turbiedad de 53.10 NTU, Cloruros de 12.58 mg Cl^-/1, Demanda Química de Oxigeno de 56.31 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia presencia notable principalmente de material vegetal.

Figura 19 Resultados Imágenes Análisis 5 Lago Artificial de los Novios.

Fuente: Autores.

En la figura 19, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 5: pH de 6.53, conductividad eléctrica de 135.20 µS/cm, Solidos disueltos totales de 67.50 ppm, Turbiedad de 21.83 NTU, Cloruros de 13.47 mg Cl^-/1, Demanda Química de Oxigeno de 25.41 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia presencia notable principalmente de material vegetal.

8.1.7. ***Humedal Neuta cabezal 1***

Para la muestra de agua del Humedal Neuta cabezal 1 en la Tabla 2 se contemplan los parámetros de calidad del agua obtenidos en el laboratorio y en la Figura 20 y Figura 21 se contemplan los resultados obtenidos para las pruebas de espectrometría y estereoscópicas de los análisis.

Para la figura 20, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 3: pH de 7.08, conductividad eléctrica de 774 µS/cm, Solidos disueltos totales de 387 ppm, Turbiedad de

991 NTU, Cloruros de 10.10 mg Cl^-/1, Demanda Química de Oxigeno de 25.41 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia presencia de material orgánico, entre otros.

Figura 20 Resultados Imágenes Análisis 3 Humedal Neuta Cabezal 1

Fuente: Autores.

En la figura 21, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 4: pH de 6.68, conductividad eléctrica de 773 µS/cm, Solidos disueltos totales de 387 ppm, Turbiedad de 116.67 NTU, Cloruros de 62.04 mg Cl^-/1, Demanda Química de Oxigeno de 192.62 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia presencia de material orgánica.

Figura 21 Resultados Imágenes Análisis 4 Humedal Neuta Cabezal 1

Fuente: Autores.

8.1.8. *Humedal Neuta cabezal 8*

Para la muestra de agua del Humedal Neuta cabezal 8 en la Tabla 2 se contemplan los parámetros de calidad del agua obtenidos en el laboratorio y en la Figura 22 y Figura 23 se contemplan los resultados obtenidos para las pruebas de espectrometría y estereoscópicas de los análisis.

Figura 22 Resultados Imágenes Análisis 3 Humedal Neuta Cabezal 8

Fuente: Autores.

En la figura 22, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 3: pH de 7.30, conductividad eléctrica de 153.10 µS/cm, Solidos disueltos totales de 76.60 ppm, Turbiedad de 314 NTU, Cloruros de 48.39 mg Cl-/1, Demanda Química de Oxigeno de 58.52 mg O2/l. En las imágenes se evidencia presencia de material orgánica.

En la figura 23, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 4: pH de 7.17, conductividad eléctrica de 153 µS/cm, Solidos disueltos totales de 76.50 ppm, Turbiedad de 164 NTU, Cloruros de 9.57 mg Cl-/1, Demanda Química de Oxigeno de 112.67 mg O2/l. En las imágenes se evidencia presencia de material orgánica.

Figura 23 Resultados Imágenes Análisis 4 Humedal Neuta Cabezal 8

Fuente: Autores.

Agua Residual Domestica Canal Ciudad Montes

Para la muestra de agua Residual Domestica en la Tabla 2 se contemplan los parámetros de calidad del agua obtenidos en el laboratorio en la Figura 24 y Figura 25 se contemplan los resultados obtenidos para las pruebas de espectrometría y estereoscópicas de los análisis.

Figura 24 Resultados Imágenes Análisis 2 Agua Residual Domestica.

Fuente: Autores.

En la figura 24, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 2: pH de 7.88, conductividad eléctrica de 407 µS/cm, Solidos disueltos totales de 203 ppm, Turbiedad de

665 NTU, Cloruros de 33.15 mg Cl-/1, Demanda Química de Oxigeno de 164.74 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia presencia de material orgánica.

Figura 25 Resultados Imágenes Análisis 4 Agua Residual Domestica.

Fuente: Autores.

En la figura 25, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 4: pH de 7.72, conductividad eléctrica de 639 µS/cm, Solidos disueltos totales de 320 ppm, Turbiedad de 164.33 NTU, Cloruros de 48.21 mg Cl^-/1, Demanda Química de Oxigeno de 339.62 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia presencia de material orgánica.

8.1.9. ***Lavadero de Automóviles***

Para la muestra de agua de un Lavadero de Automóviles en la Tabla 2 se contemplan los parámetros de calidad del agua obtenidos en el laboratorio y en la Figura 27 y Figura 28 se contemplan los resultados obtenidos para las pruebas de espectrometría y estereoscópicas de los análisis.

Figura 26 Resultados Imágenes Análisis 4 Lavadero de Automóviles.

Fuente: Autores.

En la figura 26, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 4: pH de 6.72, conductividad eléctrica de 403 µS/cm, Solidos disueltos totales de 202 ppm, Turbiedad de 31.93 NTU, Cloruros de 46.79 mg Cl^-/1, Demanda Química de Oxigeno de 66.35 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia presencia de material orgánica.

Figura 27 Resultados Imágenes Análisis 5 Lavadero de Automóviles.

Fuente: Autores.

En la figura 27, se obtuvieron los siguientes resultados en análisis 5: pH de 6.95, conductividad eléctrica de 397 µS/cm, Solidos disueltos totales de 198 ppm, Turbiedad de 15.97 NTU, Cloruros de 45.20 mg Cl^-/1, Demanda Química de Oxigeno de 80.14 mg O_2/l. En las imágenes se evidencia presencia de material orgánica.

8.2. **Análisis de las muestras de Agua**

8.2.1. ***Análisis pH***

Con base en los criterios establecidos en la normatividad como: la resolución 631 de 2015 para vertimiento de aguas residuales domésticas (ARD) y demás actividades relacionadas en dicha Resolución; el Decreto 1594 de 1984 para lagos y humedales; el Decreto 2115 de 2007 para agua de consumo humano; los valores permisibles para pH oscilan entre 4,5 a 9,0. Los resultados presentados con anterioridad para cada muestra de agua se encuentran entre los rangos señalados en la normatividad.

Ahora bien, ¿este parámetro puede ser incluido de interés en el estudio? Se considera irrelevante debido a que las muestras de agua se encuentran dentro de un rango de pH neutro, no es posible identificar la procedencia de una muestra de agua con este parámetro.

"El pH es un parámetro de baja influencia en el análisis de agua debido presentan resultados similares para muestras de agua como fuentes de aguas naturales, subterránea, superficiales, afectadas o no por vertimientos de aguas domesticas valores entre 6 y 8" (Cárdenas Léon, 2022)

8.2.2. ***Análisis Conductividad Eléctrica y TDS***

En el Decreto 1594 del 84 y Resolución 631 de 2015 la no hay un rango valor determinado para este parámetro; en la Resolución 2115 de 2007 establece el valor de conductividad el cual debe ser menor a 1000 µS/cm para el agua de consumo humano, este

parámetro se cumple para todos los análisis realizados. Es importante resaltar la relación de la conductividad eléctrica y TDS, es el cambio de µS/cm a salinidad en ppm.

En los resultados para este parámetro en cada una de las muestras de agua se presenta variaciones persistentes, la cual permiten la identificación del lugar de procedencia de la muestra de agua; sin embargo, debido a la falta de estandarización de los rangos para la caracterización de estas no se puede establecer una relación con la normatividad y los resultados del proyecto de investigación.

Empero, es posible encontrar en la literatura los resultados registrados en salidas académicas para conductividad eléctrica: agua residual de crudo, caja API entre 5.000 y 70.000 µS/cm; agua residual domestica entre 600 y 1.200 µS/cm; agua potable en Bogotá entre 60 y 150 µS/cm; agua lluvia en Bogotá 0,2 y 2,0 µS/cm; ríos y manantiales en laderas entre 20 y 80 µS/cm; agua desionizada menor a 0,05 µS/cm (Cárdenas Léon, 2022).

Los resultados obtenidos se encuentran dentro de los rangos establecidos para las diferentes muestras de agua que se mencionan en la literatura. Para las muestras de agua del acuario, lavadero de carro, a pesar de no contar con referencias de la misma forma de las demás muestras es posible establecer un rango e identificar su lugar de procedencia. Es importante resaltar que este parámetro es influenciado por las temporadas de lluvia o secas en la zona de muestreo.

8.2.3. *Análisis Turbiedad*

Para la turbiedad se identifica En el Decreto 1594 de 1984, artículo 45 preservación de fauna y flora, establece que el parámetro de turbiedad no debe interferir en la actividad fotosintética; en la Resolución 631 de 2015 no se establece límite máximo permisible para turbiedad; en la resolución 2115 de 2007 para agua potable establece un valor menor a 2 NTU.

La turbiedad es un parámetro indicador de calidad lo que permite diferenciar agua potable, del agua de un humedal por lo que es de interés para este estudio; sin embargo, este se puede ser afectado por factores climáticos y de esta forma el aspecto de una misma muestra.

En los resultados obtenidos con menor valor de la turbiedad son la muestra de agua desionizada, potable, acuario; las muestras con mayor valor son para el humedal Neuta cabezal 1 y 8, ARD; las demás muestras tienen un valor intermedio.

8.2.4. *Análisis de Cloruros*

La Resolución 631 de 2015 se establece para vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (ARND) a cuerpos de aguas superficiales de actividades productivas de agroindustria y ganadería. Valores límites permisibles 600 mg/L Cl-, 500 mg/L Cl- y 250 mg/L Cl-. Para la Resolución 2115 de 2007 el parámetro de Cloruros indica un valor límite permisible de 250 mg/L Cl-.

El ion cloruro es un parámetro de interés debido a que es un indicador natural de la contaminación por las actividades humanas. Ahora bien, en este estudio se evidencia el mayor valor obtenido fue en el humedal Neuta cabezal 1 para el análisis 4 con 62,04 mg/L Cl-, este parámetro no nos permite constituir una diferencia entre muestra debido a que por ejemplo se presentaron resultados cercanos la muestra de agua potable en el análisis 5 con 20,74 mg/L Cl- y el humedal Neuta cabezal 1 en el análisis 2 con 20,56 mg/L Cl-.

8.2.5. ***Análisis de DQO***

Este parámetro es de interés para el proyecto de investigación dado a que los resultados presentan diferencias en cada muestra de agua; sin embargo, es importante aclarar que los reactivos usados en el proceso fueron elaborados con insumos y el laboratorio de calidad del agua de la Universidad Distrital Francisco José del Caldas, debido a esto puedo estar sujeto a errores humanos en la elaboración.

En la Resolución 631 de 2015 establece para DQO los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas, (ARD) y de las Aguas Residuales no Domésticas (ARnD) de 200 mg/L O2. En la misma Resolución se dicta los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (ARnD) a cuerpos de aguas superficiales de actividades productivas de agroindustria y ganadería de 150 mg/L O2.

La DQO a mayor valor más contaminada se encuentra el agua, razón por la cual el resultado para agua potable, lluvia, entre otras debería ser nula o de muy bajo valor. Los resultados se consideran altos en este parámetro, por lo que se debe considerar la repetición del análisis de laboratorio.

Para los demás resultados algunos análisis superan los valores máximos permisibles en la normatividad como por ejemplo el Humedal Neuta cabezal 1 en el análisis 5 con 314,44 mg/L O2. Cabe mencionar, que este parámetro es afectado por las temporadas de lluvias o secas y por el mismo entorno de la toma de la muestra.

8.2.6. ***Análisis de Imágenes Tipo***

En las imágenes presentadas anteriormente para espectrofotometría y membrana filtrante 45 µm son estables, las imágenes capturadas en el estereoscopio se ven afectadas por el recipiente que contiene la muestra de agua y las características establecidas en el estereoscopio.

Cada una de las imágenes es representativa en el proceso del proyecto de investigación; sin embargo, es importante estandarizar la captura de la imagen, pero también la facilidad y el acceso para el uso de imágenes en el análisis de la calidad del agua.

9. **Conclusiones**

Se concluye que para este proyecto de investigación e innovación los parámetros de interés identificados en este estudio son Conductividad Eléctrica, Turbiedad y DBO, estos parámetros debido a la clara diferencia entre las muestras de agua y rangos establecidos permiten establecer e identificar el lugar de procedencia de las muestras de agua. Es importante considerar otros parámetros en futuros proyectos que puedan contribuir a identificar las características de la calidad del agua dependiente de la naturaleza de la muestra.

Las imágenes obtenidas contribuyen en el proceso y selección posterior del método para el análisis de la calidad del agua por una imagen o captura. En este proyecto de investigación se hace evidente la diferencia entre las muestras y se ven reflejadas en cada una de las imágenes, por lo que se deben analizar distintos factores al momento de seleccionar un único método (espectrofotometría, estereoscopio, membrana filtrante) como por ejemplo el fácil acceso al equipo para obtener resultados rápidos y confiable para una determinada muestra de agua.

Los parámetros de interés y las imágenes obtenidas establecen una base de datos permitiendo crear una identidad para cada muestra de agua con su lugar de muestreo y de esta manera establecer la calidad de agua de una muestra problema.

10. **Recomendaciones**

En el proceso para la captura de imágenes con el estereoscopio inicialmente se planteó realizarlo con el fondo oscuro, sin embargo; el resultado de las imágenes no fueron las esperadas por lo que se cambió la iluminación por una clara; la calidad de la imagen mejoró y es la que las investigadoras recomiendan para futuros trabajos de investigación.

Es importante tener en cuenta los factores climáticos en las zonas de muestreo, debido a que afectan los resultados de las muestras por lo que se recomienda establecer fechas de muestreo con factores climáticos similares.

Se recomienda que las personas que vayan a continuar con el desarrollo del proyecto tengan asepsia en la toma de las muestras ya que es un factor muy importante al momento de realizar el análisis de las muestras en laboratorio.

11. **Referencias**

Ondarse Álvarez, D. (15 de julio de 2021). *Conductividad eléctrica*. Obtenido de https://concepto.de/conductividad-electrica/

Alemany, L. A. (noviembre de 2009). *Inteligencia Artificial 2009.* Obtenido de https://www.cs.famaf.unc.edu.ar/~laura/ia/ia.html#:~:text=La%20inteligencia%20artificial%20es%20el,desarrollar%20agentes%20racionales%20no%20vivos.

Álvarez Munárriz, L. (1994). *Fundamentos de Inteligencia Artificial.* Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=UfccXvwzIOUC&oi=fnd&pg=PA19&dq=fundamentos+de+inteligencia+artificial&ots=z09aXk_THk&sig=FuvbxyodAdHXWXdBpBl0ddQNqQ0#v=onepage&q=fundamentos%20de%20inteligencia%20artificial&f=false

Aumassanne, C., & Fontanella, D. (7 de agosto de 2018). *Variaciones en la conductividad eléctrica del agua para riego en la cuenca del río colorado, Argentina.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/326877144_VARIACIONES_EN_LA_CONDUCTIVIDAD_ELECTRICA_DEL_AGUA_PARA_RIEGO_EN

Benítez Guerrero, E. I. (2010). *Inteligencia artificial.* Obtenido de Introducción de la IA Fundamentos: https://www.genbeta.com/desarrollo/que-es-la-inteligencia-artificial

Cárdenas Léon, J. A. (2022). *Calidad del agua para estudiantes de ciencias ambientales, segunda Edición.* Bogotá: Ecoe Ediciones.

Cromtek. (febrero de 2022). *Espectrofotometría para medir calidad del agua* . Obtenido de https://www.notijenck.com.ar/notas/espectrofotometria-para-medir-calidad-del-agua

Escolano Ruiz, F., Cazorla Quevedo, M. Á., Alfonso, G. M., Colomina Pardo , O., & Lozano Ortega, M. Á. (2003). *Inteligencia artificial.* Obtenido de Modelos, Técnicas y Áreas de Aplicación: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=_spC6S7UfZgC&oi=fnd&pg=PP1&dq=inteligencia+artificial+en+la+ciencia&ots=sQlmKLLotV&sig=JAbrOzA3KVjfhlpMtqiJjugRINc#v=onepage&q=inteligencia%20artificial%20en%20la%20ciencia&f=false

Espinoza Villanueva, A. R. (2015). *DQO (Demanda Química de Oxígeno) es muestras de agua de fuentes naturales.* Obtenido de https://www.academia.edu/32579646/UNIVERSIDAD_CAT%C3%93LICA_DE_SANTA_MAR%C3%8DA_ESCUELA_PROFESIONAL_DE_INGENIER%C3%8DA_AMBIENTAL

Figueroa Casas, A. (s.f.). *Fisicoquímica y cambios espacio temporales en el espejo de agua para la laguna de sonso*. Obtenido de

http://talos.unicauca.edu.co/gea/sites/all/modules/telematica/fotos/FISICOQUIMICA%20Y%20CAMBIOS%20ESPACIO%20TEMPORALES%20EN%20EL%20ESPEJO%20DE%20AGUA%20PARA%20LA%20LAGUNA%20DE%20SONSO_1.pdf

Flores Mamani, M. (s.f.). *Informe del estereoscopio*. Obtenido de https://www.etsist.upm.es/estaticos/ingeniatic/index.php/tecnologias/item/453-estereoscopio%3Ftmpl=component&print=1.html

García Serrano, A. (2012). *Inteligencia Artificial.* Obtenido de Fundamentos, práctica y aplicaciones: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=WDuqquRP70UC&oi=fnd&pg=PP9&dq=fundamentos+de+inteligencia+artificial&ots=iUU1i3jsLu&sig=NIzlqUIeyYyaS57i8Nttij2Rwec#v=onepage&q=fundamentos%20de%20inteligencia%20artificial&f=false

García Vargas, A., Reyes Navarrete, M. G., Alvarado de la Peña, A. I., González Valdez, L. S., Magdalena Antuna, D., Vázquez Alarcón, E., . . . Herrera Benavides, A. (2012). *Cloruros totales en el agua de abastecimiento.* Obtenido de Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Durango (CIIDIR IPN Durango): https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/8825/1/clorurosnov12.pdf

Gutiérrez Ossa, J. A., & Flórez Hernández, I. C. (2020). Inteligencia Artificial (IA) Aplicada en el Sistema Judicial en Colombia. *Revista Derecho y Realidad*, 53-80.

Hanna Instruments. (2020). *Demanda Química de oxigeno (DQO)*. Obtenido de https://www.hannainst.es/blog/81/demanda-quimica-de-oxigeno

Holder Jr, E. H. (2002). *El libro de referencia de las huellas dactilares.* Washington.

Ideam. (30 de agosto de 2007). *Determinación de Escherichia coli y coliformes totales en agua por el método de filtración por membrana en Agar Chromocult.* Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+Agua+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-370e-48ef-9818-ec54a0f01174

López Takeyas, B. (2007.). *Introducción a la Inteligencia Artificial.* Obtenido de http://itnuevolaredo.edu.mx/takeyas/Articulos/Inteligencia%20Artificial/ARTICULO%20Introduccion%20a%20la%20Inteligencia%20Artificial.pdf

Marin Galvin, R. (2008). *Caracteristicas Fisicas, Quimicas y Biologicas de las Aguas.* Obtenido de https://www.academia.edu/37295768/CARACTER%C3%8DSTICAS_F%C3%8DSICAS_QU%C3%8DMICAS_Y_BIOL%C3%93GICAS_DE_LAS_AGUAS

Metzler, C. A., Ricardo Marcó, L., & García, M. (2004). *La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina).* Obtenido de Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública de la Universidad de Granada: https://www.virtualpro.co/biblioteca/la-turbidez-como-indicador-basico-de-calidad-de-aguas-potabilizadas-a-partir-de-fuentes-superficiales-propuestas-a-proposito-del-estudio-del-sistema-de-potabilizacion-y-distribucion-en-la-ciudad-de-concepcion-del-urugu

Pardo Feijoo, S. (2009). *plicación del modelo Bag-of-Words al reconocimiento de imágenes.* Obtenido de Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones: http://hdl.handle.net/10016/7107

Peralta Castellano, J. C. (2015). *Nueve años de biometría en el Perú: La fe de identificación en la encrucijada.* Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-21472015000200275

Peréz, P. (5 de julio de 2022). *Análisis de aguas por imagen: fundamentos, aplicaciones y realizaciones*. Obtenido de https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/analisis-aguas-imagen-fundamentos-aplicaciones-y-realizaciones

Robledo Sosa, C. (2007). *La Inteligencia Artificial.* Obtenido de Un paseo Exploratorio: https://www.esimez.ipn.mx/assets/files/esimez/docs/inicio/Slider/abril/8%20ABRIL_CONF%20CORNELIO%20inteligencia%20artificial(2).pdf

Sherman, D. (2005). *Biometric Technology: The Impact On Privacy.* Obtenido de https://digitalcommons.osgoode.yorku.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=1173&context=clpe