

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA, LEÓN**  
**UNAN-LEÓN**

**Área conocimiento de Ciencias y Tecnología**  
**Área específica química**  
**Licenciatura en Química**



**Trabajo monográfico para optar al título de Licenciado en Química.**

**“CONSTRUCCIÓN DE UN VOLTÍMETRO BASADO EN TECNOLOGÍA ARDUINO  
UTILIZANDO EN UNA CELDA  $AI-H_2O_2$  CLARIFICADORA DE AGUA Y  
GENERADORA DE ELECTRICIDAD”**

**Presentado por:**

Br. Juan Carlos Medina Ortega

Br. Erving David Mendoza Blanco

Br. Josué Leonardo Gaibor Sánchez

**Tutor(s):**

M.Sc. Jorge Isaac Cisne Altamirano.

León, Nicaragua - C.A“

*“2024: 45/19 La patria, La revolución”*

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA, LEÓN**  
**UNAN-LEÓN**

**Área conocimiento de Ciencias y Tecnología**  
**Área específica química**  
**Licenciatura en Química**



**Trabajo monográfico para optar al título de Licenciado en Química.**

**“CONSTRUCCIÓN DE UN VOLTÍMETRO BASADO EN TECNOLOGÍA ARDUINO  
UTILIZANDO EN UNA CELDA  $AI-H_2O_2$  CLARIFICADORA DE AGUA Y  
GENERADORA DE ELECTRICIDAD”**

**Presentado por:**

- ❖ Br. Juan Carlos Medina Ortega
- ❖ Br. Erving David Mendoza Blanco
- ❖ Br. Josué Leonardo Gaibor Sánchez

**Tutor(s):**

M.Sc. Jorge Isaac Cisne Altamirano.



León, Nicaragua - C.A

“2024: 45/19 La patria, La revolución”

---

## Resumen

Se diseñó un dispositivo capaz de realizar lecturas de voltaje producido por una semicelda electroquímica de aluminio-peróxido, la cual utiliza como electrolito agua. El agua corresponde a muestras tomadas de los ríos de Quezalguaque y Salinas Grandes. La semicelda propuesta además de generar energía eléctrica tiene la capacidad de clarificar el agua dispuesta como electrolito, esto gracias a la hidrólisis del aluminio que da lugar a la formación de la especie hidróxido de aluminio ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) el cual desestabiliza los sólidos en suspensión provocando la precipitación de los mismos. Para verificar las respuestas del dispositivo, fue puesto a comparación con el multímetro comercial PCE-DM 32, obteniendo 120 lecturas. Se realizaron pruebas de precisión, exactitud y repetibilidad, obteniendo que, existen diferencias significativas entre las medias de ambas series de datos. Se eliminaron los sólidos en suspensión, obteniendo en promedio una reducción del 93.38% y 69.95% para las muestras del río Quezalguaque y Salinas Grandes, respectivamente. El pH de las muestras aumentó, pero permaneció dentro del rango permisible por la Norma para la Clasificación de los Recursos Hídricos **Núm. NTON 05 007-98** (Instituto Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillado, 2000). La conductividad del medio electrolito aumentó, siendo esto de beneficio para la generación de energía eléctrica, ya que a mayor conductividad mejora la eficacia de la celda. Con un mayor desarrollo del sistema, se puede llevar a cabo un aprovechamiento de este principio, obteniendo una fuente de energía eléctrica a partir de energía química.

**Palabras clave:** Arduino, Semicelda, Clarificación, Energía Eléctrica, pH, Verificación.

---

## Carta de autorización del Tutor

León Martes 03 de septiembre 2024

**PhD. Sergio López Grío**  
**Director de área específica Química**  
**Área de conocimiento Ciencias y Tecnología**  
**UNAN-LEON**

Su Despacho:

Estimado Doctor López Grío:  
Ante todo, reciba saludos muy atentos y cordiales de mi parte.

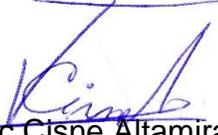
En mi condición de tutor del trabajo titulado "*Construcción de un voltímetro basado en tecnología Arduino utilizado en una celda Al-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> clarificadora de agua y generación de electricidad*" certifico que el trabajo realizado cumple con las exigencias académicas y metodológicas establecidas; así mismo con los requisitos de forma del trabajo, de citación y de bibliografía. Por lo anterior **autorizo** que el documento puede ser aceptado para su defensa por sus autores quienes optan al título de Licenciado en Química en la línea de investigación *Energías renovables y aplicaciones*.

Los autores son:

**Erving David Mendoza Blanco**, 1900305-0  
**Josué Leonardo Gaibor Sánchez**, 1900916-0  
**Juan Carlos Medina Ortega**, 1900082-0

Agradeciendo de antemano su amable atención y deseándole éxitos en sus funciones le saludo.

Atentamente,

  
Jorge Isaac Cisne Altamirano  
Área específica Química  
UNAN-LEON

CC. Archivo.

---

## DEDICATORIA

### **Acto que dedicamos**

A Dios y la Virgen María: Por su protección incondicional, por regalarnos la vida y por ser los que guían cada uno de nuestros pasos.

A nuestros padres: Porque gracias a sus esfuerzos, paciencia, amor y consejos nos han formado como personas de bien y nos han enseñado que para alcanzar las metas hay que trabajar a base de esfuerzos, gracias porque este triunfo es nuestro.

A nuestros hermanos: Por sus consejos, amor y la felicidad que nos han brindado a lo largo de nuestra vida.

A nuestros abuelos quienes nos han aconsejado y siempre han demostrado una grata confianza en nosotros, especialmente a los que ya no están con nosotros.

A todas aquellos amigos y familiares que han hecho posible esta meta y han confiado en nosotros para realizarla.

A la computadora Laptop HP DESKTOP-2KT8376 "La mamalona" por luchar hasta el final para realizar este proyecto.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, agradecidos con Dios por habernos brindado el don de la vida y darnos la oportunidad de poder culminar nuestros estudios.

A nuestros padres quienes siempre han luchado por sacar adelante la familia, dándonos la mejor herencia que pueden darnos como lo es el estudio, por brindarnos su apoyo incondicional y depositar la confianza en nosotros.

A nuestros hermanos, amigos y amistades cercanas que a lo largo de este proceso han sido parte de este gran logro.

A nuestro Tutor, M.Sc. Jorge Isaac Cisne Altamirano, que siempre ha estado al servicio y disposición, gracias por toda la ayuda y consejos brindados.

A los académicos y personal administrativo de la carrera de Química y las autoridades del área de conocimiento de Ciencias y Tecnología, quienes han sido parte de nuestra formación integral como profesionales.

---

# Índice

1. Introducción .....	1
2. Objetivos.....	3
I.    Objetivo General.....	3
II.   Objetivos Específicos .....	3
3. Marco Teórico.....	4
I.    Arduino .....	4
II.   Celdas electroquímicas .....	9
III.  Semicelda Al-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	9
IV.   Normas Técnicas Obligatorias Nicaragüense (NTON). .....	12
V.    Estadísticos a aplicar .....	13
VI.   Parámetros a Verificar. ....	14
1.Exactitud.....	14
2.Precisión.....	14
3.Repetibilidad. ....	15
7. Diseño Metodológico .....	16
I.    Materiales, Reactivos y Equipos .....	17
II.   Diagrama de flujo del proceso.....	19
III.  Montaje de la Placa Arduino y el Sensor de Voltaje FZ0430.....	20
IV.   Ensamblaje de los circuitos electrónicos.....	20
V.    El código con lenguaje Arduino .....	21
VI.   Preparación de soluciones a utilizar en las pruebas preliminares con celda electroquímica zinc-cobre. ....	21
VII.  Construcción de la celda Zinc-Cobre.....	23
VIII. Realización del experimento en serie y en paralelo .....	24
IX.   Prueba preliminar de celdas en serie de concentraciones 0.1M y 0.5M .....	25
X.    Prueba preliminar de celdas en paralelo de concentraciones 0.1M y 0.5M.....	26
XI.   Verificación de la calibración del pH-metro OrionStar A111 .....	27
XII.  Verificación de la calibración del conductímetro LabQuest.....	28
XIII. Verificación de la calibración del Turbidímetro HACH 2100N.....	28
XIV.  Esquema de semicelda galvánica Al-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	31

---

XV.	Construcción de la celda:.....	32
XVI.	Recolección de las respuestas de voltaje: .....	33
XVII.	Estadístico t-Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	33
XVIII.	Estadístico de Bland-Altman.....	35
XIX.	Análisis de varianza (ANOVA) de un actor .....	37
8.	Resultados y Discusión.....	39
I.	Dispositivo Arduino.....	39
II.	Conductividad eléctrica .....	40
III.	Clarificación de agua .....	40
IV.	pH del agua .....	41
V.	Resultados obtenidos de los puntos A y B del Rio Quezalguaque. ....	42
VI.	Resultados obtenidos de los puntos A y B del Rio de Salinas Grandes. ....	55
9.	Conclusiones .....	68
10.	Recomendaciones.....	70
11.	Bibliografía.....	71
12.	Anexos .....	75

---

## 1. Introducción

En la enseñanza de la química se utilizan formas de experimentar que involucran demostraciones y ensayos de estudiantes. Para la demostración los docentes pueden utilizar un aparato de medición, ya sea que requiera una conexión a una computadora (en la cual se pueden observar los datos, gráficas y proceso posterior de los datos), en el caso de que no se utilice una computadora debe contar con un dispositivo de medición: por ejemplo, un pH- metro o un termómetro. Para el caso de los ensayos de estudiantes, estos llevan a cabo experimentos de forma independiente, siendo así también posible el uso de aparatos electrónicos de medición. (Kubínová & Šlégr\*, 2015)

Para una mejor integración de la teoría y práctica en electroquímica se ha abordado el área de electrónica, permitiendo al estudiante relacionarse con circuitos digitales y electricidad, esto permite ampliar sus conocimientos, desarrollando una experiencia en procesos de digitalización y señales análogas, todo esto de la mano de la tecnología Arduino.

Se diseñó un voltímetro en base a microcontroladores compatibles con Arduino y se desarrolló un código de programación que permite la interacción del mismo con una computadora receptora de datos, dicho dispositivo es empleado en la medición del voltaje de celdas electroquímicas siendo estas zinc-cobre en ácido sulfúrico 1M y posteriormente en una semicelda de Al-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> la cual utiliza como electrolito agua de ríos. En las celdas electroquímicas intervienen reacciones que provocan la

oxidación y reducción de los elementos dispuestos como electrodos dando paso al intercambio de electrones lo cual genera energía eléctrica, es decir, un voltaje.

Teniendo en cuenta el pH puede darse paso la formación de especies de interés, en este caso, en la semicelda de aluminio-peróxido se da la formación de hidróxido de aluminio  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , el cual es una especie que tiene la capacidad de desestabilizar agrupaciones de coloides provocando así la precipitación de los mismos, siendo este un método eficaz para la clarificación de aguas que contienen sólidos en suspensión.

Las respuestas del dispositivo serán puestas a comparación contra un multímetro comercial, para evaluar el grado de confianza del dispositivo Arduino por medios de la repetibilidad, precisión y exactitud entres las series de datos.

## 2. Objetivos

### I. Objetivo General

Evaluar el desempeño de un voltímetro con tecnología Arduino de diseño propio a través de una semicelda Al-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> clarificadora de agua y generadora de energía eléctrica.

### II. Objetivos Específicos

- Desarrollar un código con lenguaje Arduino, que permita el montaje de un dispositivo de lectura de voltaje.
- Ensamblar un voltímetro de diseño propio utilizando un microcontrolador Arduino y un sensor de Voltaje FZ0430.
- Montar una semicelda electroquímica galvánica de Al-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> utilizando láminas de aluminio y peróxido de hidrogeno grado reactivo.
- Evaluar la eficacia clarificadora y la producción de energía eléctrica de la celda Al-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, a través de los parámetros turbidez y voltaje.
- Verificar la respuesta del dispositivo Arduino contra un multímetro comercial mediante la comparación de lectura del voltaje a través de una semicelda Al-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

### **3. Marco Teórico**

#### **I. Arduino**

Se describe a partir de la información del fabricante de Arduino que:

Arduino se trata de un microcontrolador basado en Hardware y Software de código abierto, el cual es fácil de utilizar a través del lenguaje de programación Arduino basado en conexiones por cable, y el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino, el cual realiza el procesamiento de datos.

Arduino ha sido el centro de proyectos que van desde instrumentos cotidianos hasta complejos instrumentos científicos. Existe una diversa comunidad (profesionales, aficionados, estudiantes, artistas) que se han agrupado en torno a esta plataforma de programación, sus trabajos han aportado conocimientos que son accesibles al público.

Esta plataforma de código abierto nace en Ivrea específicamente en el Instituto de Diseño de Interacción para la realización de prototipos, dicha herramienta estaba enfocada para el uso por parte de estudiantes sin experiencia sobre electrónica o programación. A medida que este fenómeno se iba expandiendo a otras áreas o comunidades más amplias, Arduino fue evolucionando para adaptarse a nuevos desafíos y necesidades de los usuarios, logrando de esta manera sobresalir por encima de otras plataformas ya existentes.

Debido a su sistema sencillo y accesible, la plataforma Arduino se ha utilizado en diferentes proyectos y aplicaciones, el software y código de programación es fácil

de utilizar para personas que poseen pocos o nulos conocimientos de programación, pero a su vez es lo suficientemente flexible para usuarios de conocimientos avanzados. El programa puede ser ejecutado en Linux, MAC y Windows, gracias a ello estudiantes con ayuda de maestros pueden construir herramientas científicas de menor costo para realizar experimentos sobre principios de física o química, o en proyectos de programación y robótica.

El sistema facilita el trabajo con microcontroladores, a la vez que brinda ventajas a aficionados, estudiantes y profesores interesados sobre otros sistemas:

- **Menor costo** – Los módulos Arduino son más accesibles a diferencia de otros microcontroladores, el módulo menos costo de Arduino puede ser ensamblado a mano, inclusive módulos Arduino pre-ensamblados tienen costos menores a los \$50.
- **Multiplataforma** – La mayoría de los sistemas de microcontroladores se limitan a Windows, sin embargo, el software Arduino (IDE) puede ser ejecutado en otros sistemas operativos como Linux, Macintosh OSX (macOS) y Windows.
- **Entorno de programación sencillo y claro** - El software Arduino es fácil de usar, el IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) es una herramienta de software la cual permite a los programadores crear y grabar todo el código necesario para que nuestro Arduino funcione conforme a lo esperado. Esta herramienta nos permite escribir, depurar, editar y grabar nuestro programa de una forma sencilla, en mayor parte a esto se debe el éxito de Arduino, a su accesibilidad. El programa Arduino IDE está conformado por tres partes:

1) **Declaración de variables (opcional):** Debemos de saber que una variable consta esencialmente de 3 partes. La primera es el tipo de dato que se va a guardar, ejemplo un número o un carácter, etcétera. La segunda y tercera parte es como nombraremos la variable y el valor de esta que se va a almacenar. Existen 4 tipos de datos básicos en Arduino, los cuales son:

1. **int:** guarda números enteros, cualquier número positivo o negativo, pero sin decimales.
2. **float:** guarda cualquier tipo de número, incluidos los números decimales.
3. **double:** es igual que float, pero los números que almacena pueden ser más largos.
4. **char:** sirve para guardar un único carácter incluidos números y signos.

2) **Configuración de entradas/salidas:** la función setup (): Una señal eléctrica analógica es aquella en la que los valores de la tensión o voltaje varían constantemente y pueden tomar cualquier valor. Un microcontrolador no posee capacidad para trabajar con señales analógicas, por lo cual transforma las señales analógicas en señales digitales. La señal digital obtenida posee dos propiedades principales:

1. Valores: Que valor en voltios define 0 y 1. En nuestro caso es tecnología basada en un sensor de voltaje FZ0430 (0 – 25V)

2. Resolución analógica: Es el número de bits que usamos para representar con una notación digital una señal analógica. Arduino Uno tiene una resolución de 10 bits, es decir, unos valores entre 0 y 1023.

En Arduino se tratan las entradas y salidas digitales utilizando las funciones:

4. **pinMode ()** – configura en el pin especificado como entrada o una salida.
5. **digitalWrite ()** – Escribe un valor (por ejemplo HIGH o LOW) en el pin digital especificado.
6. **digitalRead ()** – lee el valor del pin correspondiente (como HIGH o LOW).
- 3) **Programa principal, la función loop ()**: Es la parte principal del programa donde tenemos que escribimos los comandos que se ejecutarán mientras la placa Arduino esté habilitada. Iniciará con el primer comando, hasta llegar al final y saltará inmediatamente al principio para repetir la misma secuencia sin detenerse siempre y cuando la placa cuente con suministro eléctrico.

Al escribir el código en Arduino IDE, algunas palabras aparecen resaltados con colores que indican el estado de los elementos.

- Las palabras clave reconocidas como funciones estan resaltadas en **Naranja**
- **Las** palabras clave reconocidas como tipos de datos o constantes aparecen en **Azul**
- **Las** palabras clave reconocidas como estructuras aparecen resaltadas en color **Verde**
- Podemos agregar comentarios que no se ejecutarán en el programa y estos aparecerán resaltados en **Gris** (ARDUINO, 2018)

Con lo descrito, se pueden diseñar diferentes dispositivos dentro del área de química siendo del principal interés para esta investigación su aplicación en electroquímica.

El libro de Principios de Análisis Instrumental de Skoog, Holler, & Nieman describe que:

La electroquímica engloba métodos analíticos de carácter cuantitativo en base a las propiedades eléctricas de un analito en una disolución que es parte de una celda electroquímica.

En dichas celdas ocurren reacciones denominadas como reacciones redox, la cual es una reacción donde se llevan a cabo transferencias de electrones entre especies, una especie oxidante es capaz de tomar electrones y reducirse, mientras que, una especie reductora cede electrones y durante este proceso se oxida.

Los electrones producidos por reacciones redox pueden desplazarse a través de un sistema eléctrico, siendo así que podemos obtener datos sobre dichas reacciones al medir el voltaje y corriente del sistema, siendo que la corriente es la cantidad de carga que circula por segundo en un circuito cuya unidad de medida es el amperio(A); dicha corriente es proporcional a la velocidad en la que se efectuó la reacción. (Skoog, Holler, & Nieman, 2000)

## **II. Celdas electroquímicas**

Las celdas electroquímicas se utilizan para realizar pruebas en circuitos en serie o paralelo, dichas celdas electrolíticas consisten en un recipiente que contiene un electrolito, hecho de un material que no reacciona con él. Dentro del recipiente se encuentran dos electrodos, uno actuando como cátodo y otro como ánodo, a través de los cuales fluye la corriente eléctrica. Además, se utiliza una fuente de voltaje y un amperímetro en este proceso. (Carlos J. Alvarez, 2014)

Las celdas galvánicas, llamadas como celdas voltaicas, son dispositivos electroquímicos donde las reacciones en los electrodos ocurren de forma espontánea, produciendo corriente eléctrica que puede ser empleado en baterías o celdas de combustible para la generación de energía eléctrica. Estos dispositivos convierten directamente reacciones químicas en energía eléctrica. Una celda galvánica consta de dos metales siendo estos sus electrodos que están conectados a través de una solución electrolítica y externamente mediante un circuito cerrado. (Salah, 2020)

## **III. Semicelda Al-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

Según el artículo Aluminum–hydrogen peroxide fuel-cell studies de Brodrecht y Rusek describe que:

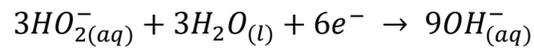
En una pila de semi-combustible de aluminio-peróxido existen reacciones de oxidación y reducción acopladas electroquímicamente, sin embargo, también existen reacciones perjudiciales, las cuales son la corrosión del aluminio, descomposición del peróxido de hidrogeno y la reacción directa de aluminio-peróxido de hidrogeno.

Las reacciones de principal interés que ocurren en la celda son las siguientes:

Reacción en el ánodo:



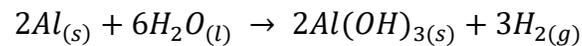
Reacción del cátodo:



Reacción general:



La formación de Hidróxido de aluminio **Al(OH)<sub>3</sub>** por hidrolisis del aluminio también se encuentra entre las reacciones de interés, siendo esta:



La descomposición del peróxido de hidrógeno es un factor importante que contribuye a la reducción de la eficacia de la semipila, dado que esta sustancia se descompone con facilidad dado que es altamente reactiva. La descomposición se ve acelerada en concentraciones superiores al 50%, durante lo cual genera calor.

Reacción de descomposición del peróxido (Brodrecht & Rusek, 2003):

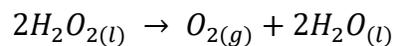
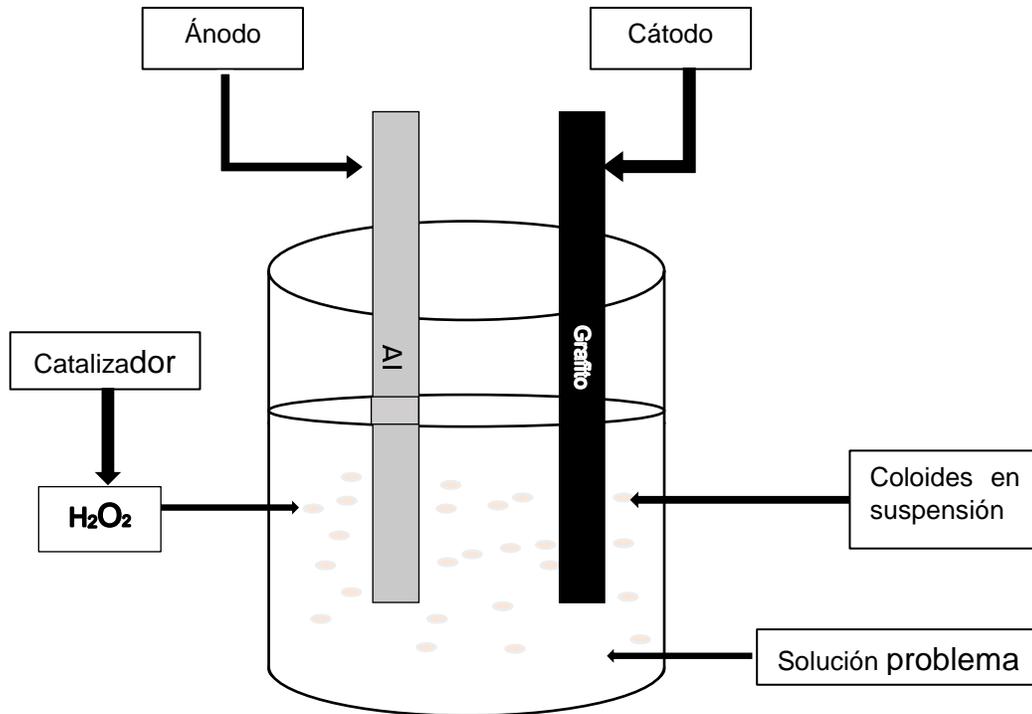


Figura 1

Esquema general de la semicelda



Como se mencionó anteriormente la formación de hidróxido de aluminio es de interés dado que es un excelente coagulante. Los coagulantes metálicos comúnmente utilizados se dividen en dos categorías generales: los basados en aluminio y los basados en hierro. La eficacia de los coagulantes de aluminio y hierro surge principalmente de su capacidad para formar complejos polinucleares multicargados con características de adsorción mejoradas. La naturaleza de los complejos formados puede controlarse mediante el pH del sistema.

El artículo Aluminium speciation: implications of wastewater effluent dosing on river water quality de Comber & Churchley explica que:

Cuando se agregan coagulantes metálicos al agua, los iones metálicos (Al y Fe) se hidrolizan rápidamente, pero de una manera algo descontrolada, formando una serie de especies de hidrólisis metálica. La eficiencia de la mezcla rápida, el pH y la dosis de coagulante determinan qué especie de hidrólisis es eficaz para el tratamiento.

La especiación y, por tanto, la toxicidad del aluminio la determina el valor del pH, siendo que a un pH inferior a 6, la especiación está dominada por  $\text{Al(OH)}^{+2}$ , y hasta un en menor medida  $\text{Al(OH)}^{2+}$  y  $\text{Al}^{3+}$ ; alrededor de pH 6.5 predomina el  $\text{Al(OH)}_3$  insoluble, siendo la forma principal en valores de pH superiores a 7,5 la especie  $\text{Al(OH)}^{-4}$ . (Comber & Churchley, 2005)

#### **IV. Normas Técnicas Obligatorias Nicaragüense (NTON).**

Las NTON son normas regidas por el estado de Nicaragua para dar requisitos obligatorios para la gestión de distintos sistemas, como la protección, mantenimiento y conservación de los recursos naturales, inocuidad y calidad en productos y subproductos de origen natural, animal y artificial y sus desechos. (MARENA, 2024)

Según la Norma para la clasificación de los recursos hídricos **N°. NTON 05 007-98**, las características fisicoquímicas para las aguas de categoría 1B que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y/o coloración que se presentan en la tabla 1 (Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado, 2000).

**Tabla 1**

**Parámetros de calidad según la norma N°. NTON 05 007-98.**

Parámetro	Límite o rango máximo
	<b>Categoría 1B</b>
pH	mín. 6.0 y máx. 8.5
Turbiedad	< 250 UNT

**V. Estadísticos a aplicar**

**Tabla 2**

**Estadísticos aplicados a las lecturas obtenidas.**

Test	Rango de aceptación	Descripción
T de Students	$t_{\text{tabla}} > t_c$	La distribución t puede tomarse como un modelo para describir la distribución de los resultados posibles en un experimento (suponiendo cierta la hipótesis nula $H_0$ ), en varias pruebas de significación estadística. Si el valor $t_{\text{calculado}}$ es igual o mayor que el registro en la tabla, puede rechazarse la $H_0$ al correspondiente nivel de significación indicado. (Lorenzo, 2019)
ANOVA de 1F	$F_{\text{tabla}} > F_c$	Se utiliza para analizar si existe o no diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los grupos considerados evaluando su varianza (Prieto, Prieto, Cruz, & Avendaño, Guía de referencia para investigadores no expertos en el uso de estadística multivariada, 2013)

Hubber	$LS \leq LS; LI \geq LI$	Consiste en calcular la media y la desviación estándar por iteraciones sucesivas, tomando como valores iniciales la mediana y el MAD (Delgado, Hernandez, Mendez, & Abad, 2018)
Bland-Altman	Si los valores se encuentran dentro de los límites de aceptación definidos, por un intervalo de confianza del 95%.	Propone un procedimiento para determinar si dos métodos de medida X e Y concuerdan lo suficiente para que puedan declararse intercambiables (Kalra, 2017)

## VI. Parámetros a Verificar.

### 1.Exactitud.

Según el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) la **exactitud** es la proximidad ente un valor medido y un valor verdadero de un mensurando donde (Centro Español de Metrologia, 2012).

Se determinó a través del test de *t* de student

### 2.Precisión.

Según el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) la **precisión** es la proximidad entre las indicaciones o los valores medido contenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objeto similar, bajo condiciones específicas. (Centro Español de Metrologia, 2012)

Se determinó mediante los test de Hubber y ANOVA 1F

### **3.Repetibilidad.**

Según el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) la **repetibilidad** trata de la precisión de medidas bajo un conjunto de condiciones de repetibilidad, las condiciones de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye el mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones de operación y en el mismo lugar, así como mediciones repetidas del mismo objeto o un objeto similar en un periodo corto de tiempo. (Centro Español de Metrología, 2012)

Se valoró mediante la desviación estándar y análisis de Bland-Altman.

## 7. Diseño Metodológico

Esta metodología se enfoca en un estudio de desarrollo tecnológico, en la construcción de un voltímetro en base a tecnología Arduino, utilizando una placa Arduino UNO, un sensor de voltaje FZ0430, presenta un carácter prospectivo, ya que se trabajará con datos obtenidos en los laboratorios de del área del conocimiento de química UNAN-León, para posterior ser analizados:

La recolección de las muestras empleadas como electrolito en la semicelda de  $\text{Al-H}_2\text{O}_2$  se llevó a cabo en el periodo de marzo a junio del año 2024 en los ríos Quezalguaque (**Anexo: Figura 32 y 33**) y Salinas Grande (**Anexo: Figura 30 y 31**) de la ciudad de León donde se recolecto una muestra en 2 puntos distintos A y B en los ríos mencionados.

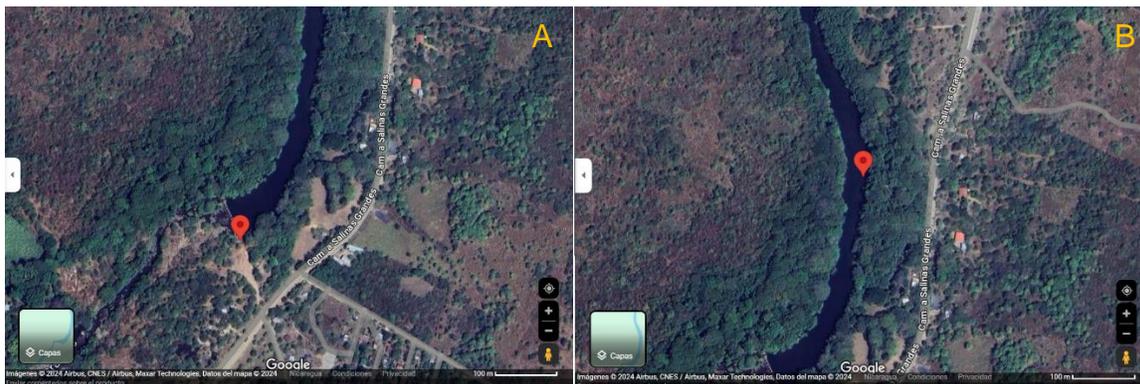
### Figura 2 y 3 Punto A y B.

Agua utilizada como electrolito en la semicelda del **Río Quezalguaque A** ( $12^\circ30'13.3''\text{N } 86^\circ54'12.3''\text{W}$ ) y **B** ( $12^\circ30'20.0''\text{N } 86^\circ54'05.0''\text{W}$ ).



## Figura 4 y 5 Punto A y B

Agua utilizada como electrolito en la semicelda del **Rio Salinas Grande**  
**A**(12°17'01.7"N 86°49'33.5"W) y **B** (12°17'13.2"N 86°49'29.1"W).



Además, se utilizó una computadora laptop HP EliteBook 840 G3(DESKTOP-24I2B6H) para la programación de la placa Arduino UNO y recepción de los datos (también puede implementar módulos de pantalla LCD para mayor autonomía). Utilizando dicho dispositivo para medir el voltaje producido por una celda galvánica Al-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Para la clarificación de agua.

### I. Materiales, Reactivos y Equipos

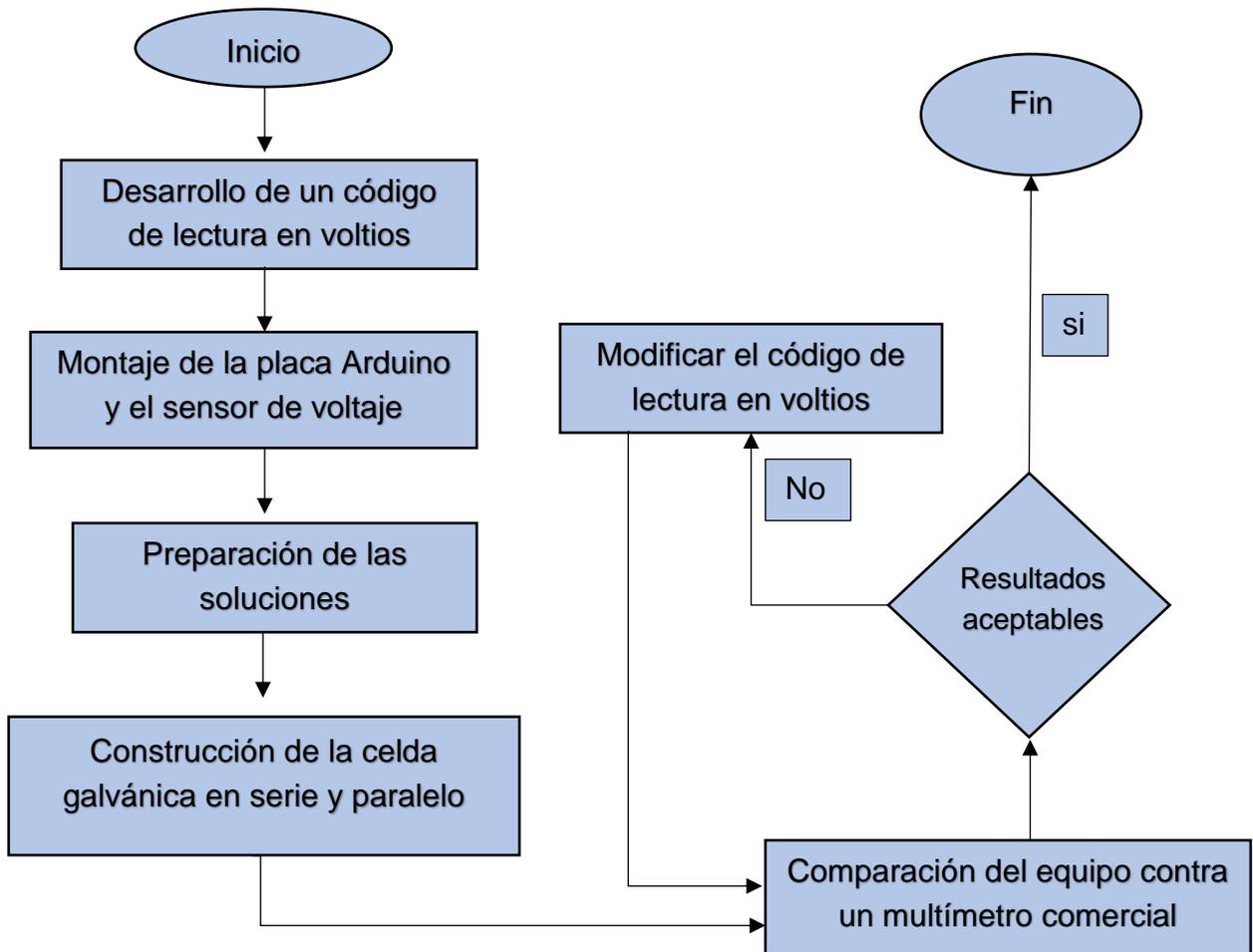
Tabla 3

#### Materiales, reactivos y equipos

Materiales	Reactivos	Equipos
Beakers de 50, 100, 250 ml (PYREX ± 5%)	Sulfato de cobre pentahidratado Fisher Chemical™ certificado ACS	Digital multimeter PCE-DM 32
Balon de aforo 25, 50, 100, 250 ml (KIMAX clase A ± 0.03)	Sulfato de Zinc Baker Analyzed certificado ACS	Elitebook 840 G3 DESKTOP-DK6DBQH

Pipeta serológica 1, 10 ml (Qualicolor clase B)	Cloruro de Potasio Fisher Chemical™ certificado ACS	Sensor de Voltaje FZ0430 (CHINA)
Micropipeta 1000 µl (Eppendorf)	Peroxido de Hidrogeno Fisher Chemical™ certificado ACS	Pantalla LCD 16X2
Espatula	Agar-agar (polvo granular) Fisher Chemical™	Turbidimetro HACH 2100N (HACH)
Dosificador para pipetas	Solucion estándar de NaCl Fisher Chemical™ certificado ACS	Balanza Analitica AC120S (Sartorius)
Varilla de vidrio	Agua Destilada	Conductimetro LabQuest
Piseta	Solucion Problema	pH-metro (OrionStar A111)
Puentes Salinos	Sulfato de Hidracina LOBA CHEMI PVT.LDT	Sonda de Conductividad (Vernier®)
Electrodo de Cobre solido	Hexametilentetramina MERCK	Placa Arduino UNO (Arduino)
Electrodo de Zinc solido	Soluciones Buffer de pH 4.0, 7.0, 10.0 Fisher Chemical	
Electrodo de Aluminio		
Botellas Plasticas		
Electrodo de Grafito (Boxer Tools)		

## II. Diagrama de flujo del proceso



La plataforma Arduino está programada en su propio lenguaje, que es similar al lenguaje C que se usa en las computadoras. El lenguaje Arduino Uno se puede dividir en tres partes principales: estructuras, valores (variables y constantes) y funciones. El lenguaje Arduino admite todas las funciones estándar de C y algunas funciones de C.

En este caso se hace uso del programa Arduino IDE versión 2.1.1 que consta de tres partes:

1. Declaración de variable (opcional)

2. Configuración de Entrada/Salida: función setup ()
3. El programa principal que se ejecuta en un bucle: la función loop ().

Al escribir código en el IDE de Arduino, algunas palabras se muestran en diferentes colores para que el estado de varios elementos sea claro de un vistazo.

- Naranja indica palabras clave que el IDE de Arduino reconoce como funciones
- Azul muestra palabras clave que se reconocen como tipos de datos o constantes
- Verde es la palabra clave que Arduino IDE reconoce como estructura
- Gris indica comentarios que no se ejecutarán en el programa

### **III. Montaje de la Placa Arduino y el Sensor de Voltaje FZ0430**

El montaje del dispositivo consta de la placa de Arduino y el sensor de voltaje FZ0430.

Las 3 fases para la realización del montaje tratan de:

- Ensamblaje del sistema de circuitos eléctricos
- Programación del código con lenguaje *Arduino*
- Realización de los experimentos en serie y paralelo

### **IV. Ensamblaje de los circuitos electrónicos**

Primero, se conecta la placa Arduino al sensor del voltaje FZ0430 con las placas de metal siendo su Ánodo y Cátodo.

El sensor de voltaje FZ0430 se utilizó para medir el voltaje entre 0 a 25V, para recopilar el voltaje de una celda electroquímica se conecta la entrada GND del sensor de voltaje a la placa de metal a oxidar, después se conecta la entrada VCC del sensor de voltaje a la placa de metal a reducir con pinzas de conexión.

Luego se conecta la terminal S del sensor de voltaje al pin "A0" del apartado de las entradas analógicas de la placa Arduino. Luego en el apartado "power" se conecta la terminal negativa (-) del sensor al pin "GND" de la placa Arduino y la terminal positiva (+) del sensor se conecta al pin "5V" placa Arduino con cables macho.

Por último, con ayuda de una protoboard, se realizan las conexiones entre la placa y las luces led que indican si el nivel del voltaje es menor o mayor al esperado, esto realizado a través del apartado de salidas digitales.

## **V. El código con lenguaje Arduino**

Dicho código se desarrolló con una herramienta de programación conocida como "Entorno de Desarrollo Integrado (EDI)" de tal manera que permita la lectura del voltaje con un intervalo de tiempo deseado por el usuario, mostrando a través de luces led cuando el voltaje es menor o mayor al teórico, dicho código puede ser modificado para implementar más microcomponentes, como podría ser el caso de una pantalla LCD (**Anexo: Código de Voltaje Arduino**).

## **VI. Preparación de soluciones a utilizar en las pruebas preliminares con celda electroquímica zinc-cobre.**

Sulfato de cobre pentahidratado 0.1M

1. Pesar exactamente 3.99g de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

2. Transferir a un matraz aforado de 250ml
3. Con agua destilada llenar hasta la marca de aforo

#### Sulfato de zinc 0.1M

4. Pesar exactamente 4.03g de  $ZnSO_4$
5. Transferir a un matraz aforado de 250ml
6. Con agua destilada llenar hasta la marca de aforo

#### Cloruro de potasio 1M en 100ml

7. Pesar exactamente 7.45513g de KCl
8. Transferir a un matraz aforado de 100ml
9. Con agua destilada llenar hasta la marca de aforo

#### Solución del puente salino agar-agar

1. Pesar 0.5g de agar-agar
2. Transferir a un matraz aforado de 50ml
3. Con solución KCl 1M llevar hasta la marca de aforo
4. Llenar el puente salino con la solución agar-agar en KCl 1M procurando no dejar formar burbujas de aire en su interior
5. Someter a refrigeración hasta obtener una textura gelatinosa

## VII. Construcción de la celda Zinc-Cobre

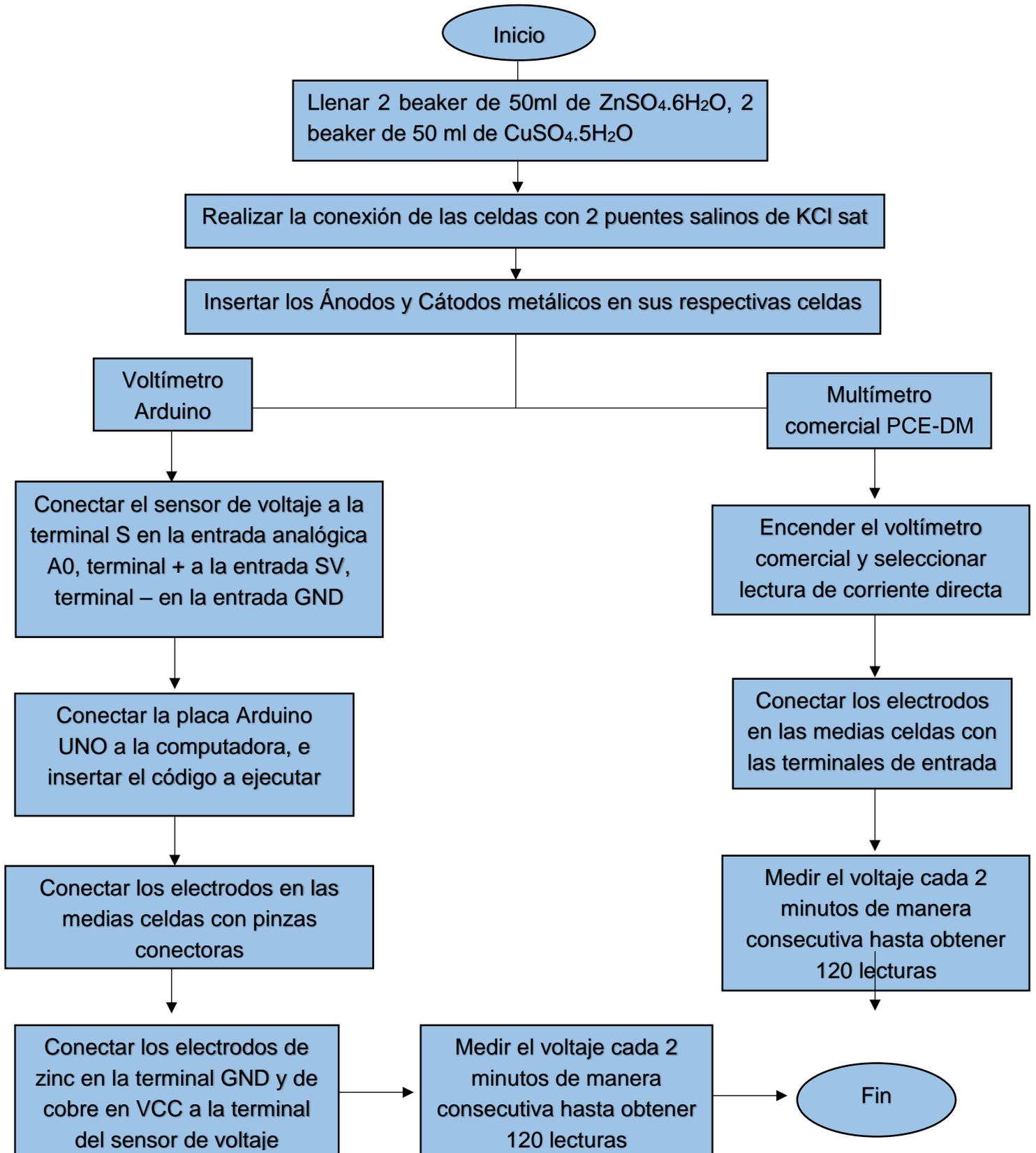
### Ánodo

El ánodo está conformado por un electrodo de zinc sumergido en una solución de sulfato de zinc 0.1M, aquí es donde ocurrirá la oxidación.

### Cátodo

El cátodo está conformado por un electrodo de cobre sólido sumergido en una solución de sulfato de cobre pentahidratado 0.1M, aquí es donde ocurrirá la reducción.

## VIII. Realización del experimento en serie y en paralelo

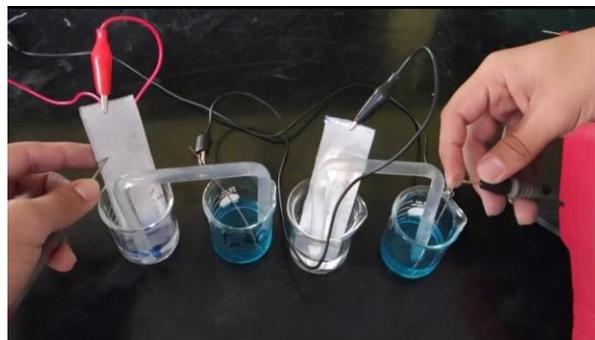


## IX. Prueba preliminar de celdas en serie de concentraciones 0.1M y 0.5M

1. En dos beaker de 150 ml añadir 50ml de solución de sulfato de zinc 0.1 M y otros 2 beaker de 150 ml con 50ml de sulfato de cobre pentahidratado 0.1 M
2. Conectar los beaker con 2 puentes salinos de KCl saturado
3. Insertar los electrodos metálicos (cobre en solución de sulfato de cobre, zinc en solución de sulfato de zinc) en los beaker de 150 ml
4. Conecta el sensor de voltaje a la placa *Arduino UNO* y está a la computadora (laptop)
5. Conectar el electrodo de zinc en la media celda y al electrodo de cobre en media celda con pinzas conectoras. (Figura1)
6. Conectar el electrodo de zinc en la media celda a la entrada GND y el electrodo d cobre en la media celda a la entrada VCC del sensor del voltaje.
7. Medir el voltaje realizando 100 lecturas consecutivas
8. Repetir el procedimiento con las soluciones a 0.5M.

### Figura 6

#### Celda electroquímica en serie

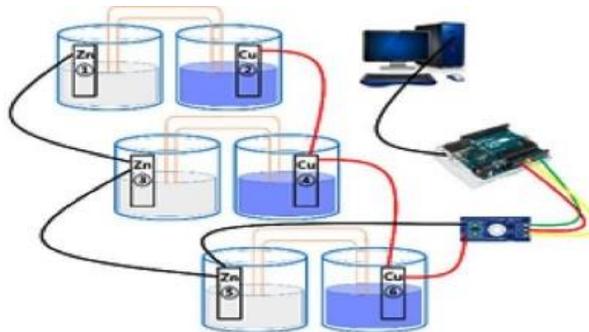


## **X. Prueba preliminar de celdas en paralelo de concentraciones 0.1M y 0.5M**

Para las celdas electroquímica galvánicas en paralelo se realizará de la siguiente manera:

1. En dos beaker de 150 ml añadir 50ml de solución de sulfato de zinc 0.1 M y otros 2 beaker de 150 ml con 50ml de sulfato de cobre pentahidratado 0.1 M.
2. Conectar los beaker con 3 puentes salinos de KCl saturado.
3. Insertar los electrodos metálicos (cobre en solución de sulfato de cobre, zinc en solución de sulfato de zinc) en los beaker de 50 ml.
4. Conecta el sensor de voltaje a la placa *Arduino UNO* y está a la computadora (laptop).
5. Los electrodos de zinc en las medias celdas se conectan entre sí, al igual los electrodos de cobre en las medias celdas con pinzas conectoras.
6. Conectar el electrodo de zinc en la media celda a la GND y el electrodo d cobre en la media celda a la parte VCC del sensor del voltaje
7. Medir el voltaje realizando 100 lecturas consecutivas.
8. Repetir el procedimiento con las soluciones a 0.5M.

**Figura 7**  
Celda electroquímica conexión en paralelo.



Nota: por (Yoon, Cheon, & Kang, 2021) Conexión en serie y paralelo de celdas electroquímicas galvánicas.

#### **XI. Verificación de la calibración del pH-metro OrionStar A111**

- Oprimir la tecla “Mode (enter)” para ingresar al modo de medición de pH
- Seleccione los buffer de pH, en el orden: 4.00, 7.00 y 10.00.
- Presionar la tecla “Cal”
- Lavar con cuidado el electrodo con agua destilada, secar y colocar dentro del buffer
- Espere a que aparezca “Ready”
- Con el reconocimiento del buffer automático (AUTO CAL, aparecerá en la parte superior de la pantalla); para calibrar puntos adicionales, repetir los pasos del 3 al 5a.
- Con calibración manual (MAN CAL, apareceré en la parte superior de la pantalla); presionar Store o Cal para establecer el valor.
- Cuando termine presionar la tecla “Mode (enter)” para guardar la calibración

- Para dos a tres puntos de calibración, la pendiente aparecerá en la pantalla y el pHmetro procederá al modo de medición de pH.
- **Anotar el valor que aparece en pantalla. Este es la pendiente experimental del equipo potenciométrico (Anexo: Figura 34).**

## **XII. Verificación de la calibración del conductímetro LabQuest**

Según el manual del electrodo de conductividad modelo CON-BTA, para verificar la calibración de dicho electrodo, debe de introducirse en la solución estándar de NaCl de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , para posterior realizar las lecturas de las muestras **(Anexo: Figura 36 y 37)**. (VERNIER, 2009)

## **XIII. Verificación de la calibración del Turbidímetro HACH 2100N**

Método adaptado del manual del Turbidímetro HACH 2100N.

Se realizó una solución madre de formazina de 4000 NTU, para posterior realizar la verificación del equipo, si el valor medido se encuentra en un rango de  $\pm 5$  del valor indicado, la verificación se da por válida **(Anexo: Figura 35)**.

- **Solución madre de formazina de 4000 NTU.**
1. Disuelva 5.000 gramos de sulfato de hidracina  $((\text{NH}_2)_2\text{-H}_4\text{H}_2\text{SO}_4)$  en unos 400 ml de agua destilada.
  2. Disuelva 50.000 gramos de hexametilentetramina en 400 ml de agua destilada.
  3. Cuantitativamente, vierta las dos soluciones en un matraz volumétrico de 1 litro y diluya hasta completar el volumen con agua destilada. Mezcle completamente.
  4. Deje la solución en reposo durante 48 horas a  $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

- **Verificación del equipo**

1. Limpie los viales Gelex con un paño suave sin pelusa para eliminar las gotas de agua y las huellas de dedos.

2. Aplique una pequeña gota de aceite de silicona desde la parte superior del vial hasta la inferior.

3. Utilice el paño lubricante para aplicar el aceite de forma uniforme por la superficie del vial. Elimine el exceso de aceite. Asegúrese de que el vial esté casi seco.

4. Pulse RANGE (RANGO) para seleccionar el rango automático. La luz de rango automático se encenderá.

5. Pulse SIGNAL AVG (PROMEDIADO DE SEÑAL) (PROMEDIAR UNIDADES) para desactivar el promediado de señal. La luz SIGNAL AVG (PROMEDIADO DE SEÑAL) (PROMEDIAR UNIDADES) se apagará.

6. Pulse UNITS/Exit (UNIDADES/Salir) para seleccionar el modo de medición de NTU. La luz NTU se encenderá.

7. Pulse RATIO (PROPORCIÓN) para activar o desactivar la proporción. La proporción debe estar activada para estándares Gelex de más de 40 NTU. Para los estándares Gelex 0-2 y 0-20 NTU, seleccione la función de proporción en la que funcionará el instrumento.

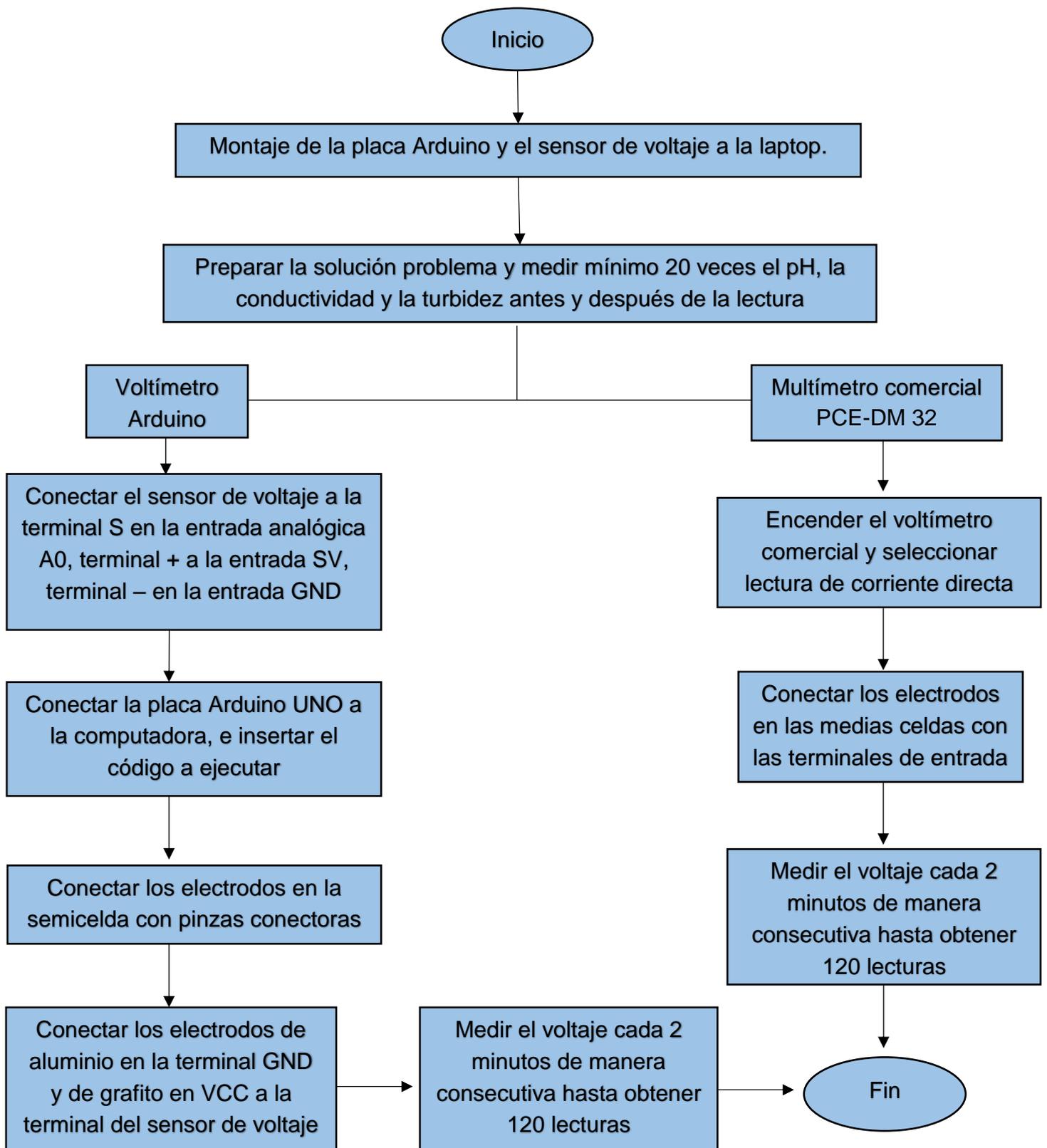
8. Coloque el vial Gelex 0-2 NTU en el soporte de cubetas de muestras con el triángulo del vial alineado con la marca de referencia del soporte de cubetas de muestras. Cierre la cubierta.

9. Lea el valor cuando se estabilice. Saque el vial del instrumento.

10. Registre el valor en el espacio en blanco con forma de diamante del vial usando un rotulador soluble en agua. Señale en el vial si la proporción estaba activada o desactivada cuando éste se midió.

11. Repita los pasos 7-10 para los demás viales Gelex (pero no para el estándar de luz parásita). Realice las mediciones de forma descendiente, empezando por el mayor valor NTU (Hach Company, 2014).

#### XIV. Esquema de semicelda galvánica Al-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>



### Preparación de la solución problema (Agua de río)

1. Medir en una probeta de 500ml la solución problema.
2. Agregar en un beaker de 500ml (Celda Al-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), la solución problema.

### Preparación de la solución H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 1%

1. Tomar 0.83ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> del frasco de 500ml al 30%
2. Agregarlo a un balón de aforo de 25ml
3. Llenar hasta la maraca de aforo con agua destilada

### **XV. Construcción de la celda:**

1. Tomar 200ml de la solución coloidal (Agua problema)
2. Agregar 5ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 1%
3. Medir la turbidez con un mínimo de 15 repeticiones antes y después de la lectura de voltaje
4. Medir la conductividad eléctrica con un mínimo de 15 repeticiones antes y después de la lectura de voltaje
5. Medir el pH de la solución coloidal con un mínimo de 15 repeticiones antes y después de la lectura de voltaje
6. Realizar la conexión de los electrodos con el sensor FZ0430 y la placa Arduino UNO
7. Sumergir el electrodo de grafito (Cátodo) y el electrodo de aluminio (Ánodo)
8. Unir los electrodos con una resistencia de descarga de 1M  $\Omega$

## **XVI. Recolección de las respuestas de voltaje:**

Para una mejor apreciación de las respuestas se estableció que el dispositivo mida el voltaje cada 2 minutos por 4 horas para obtener al menos 120 respuestas, de igual manera se midió el voltaje cada 2 minutos con el multímetro comercial para realizar la comparación. Una vez finalizadas las 4 horas se midió nuevamente la turbidez, conductividad y pH de la solución problema (**Anexo: Figura 38, 39 y 40**).

## **XVII. Estadístico t-Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales.**

La información obtenida de *Two Sample T-Test Equal Variance* explica que:

La prueba T de dos muestras con igual varianza se puede aplicar cuando las muestras se distribuyen normalmente, la desviación estándar de ambas poblaciones se desconoce y se supone que es igual, y la muestra es suficientemente grande. Teniendo en cuenta lo anterior se realizan los siguientes pasos.

### **Paso 1: Plantear las Hipótesis**

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** No hay diferencia entre las medias de las dos poblaciones ( $\mu_1 = \mu_2$ ).
- **Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):** Hay una diferencia entre las medias ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ).

### **Paso 2: Recolectar los Datos**

- Obtén dos muestras independientes de las dos poblaciones que quieres comparar.
- Representa a tu gusto las 2 muestras ya sea con X o Y

Como se desconoce la desviación estándar de la población, se supone que los datos se distribuyen normalmente y el tamaño de la muestra es lo suficientemente grande, se puede aplicar la prueba T de dos muestras para analizar los datos. Las estadísticas de prueba se calculan a continuación.

### **Paso 3: Calcular las Estadísticas Descriptivas**

#### **Media de cada muestra**

$$\text{➤ } \bar{X} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$\text{➤ } \bar{Y} = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^n Y_i$$

#### **Varianza común (suponiendo varianzas iguales):**

$$\text{➤ } S^2 = \frac{(n_1-1)S_x^2 + (n_2-1)S_y^2}{n_1+n_2-2}$$

1. Estadístico t.

$$\text{➤ } t = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

➤ Donde S es la raíz cuadrada de la varianza común  $S^2$ .

### **Paso 4: Determinar los Grados de Libertad**

Los grados de libertad (df) para esta prueba son:

$$df = n_1 + n_2 - 2$$

Cualquier software estadístico, incluyendo Excel puede realizar las pruebas T de dos muestras. Por lo tanto, las ecuaciones son solo referencia. La salida del análisis se producirá utilizando dicho software.

### **Paso 5: Comparar con el Valor Crítico**

1. Define el nivel de significancia ( $\alpha$ ), comúnmente 0.05.
2. Consulta la tabla de t de Student para obtener el valor crítico correspondiente a  $df$  y  $\alpha$ .
3. Si es una prueba bilateral, divide  $\alpha$  entre 2.

#### **Paso 6: Tomar una Decisión**

- **Si  $|t| > t_{\text{crítico}}$ :** Rechaza  $H_0$  (hay evidencia de una diferencia significativa en las muestras).
- **Si  $|t| \leq t_{\text{crítico}}$ :** No se rechaza  $H_0$  (no hay evidencia suficiente para afirmar que hay una diferencia significativa) (Ahmed, 2020)

#### **XVIII. Estadístico de Bland-Altman.**

La informa obtenida del video de **Bland-Altman [Simply explained]** explica que:

El estadístico de Bland-altman sirve para comparar dos medidas en ciertos sentidos, donde su diagrama de dispersión se trata de la comparación entre las diferencias de dos medidas trazándose en sus promedios ayudando a visualizar el nivel de concordancia entre las dos series de datos.

#### **Paso 1: Recolección de Datos**

1. **Selecciona dos métodos de medición** que desees comparar.
2. **Recolecta las mediciones** de ambos métodos en una muestra adecuada.  
Denota las mediciones del primer método como X y las del segundo método como Y.

#### **Paso 2: Calcular la Media y la Diferencia**

1. **Calcula la diferencia entre las dos mediciones para cada sujeto:**

$$\triangleright D_i = X_i - Y_i$$

## 2. Calcula la media de las mediciones:

$$\triangleright \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$\triangleright \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

## 3. Calcula la media de las diferencias:

$$\triangleright \bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$$

### Paso 3: Calcular la Desviación Estándar de las Diferencias

#### 1. Calcula la desviación estándar de las diferencias:

$$\triangleright S_D = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}$$

### Paso 4: Definir los Límites de Acuerdo

#### 1. Calcula los límites de acuerdo (también conocidos como límites de confianza):

Límite Superior:  $\bar{D} + 1.96 * S_D$

Límite Inferior:  $\bar{D} - 1.96 * S_D$

Estos límites indican el rango en el que deberían estar la mayoría de las diferencias siambos métodos son equivalentes.

### Paso 5: Graficar los Resultados

#### 1. Crea un gráfico de Bland-Altman:

En el eje X, coloca la media de las dos mediciones

$$\triangleright M_i = \frac{X_i + Y_i}{2}$$

En el eje Y, coloca la diferencia entre las mediciones D

#### 2. Añade las líneas:

- La línea central correspondiente a la media de la diferencia  $\bar{D}$
- Las líneas de límite superior e inferior.

La aplicación de Excel con el complemento **Real Statistics** puede realizar la prueba de Blant-Altman donde las ecuaciones son solo referencia. La salida del análisis se producirá utilizando dicho software.

## **Paso 6: Interpretar los Resultados**

### **1. Analiza el gráfico:**

Observa si las diferencias se distribuyen aleatoriamente alrededor de la línea central.

Si hay patrones, como una tendencia, esto podría indicar que los métodos no son equivalentes en todas las condiciones. (DATAtab, 2023)

## **XIX. Análisis de varianza (ANOVA) de un actor**

Es un test estadístico básico para el estudio del efecto de uno o más factores sobre la media de una variable. Es utilizado cuando se desea comparar las medias de dos o más grupos.

Para realizar dicho análisis se deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Aleatoriedad de las muestras
- Independencia de las variables
- Normalidad de las distribuciones
- Igualdad de varianza entre grupos

## **Paso 1 Establecer las hipótesis**

$H_0$ = las medias de los grupos son iguales

$H_1$ = Las medias de los grupos es diferente

### Paso 2 realizar el cálculo de F

Anova por lo general se representa como la siguiente tabla:

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre los grupos	$SCTrat = \sum_{i=1}^k ni(\bar{x}_{i.} - \bar{x}_{..})^2$	$k - 1$	$CMTrat = \frac{SCTrat}{k - 1}$	$F = \frac{CMTrat}{CMError}$
Dentro de los grupos	$SCError = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{ni} (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{i.})^2$	$N - k$	$CMError = \frac{SCError}{N - k}$	
Total	$SCTotal = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{ni} (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{..})^2$	$N - 1$		

### Paso 3 Conclusión de hipótesis

Cuando  $F_{calculado}$  es mayor al  $F_{tab}$  (un valor de  $f$  teórico que sigue una distribución de  $F$  con  $k - 1$  y  $N - k$  grados de libertad) se acepta da hipótesis alternativa, es decir las medias de los grupos es diferente.

## 8. Resultados y Discusión.

### I. Dispositivo Arduino

El lenguaje de programación Arduino no presenta complicaciones para entenderlo y emplearlo permitiendo el desarrollo de un código el cual recibe, procesa y transfiere las respuestas obtenidas, además de, permitir determinar cualitativamente el aumento o disminución del voltaje producido por las celdas electroquímicas, esto por medio de luces led si no se dispone de una pantalla. El código desarrollado permite seguir siendo modificado según las necesidades del analista, mostrando uno o más decimales en las respuestas y disminuyendo o acelerando los tiempos de lectura de las mismas.

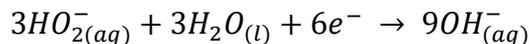
El dispositivo a pesar de trabajar con señales analógicas, obtuvo un comportamiento similar en las respuestas comparadas con el multímetro comercial, obteniendo que para las muestras del **Rio Quezalguaque** la media de voltaje registrado del dispositivo Arduino y del Multímetro PCE-DM 32 de los puntos A y B fueron respectivamente; **A:** 0.560V y 0.620V **B:** 0.608V y 0.559V y para el caso de las muestras de **Salinas Grande** fueron: **A:** 0.513V y 0.559V **B:** 0.457V y 0.484V.

En la semicelda de estudio ocurren una serie de reacciones químicas, siendo las de principal importancia para este estudio las reacciones de generación de energía eléctrica (oxidación y reducción) y la formación de la especie hidróxido de aluminio ( $\text{Al(OH)}_3$ ) por medio de hidrólisis.

Reacción en el ánodo:



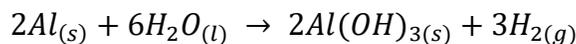
Reacción del cátodo:



Reacción general:



La formación de Hidróxido de aluminio **Al(OH)<sub>3</sub>** por hidrolisis del:



## II. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica final presente en la suspensión coloidal para las muestras del Rio Quezalagua que fue en promedio de punto A 106 **µS/cm** y punto B 254.0 **µS/cm** para las muestras de salinas grandes punto A 158 **µS/cm** y punto B 233.43 **µS/cm** siendo que, a mayor conductividad eléctrica la eficiencia de la generación de energía eléctrica aumenta. La pureza de los electrodos utilizados en la semicelda juega un papel clave en el desempeño de la misma.

## III. Clarificación de agua

La clarificación de agua fue evidenciada gracias a la generación de energía eléctrica y la formación de la especie Al(OH)<sub>3</sub> ya que este último posee propiedades floculantes que producen la desestabilización y precipitación de los coloides en suspensión presentes en las muestras problemas. El promedio de la turbidez final de las muestras del **Rio de Quezalagua** fue del punto A 15.8 **NTU** y punto B 42.9

**NTU** y para las muestras del **Rio Salinas Grande** fueron punto A 208.5 **NTU** y punto B 210.5 **NTU**, observando una disminución de la turbidez en las muestras del rio Quezalguaque de **96.05%** punto A y de **90.71%** punto B y en el rio Salinas Grandes de **66.45%** punto A y de **73.46%** punto B respectivamente.

#### **IV. pH del agua**

El pH del agua juega un papel importante para determinar que especies se darán paso en la semicelda, ya que a pH bajos puede darse la formación de especies tóxicas. Al finalizar el tiempo de puesta en marcha de la semicelda se obtuvo un aumento en el pH del agua problema, esto debido a la formación de hidróxido de aluminio (**Al(OH)<sub>3</sub>**) insoluble, sin embargo, a pesar de este aumento de pH, los niveles permanecieron dentro del rango establecido por la norma **N°. NTON 05 007-98** (pH 6.5-pH 8.5).

Se realizaron las siguientes estadísticas de las cuatro muestras recolectadas en los Ríos Quezalguaque y Salinas Grande, tomando 120 lecturas de voltaje por celda, 20 repeticiones de pH, Conductividad y Turbidez antes y después de la lectura de voltaje, al mismo tiempo realizando una comparación con el Multímetro comercial verificando Exactitud, Precisión y Repetibilidad en ambos dispositivos.

La verificación por exactitud se desarrolló con las siguientes Tablas **T de student:**  
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

## V. Resultados obtenidos de los puntos A y B del Rio Quezalguaque.

**Tabla 4**

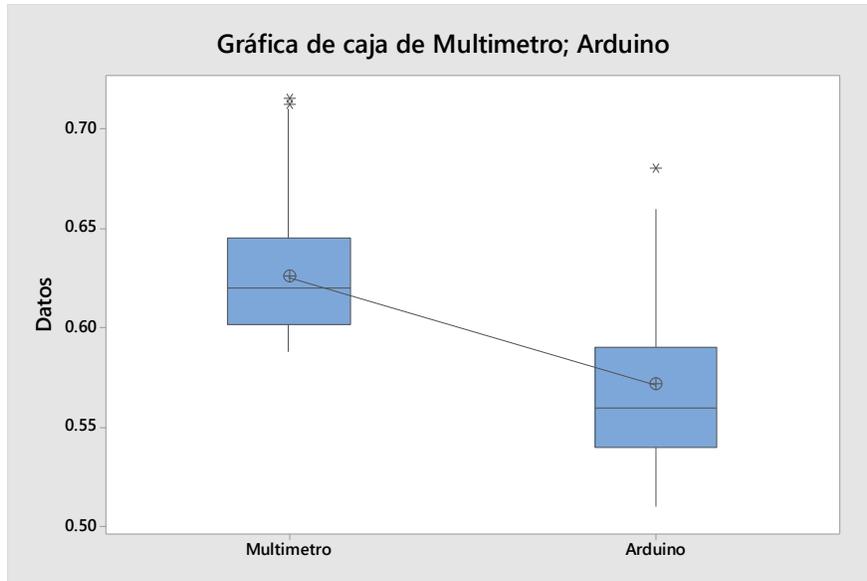
Prueba *t* para dos muestras suponiendo varianzas iguales en muestra **punto A del Rio Quezalguaque**.

Prueba <i>t</i> para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Multímetro</i>	<i>Arduino</i>
Media	0.62600833	0.57158333
Varianza	0.00091413	0.00139831
Observaciones	120	120
Varianza agrupada	0.00115622	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	238	
Estadístico <i>t</i>	12.3980671	
P(T<=t) una cola	7.2799E-28	
Valor crítico de <i>t</i> (una cola)	1.65128116	
P(T<=t) dos colas	1.456E-27	
Valor crítico de <i>t</i> (dos colas)	1.96998153	

En la muestra **punto A del Rio Quezalguaque** se realizó la prueba estadística T de student, como se observa en la **tabla 4**, en donde se acepta la hipótesis alternativa  $H_a$  donde el valor del Estadístico *t* es mayor al valor crítico de dos colas, al igual el P valor de dos colas es menor al valor Alpha de 0.05 por con siguiente no hay exactitud, ya que las varianzas no son iguales.

**Figura 8**

Grafica de caja en muestra **punto A del Rio Quezalguaque.**



Los voltajes del dispositivo **Arduino** con la muestra del **punto A del rio Quezalguaque**, que se observan en la **figura 4** presentan una dispersión considerable de la media a comparación de su contraparte comercial la cual presenta una distribución cercana a la media, lo que establece que el dispositivo Arduino no presenta exactitud.

**Tabla 5**

Prueba *t* para dos muestras suponiendo varianzas iguales en muestra **punto B del Rio Quezalguaque**

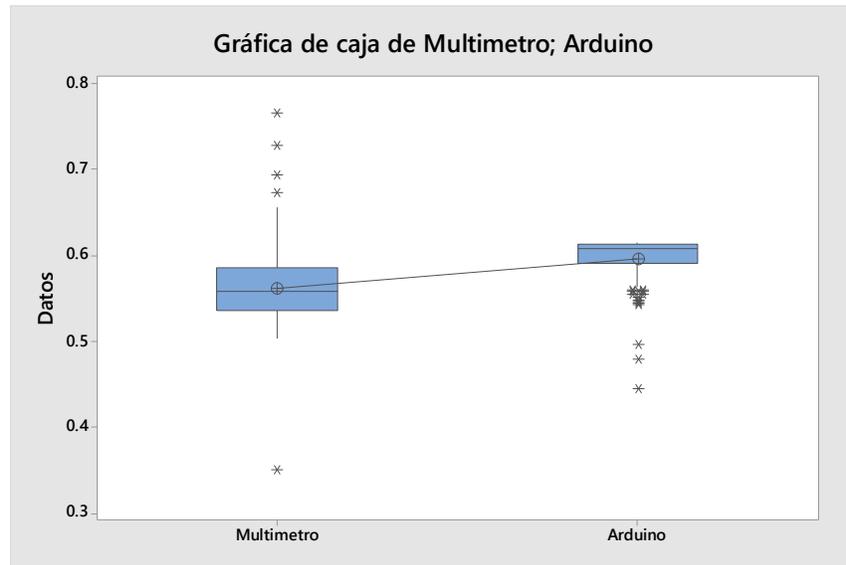
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Multímetro</i>	<i>Arduino</i>
Media	0.561641667	0.596083333
Varianza	0.002345022	0.00080127
Observaciones	120	120
Varianza agrupada	0.001573146	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	238	
Estadístico t	-6.72628497	

P(T<=t) una cola	6.41432E-11	
Valor crítico de t (una cola)	1.651281164	
P(T<=t) dos colas	1.28286E-10	
Valor crítico de t (dos colas)	1.96998153	

En la muestra **punto B del Rio Quezalguaque** se realizó la prueba estadística T de student, que se demuestra en la **tabla 5** en donde se acepta la hipótesis alternativa  $H_a$  donde el valor del Estadístico t es mayor al valor crítico de dos colas, al igual el P valor de dos colas es menor al valor Alpha de 0.05 por con siguiente no hay exactitud ya que las varianzas no son iguales,

**Figura 9**

Grafica de caja en muestra **punto B del Rio Quezalguaque**.



Se observó en la **figura 9** los voltajes del dispositivo **Arduino** con la muestra del **punto B del rio Quezalguaque**, en donde presentan una dispersión baja de la media a comparación de su contraparte comercial la cual presenta una distribución cercana a la media, lo que establece que el dispositivo Arduino no presenta exactitud.

## Rio Quezalguaque punto A

**Tabla 6**

Prueba de análisis de varianza de un factor en **Rio Quezalguaque punto A.**

### Análisis de varianza de un factor

RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Arduino	121	69.15	5.71E-01	1.39E-03		
Multímetro	121	75.711	6.26E-01	9.17E-04		
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.17788	1	0.17788	154.342	1.079E-27	3.8805
Dentro de los grupos	0.27660	240	0.00115			
Total	0.45448	241				

Según el análisis de ANOVA de 1F presentado en la **tabla 6**, la  $F_c$  es menor que  $F_t$  lo que indica que la hipótesis nula  $H_0$  se rechaza, es decir, existen diferencias significativas en las lecturas del dispositivo Arduino vs el Multímetro comercial (PCE-DM 32) en la celda utilizando la muestra del **Rio Quezalguaque punto A.**

**Tabla 7**

Resultados del **Test de Hubber** en la muestra del **Rio Quezalguaque punto A.**

### Test de Hubber

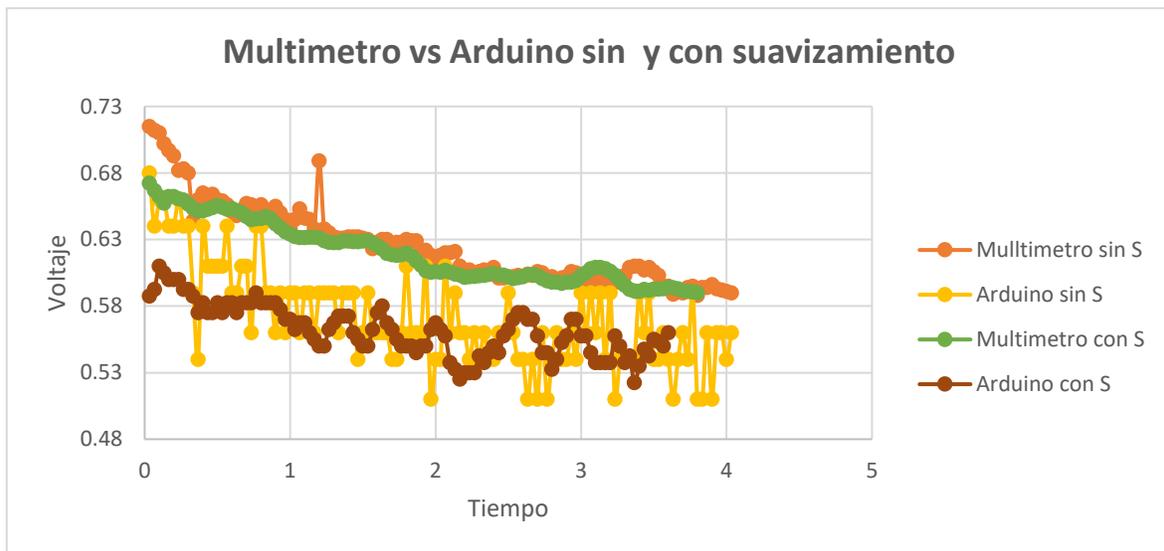
	Arduino	Multímetro
MAD	0.02	0.019
LS	0.63	0.687
LI	0.49	0.554

Realizando el test de Hubber realizado en la **tabla 7**, se determinó una cantidad de 13 valores outlier en las lecturas del Dispositivo Arduino, en cambio, su contraparte

comercial obtuvo una cantidad de 7 valores outlier en la muestra del **Rio Quezalguaque punto A**, y al comparar sus MAD el Dispositivo Arduino tiene una precisión significativamente igual al Multimeter PCE-DM 32.

### Figura 10

Gráfico de comportamiento de Voltaje vs Tiempo **sin y con** aplicación de suavizamiento de datos por promedio en el **Rio Quezalguaque punto A**.



En la **Figura 10** se observa la diferencia del comportamiento analógico de las lecturas de voltaje del Dispositivo Arduino, a comparación de su contraparte comercial el multímetro PCE-DM 32, además aplicando un suavizamiento de promedio a los datos obtenidos de los equipos anteriormente mencionado en la muestra del punto A del Rio Quezalguaque.

## Rio Quezalguaque punto B

**Tabla 8**

Prueba de análisis de varianza de un factor en **Rio Quezalguaque punto B.**

### Análisis de varianza de un factor

RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Arduino	120	71.53	0.59608333	0.00080127		
Voltmetro	120	67.397	0.56164167	0.00234502		
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.07117	1	0.07117	45.24291	1.2829E-10	3.88083
Dentro de los grupos	0.37441	238	0.00157			
Total	0.44558	239				

Según el análisis de ANOVA de 1F presentado en la **tabla 8**, la  $F_c$  es menor que  $F_t$ , lo que indica que la hipótesis nula  $H_0$  se rechaza, es decir, existen diferencias significativas en las lecturas del dispositivo Arduino vs el Multímetro comercial (PCE-DM 32) en la celda utilizando la muestra del **Rio Quezalguaque punto B.**

### Test de Hubber

**Tabla 9**

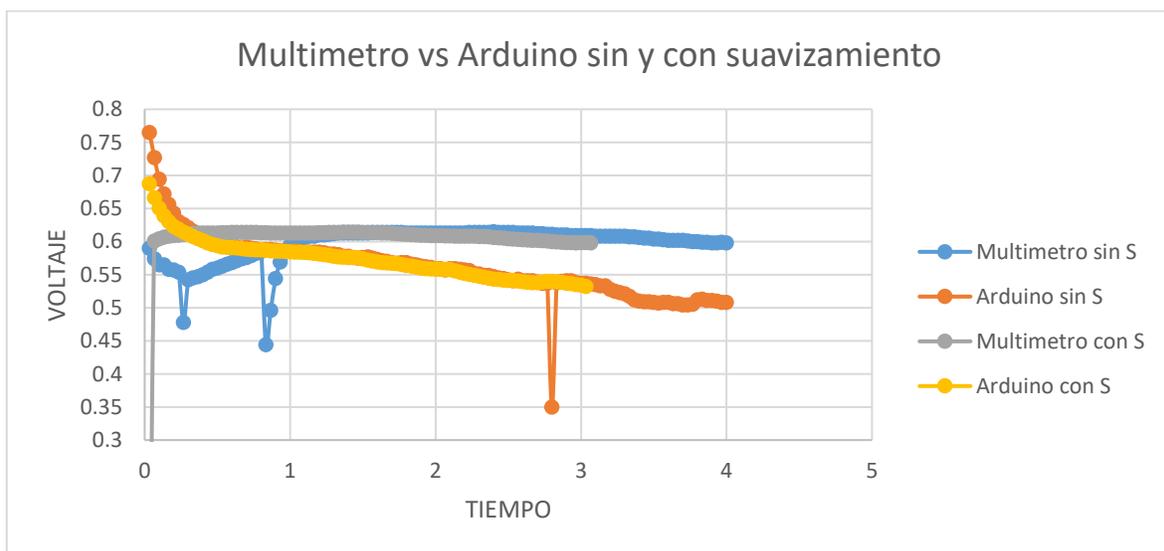
Resultados del Test de Hubber en la muestra del Rio Quezalguaque punto B.

	Arduino	Multímetro
MAD	0.006	0.025
LS	0.629	0.647
LI	0.587	0.472

Realizando el test de Hubber, mostrado en la **tabla 9** se observa una cantidad de 28 valores outlier en las lecturas del Dispositivo Arduino, en cambio, su contraparte comercial obtuvo una cantidad de 6 valores outlier en la muestra del **Rio Quezalguaque punto B**, al comparar sus MAD el Dispositivo Arduino tiene una diferencia de 0.01 al Multimeter PCE-DM 32.

### Figura 11

Gráfico de comportamiento de Voltaje vs Tiempo sin y con aplicación de suavizamiento de datos por promedio en el Rio Quezalguaque punto B.



En la **Figura 11** se observa la diferencia del comportamiento analógico de las lecturas de voltaje del Dispositivo Arduino, a comparación de su contraparte comercial el multímetro PCE-DM 32, además aplicando un suavizamiento de promedio a los datos obtenidos de los equipos anteriormente mencionado en la muestra del punto B del Rio Quezalguaque.

**Tabla 10**

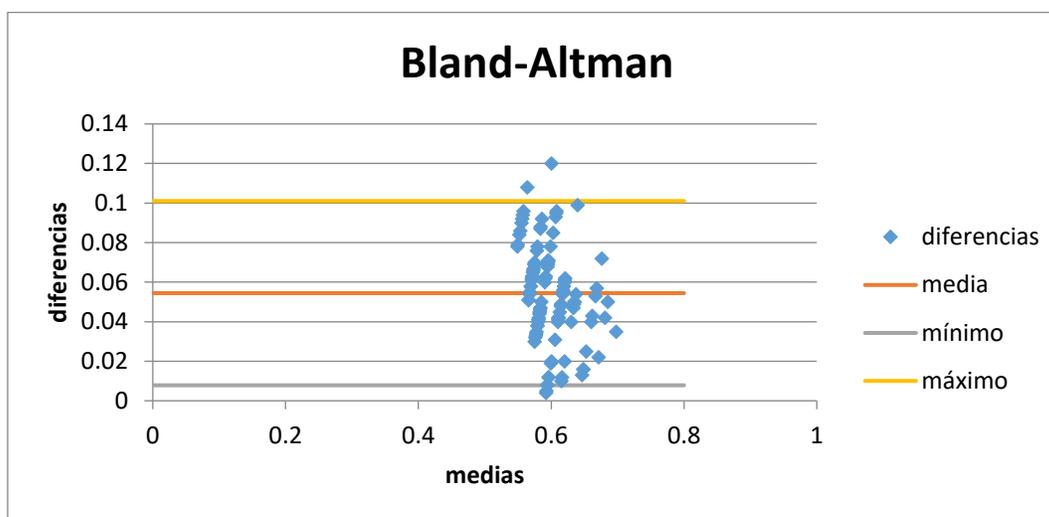
Resultados del test de Bland-Altman en la muestra de **Rio Quezalguaque Punto A**

Bland-Altman	<i>valores</i>	<i>s.e.</i>	<i>mínimo</i>	<i>máximo</i>
Diferencia media	0.054425	0.00217033	0.05012754	0.05872246
Límite mínimo	0.00782738	0.00371935	0.00046268	0.01519207
Límite máximo	0.10102262	0.00371935	0.09365793	0.10838732
Diferencia Desv.	0.02377474			
Nº de datos	120			
alpha	0.05			

**Figura 12**

Gráfico de resultados del Test Bland-Alman en la muestra de **Rio Quezalguaque**

**Punto A**



En la muestra del Rio Quezalguaque Punto A se realizó el test Bland-Altman, mostrado en la **tabla 10** y **figura 12**, en donde no existe concordancia con los datos obtenidos donde estos superan el límite superior e inferior establecidos en dicho test es decir que la serie de datos no tiene una buena repetibilidad.

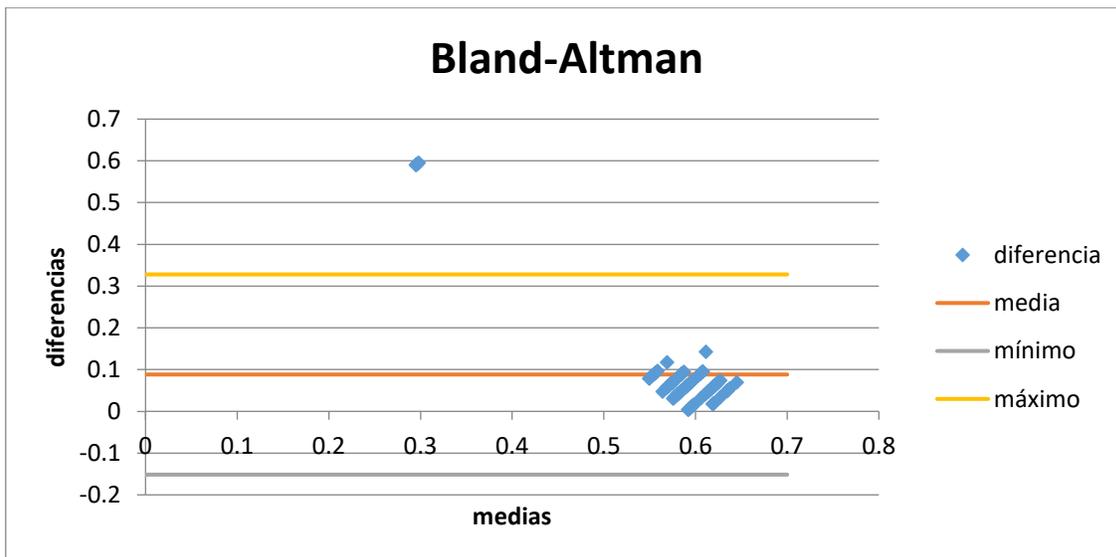
**Tabla 11**

Resultados del test de Bland-Altman aplicando el test de Hubber en la muestra de **Rio Quezalguaque Punto A.**

Bland-Altman	<i>valores</i>	<i>s.e.</i>	<i>mínimo</i>	<i>máximo</i>
Diferencia media	0.08823894	0.01150855	0.06543622	0.11104166
Límite mínimo	-0.15153834	0.01972594	-0.19062276	-0.11245392
Límite máximo	0.32801622	0.01972594	0.2889318	0.36710063
Diferencia Desv.	0.12233759			
Nº de datos	113			
alpha	0.05			

**Figura 13**

Gráfico de resultados del Test Bland-Alman aplicando el test de Hubber en la muestra de **Rio Quezalguaque Punto A**



En la muestra del Rio **Quezalguaque Punto A** se realizó el test **Bland-Altman** aplicando el **test de Hubber**, en los 120 datos de ambas muestras, mostrado en la **tabla 11** y **figura 13**, en donde no existe concordancia con los datos obtenidos donde estos superan el límite superior establecidos en dicho test es decir que la serie de datos no tiene una buena repetibilidad.

**Tabla 12**

Resultados del teste de Bland-Altman en la muestra de **Rio Quezalguaque Punto B.**

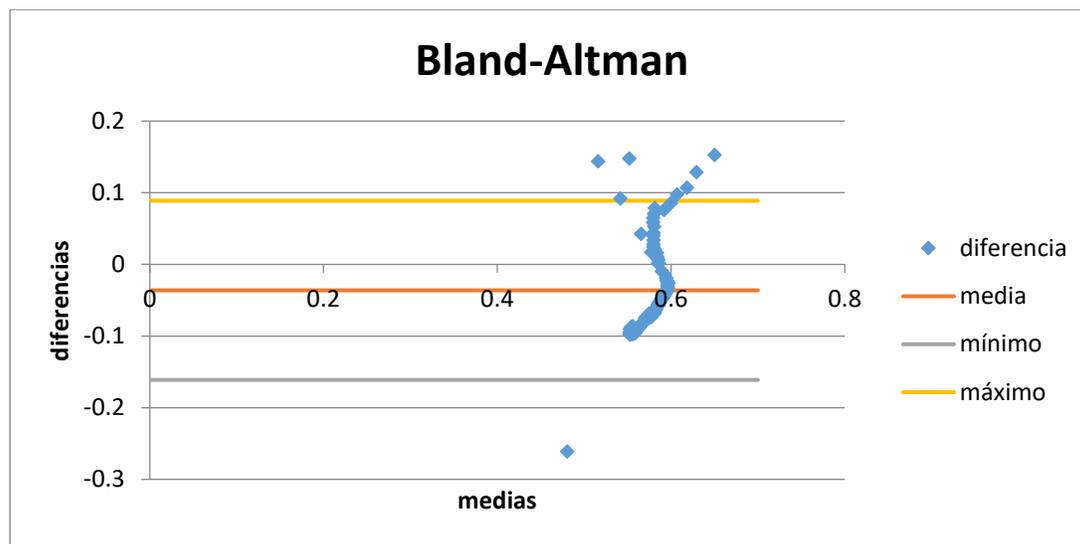
**B.**

Bland-Altman	<i>valores</i>	<i>s.e.</i>	<i>mínimo</i>	<i>máximo</i>
Diferencia media	-0.03620168	0.00584927	-0.04778484	-0.02461852
Límite mínimo	-0.16126316	0.01002431	-0.18111403	-0.1414123
Límite máximo	0.0888598	0.01002431	0.06900894	0.10871066
Diferencia Desv.	0.06380805			
Nº de datos	119			
alpha	0.05			

**Figura 14**

Gráfico de resultados del Test Bland-Alman en la muestra de **Rio Quezalguaque**

**Punto B.**



En la muestra del Rio **Quezalguaque Punto B** se realizó el test **Bland-Altman**, presentado en la **tabla 12** y **figura 14**, en donde no existe concordancia con los datos obtenidos donde estos superan el límite superior e inferior establecidos en dicho test es decir que la serie de datos no tiene una buena repetibilidad.

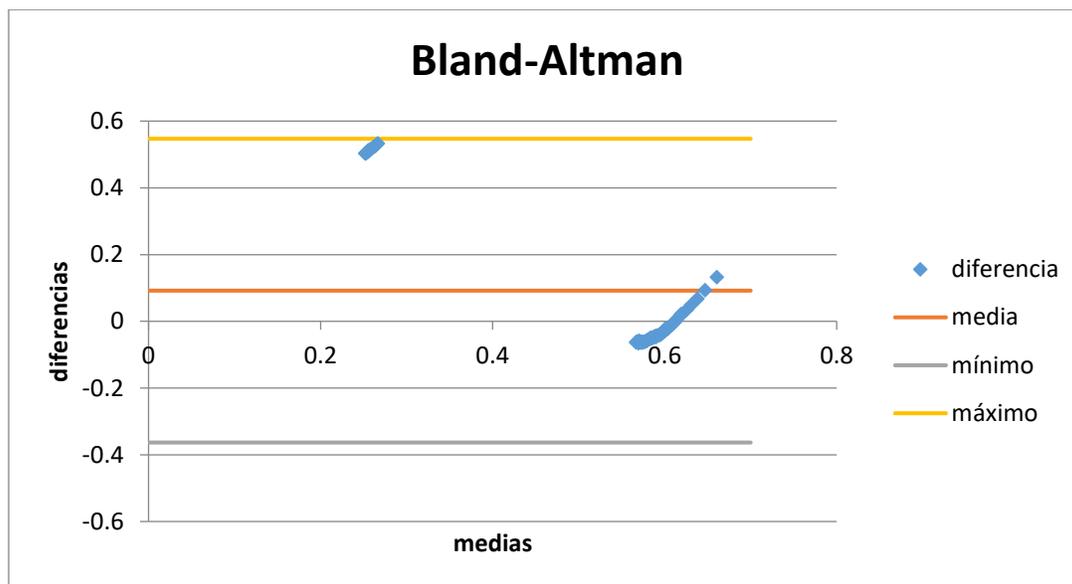
**Tabla 13**

Resultados del test de Bland-Altman aplicando el test de Hubber en la muestra de **Rio Quezalguaque Punto B.**

Bland-Altman	<i>valores</i>	<i>s.e.</i>	<i>mínimo</i>	<i>máximo</i>
Diferencia media	0.09194915	0.02137933	0.04960852	0.13428979
Límite mínimo	-0.36323079	0.03664011	-0.4357946	-0.29066697
Límite máximo	0.54712909	0.03664011	0.47456527	0.61969291
Diferencia Desv.	0.23223893			
Nº de datos	118			
alpha	0.05			

**Figura 15**

Gráfico de resultados del Test Bland-Alman aplicando el test de Hubber en la muestra de **Rio Quezalguaque Punto B**



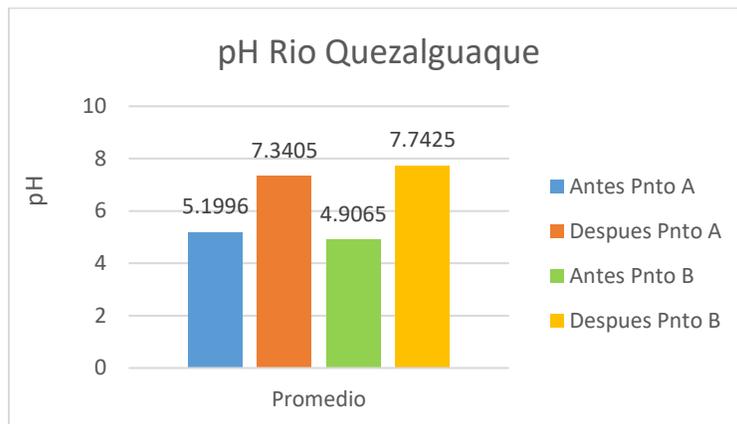
En la muestra del Rio **Quezalguaque Punto B** se realizó el test **Bland-Altman** aplicando el **test de Hubber** en los 120 datos de ambas muestras, presentado por la **tabla 13** y **figura 15**, en donde si existe concordancia con los datos obtenidos

donde estos no superan el límite superior e inferior establecidos en dicho test es decir que la serie de datos tiene una buena repetibilidad.

### Análisis de pH, conductividad y turbidez antes y después del Rio Quezalguaque

**Figura 16**

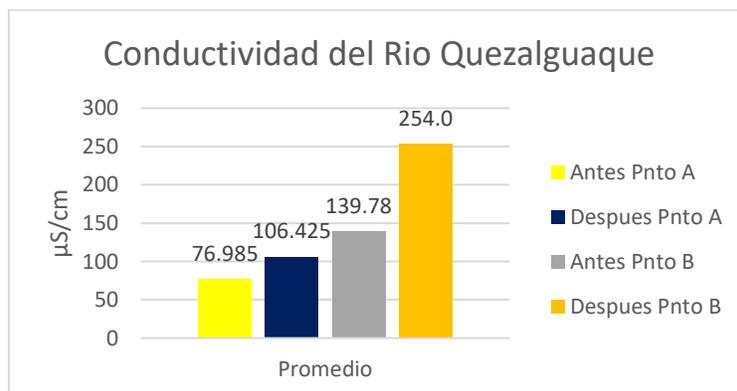
Gráfico comparativo del pH del rio Quezalguaque



Se puede apreciar en la **figura 16**, que hubo un aumento del pH después de realizar las 120 lecturas esto se debe por la formación de Hidróxido de Aluminio  $Al(OH)_3$  que produce la semicelda  $Al-H_2O_2$ , siendo este pH aceptable según la norma para la Clasificación de los Recursos Hídricos **Núm. NTON 05 007-98**.

**Figura 17**

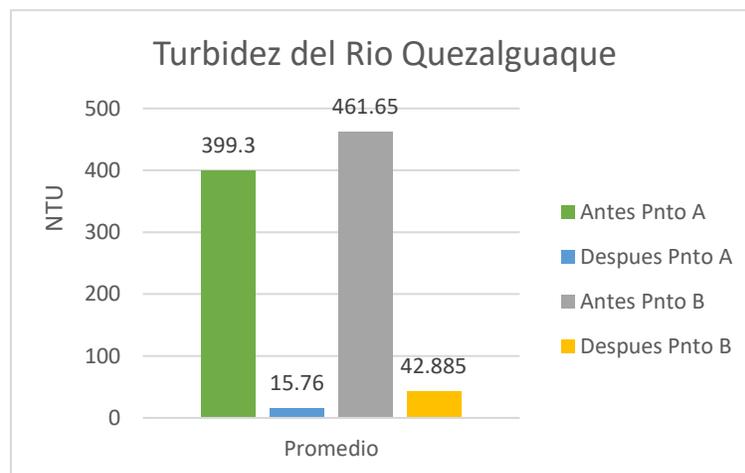
Gráfico comparativo de la Conductividad del Rio Quezalguaque



Se aprecia en la **figura 17** un aumento en la conductividad en ambos puntos de muestreo después de realizar las 120 lecturas mediante la semicelda Al-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, debido a la ionización del electrodo de Al a Al<sup>+3</sup> e H<sup>+</sup> desprotonado del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> presente.

### Figura 18

Gráfico comparativo de la Turbidez del Rio Quezalaguaque



Se aprecia en la **figura 18** una disminución en la turbidez final después de realizar las 120 lecturas en la semicelda de Al-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> debido por la floculación de los sólidos suspendidos en la muestra problema formada por el Al (OH)<sub>3</sub>, siendo estos resultados aceptables según la norma para la Clasificación de los Recursos Hídricos **Núm. NTON 05 007-98**.

**VI. Resultados obtenidos de los puntos A y B del Rio de Salinas Grandes.**

**Tabla 14**

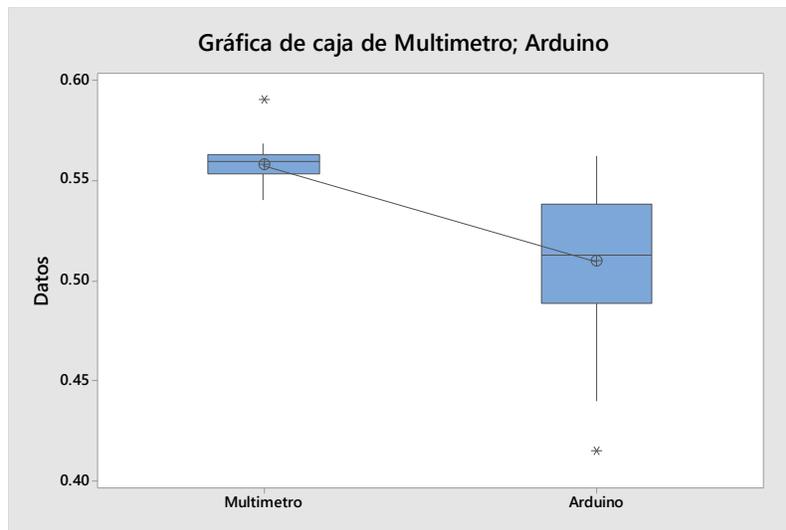
Prueba *t* para dos muestras suponiendo varianzas iguales en muestra **punto A del Rio Salinas Grande**.

<i>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</i>	<i>Multímetro</i>	<i>Arduino</i>
Media	0.5572	0.509141667
Varianza	4.91025E-05	0.000903955
Observaciones	120	120
Varianza agrupada	0.000476529	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	238	
Estadístico <i>t</i>	17.05296395	
P(T<=t) una cola	1.9106E-43	
Valor crítico de <i>t</i> (una cola)	1.651281164	
P(T<=t) dos colas	3.8212E-43	
Valor crítico de <i>t</i> (dos colas)	1.96998153	

En la muestra **punto A del Rio Salinas Grande** se realizó la prueba estadística *T* de student, presentada en la **tabla 14**, se determinó que, se acepta la hipótesis alternativa  $H_a$  donde el valor del Estadístico *t* es mayor al valor crítico de dos colas, al igual el *P* valor de dos colas es menor al valor Alpha de 0.05 por con siguiente no hay exactitud ya que las varianzas no son iguales.

**Figura 19**

Grafica de caja en muestra **punto A del Rio Salinas Grande**.



Se observa en la **figura 19** los voltajes del dispositivo **Arduino** con la muestra del **punto A del Rio Salinas Grande**, donde presentan una dispersión considerable de la media a comparación de su contraparte comercial la cual presenta una distribución cercana a la media, lo que establece que el dispositivo Arduino no presenta exactitud.

**Tabla 15**

Prueba *t* para dos muestras suponiendo varianzas iguales en muestra **punto B del Rio Salinas Grande**.

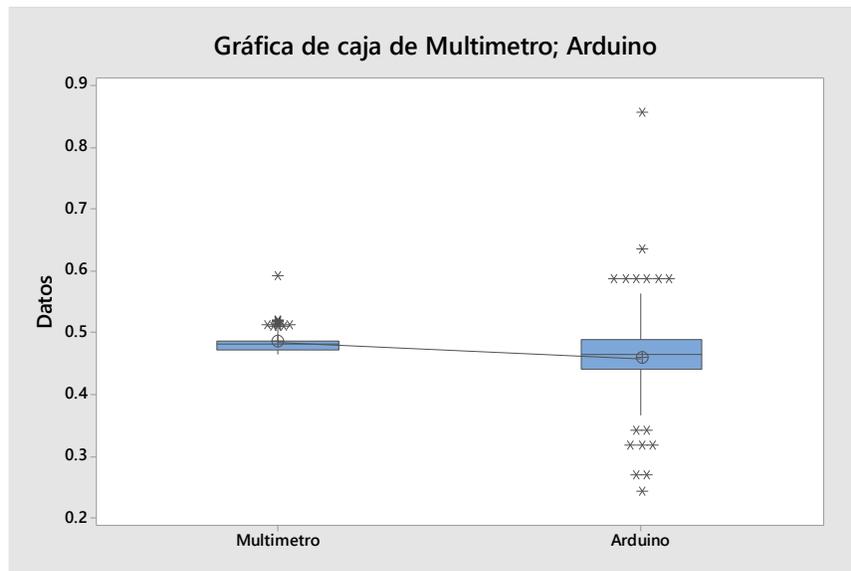
<i>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</i>	<i>Multímetro</i>	<i>Arduino</i>
Media	0.483541667	0.457008333
Varianza	0.000183965	0.005945437
Observaciones	120	120
Varianza agrupada	0.003064701	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	238	
Estadístico t	3.712559302	
P(T<=t) una cola	0.000127788	

Valor crítico de t (una cola)	1.651281164	
P(T<=t) dos colas	0.000255576	
Valor crítico de t (dos colas)	1.96998153	

En la muestra **punto B del Rio Salinas Grande** se realizó la prueba estadística T de student, presentada en la **tabla 15** en donde se acepta la hipótesis alternativa  $H_a$  donde el valor del Estadístico t es mayor al valor crítico de dos colas, al igual el P valor de dos colas es menor al valor Alpha de 0.05 por con siguiente no hay exactitud ya que las varianzas no son iguales.

**Figura 20**

Grafica de caja en muestra **punto B del Rio Salinas Grande**



Se observa en la **figura 20** los voltajes del dispositivo **Arduino** con la muestra del **punto A del Rio Salinas Grande**, donde presentan una dispersión considerable de la media a comparación de su contraparte comercial la cual presenta una distribución cercana a la media, lo que establece que el dispositivo Arduino no presenta exactitud.

## Análisis varianza de un factor en los puntos A y B del Rio Salinas Grande.

**Tabla 16**

Prueba de análisis de varianza de un factor en **punto A Rio Salinas Grandes.**

### Análisis de varianza de un factor

RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Arduino	120	61.097	0.50914167	0.00090395		
Voltmetro	120	66.864	0.5572	4.9103E-05		
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.13858	1	0.13858	290.804	3.821E-43	3.88083
Dentro de los grupos	0.11341	238	4.77E-04			
Total	0.25199	239				

Según el análisis de ANOVA de 1F, mostrado en la **tabla 16** la  $F_c$  es menor que  $F_t$  lo que indica que la hipótesis nula  $H_0$  se rechaza, es decir, existen diferencias significativas en las lecturas del dispositivo Arduino vs el Multímetro comercial (PCE-DM 32) en la celda utilizando la muestra del **Rio Salinas Grande punto A.**

### Test de Hubber

**Tabla 17**

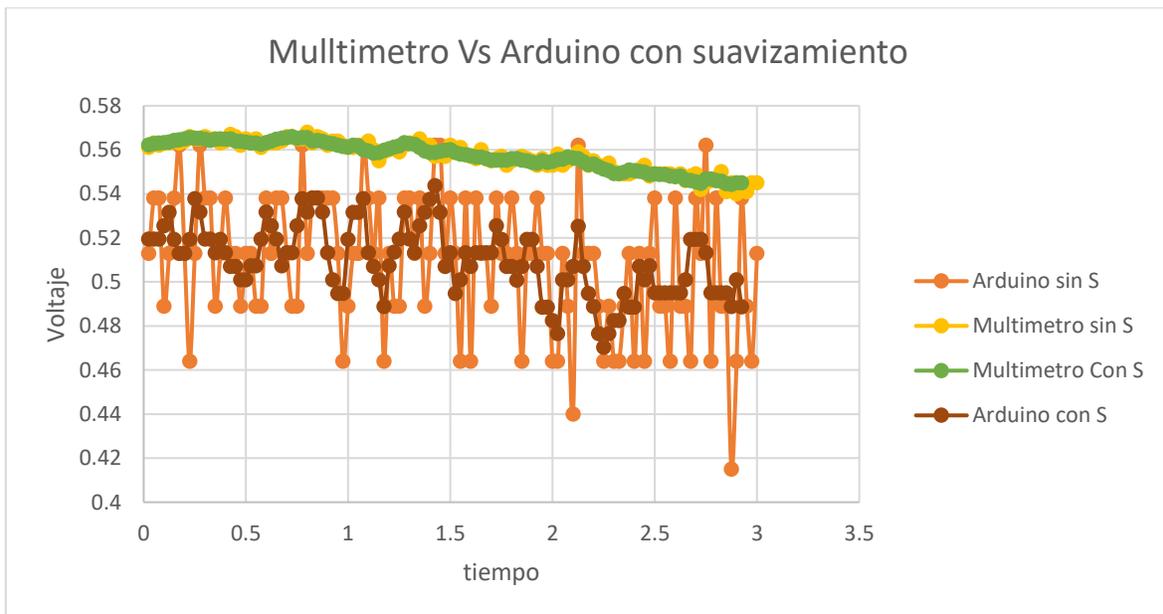
Resultados del Test de Hubber en la muestra del **Rio Salinas Grande punto A.**

	Arduino	Multímetro
MAD	0.024	0.005
LS	0.597	0.577
LI	0.429	0.542

Realizando el test de Hubber, presentado en la **tabla 17** se observa una cantidad de 1 valor outlier en las lecturas del Dispositivo Arduino, en cambio, su contraparte comercial obtuvo una cantidad de 3 valores outlier en la muestra del **Rio Salinas Grande punto A**, y al comparar sus MAD el Dispositivo Arduino tiene una diferencia de 0.019 al Multimeter PCE-DM 32.

### Figura 21

Gráfico de comportamiento de Voltaje vs Tiempo **sin y con** aplicación de suavizamiento de datos por promedio en el **Rio Salinas Grande punto A**.



En la **Figura 21** se observa la diferencia del comportamiento analógico de las lecturas de voltaje del Dispositivo Arduino, a comparación de su contraparte comercial el multímetro PCE-DM 32, además aplicando un suavizamiento de promedio a los datos obtenidos de los equipos anteriormente mencionado en la muestra del punto A del **Rio Salinas Grande**.

**Tabla 18**

Prueba de análisis de varianza de un factor en **punto B en Rio Salinas Grandes**

**Análisis de varianza de un factor**

RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Arduino	120	54.841	0.45700833	0.00594544		
Voltmetro	120	58.013	0.48344167	0.00017781		
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.04192	1	0.04192	13.6931	2.67E-04	3.88083
Dentro de los grupos	0.72867	238	0.00306			
Total	0.77059	239				

Según el análisis de ANOVA de 1F, presentado en la **tabla 18** la  $F_c$  es menor que  $F_t$  lo que indica que la hipótesis nula  $H_0$  se rechaza, es decir, existen diferencias significativas en las lecturas del dispositivo Arduino vs el Multímetro comercial (PCE-DM 32) en la celda utilizando la muestra del **Rio Salinas Grande punto B**.

**Test de Hubber****Tabla 19**

Resultados del Test de Hubber en la muestra del **Rio Salinas Grande punto B**.

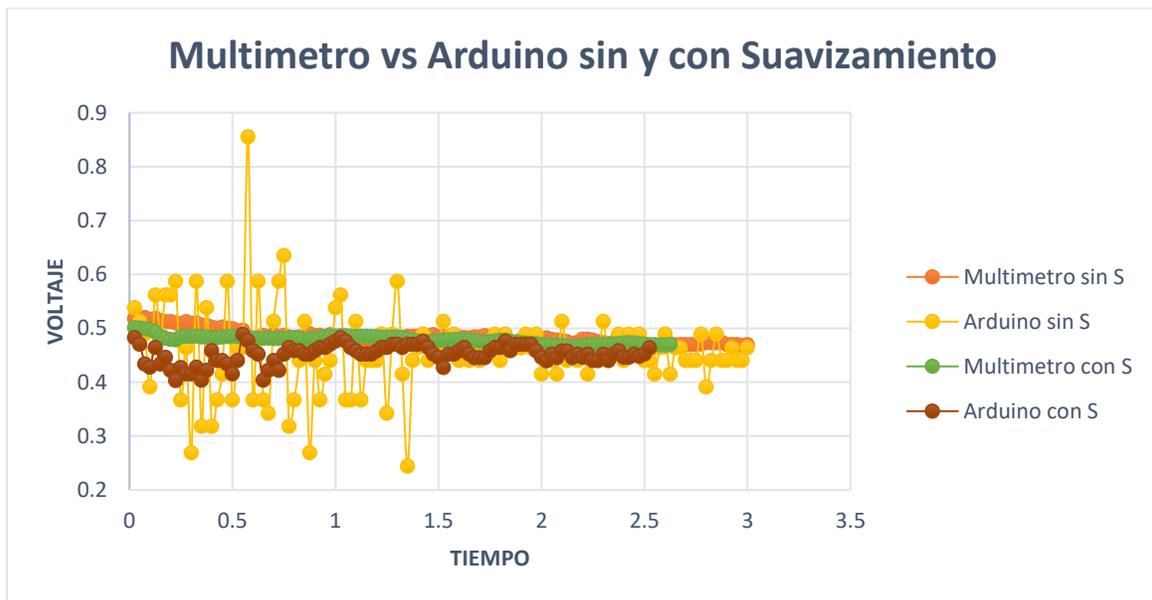
	Arduino	Multímetro
MAD	0.025	0.0065
LS	0.552	0.504
LI	0.377	0.459

Realizando el test de Hubber se determinó una cantidad de 20 valor outlier en las lecturas del Dispositivo Arduino, en cambio, su contraparte comercial obtuvo una cantidad de 15 valores outlier en la muestra del **Rio Salinas Grande punto B**, y al

comparar sus MAD el Dispositivo Arduino tiene precisión similar al Multimeter PCE-DM 32.

**Figura 22**

Gráfico de comportamiento de Voltaje vs Tiempo **sin y con** aplicación de suavizamiento de datos por promedio en el **Rio Salinas Grande punto B.**



En la **Figura 22** se observa la diferencia del comportamiento analógico de las lecturas de voltaje del Dispositivo Arduino, a comparación de su contraparte comercial el multímetro PCE-DM 32, además aplicando un suavizamiento de promedio a los datos obtenidos de los equipos anteriormente mencionado en la muestra del punto B del **Rio Salinas Grande.**

**Tabla 20**

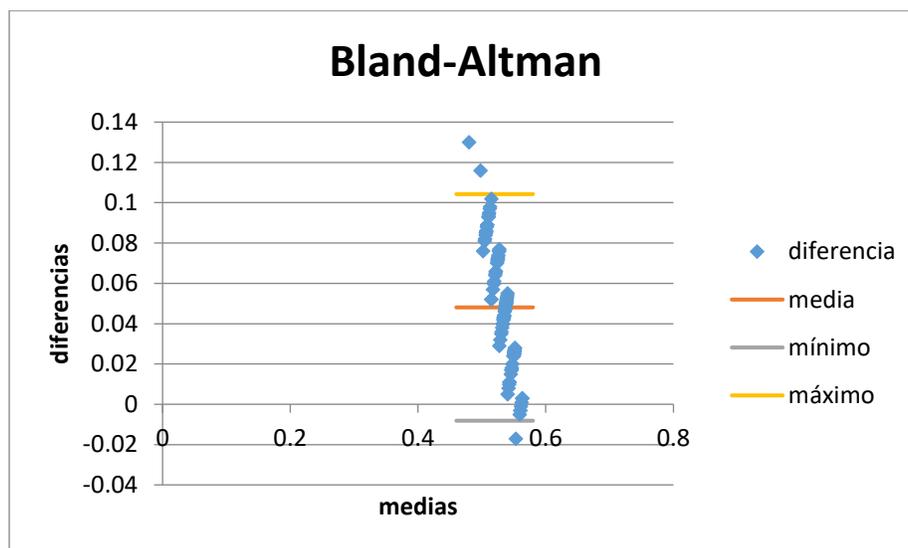
Resultados del test de Bland-Altman en la muestra de Rio Salinas Grande Punto A.

Bland-Altman	valores	s.e.	mínimo	máximo
Diferencia media	0.04805833	0.00260726	0.0428957	0.05322097
Límite mínimo	-0.00792038	0.00446814	-0.01676774	0.00092698

Límite máximo	0.10403705	0.00446814	0.09518969	0.11288441
Diferencia Desv.	0.02856109			
Nº de datos	120			
alpha	0.05			

**Figura 23**

Gráfico de resultados del Test Bland-Altman en la muestra de Rio Salinas Grande Punto A



En la muestra del **Rio Salinas Grande Punto A** se realizó el test **Bland-Altman**, mostrado en la **tabla 20** y **figura 23**, en donde no existe concordancia con los datos obtenidos donde estos superan el límite superior e inferior establecidos en dicho test es decir que la serie de datos no tiene una buena repetibilidad.

**Tabla 21**

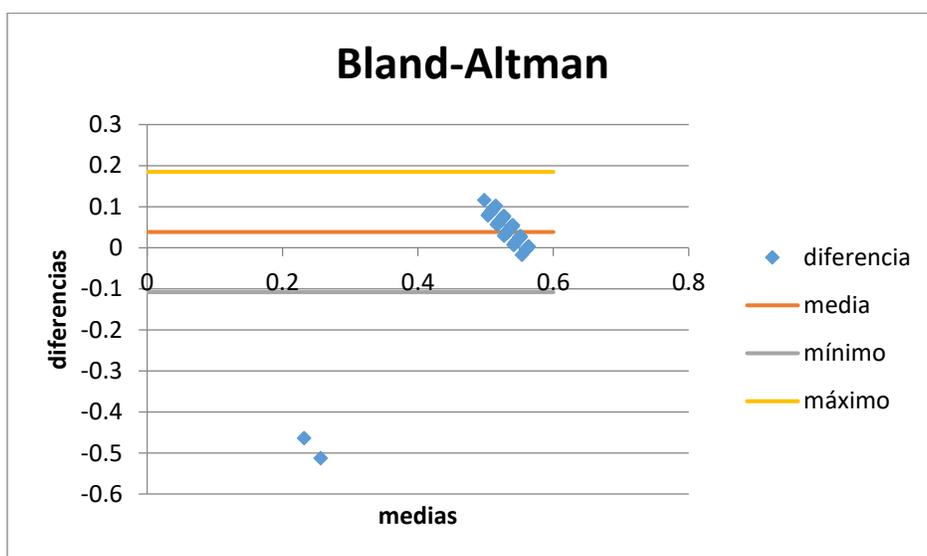
Resultados del test de Bland-Altman aplicando el test de Hubber en la muestra de Rio Salinas Grande Punto A.

**Aplicando test de Hubber**

Bland-Altman	valores	s.e.	mínimo	máximo
Diferencia media	0.03823729	0.00694558	0.02447944	0.05199514
Límite mínimo	-0.10838007	0.01190398	-0.13195957	-0.08480058
Límite máximo	0.18485465	0.01190398	0.16127516	0.20843414
Diferencia Desv.	0.07480615			
Nº de datos	116			
alpha	0.05			

**Figura 24**

Gráfico de resultados del Test Bland-Alman aplicando el test de Hubber en la muestra de **Rio Salinas Grande Punto A**.



En la muestra del **Rio Salinas Grande Punto A** se realizó el test **Bland-Altman** aplicando el **test de Hubber** en los 120 datos de ambas muestras, presentado en la **tabla 21** y **figura 24**, en donde no existe concordancia con los datos obtenidos donde estos superan el límite inferior establecidos en dicho test es decir que la serie de datos no tiene una buena repetibilidad.

**Tabla 22**

Resultados del test de Bland-Altman en la muestra de **Rio Salinas Grande Punto**

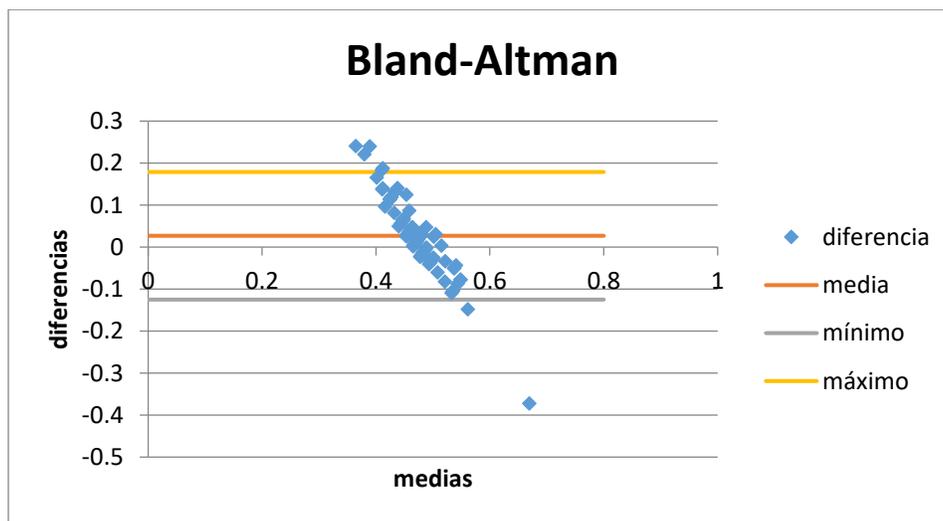
**B.**

Bland-Altman	<i>valores</i>	<i>s.e.</i>	<i>mínimo</i>	<i>máximo</i>
Diferencia media	0.02692437	0.00710466	0.01285521	0.04099353
Límite mínimo	-0.12497807	0.01217575	-0.14908937	-0.10086677
Límite máximo	0.17882681	0.01217575	0.15471551	0.20293811
Diferencia Desv.	0.07750267			
Nº de datos	119			
alpha	0.05			

**Figura 25**

Gráfico de resultados del Test Bland-Alman en la muestra de **Rio Salinas Grande**

**Punto B.**



En la muestra del **Rio Salinas Grande Punto B** se realizó el test **Bland-Altman**, mostrado en la **tabla 22** y **figura 25** en donde se observa que no existe concordancia con los datos obtenidos donde estos superan el límite superior e inferior establecidos en dicho test es decir que la serie de datos no tiene una buena repetibilidad.

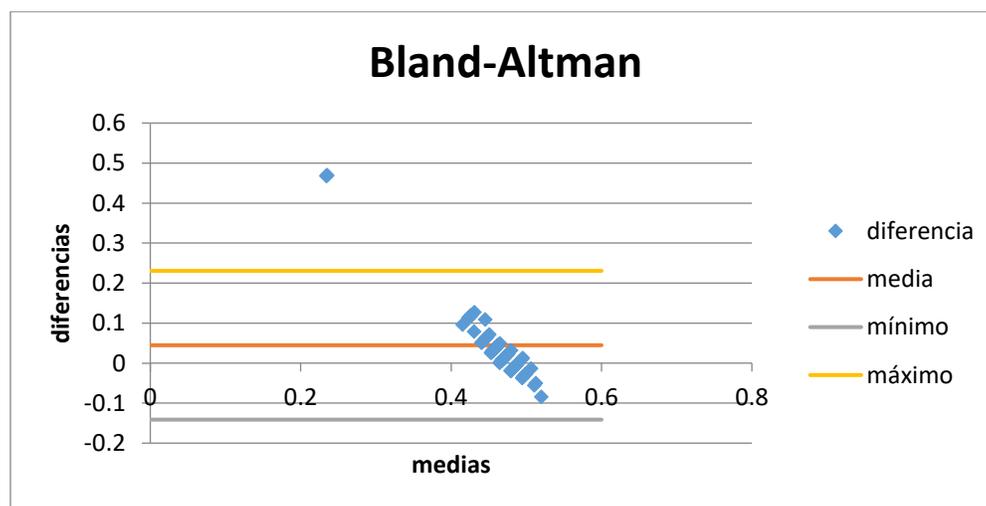
**Tabla 23**

Resultados del test de Bland-Altman aplicando el test de Hubber en la muestra de **Rio Salinas Grande Punto B.**

Bland-Altman	<i>valores</i>	<i>s.e.</i>	<i>mínimo</i>	<i>máximo</i>
Diferencia media	0.04471154	0.00930459	0.02625808	0.063165
Límite mínimo	-0.14126662	0.01595236	-0.17290435	-0.10962888
Límite máximo	0.23068969	0.01595236	0.19905196	0.26232743
Diferencia Desv.	0.09488856			
Nº de datos	104			
alpha	0.05			

**Figura 26**

Gráfico de resultados del Test Bland-Alman aplicando el test de Hubber en la muestra de **Rio Salinas Grande Punto B**

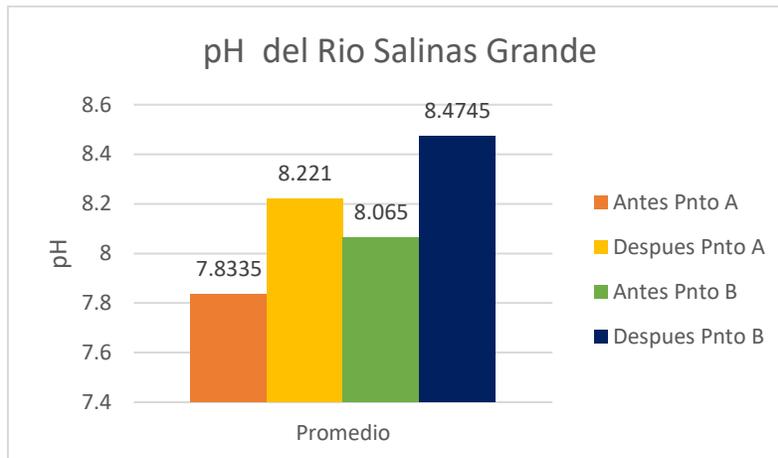


En la muestra del **Rio Salinas Grande Punto B** se realizó el test **Bland-Altman** aplicando el **test de Hubber** en los 120 datos de ambas muestras, presentado por la **tabla 23** y **figura 26** en donde no existe concordancia con los datos obtenidos donde estos superan el límite superior establecidos en dicho test es decir que la serie de datos no tiene una buena repetibilidad.

## Análisis de pH, conductividad y turbidez antes y después del Rio Salinas Grande

**Figura 27**

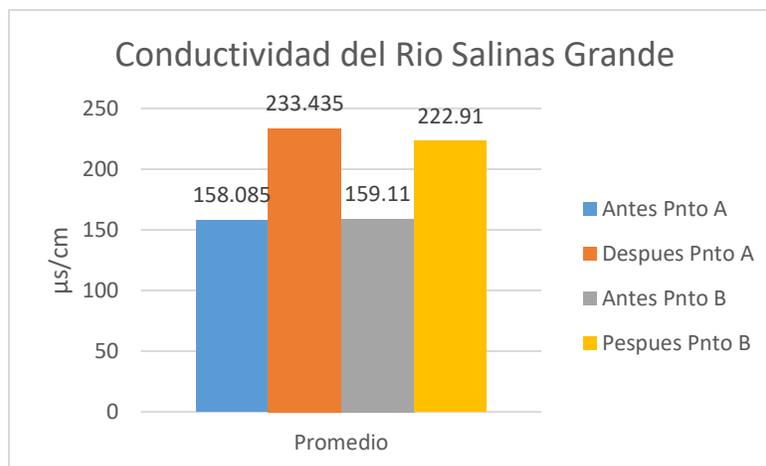
Gráfico comparativo del pH de los puntos A y B del rio Salinas Grandes



Se puede apreciar en la **figura 27**, que hubo un aumento del pH después de realizar las 120 lecturas esto se debe por la formación de Hidróxido de Aluminio  $Al(OH)_3$  que produce la semicelda  $Al-H_2O_2$ , siendo este pH aceptable según la norma para la Clasificación de los Recursos Hídricos **Núm. NTON 05 007-98**.

**Figura 28**

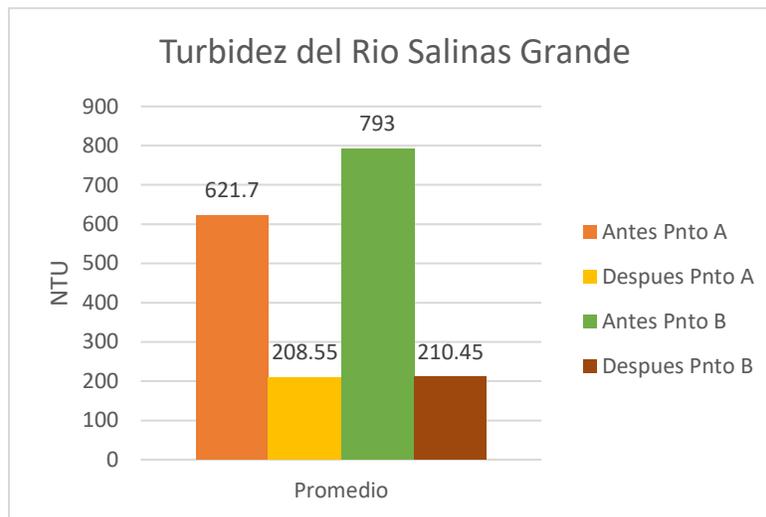
Gráfico comparativo de la conductividad de los puntos A y B del rio Salinas Grandes



Se observa en la **figura 28**, un aumento en la conductividad en ambos puntos de muestreo después de realizar las 120 lecturas mediante la semicelda Al-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, debido a la ionización del electrodo de Al a Al<sup>+3</sup> e H<sup>+</sup> desprotonado del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> presente.

### Figura 29

Gráfico comparativo de la turbidez de los puntos A y B del rio Salinas Grandes



Se observa en la **figura 29**, una disminución en la turbidez final después de realizar las 120 lecturas en la semicelda de Al-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> debido por la floculación de los sólidos suspendidos en la muestra problema formada por el Al(OH)<sub>3</sub>, siendo estos resultados aceptables según la norma para la Clasificación de los Recursos Hídricos

**Núm. NTON 05 007-98**

## 9. Conclusiones

- El aprendizaje y comprensión del sistema Arduino no presentó complicaciones al utilizar y relacionar los microcontroladores que son capaces de interactuar con el programa Arduino IDE, logrando de esta manera desarrollar un código propio que permite al usuario el montaje de un voltímetro basado en tecnología Arduino capaz de realizar lecturas de voltaje que comprenden un rango de 0-25V.
- Se realizó el montaje una semicelda electroquímica galvánica de Al-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> utilizando láminas de aluminio y peróxido de hidrogeno, al evaluar la eficacia de la semicelda presentó una alta disminución de la turbidez de la muestra electrolítica, ya que en promedio hubo una reducción del 93.38% y 69.95% para las muestras del rio Quezalaguaque y salinas grandes respectivamente, siendo esto gracias a su capacidad de la formación de la especie (Al(OH)<sub>3</sub>) por medio de hidrolisis.
- El peróxido de hidrogeno H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> actuó como un agente de tratamiento que mejoró la generación de energía eléctrica siendo esto de beneficio para el aluminio el cual aporta las cargas eléctricas y reacciona para dar lugar a la especie floculante. El pH de las muestras aumentó, pero permaneció dentro del rango permisible por la norma de Clasificación de los Recursos Hídricos **Núm. NTON 05 007-98**, por otra parte, la conductividad eléctrica del medio electrolito se vio aumentado, siendo esto de beneficio para la capacidad de generación de energía eléctrica.

- Las respuestas del dispositivo al ser comparadas con su contraparte comercial, mediante el estadístico ANOVA factor demostró, que el valor de  $F_c$  de las series de resultados fue mayor al valor  $F_{tabla}$ , lo que indica que existen diferencias significativas en las medias de ambas series de datos.
- Se observó que el Test de Hubber en promedio del dispositivo Arduino presento, una lectura de voltaje aproximado de 0.05V menor del multímetro PCE-DM 32. El test Bland-Altman muestra que únicamente el punto B del rio Quezalguaque utilizando el Test de Hubber presenta una buena repetibilidad respecto al multímetro comercial.
- Estas diferencias pueden estar dadas por la naturaleza analógica del dispositivo Arduino, siendo que se pueden realizar pruebas de sensibilidad para comparar lecturas en rangos bajos como altos, y de esta manera verificar si la diferencia persiste.

## **10.Recomendaciones.**

- Utilizar materiales de electrodos con mayor pureza.
- Realizar pruebas de sensibilidad en rangos altos de voltaje para verificar si la diferencia persiste.

## 11. Bibliografía

- Aguayo, P. (20 de Noviembre de 2014). *Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea*. Obtenido de <https://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Ahnmed, S. (29 de Noviembre de 2020). *Two Sample T-Test Equal Variance*. Obtenido de The Open Educator: <https://www.theopeneducator.com/doe/hypothesis-Testing-Inferential-Statistics-Analysis-of-Variance-ANOVA/Two-Sample-T-Test-Equal-Variance>
- ARDUINO. (5 de Febrero de 2018). *What is Arduino?* Obtenido de ARDUINO: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Ashton, D. (16 de Enero de 2023). *10 best multimeters for work [evaluated in 2023]*. Obtenido de Mineral Processing & Metallurgy: <https://www.911metallurgist.com/blog/multimeters-for-work>
- Boylestad, R. L. (2011). *Introsuccion al Analisis de Circuitos*. Mexico: Pretince Hill.
- Brodrecht, D. J., & Rusek, J. J. (14 de Enero de 2003). *Aluminum–hydrogen peroxide fuel-cell studies*. Obtenido de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030626190200137X>
- Carlos J. Alvarez, S. R. (7 de Abril de 2014). *CELDAS ELECTROLITICAS*. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/slideshow/celdas-electroliticas/33246142>
- Centro Español de Metrología. (2012). *VIM. Volculario Internacional de Metrología, Conceptos Fundamentales, Generales y Terminos Asociados*. Comité Conjunto sobre Guías en Metrología (JCGM) 2012.
- Comber, S. D., & Churchley, M. J. (Agosto de 2005). *Aluminium speciation: implications of wastewater effluent dosing on river water quality*. Obtenido de ReseachGate: [https://www.researchgate.net/publication/233519125\\_Aluminium\\_speciation\\_Implications\\_of\\_wastewater\\_effluent\\_dosing\\_on\\_river\\_water\\_quality](https://www.researchgate.net/publication/233519125_Aluminium_speciation_Implications_of_wastewater_effluent_dosing_on_river_water_quality)
- DATAtab. (24 de Octubre de 2023). *Bland-Altman Plot [Simply explained]*. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=hHsf7jE79M&t=30s>
- Delgado, G., Hernandez, N., Mendez, L., & Abad, R. (05 de 12 de 2018). *Aplicación de la estadística robusta en la identificación de valores “OUTLIERS” en análisis de residuos de clorpirifos en maní. programa elaborado en Hp-Basic utilizando la calculadora gráfica HP Prime*. Obtenido de Revista Iberoamericana de Bioeconomía y cambio climático: <https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REBICAMCLI/article/view/199>

- Fluke. (2021). *Fluke*. Obtenido de <https://www.fluke.com/es-ve/informacion/blog/multimetros-digitales/historia-multimetro>
- Hach Company. (Agosto de 2014). *Manual Turbidimetro HACH 2100N*. Obtenido de Academia.edu: [https://www.academia.edu/23365643/Manual\\_Turbidimetro\\_HACH\\_2100N](https://www.academia.edu/23365643/Manual_Turbidimetro_HACH_2100N)
- Instituto Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillado. (11 de Febrero de 2000). Norma para la Clasificación de los Recursos Hidricos. *NTON 05 007-98*. Gaceta-Diario Oficial.
- Kalra, A. (Enero-Abril de 2017). *Decoding the Bland–Altman Plot*. Obtenido de Journal for the practice of cardiovascular sciences: [https://journals.lww.com/jpcs/fulltext/2017/03010/decoding\\_the\\_bland\\_altman\\_plot\\_\\_basic\\_review.10.aspx](https://journals.lww.com/jpcs/fulltext/2017/03010/decoding_the_bland_altman_plot__basic_review.10.aspx)
- Kubínová, Š., & Šlégr\*, J. (7 de Agosto de 2015). *ChemDuino: Adapting Arduino for Low-Cost Chemical Measurements in Lecture and Laboratory*. Obtenido de ACS Publications: <https://doi.org/10.1021/ed5008102>
- Kuphaldt, T. (8 de Noviembre de 2018). *LibreTexts*. Obtenido de [https://workforce.libretexts.org/Bookshelves/Electronics\\_Technology/Book%3A\\_Electric\\_Circuits\\_I\\_-\\_Direct\\_Current\\_\(Kuphaldt\)/05%3A\\_Series\\_And\\_Parallel\\_Circuits/5.01%3A\\_What\\_are\\_Series\\_and\\_Parallel\\_Circuits](https://workforce.libretexts.org/Bookshelves/Electronics_Technology/Book%3A_Electric_Circuits_I_-_Direct_Current_(Kuphaldt)/05%3A_Series_And_Parallel_Circuits/5.01%3A_What_are_Series_and_Parallel_Circuits)
- Lorenzo, J. (2019). *Estadística básica para Ciencias de la Educación*. Obtenido de file:///C:/Users/Admin/Documents/Arduino/Prueba%20t%20y%20ANOVA\_240829\_205056.pdf
- MARENA. (19 de Abril de 2024). Certificación de Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense – (NTON –RAEE). Obtenido de [marena.gob.ni: https://www.marena.gob.ni/2024/04/19/certificacion-de-norma-tecnica-obligatoria-nicaraguense-nton-raee/](https://www.marena.gob.ni/2024/04/19/certificacion-de-norma-tecnica-obligatoria-nicaraguense-nton-raee/)
- Meloni\*, G. N. (26 de Abril de 2016). *ACS Publications*. Obtenido de <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00961>
- Moreno, F. L., & Cervantes, D. E. (24 de Septiembre de 2019). *Avances Investigación en Ingeniería*. Obtenido de <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5106>
- Nicaragua, A. d. (10 de Mayo de 2006). *Normas Jurídicas de Nicaragua*. Obtenido de NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE PARA REGULAR LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES Y SU REUSO: <http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/9e314815a08d4a6206257265005d21f9/3b3583b8c7d4ee32062579bc007b7023?OpenDocument>

- Nicaragua, A. N. (11 de Febrero de 2000). *Norma Tecnica Obligatoria Nicaragua Norma para la Clasificación de los Recursos Hidricos*. Obtenido de Norma Tecnica Obligatoria Nicaragua: [http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/\(\\$All\)/1A3A99B77290B980062573DF00594022?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/($All)/1A3A99B77290B980062573DF00594022?OpenDocument)
- Özkaya, A. R. (1 de Junio de 2002). *ACS Publications* . Obtenido de <https://doi.org/10.1021/ed079p735>
- Prieto, B. L., Prieto, G. A., Cruz, W., & A. C.-A. (10 de Septiembre de 2013). *Scielo*. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-99982014000100002](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-99982014000100002)
- Prieto, B. L., Prieto, G. A., Cruz, W., & Avendaño, A. C. (13 de Septiembre de 2013). *Guía de referencia para investigadores no expertos en el uso de estadística multivariada*. Obtenido de Scielo.com: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-99982014000100002](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-99982014000100002)
- RAMOS MEJIA, A., & HERNANDEZ-MARTINEZ, A. d. (13 de Diciembre de 2022). *Scielo*. Obtenido de <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2022.4.0.82198>.
- Salah, R. (Julio de 2020). *All about the electrochemical cell and its different types*. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/342701565\\_all\\_about\\_the\\_electrochemical\\_cell\\_and\\_its\\_different\\_types](https://www.researchgate.net/publication/342701565_all_about_the_electrochemical_cell_and_its_different_types)
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Nieman, T. A. (2000). *Principios de Analisis Intrumental*. Nueva York: Mc Graw Hill.
- UNESCO. (2023). *Global Education Monitoring Report Summary 2023; Technology in education: A tool on whose terms?* Obtenido de UNESCO: [https://www.unesco.org/gem-report/sites/default/files/medias/fichiers/2023/07/7952%20UNESCO%20GE M%202023%20Summary\\_ES\\_Web.pdf](https://www.unesco.org/gem-report/sites/default/files/medias/fichiers/2023/07/7952%20UNESCO%20GE M%202023%20Summary_ES_Web.pdf)
- VERNIER. (2009). *Manual Conductivity Probe*. Obtenido de VERNIER: <https://www.vernier.com/manuals/conbta/?srsltid=AfmBOorNao5vSey7sQbbkMIJ1gcHBt03aqtn39yLI6hhUKk4e19idMXj>
- VIDAL-SILVA, C., LINEROS, M. I., & URIBE, G. E. (Diciembre de 2019). *Scielo*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600377>.
- Yoon, J., Cheon, J.-H., & Kang, S.-J. (20 de Junio de 2021). *A Study on the Development of Arduino-Electrochemical Cell and the Exploration of*

*Educational Possibilities from the Perspective of Learning by Making.*  
Obtenido de KoreaScience: <https://doi.org/10.5012/JKCS.2021.65.3.219>

## 12. Anexos

### Código de Voltaje Arduino

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
int Sensor = A0;
const int LEDMenor = 2;
const int LEDMayor = 3;

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pinMode(LEDMenor, OUTPUT);
  pinMode(LEDMayor, OUTPUT);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
}
void loop(){
  float voltaje = (float)25*analogRead(A0)/1023;
  Serial.println(voltaje, 3);
  if (voltaje < 7.0) {
    digitalWrite(LEDMenor, HIGH);
  } else {
    digitalWrite(LEDMenor, LOW);
  }
  if (voltaje > 7.0) {
    digitalWrite(LEDMayor, HIGH);
  } else {
    digitalWrite(LEDMayor, LOW);
  }
  delay(5000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(4, 0);
  lcd.print("Lectura");
  lcd.setCursor(5, 1);
  lcd.print(String(voltaje,3)+"V");
}
```

**Figura 30 y 31**

**Toma de muestras en el Rio Salinas Grande**



**Figura 32 y 33**

**Toma de muestras en el Rio Quezalguaque**



**Figura 34**

**Verificación del OrionStar A111**



**Figura 35**

**Verificación del Turbidímetro HACH 2100N**



**Figura 36**

**Verificación del Conductímetro LabQuest**



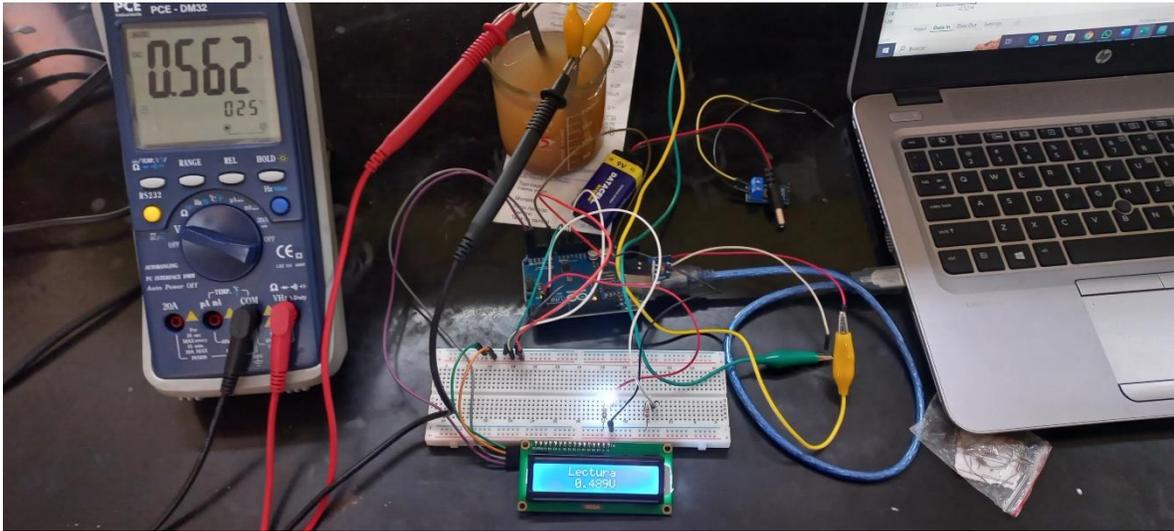
**Figura 37**

**Verificación del Conductímetro LabQuest**



**Figura 38**

**Lectura de voltaje simultanea del dispositivo Arduino y el multímetro PCE-DM32**



**Figura 39**

**Comparación antes y después de las lecturas de voltaje en la muestra del Rio Quezalguaque punto A.**



**Figura 40**

**Comparación antes y después de las lecturas de voltaje en la muestra del Rio de Salinas Grande punto A.**

