

Diseño y construcción de un módulo electrónico de bajo costo para el sensado de variables  
asociadas con la calidad del agua y del suelo

Suley Fernanda Manrique Suarez

Damian Yesid Cubides Torres

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director

Rodolfo Villamizar Mejía

PhD. Tecnologías de la información

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2020

## Tabla de Contenido

<b>Introducción</b>	<b>15</b>
<b>1 Objetivos</b>	<b>17</b>
<b>2 Marco conceptual</b>	<b>18</b>
2.1 Calidad del suelo en páramos	18
2.1.1 Características de los suelos de páramos andinos	18
2.1.2 Indicadores de calidad de suelo	18
2.2 Calidad del agua en los páramos	19
2.2.1 Características del agua en los páramos	19
2.2.2 Índices de calidad de agua	21
<b>3 Módulo electrónico de estimación de calidad del agua y suelo</b>	<b>23</b>
3.1 Especificaciones de diseño	23
3.2 Selección de variables asociadas a la calidad del agua y del suelo	24
3.3 Diseño conceptual del módulo.	25
3.3.1 Sensado	26
3.3.2 Acondicionamiento de señales	31
3.3.3 Procesamiento	32

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO ELECTRÓNICO DE BAJO COSTO	6
3.3.4 Interfaz de usuario	33
3.3.5 Embalaje	34
<b>4 Resultados</b>	<b>35</b>
4.1 Caracterización de ADC ADS1115	35
4.2 Calibración	35
4.2.1 Calibración del Sensor de Temperatura DS18B20	36
4.2.2 Calibración del Sensor Conductividad Electrica DFR0300	39
4.2.3 Calibración del Sensor de pH SEN0161	41
4.2.4 Calibración del Sensor de Turbidez SEN0189	43
4.2.5 Calibración del Sensor de Humedad YL69-YL38	47
4.3 Cálculo de Incertidumbres	51
4.4 Análisis energético	52
4.5 Validación del manejo del módulo electrónico	56
4.6 Restricciones del prototipo	57
<b>5 Conclusiones</b>	<b>58</b>
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>59</b>
<b>Apéndices</b>	<b>65</b>

**Lista de Figuras**

Figura 1	Diseño conceptual del dispositivo	25
Figura 2	Sensor de temperatura DS18B20	27
Figura 3	Electrodo y módulo de Conductividad Eléctrica	28
Figura 4	Electrodo y módulo de pH	29
Figura 5	Sensor de turbidez SEN0189	30
Figura 6	Sensor de humedad YL69-YL38	30
Figura 7	Convertor analógico digital ads1115	32
Figura 8	Entorno de programación por bloques	33
Figura 9	Página principal de la aplicación	34
Figura 10	Diseño del prototipo	34
Figura 11	Caracterización ADC ADS1115	35
Figura 12	Comparación con muestra de tierra	37
Figura 13	Comparación con muestra de agua	37
Figura 14	Lectura termómetro Fluke 52 II Vs la del sensor DS18B20	38
Figura 15	Validación del ajuste	39
Figura 16	Proceso de calibración: medición con sensor DFR300	40
Figura 17	Proceso de calibración: medición con el sensor sensION <sup>TM</sup> + MM374	40

Figura 18	Lectura del equipo sensION <sup>TM</sup> + MM374 de conductividad eléctrica Vs la del sensor DFR300	41
Figura 19	Proceso de calibración: medición con sensor SEN0161	42
Figura 20	Proceso de calibración: medición con sensION <sup>TM</sup> + MM374	42
Figura 21	Lectura del equipo sensION <sup>TM</sup> + MM374 de pH Vs la del sensor SEN0161	43
Figura 22	Validación del ajuste	43
Figura 23	Proceso de calibración: medición con sensor SEN0189	44
Figura 24	Proceso de calibración: medición con el sensor sensION <sup>TM</sup> + MM374	44
Figura 25	Relación entre Voltaje y Turbidez	45
Figura 26	Tramo 1: Voltaje Vs.Turbidez	46
Figura 27	Tramo 2: Voltaje Vs.Turbidez	46
Figura 28	Tramo 3: Voltaje Vs.Turbidez	46
Figura 29	Tramo 4: Voltaje Vs.Turbidez	46
Figura 30	Validación del ajuste	47
Figura 31	Proceso de calibración: Medición con sensor de humedad YL-69	48
Figura 32	Relación entre el valor Bit y la humedad volumétrica	49
Figura 33	Tramo1: del Valor Bit Vs. Humedad volumétrica	49
Figura 34	Tramo2: del Valor Bit Vs. Humedad volumétrica	49
Figura 35	Tramo3: del Valor Bit Vs. Humedad volumétrica	50
Figura 36	Tramo4: del Valor Bit Vs. Humedad volumétrica	50
Figura 37	Tramo5: del Valor Bit Vs. Humedad volumétrica	50

Figura 38	Validación del ajuste	50
Figura 39	Comportamiento de la demanda de corriente del dispositivo.	56
Figura 40	Circuito de regulación de voltaje	67
Figura 41	Circuito de adecuación de señal del sensor de turbidez	67
Figura 42	Circuito de adecuación de señal del sensor de pH	68
Figura 43	Layout de PCB en CircuitMaker	68

**Lista de Tablas**

Tabla 1	Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo	20
Tabla 2	Propiedades fisicoquímicas y biológicas del Agua	22
Tabla 3	Propiedades fisicoquímicas y biológicas del Agua	23
Tabla 4	Valores para la calidad del Suelo	24
Tabla 5	Valores para la calidad del Agua	25
Tabla 6	Especificaciones del sensor de Temperatura DS18B20	27
Tabla 7	Especificaciones de la sonda de Conductividad Eléctrica	28
Tabla 8	Especificaciones del módulo de adecuación de señal de Conductividad Eléctrica	28
Tabla 9	Especificaciones de la sonda de pH	29
Tabla 10	Especificaciones del módulo de adecuación de señal de pH	29
Tabla 11	Especificaciones sensor de turbiedad SEN0189	30
Tabla 12	Especificaciones sensor de Humedad YL38 y YL-69	31
Tabla 13	Especificaciones del ADS1115	32
Tabla 14	Tipologías de las fuentes de incertidumbre	51
Tabla 15	Resultado de incertidumbres	53
Tabla 16	Incertidumbre Total	53
Tabla 17	Consumo de corriente promedio	54

Tabla 18	Limite de funcionamiento y encendido	55
Tabla 19	Presupuesto Prototipo	69
Tabla 20	Sensores de Temperatura	69
Tabla 21	Sensores de Conductividad Eléctrica	70
Tabla 22	Sensores de pH	70
Tabla 23	Sensor de Turbidez	70
Tabla 24	Sensores de Humedad	71

**Lista de Apéndices**

	<b>pág.</b>	
Apéndice A	Funcionamiento de los sensores	65
Apéndice B	Circuito acondicionamiento de señales	67
Apéndice C	Diseño de Printed Circuit Board (PCB)	68
Apéndice D	Costo prototipo	69
Apéndice E	Comparación de Sensores	69
Apéndice F	Comunicación	71
Apéndice G	Manual De Usuario	74

## Resumen

**Título:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO ELECTRÓNICO DE BAJO COSTO PARA EL SENSADO DE VARIABLES ASOCIADAS CON LA CALIDAD DEL AGUA Y DEL SUELO. \*

**Autor:** Damian Yesid Cubides Torres, Suley Fernanda Manrique Suarez \*\*

**Palabras Clave:** incertidumbre, páramo, calibración, humedad volumétrica, humedad gravimétrica, calidad del agua, calidad del suelo, error.

**Descripción:** Este documento presenta el diseño, desarrollo y puesta en marcha de un modelo electrónico modular que integra sensores de bajo costo, orientados al monitoreo de variables asociadas con la calidad de recursos hídricos y de suelo del páramo de Berlín, perteneciente al complejo de Santurbán. El equipo consta de una unidad de registro y procesamiento a la que se conectan todos los sensores de las variables a medir (pH, conductividad eléctrica, turbiedad, humedad y temperatura).

Con este equipo se buscó un procedimiento de medición sencillo, además de mostrar medidas claras y fáciles de interpretar. Es por esto que el dispositivo cuenta con sondas de fácil conexión y con una interfaz de usuario sencilla (aplicación móvil disponible en versiones de Android 5.0 en adelante) que recibe la información a través de una conexión de Bluetooth Low Energy (BLE) entre el equipo y el smartphone.

Este modelo electrónico está destinado para ser usado con fines didácticos por habitantes de la zona de estudio, de tal manera que puedan ir aprendiendo sobre el estado de sus suelos y sus afluentes desde la medición de sus parámetros, y de cómo éstos cambian con actividades agropecuarias que no siguen estándares mínimos de conservación. De esta manera se busca incentivar una conciencia ambiental para conservar estos ecosistemas.

---

\* Trabajo de grado.

\*\* Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Rodolfo Villamizar Mejía, Doctor en Tecnologías de la información.

### Abstract

**Title:** DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN AFFORDABLE ELECTRONIC MODULE WITH THE PURPOSE OF SENSATING VARIABLES ASSOCIATED WITH THE QUALITY OF WATER AND SOIL. \*

**Author:** Damian Yesid Cubides Torres, Suley Fernanda Manrique Suarez. \*\*

**Keywords:** uncertainty, moor, calibration, volumetric humidity, gravimetric humidity, water quality, soil quality, error.

**Description:** This document features the design, development and implementation of an electronic model that integrates low-cost sensors, focused on monitoring variables associated with the quality of water resources and soil in the Berlin moorland, on the Santurbán complex. The equipment includes a recording and processing unit, where all the sensors of the variables to be measured are connected (pH, electrical conductivity, turbidity, humidity and temperature).

With this equipment we manage to accomplish a simple measurement procedure and also shows measures clear and easy to read. This is why the device has easy-to-connect probes and a simple user interface (mobile application available in Android versions 5.0 and above) that receives the information via Bluetooth Low Energy (BLE) connection between the equipment and the smartphone.

This electronic model is intended to be used for educational purposes by the habitants of the study area, in order to observe the status of their soils and their tributaries from the measurements of its parameters and how they change with agricultural activities that doesn't follow the conservation standard. Therefore we seek to encourage an environmental conscience to conserve these ecosystems taking care of the complex hydrological process that is currently happening.

---

\* Bachelor Thesis.

\*\* Faculty of Engineering and Physical Sciences. School of Electronic and Electrical Engineering. Director: Rodolfo Villamizar Mejía, PhD in Information Technology.

## Introducción

Los suelos sanos y en particular los de páramos se caracterizan principalmente por la capacidad de retención de agua (Buytaert *et al.*, 2007). Cuando el ecosistema natural es intervenido por acción humana (quemadas, labranza y ganadería como principales actividades), se producen cambios importantes en el ciclo hidrológico. Estas acciones traen como consecuencia que todos los procesos biofísicos se vean alterados y que además haya una degradación en los servicios hidrológicos del ecosistema (Llambí *et al.*, 2012).

Es por eso que el Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH) de Ingeniería Civil en conjunto con el Grupo de Investigación en Población, Ambiente y Desarrollo (G-PAD) de la Escuela de Trabajo Social de la Facultad de Ciencias Humana y el Grupo de Investigación en Control, Electrónica, Modelado y Simulación (CEMOS) de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones decidieron emprender un proyecto que busca analizar cualitativa y cuantitativamente la influencia del uso del suelo en los servicios ecosistémicos hidrológicos ofertados por un páramo seco (caracterizados principalmente por ser páramos de bajas precipitaciones). Este macroproyecto, que incluye tres escuelas de la Universidad Industrial de Santander, pretende determinar las consecuencias de las presiones antrópicas sobre la cuenca del río Jordán en el Páramo de Berlín (Complejo Santurbán – Colombia).

A su vez, el proyecto general tiene como finalidad permitir que los pobladores de la zona se involucren activamente desde fases tempranas del proyecto, contribuyendo al fomento del aprendizaje colectivo, a la resolución de conflictos socioambientales y a la búsqueda de medidas

preventivas que les permita desarrollar estrategias sostenibles que garanticen el bienestar común. Siguiendo con este enfoque, desde el grupo de investigación CEMOS, se pensó en diseñar un dispositivo modular que integre sensores asociados con la medición de variables hídricas y de suelo con el fin de estimar sus calidades. El dispositivo estará dirigido a los pobladores del páramo que decidan vincularse a la investigación, quienes además de operarlo llevarán un registro propio de las mediciones. Por tal razón, el módulo deberá contar con una interfaz gráfica sencilla, didáctica y económica en la que los resultados puedan ser interpretados por personas que no tengan un conocimiento detallado acerca de este tipo de mediciones. Aunque en un principio se pretendía trabajar con una pantalla LCD incorporada al dispositivo, se encontró la forma de usar una aplicación Android con la que se consigue reducir los costos de construcción y capacidad de procesamiento además de permitir crear un entorno gráfico más didáctico y pedagógico.

## 1. Objetivos

### **Objetivo general**

Integrar instrumentos de medición de parámetros asociados con calidad del agua y del suelo, en un módulo electrónico digital que sea de bajo costo y fácil de usar.

### **Objetivos específicos**

Definir las variables asociadas con la calidad del agua, así como la calidad del suelo, que puedan ser instrumentadas de una manera sencilla electrónicamente y a un precio accesible para su uso masivo por pobladores del páramo de Santurbán.

Seleccionar e integrar los instrumentos de medida de las variables en una unidad de procesamiento donde se registre y visualice la información adquirida por los sensores.

Validar de manera experimental que el módulo entrega lecturas confiables y de fácil interpretación, mediante pruebas de comparación en laboratorios especializados y de campo en donde se corrobore que cualquier persona de la comunidad lo pueda operar.

## 2. Marco conceptual

### 2.1. Calidad del suelo en páramos

**2.1.1. Características de los suelos de páramos andinos.** Según Torres y Proaño los páramos andinos cuentan con un conjunto de propiedades naturales que permiten almacenar y regular caudales bases, como resultado de la interacción de los componentes como la precipitación, humedad del suelo y evapotranspiración. Estas propiedades facilitan el abastecimiento continuo del recurso hídrico para las poblaciones ubicadas en las cuencas medias y bajas de la región andina (Torres Romero, 2018). Sin embargo estas propiedades también hacen que el suelo de páramo sea vulnerable a acciones que lo pueden alterar (generalmente por actividades de labranza, ganadería y forestación) (Llambí *et al.*, 2012). Cuando hay alguna alteración de estas propiedades el ecosistema se desequilibra, afectando el ciclo natural hidrológico. Para cuantificar estos impactos se usan variables como la escorrentía, erosión del suelo (Poulenard *et al.*, 2001), los caudales, las propiedades físicas y químicas (Daza *et al.*, 2014) del suelo que influyen la capacidad de retención y almacenamiento de agua.

**2.1.2. Indicadores de calidad de suelo.** Los indicadores son considerados instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos (Porta *et al.*, 2019). Para definirlos, se debe contar con variables medibles que exaltan propiedades básicas para la supervivencia de plantas, y con las que se permita evaluar las demás condiciones óptimas de los suelos (Bautista-Cruz *et al.*, 2004). Para sintetizar el número de factores que influyen en la calidad del suelo, algunos autores establecieron un grupo mínimo de propiedades (Doran y Parkin, 1994)

(Larson y Pierce, 1991) como se muestra en la tabla 1.

Las propiedades físicas dan información acerca de la capacidad de desarrollo de las raíces, brote de las plántulas, la infiltración y la retención de agua. Los indicadores biológicos suministran información acerca de factores como la abundancia o carencia de micro o macro organismos, incluidos hongos, nematodos, lombrices, anélidos y artrópodos (Bautista-Cruz *et al.*, 2004). Además, son los más dinámicos y, por lo tanto, tienen la ventaja de servir como señales tempranas de degradación o de mejoría de suelos (Astier *et al.*, 2002). Los indicadores químicos propuestos se refieren a compuestos o variables químicas que afectan las relaciones suelo-planta, fundamentalmente la disponibilidad de agua y nutrientes para plantas y microorganismos, la calidad del agua o la capacidad amortiguadora del suelo (Sharma *et al.*, 2008).

## **2.2. Calidad del agua en los páramos**

**2.2.1. Características del agua en los páramos.** Como lo expone (Hofstede, 1997) Los páramos se pueden subdividir en tres componentes: función ecológica, función agrícola, función hidrológica. De acuerdo con (Morales, 2010) Los páramos andinos son ecosistemas únicos en donde uno de los principales servicios ambientales es ser proveedor de recurso hídrico, este ecosistema tiene un gran valor como reserva de agua tanto para consumo humano como para el desarrollo de actividades económicas. Según Hofstede (2001) Esto es gracias a que la evaporación que es muy baja en estos ecosistemas, debido a la alta nubosidad, las precipitaciones verticales como lluvias o nieve, y a precipitaciones horizontales como aguas obtenidas por medio de niebla, rocío e interceptación de la descomposición materia orgánica a causa de las bajas temperaturas y la alta humedad.

Tabla 1  
*Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo*

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo.	Valores o unidades relevantes
Físicas		
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo	% de arena, limo y arcilla; pérdida del sitio o posición del paisaje
Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces	Estima la productividad potencial y la erosión.	cm o m
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado; productividad y erosividad	Minutos/2,5 cm de agua y g/cm <sup>3</sup>
Capacidad de retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica.	% (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ), cm de humedad aprovechable/30 cm; intensidad de precipitación
Químicos		
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión	Kg de C o N ha <sup>-1</sup>
pH	Define actividad química y biológica	Comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
Conductividad eléctrica	Define actividad vegetal y microbiana	dSm <sup>-1</sup> ; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
P, N, y K extractables	Nutrientes disponibles para la planta; pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental.	Kg ha <sup>-1</sup> ; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos
Biológicas		
C y N de la biomasa microbiana	Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N; cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica	Kg de N o C ha <sup>-1</sup> relativo al C y N total o CO <sub>2</sub> producidos
Respiración, contenido de humedad y temperatura.	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa	Kg de C ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entrada al reservorio total de C

Nota: (Bautista-Cruz *et al.*, 2004)

**2.2.2. Índices de calidad de agua.** En el mundo existen diferentes formas de establecer los índices de calidad del agua (ICA) (FredysA.Simanca *et al.*, 2019). Sin embargo, según (Raggio *et al.*, 2006) la cuantificación científica resulta importante para el manejo de los recursos hídricos. El término del manejo óptimo de los recursos requiere estándares predefinidos de calidad integral de agua, como componente de los criterios de optimización. (FredysA.Simanca *et al.*, 2019) mencionan que los ICA se pueden calcular como un conjunto de variables y medidas cuya cantidad y tipo depende de la disponibilidad de datos de las diferentes presiones contaminantes a las cuales están sometidos los diferentes cuerpos de agua. Estos ICA pueden clasificarse en Biológicos o fisicoquímicos.

Los índices biológicos de calidad del agua son cada vez más utilizados, pero aún es necesario ampliar el conocimiento de la diversidad de macro-invertebrados acuáticos en los ríos alto-andinos y determinar aquellos índices que puedan adaptarse con mayor precisión a estos sistemas (Meneses-Campo *et al.*, 2019). Por otra parte los índices fisicoquímicos suelen ser analizados con más rapidez y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, en comparación con los índices biológicos, basados en la observación y medición de ciertas comunidades de seres vivos en las agua (Raggio *et al.*, 2006).

En Colombia quien estudia los ICA es el instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Según el (IDEAM, 2005), el Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una

estación de monitoreo  $j$  en el tiempo  $t$ . Según un estudio que el IDEAM realizó en la macro-cuenca

Magdalena – Cauca sugiere que las variables para el cálculo del ICA sean las siguientes:

Tabla 2

*Propiedades fisicoquímicas y biológicas del Agua*

Propiedad	Definición	Unidades
El Oxígeno Disuelto (OD)	Indica la contaminación del agua y del soporte que esta puede dar para el crecimiento y reproducción animal y vegetal. Factores como: alta intensidad lumínica, así como mayor turbulencia del cuerpo de agua pueden aumentar los niveles de oxígeno disuelto.	% de Saturación
Los Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no.	mg/l
Nitrógeno total/Fósforo total (NT/PT)	Mide la degradación por intervención antrópica; es una forma de aplicar el concepto de saprobiedad empleado para cuerpos de agua lénticos (ciénagas, lagos, etc.), es una relación que indica el balance de nutrientes para la productividad acuícola de las zonas inundables en los ríos neotropicales.	mg N/L mg P/L
Conductividad Eléctrica (C.E)	Indica la presencia de sales ionizadas, como cloruros o iones de sodio, carbonatos, entre otros. Además, este parámetro permite relacionar e interpretar resultados con los sólidos disueltos en las descargas o cuerpos de agua.	$\mu S/cm$
pH	Indicativo del grado de acidez, basicidad y alcalinidad del agua. Además, este parámetro origina variación en la composición de la fauna y flora de los cuerpos de agua e influye en el grado de toxicidad de ciertos compuestos, como el amoníaco, metales pesados, hidrógeno sulfurado, entre otros	Unidades de pH

Nota: Construida por el autor con información de (IDEAM, 2005)-(Durán, 2016)

También es importante analizar variables tales como la temperatura y turbidez, debido a que su

valor es significativo en el resultado de algunas variables anteriormente mencionadas como lo son el OD, SST y DQO, este autor define estas variables de la siguiente manera:

Tabla 3  
*Propiedades fisicoquímicas y biológicas del Agua*

Propiedad	Definición	Unidades
Temperatura	Una de las variables más significativas en los cuerpos de agua, sirviendo de indicativo de la estabilidad ecológica del sistema. Además, las variaciones de este parámetro generan un cambio en el ambiente de desarrollo de la fauna y flora presentes en los cuerpos de agua.	°C
Turbidez	Grado de opacidad en el agua debido a la presencia de material particulado en suspensión. La concentración de sustancias determina la transparencia del agua debido a que limita el paso de luz. Algunas actividades como: construcciones de carreteras, canteras, minería; dejan el suelo expuesto a la erosión, permitiendo que por escorrentía se altere este parámetro en ríos.	NTU

Nota: Construida por el autor con información de (Durán, 2016)

### 3. Módulo electrónico de estimación de calidad del agua y suelo

En este capítulo se expone los requerimientos de diseño del dispositivo y el diseño conceptual llevado a cabo, presentado en la figura 1. Se describe el proceso de selección de variables, la instrumentación requerida para la adquisición de señales, su respectiva adecuación, procesamiento, comunicación e interfaz donde se visualizan los datos adquiridos.

#### 3.1. Especificaciones de diseño

Las especificaciones de diseño se establecen a partir de la necesidad de conocer una estimación de calidad de agua y de suelo para uso informativo y pedagógico en usuarios de la comunidad del páramo, tal que la confiabilidad en la medida sea aceptable para tales propósitos y que el módulo

resulte económico en su construcción. Dicho módulo aporta en el desarrollo de uno de los objetivos del proyecto UIS (Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH), Grupo de Investigación en Control, Electrónica, Modelado y Simulación (CEMOS) y Grupo de Investigación en Población, Ambiente y Desarrollo (G-PAD) (2017)) que consiste integrar a la comunidad activamente en el desarrollo de la investigación. Por lo anterior se decide construir un dispositivo cuyas entradas sean variables físicas asociadas a la composición de recursos naturales hídricos y de suelo, después de tratar esta información, en la salida se presenta un estimado de calidad de agua y de suelo con base en los rangos óptimos de cada variable en la zona de estudio, además se necesita que el dispositivo sea económico, con una interfaz clara y concisa, para que se pueda operar por cualquier persona. A continuación se observan en las tablas 4 y 5, los rangos de valores nominales de las variables a medir en la zona del páramo (suministradas por el equipo investigador UIS ) junto a los rangos de medida de los instrumentos.

Tabla 4

*Valores para la calidad del Suelo*

Propiedad	Rango de Valores Páramo	Rango de Valores Instrumento	Unidades
Temperatura	0 -18.7	-55 ±124	°C
pH	5-7	0-14	pH
Humedad	>40 %	10 - 100 %	%
Conductividad Eléctrica (C.E)	>0.01	0.1525 - 20	mS/cm

### 3.2. Selección de variables asociadas a la calidad del agua y del suelo

En el proceso de evaluación de calidad de agua y de suelo se establece un mínimo de variables de medida, capaces de suministrar información suficiente para realizar una comparación entre las

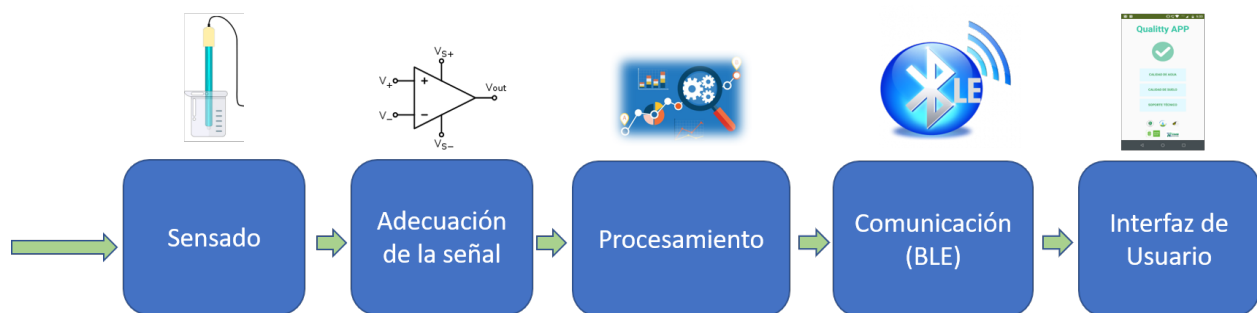
Tabla 5

*Valores para la calidad del Agua*

Propiedad	Rango de Valores Páramo	Rango de Valores Instrumento	Unidades
Temperatura	4.5 -13.7	-55 – +124	°C
pH	5-9	0-14	pH
Turbidez	<3.99	0.557-856	NTU
Conductividad Eléctrica (C.E)	>0.7	0.1525 - 20	mS/cm

variables medidas y el rango aceptable de cada una de ellas para estimar la calidad. En este caso particular, la selección estuvo a cargo del equipo investigador del proyecto UIS (Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH), Grupo de Investigación en Control, Electrónica, Modelado y Simulación (CEMOS) y Grupo de Investigación en Población, Ambiente y Desarrollo (G-PAD), 2017) encargado de estudiar las zonas de interés con respecto a las necesidades del proyecto, concluyendo que con variables como la humedad, la turbidez, la temperatura, la conductividad eléctrica y el pH se puede hacer una estimación de calidad de agua y de suelo.

### 3.3. Diseño conceptual del módulo.



*Figura 1.* Diseño conceptual del dispositivo

Con base en las especificaciones del equipo, se decidió dividir el diseño en 5 etapas buscando

orden en la ejecución y estableciendo un referente para medir el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

**3.3.1. Sensado.** Los sensores fueron seleccionados bajo dos criterios que permitieron dar cumplimiento al propósito fundamental del proyecto que busca construir un módulo electrónico **funcional y de bajo costo**. El primer criterio garantiza mediciones claras y confiables y el segundo asegura que el producto terminado será de bajo costo en comparación con otros dispositivos del mercado diseñados para ese mismo propósito. Una vez definidas las variables de medición, el proceso de selección consistió en revisar la oferta de sensores comerciales con el fin de conocer los precios y prestaciones de estos, luego se establecieron dos filtros de selección, el primero consistía en definir un rango de precio, con el que se descartaron los instrumentos más costosos, y el segundo de funcionalidad, donde se revisó que el sensor cumpliera con un mínimo de prestaciones en un ecosistema de páramo, como la temperatura de operación, rango de medida, precisión y sensibilidad. En caso de que ninguno de los sensores cumpliera con los requisitos, se procedía a realizar una nueva búsqueda, esta vez ampliando el rango de precios; abarcando dispositivos que cumplieran con el criterio de funcionalidad, así hasta llegar a la siguiente selección. A continuación se describen los sensores seleccionados para cada variable:

**Sensor de temperatura DS18B20.***Figura 2. Sensor de temperatura DS18B20*

Tabla 6

*Especificaciones del sensor de Temperatura DS18B20*

Parámetros	Rango de Operación
Voltaje de alimentación	3.0V a 5.5V
Tiempo de Respuesta	<750 ms
Rango de Medición	-55° a +124°
Precisión	±0.5 °C de -10 °C a + 85 °C

Nota:Dallas Semiconductors (2020)

**Sensor de conductividad eléctrica DFR0300.** El sensor de conductividad eléctrica DFR0300 está compuesto por un electrodo y un módulo que adecua la señal para ser sensada por un micro-controlador.



Figura 3. Electrodo y módulo de Conductividad Eléctrica

Tabla 7

*Especificaciones de la sonda de Conductividad Eléctrica*

Parámetro	Rangos de Operación
Rango de detección	1 - 20 mS/cm
Rango de temperatura	0° - 40°C
Rango de detección Recomendado	0 - 15 mS/cm

Nota:DFROBOT DFR0300 (2020)

Tabla 8

*Especificaciones del módulo de adecuación de señal de Conductividad Eléctrica*

Parámetro	Rangos de Operación
Voltaje de Alimentación	3.0V - 5.0V
Voltaje de Salida	0V - 3.4V
Precisión de medida	±5 %

Nota:DFROBOT DFR0300 (2020)

**Sensor de pH SEN0161.** Al igual que el sensor de conductividad eléctrica el sensor de pH SEN0161 se compone por un electrodo que cuenta con una solución de referencia de pH conocido en su interior y un módulo que adecua la señal para ser interpretada por el microcontrolador.

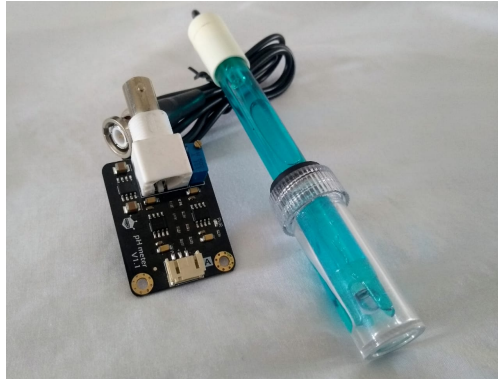


Figura 4. Electrodo y módulo de pH

Tabla 9

*Especificaciones de la sonda de pH*

Parámetro	Rangos de Operación
Rango de detección	0 - 14
Rango de temperatura	5°C - 60°C
Punto Cero	7 ±0.5
Tiempo de Respuesta	<2min

Nota:DFROBOT SEN0161 (2020)

Tabla 10

*Especificaciones del módulo de adecuación de señal de pH*

Parámetro	Rangos de Operación
Voltaje de alimentación	4.5V - 5V
Voltaje de salida	0 - 3V
Precisión de medida	±0.1 a 25°C

Nota:DFROBOT SEN0161 (2020)

**Sensor de turbidez SEN0189.**

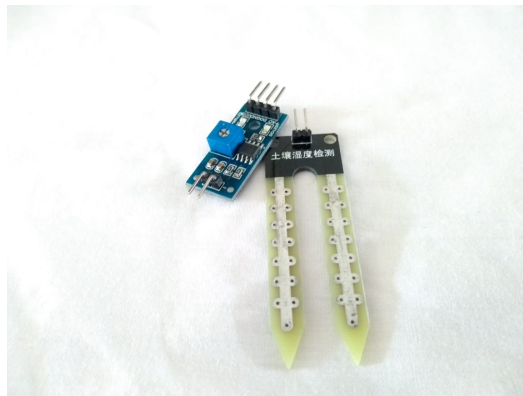
*Figura 5.* Sensor de turbidez SEN0189

Tabla 11

*Especificaciones sensor de turbiedad SEN0189*

<b>Parámetro</b>	<b>Rango de operación</b>
Voltaje de funcionamiento	5V
Corriente de funcionamiento	40mA (MAX)
Tiempo de respuesta	<500ms
Modos de salida	Analógica: 0 - 4.5V
	Digital: Umbral ajustable
Temperatura de funcionamiento	5°C -90°C

Nota:DFROBOT SEN0189 (2020)

**Sensor de humedad YL69-YL38.**

*Figura 6.* Sensor de humedad YL69-YL38

Tabla 12

*Especificaciones sensor de Humedad YL38 y YL-69*

Tiempo de Respuesta	10 sg
Rango de Medición	0 a 100%
Incertidumbre	5,720%

**3.3.2. Acondicionamiento de señales.** En esta etapa se acondicionan tanto las señales asociadas con las variables medidas, como la de alimentación.

**Acondicionamiento de la señal de potencia:** Para la alimentación del equipo se usaron dos baterías en serie 18650 de litio de 3.7 V cada una, con capacidad de carga eléctrica de 480mAh, estas cuentan con un circuito de protección que evita que las celdas se sobre carguen o se descarguen por debajo de 2.4V. Como la unidad de procesamiento trabaja a 5V, fue necesario ajustar la tensión mediante un regulador de voltaje LM2576t acompañado de un arreglo circuital típico para minimizar las variaciones a la salida y proteger la entrada del microcontrolador, como se muestra en la Figura 40 del Apéndice B, esta misma tensión alimenta los sensores de pH y de turbidez con un suministro de corriente suficiente para que la tensión se mantenga estable.

**Acondicionamiento de señales de medición:** A pesar de que el sensor de turbiedad cuenta con un módulo de adecuación de señal, está diseñado para trabajar con voltajes de salida por encima de los permitidos por el el adc, por tal motivo se diseñó una etapa que regulara la tensión máxima de 4.2V a 3.3V, ésta etapa consta de un acoplador de impedancias seguido de un divisor de tensión, como se muestra en la Figura 41 del Apéndice B. Previo al procesamiento de información, la señal de salida de los sensores pasa por un conversor analógico digital, en este caso un ads1115 que cuenta

Tabla 13

*Especificaciones del ADS1115*

Parámetro	Rangos de Operación
Voltaje de Alimentación	2.0V - 5.5V
Consumo de Corriente	150 $\mu$ A
Velocidad de datos Programados	8 SPS a 860 SPS
Temperatura de Funcionamiento	-40°C a +125°C

Nota: Texas Instruments (2018)

con ganancias programables que permiten ajustar la resolución, posee alta velocidad de respuesta, un consumo de corriente bajo y un comportamiento lineal que reduce errores de cuantización.



Figura 7. Conversor analógico digital ads1115

**3.3.3. Procesamiento.** En general el procesamiento de datos consiste en almacenar y manipular la información adquirida para producir información significativa de interés. Esta empieza con la recolección y almacenamiento individual de la información de cada sensor. La información se almacena en conjuntos de muestras de cada variable con el fin de calcular un promedio de esta. A partir de dichos promedios se define un estado probable de la calidad del agua o del suelo. Para este fin se usa el microcontrolador ESP32 diseñado por la empresa china Espressif y fabricado por TCM, cuenta con conectividad Wifi, Bluetooth y BLE, y óptimos recursos de procesamiento gra-

cias a su procesador dual core Xtensa LX6 de 32 bits, además maneja un bajo consumo corriente, cualidad que lo hace ideal para este tipo de aplicaciones. El software usado para el procesamiento y observación preliminar de las señales FUE *Arduino IDE*, en cual es un entorno de desarrollo diseñado para programar los productos de arduino, sin embargo con la modificación de su estructura se puede trabajar con otras placas de desarrollo.

**3.3.4. Interfaz de usuario.** Se usó como interfaz de usuario una aplicación móvil diseñada con la plataforma *App Inventor*, desarrollada por el instituto tecnológico de Massachusetts MIT con fines académicos, por consiguiente su programación es sencilla y didáctica, dado que se realiza en un entorno gráfico mediante bloques de instrucciones que forman bloques más complejos hasta llegar a aplicaciones móviles completas y funcionales. La figura 8 muestra el entorno de programación por bloques que usa la plataforma. Mientras que la figura 9 presenta la interfaz diseñada y el Apéndice F el manual de usuario de dicha interfaz.

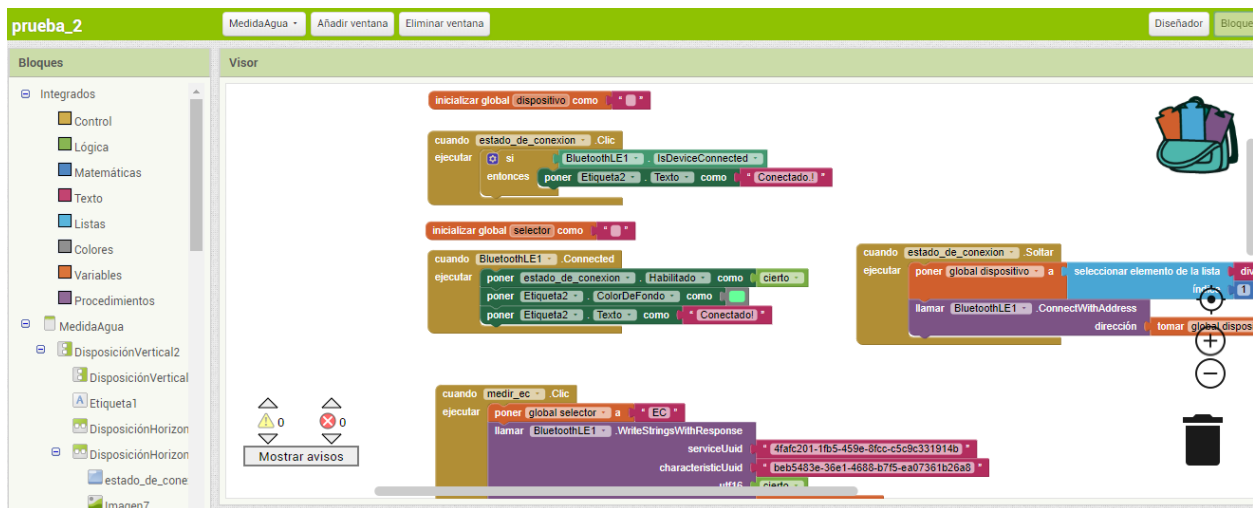


Figura 8. Entorno de programación por bloques



Figura 9. Pagina principal de la aplicación

**3.3.5. Embalaje.** El embalaje fue diseñado pensando en la comodidad del usuario para realizar las mediciones. Motivo por el cual se usaron terminales grandes y de fácil conexión donde se visualizan con indicadores claros la ubicación de cada una de las sondas, cuenta con una correa que facilita su transporte, permite acceder fácilmente a la tarjeta impresa, donde se sitúa todo el componente electrónico del dispositivo pensando en su mantenimiento. El material empleado fue acrílico, que además de ser resistente y liviano le da un buen aspecto al prototipo.

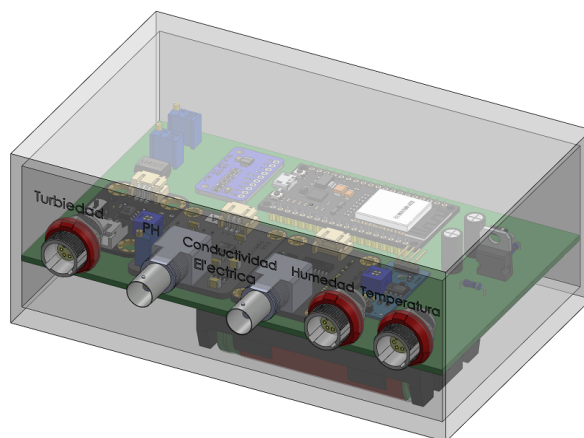


Figura 10. Diseño del prototipo

## 4. Resultados

### 4.1. Caracterización de ADC ADS1115

Para la caracterización de este adc se tomó como entrada controlada una fuente lineal, comprobando su valor mediante el uso del multímetro FLUKE CAT III. Al obtener los datos se puede ver en la Figura 11 que la respuesta de este ADC tiene un comportamiento lineal, por lo tanto, no es necesario utilizar un factor de corrección, con esto se evita errores de cuantización asociados al instrumento además de aumentar la resolución en la medida.

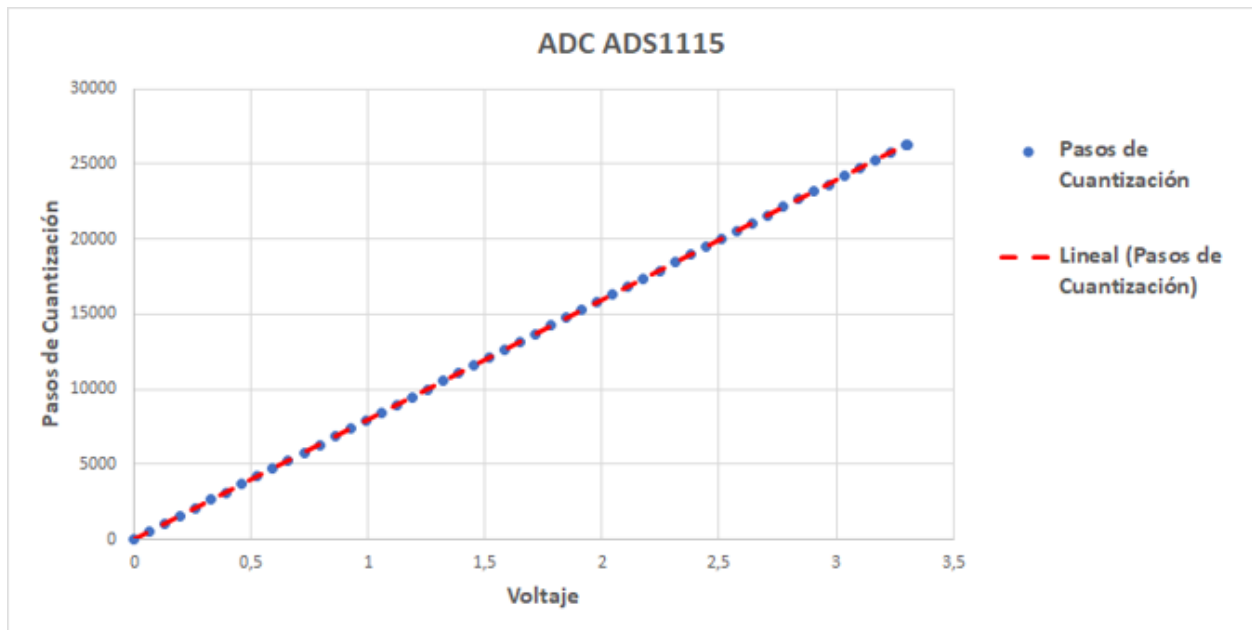


Figura 11. Caracterización ADC ADS1115

### 4.2. Calibración

En un instrumento ideal, la relación entre los valores reales de las variables comprendidos dentro de un campo de medida y los valores de lectura del aparato deben ser lineales (CREUS SOLE,

2006). En este proceso en particular, se tomaron como referencia sensores previamente calibrados y de mayor precisión que los instrumentos a calibrar. En las gráficas de esta sección se observa las relaciones anteriormente mencionadas. En los trazos naranjas se observa el comportamiento ideal de la relación de lecturas entre el sensor de referencia y el sensor a calibrar, mientras que en la azul se muestra la misma relación, pero con datos experimentales tomados del sensor a calibrar. El objetivo del ajuste es llevar la relación de valores experimentales observados en los trazos azules de las gráficas a una función identidad formada por la relación ideal entre el instrumento referencia y del instrumento a calibrar. Esto se hace aplicando operaciones matemáticas de ajuste a la representación matemática de la función obtenida con datos experimentales hasta conseguir que la función de valores experimentales del trazo azul coincida en la mayor cantidad de puntos con la función identidad del trazo naranja. Cuando se realiza cualquier operación de calibración, se compara el instrumento a calibrar con un instrumento referencia con el fin de cuantificar si el error se encuentra dentro de rango dado por el fabricante, pero como el instrumento de referencia no permite medir exactamente el valor verdadero pues también tiene asociado un error y como además en la operación de comparación intervienen diferentes fuentes de error, no es posible caracterizar la medida por un único valor lo que da lugar a lo que se conoce como incertidumbre (CREUS SOLE, 2006).

**4.2.1. Calibración del Sensor de Temperatura DS18B20.** Para la calibración de este sensor se utilizó como instrumento de referencia un termómetro digital FLUKE 52 II el cual ofrece una respuesta rápida y una precisión de  $(0.05\%+0.3)$  (Fluke, 2010). En las pruebas se utilizaron 10 muestras de la siguiente manera: tres muestras de distintos valores temperatura obtenidos al

mezclar agua de temperaturas superiores a 50°C y agua a temperatura ambiente, tres muestras de distintos valores de temperatura resultado de mezclar agua en estado sólido (hielo) con agua a temperatura ambiente, una muestra temperatura ambiente a 26°C, una muestra de temperatura ambiente a 19°C (éstas dos últimas controlada por el aire acondicionado de la sala), una muestra de tierra húmeda y una de Tierra seca. el procedimiento usado fue el siguiente: en el caso de las muestras líquidas y la de tierra se introdujeron simultáneamente los dos sensores separados unos 3 centímetros aproximadamente como se observa en las figuras 12 y 13, en el caso de la temperatura ambiente se colocaron los sensores cerca al aire acondicionado para tratar de obtener valores de temperatura cercanos a los indicados por el aire separados también a unos 3 centímetros aproximadamente igual que en las otras muestras.



Figura 12. Comparación con muestra de tierra



Figura 13. Comparación con muestra de agua

**Procedimiento para hallar Ajuste.** Se tomaron 12 valores obtenidos del Monitor Serie de *Arduino IDE* por muestra y se registraron en tablas de *Excel*, posteriormente se graficó, ubicando los valores deseados (tomados del instrumento de referencia) en el eje  $x$  y los obtenidos

(del instrumento a calibrar) en el eje  $y$  como se muestra en la figura 14, al hacer un análisis comparativo y con el objetivo de obtener una función identidad se aplicó el siguiente ajuste de acuerdo con aproximaciones lineales que suministraba Excel:

$$f(x) = x + 0,900833 \quad (1)$$

$$f_1(x) = \left( \frac{f(x)}{0,900833} \right) - \left( \frac{0,6578}{0,900833} \right) \quad (2)$$

Donde  $x$  es el valor obtenido del sensor DS18B20,  $f(x)$  es la tendencia lineal que describe su trayectoria y  $f_1(x)$  es el ajuste conseguir la relación lineal entre el valor deseado y el valor medido. Al hacer las correcciones anteriores, se tomaron 8 nuevas muestras las cuales se representan en la Figura 15 donde se observa con respecto a la Figura 14 el ajuste anteriormente mencionado.

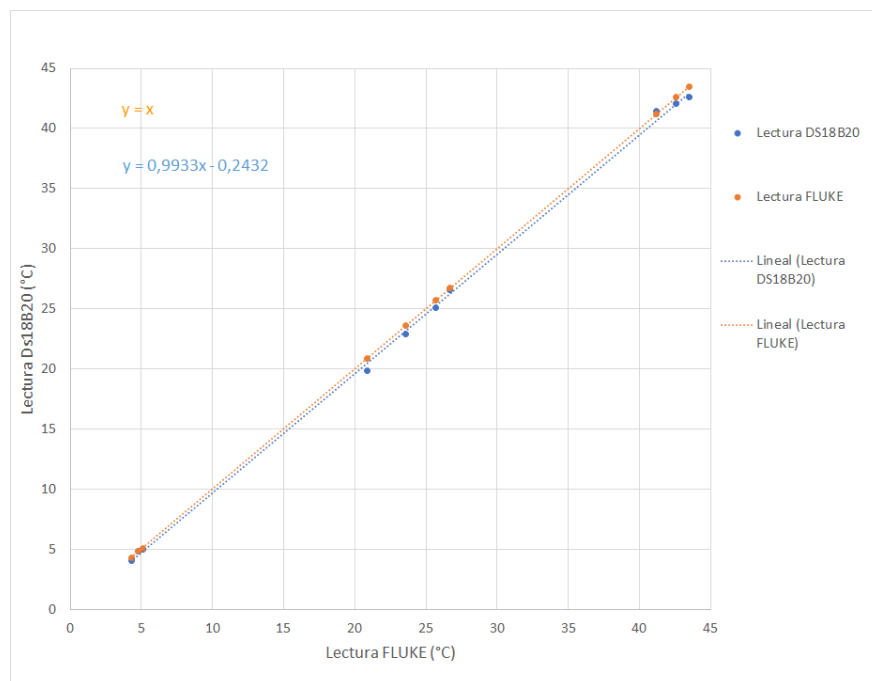


Figura 14. Lectura termómetro Fluke 52 II Vs la del sensor DS18B20

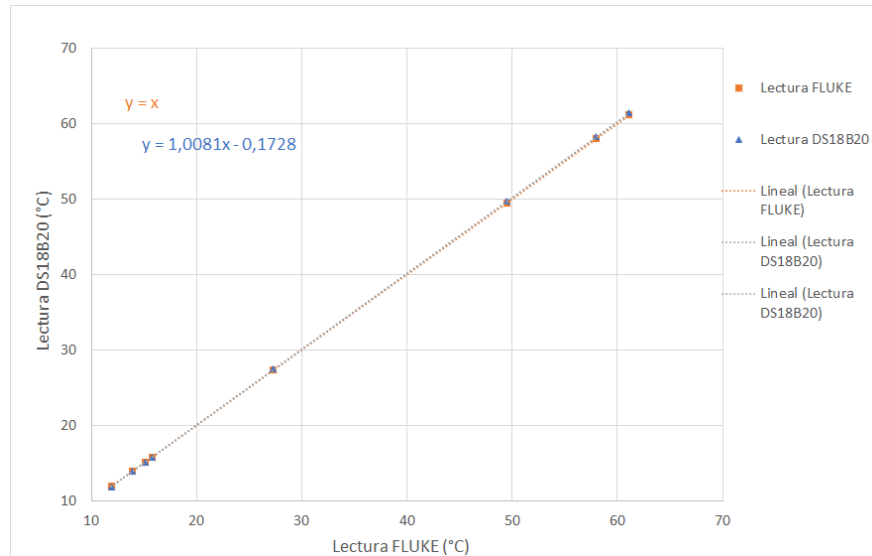
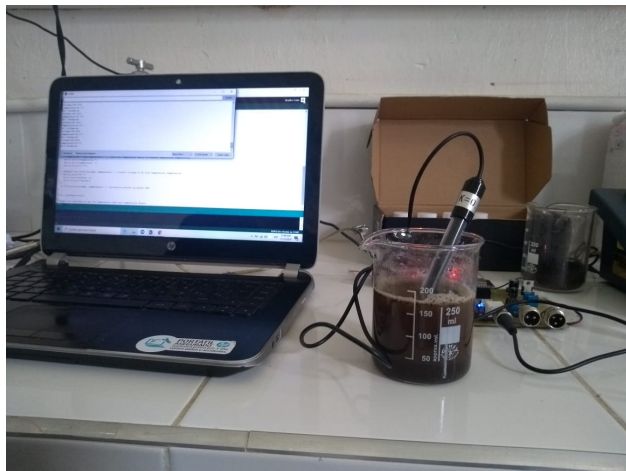


Figura 15. Validación del ajuste

#### 4.2.2. Calibración del Sensor Conductividad Electrica DFR0300.

Para la calibración de este sensor se utilizó como instrumento de referencia el medidor de la marca HACH el sensION™+ MM374 el cual tiene un Exactitud de  $\leq 0.5\%$ , un rango de medición de  $0.001 \mu\text{S}/\text{cm}$  -  $1000 \text{ mS}/\text{cm}$  y una Resolución de  $0,01 \mu\text{S}/\text{cm}$  a  $1 \text{ mS}/\text{cm}$  (HACH, 2020), este medidor se encuentra en laboratorio de Hidráulica. En las pruebas se utilizaron 6 muestras de la siguiente manera: 2 buffers de calibración uno de  $1,413 \text{ mS}/\text{cm}$  y otro de  $12,88 \text{ mS}/\text{cm}$  que vienen con el sensor de conductividad eléctrica DFR0300, un buffer de  $1,413 \text{ mS}/\text{cm}$  que se encuentra en el laboratorio, una mezcla de  $0,26 \text{ g}$  de sal y  $75 \text{ ml}$  de agua destilada, una mezcla de  $0,35 \text{ g}$  de sal y  $75 \text{ ml}$  de agua destilada y una muestra donde la relación de tierra agua es de 1 a 3, para  $40\text{g}$  tierra se aplicaron  $120 \text{ ml}$  agua destilada. Antes de empezar la comparación se calibra el sensor de referencia y se lavan los 2 sensores con agua destilada para eliminar cualquier impureza. Se procede a medir cada muestra, primero con el sensor a calibrar y luego con el sensor de referencia como se muestra en

las Figuras 16 y 17



*Figura 16.* Proceso de calibración: medición con sensor DFR300



*Figura 17.* Proceso de calibración: medición con el sensor sensION™+ MM374

**Procedimiento de ajuste.** Se tomaron 20 valores de los obtenidos del Monitor Serie de *Arduino IDE* por muestra y se registraron en tablas de *Excel*, se gráfica ubicando los valores deseados (tomados del instrumento de referencia) en el eje x y los obtenidos (del instrumento a calibrar) en el eje y como se muestra en la figura 18, allí se ve cómo la mayoría de los puntos azules (correspondientes a los valores del instrumento a calibrar) coinciden con los valores ideales (del instrumento de referencia), por esta razón no se le aplica ajuste pues este sensor ya cuenta con una rutina de calibración establecida por el fabricante.

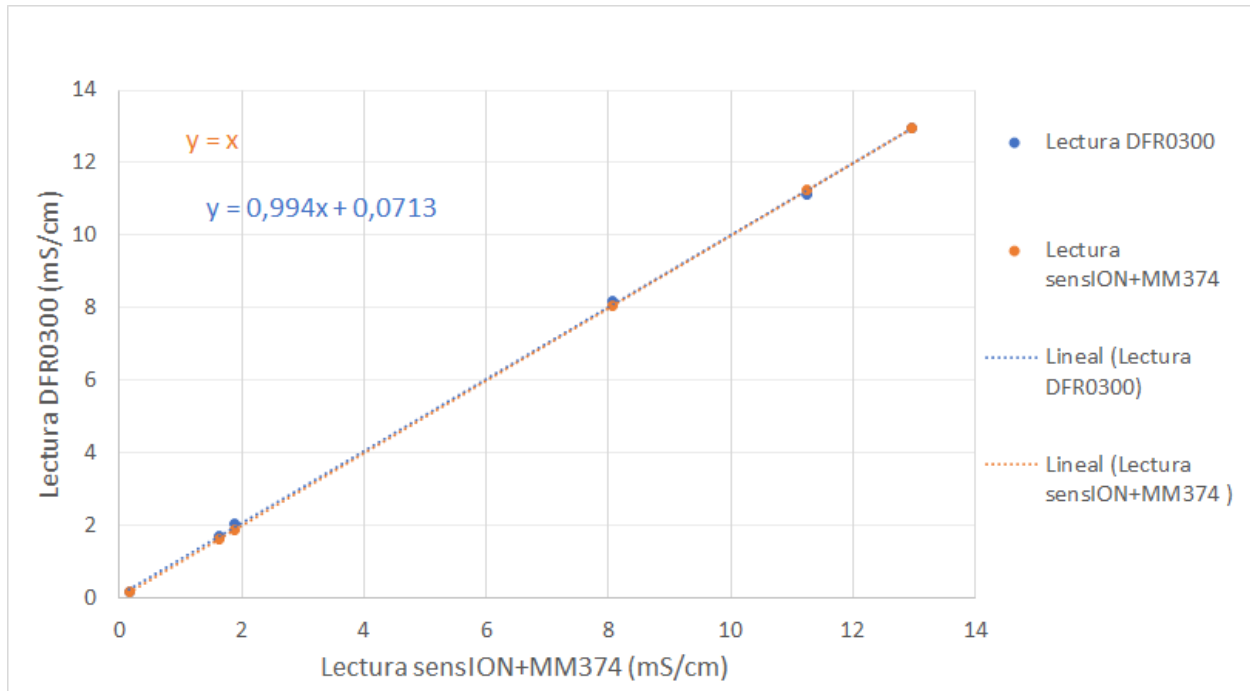


Figura 18. Lectura del equipo sensION<sup>TM</sup>+ MM374 de conductividad eléctrica Vs la del sensor DFR300

**4.2.3. Calibración del Sensor de pH SEN0161.** Para la calibración de este sensor al igual que el de conductividad eléctrica se utilizó como instrumento de referencia el pH-metro de la marca HACH el sensION<sup>TM</sup>+ MM374 el cual tiene un Exactitud de 0,002 pH, un rango de medición de -2.00 - 19.99 pH y una Resolución de 0,001 de pH (HACH, 2020), este medidor se encuentra en laboratorio de Hidráulica. En las pruebas se utilizaron 6 muestras de la siguiente manera: 3 buffer de calibración de marca HANNA® uno de pH 4.01, uno de pH7 y otro de pH10, una mezcla de 0,26 g de sal y 75 ml de agua destilada, una mezcla de 0,35g de sal y 75 ml de agua destilada y una muestra donde la relación de tierra agua es de 1 a 3, para 40g tierra se aplicaron 150 ml agua destilada. Antes de iniciar la comparación se calibra el sensor de referencia del laboratorio.

Luego se hace la medición por separado como se muestra en las figuras 19 y 20.

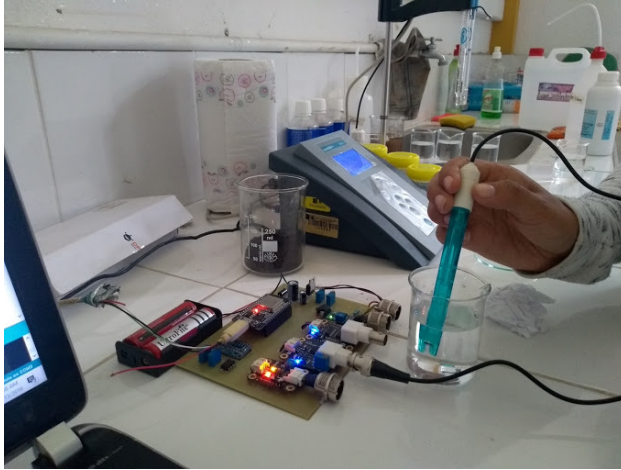


Figura 19. Proceso de calibración: medición con sensor SEN0161



Figura 20. Proceso de calibración: medición con sensION™+ MM374

**Procedimiento para hallar correcciones.** Se tomaron 20 valores obtenidos del Monitor Serie de *Arduino IDE* por muestra, se registraron en tablas de *Excel* y se grafico la comparación entre el valor ideal vs el obtenido por el sensor a calibrar como se muestra en la figura 21, al observarla se puede notar que los puntos azules resultado de las medidas del sensor a calibrar están un poco alejados de los puntos naranjas que representan las medidas ideales, por tal motivo se debe aplicar el siguiente ajuste de acuerdo con la aproximación lineal obtenida con Excel:

$$f(x) = \left( \frac{x}{0,8387} \right) - \left( \frac{0,7286}{0,8387} \right) \quad (3)$$

Donde  $x$  es el valor obtenido del sensor SEN0161, y  $f(x)$  es el ajuste necesario para obtener una relación lineal entre los valores ideales y los obtenidos Luego de aplicar el ajuste se tomaron 4 nuevas muestras las cuales se representan en la figura 22, en esta se observa la cercanía de

los puntos azules que representan los valores del sensor SEN0161 a la línea de puntos naranjas correspondientes a la medida ideal.

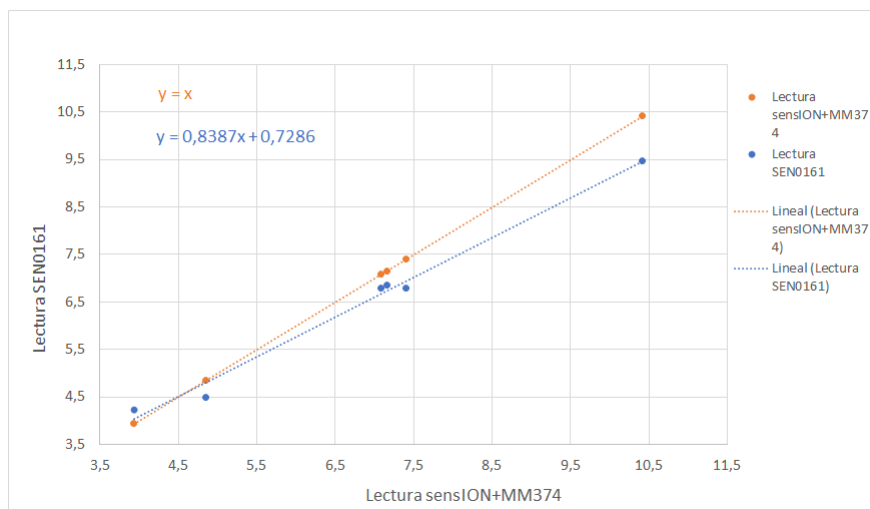


Figura 21. Lectura del equipo sensION<sup>TM</sup>+ MM374 de pH Vs la del sensor SEN0161

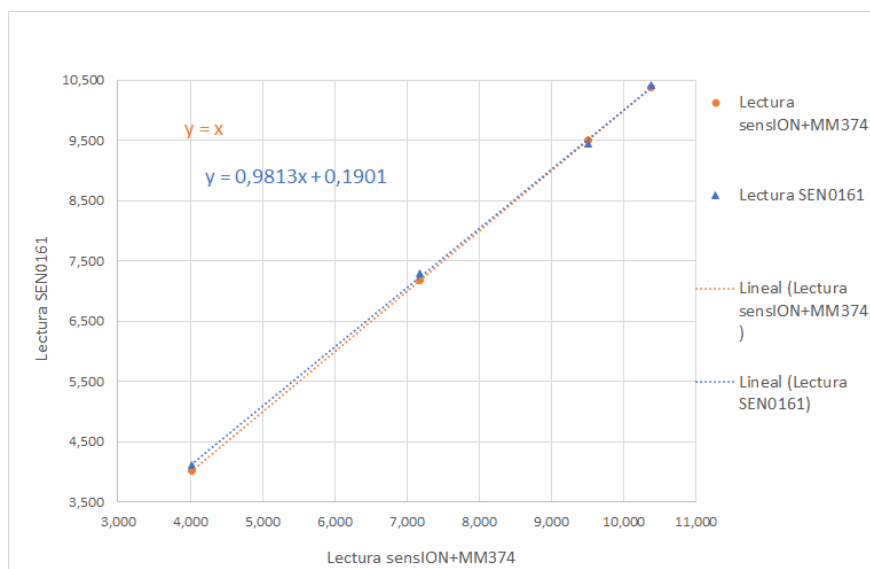


Figura 22. Validación del ajuste

#### 4.2.4. Calibración del Sensor de Turbidez SEN0189.

Para la calibración de este sensor se utilizó como instrumento de referencia un turbidímetro de marca HACH el 2100Q el cual

tiene una Exactitud de 2% de la lectura mas luz difusa y un rango de medición de 0 - 1000NTU (HACH , 2020), este sensor se encuentra en Laboratorio de Procesos. En las pruebas se utilizaron 12 muestras: 6 muestras con diferentes cantidades de tierra de composición arcillosa y agua, 2 muestras de agua con distintas concentraciones de té, agua con aromática, agua de la llave, agua y color y agua destilada. Antes de iniciar con la comparación, se debe calibrar el turbidímetro 2100Q con muestras de 20, 100 y 800 NTU suministradas por el fabricante. Una vez calibrado el instrumento de referencia se lavan los frascos de muestras del turbidímetro con agua destilada, se agrega la muestra a medir y se agita cuidadosamente para obtener uniformidad en la mezcla. Antes de introducir el frasco al la cápsula de medición del sensor 2100Q se limpiar con una gota de aceite siliconado y un paño, luego se introduce en la cápsula según las indicaciones y se espera unos segundos a que el turbidímetro arroje una medida. El procedimiento con el sensor SEN0189 es distinto, pues simplemente se introduce en la solución en un lugar que no esté oscuro como se evidencia en las Figuras 24 y 23 .

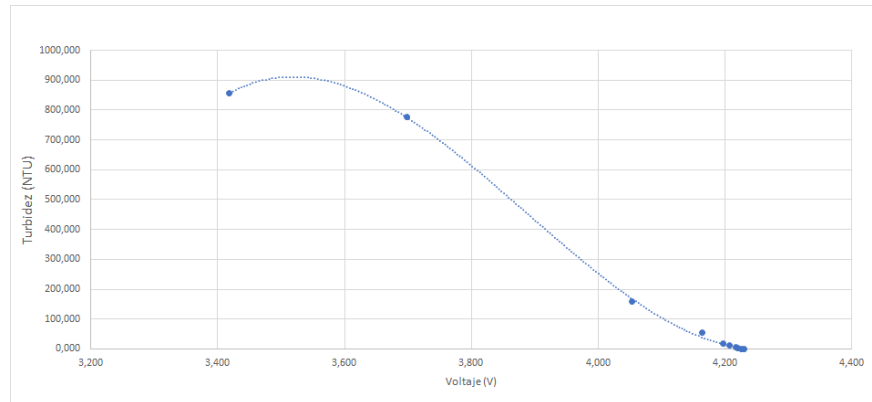


*Figura 23.* Proceso de calibración: medición con sensor SEN0189



*Figura 24.* Proceso de calibración: medición con el sensor sensION™+ MM374

**Procedimiento para hallar ajustes.** Para la calibración de este sensor se tomaron los valores de voltaje que arrojaba el sensor SEN0161 y los valores de turbiedad del 2100Q como se observa en la figura 25, se hizo un ajuste por segmentos dividiendo la gráfica en cuatro tramos como se observa en las figuras 26,27,28 y 29 y se hallaron las ecuaciones que describen el comportamiento de cada uno de ellos, esto con el fin de evitar la sensibilidad del polinomio de grado cuatro que describe toda la caracterización del instrumento. Para verificar el comportamiento del sensor se tomaron 5 muestras, de cada una de ellas se tomaron 26 valores de los obtenidos del Monitor Serie de *Arduino IDE* y se registraron en tablas de *Excel* comparando los resultados con el valor ideal como se muestra en la Figura 30, en esta se observa el acercamiento de los puntos azules correspondientes a los valores del sensor SEN0189 a la línea de puntos naranjas que represente los valores ideales.



*Figura 25.* Relación entre Voltaje y Turbidez

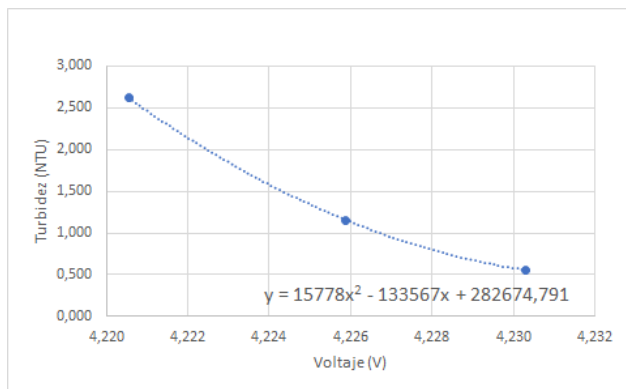


Figura 26. Tramo 1: Voltaje Vs. Turbidez

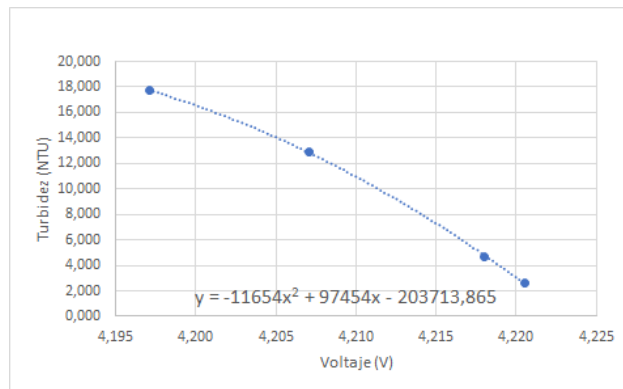


Figura 27. Tramo 2: Voltaje Vs. Turbidez

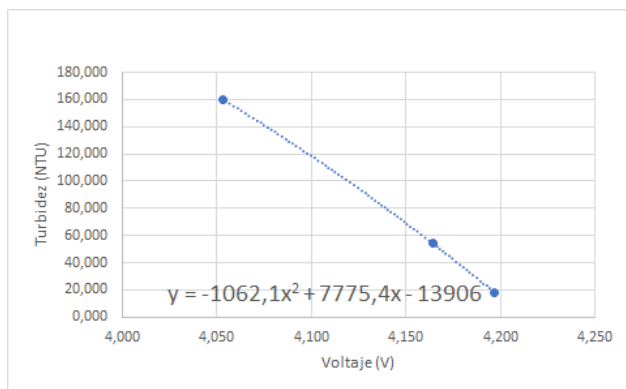


Figura 28. Tramo 3: Voltaje Vs. Turbidez

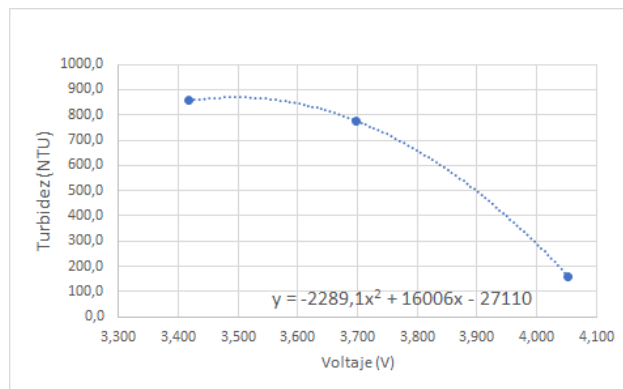


Figura 29. Tramo 4: Voltaje Vs. Turbidez

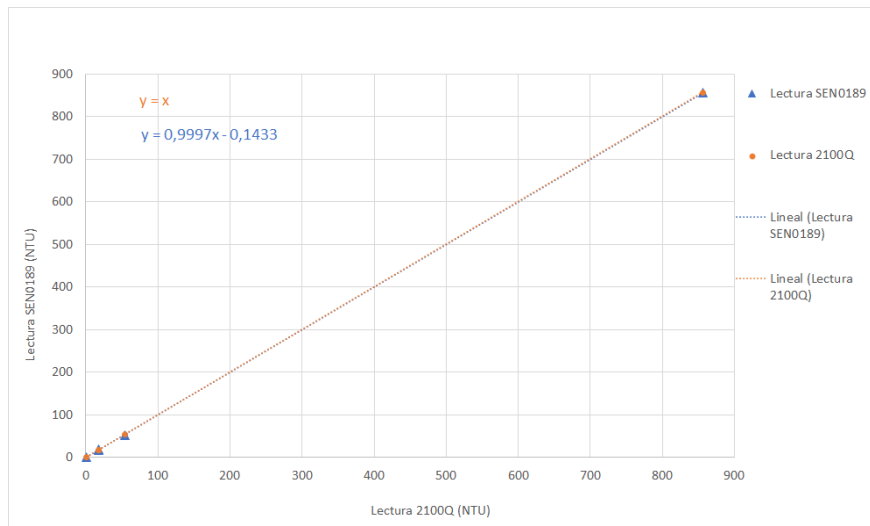


Figura 30. Validación del ajuste

**4.2.5. Calibración del Sensor de Humedad YL69-YL38.** La calibración del sensor de humedad se realizó con base en un modelo usado por (Rose *et al.*, 2019) y (Weng Yeow *et al.*, 2019). Se recolectó una muestra de terrenos destinados al cultivo de papa, adecuandola con el fin de aislar factores no deseados como la presencia de materia orgánica (MO) que propicia la conducción no deseada entre los electrodos. El proceso de adecuación empezó por el secamiento de las muestras en un horno de calentamiento o de secado a 105°C durante 24 horas, posteriormente se intenta retirar la mayor cantidad de materia orgánica visible, como raíces y residuos demás residuos vegetales, sin embargo, para seguir eliminando la mayor cantidad de materia orgánica se vuelven a introducir las muestras en una mufla MFR 2015, pero esta vez a 550°C con el objetivo de incinerar todos los residuos de MO. Al salir del horno las muestras se dejan en una rejilla esperando que se estabilicen a temperatura ambiente, una vez enfriada se tritura y se tamizan con un tamiz número 18 de 1mm, para lograr uniformidad en los gránulos de la muestra.



*Figura 31.* Proceso de calibración: Medición con sensor de humedad YL-69

**Procedimiento para de ajuste.** Para la calibración de este sensor se vierte el contenido de cada muestra en vasos de precipitado de 250ml, donde se introduce el sensor YL-69 y se registra el valor en bits correspondiente al 0% de humedad, luego se toman 5 datos en valores de bits en cada medida, se agrega gradualmente agua destilada a la muestra correspondiente a 4, 8, 12, 24, 27, 30 gramos de agua. Los valores obtenidos se presentan en la Figura 32. Dado que el comportamiento del sensor no es lineal, se hizo un ajuste por tramos donde se dividió la curva en cinco segmentos como se observa en las Figuras 33, 34, 35, 36 y 37 y se hallaron las ecuaciones que describen el comportamiento de cada uno de ellos, esto con el fin de obtener valores más estables. Para validar el comportamiento de este sensor se tomaron 9 muestras con diferentes concentraciones de agua y 5 valores por muestra de los obtenidos del Monitor Serie de *Arduino IDE*. Se registraron en

tablas de *Excel* comparando el resultado con los valores ideales de humedad como se muestran la Figura 38, en esta se observa el acercamiento de los puntos azules (correspondiente a los valores del sensor YL-69) a la línea de puntos naranja (correspondiente al valor ideal).

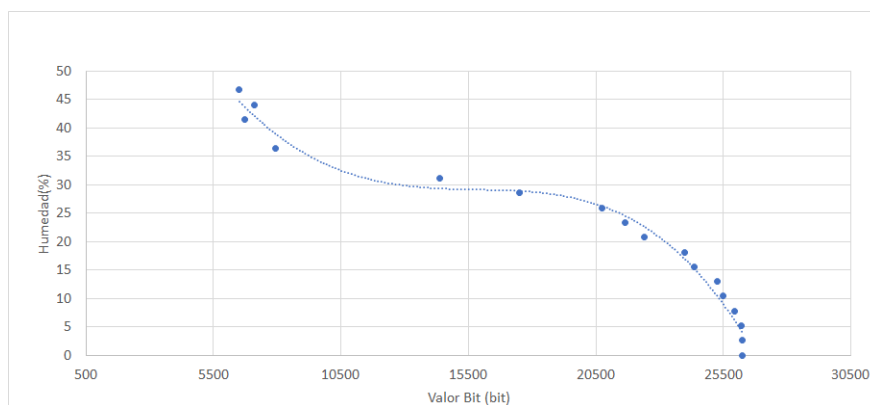


Figura 32. Relación entre el valor Bit y la humedad volumétrica

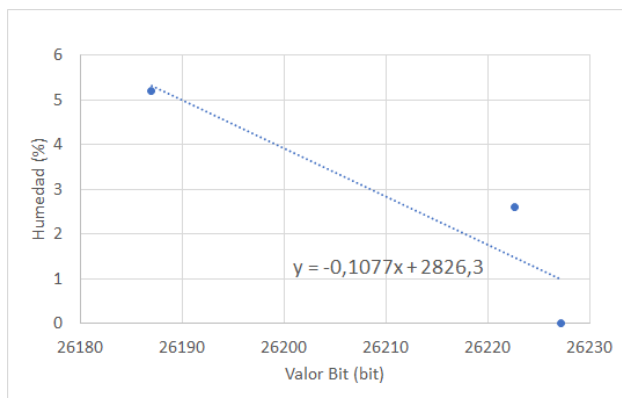


Figura 33. Tramo1: del Valor Bit Vs. Humedad volumétrica

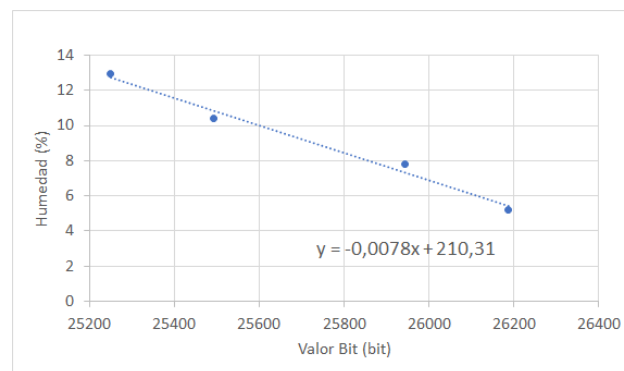


Figura 34. Tramo2: del Valor Bit Vs. Humedad volumétrica

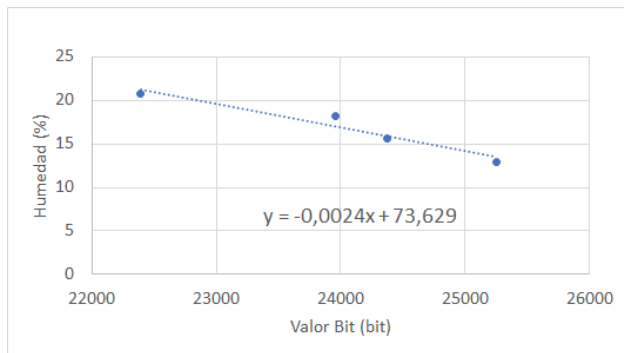


Figura 35. Tramo3: del Valor Bit Vs. Humedad volumétrica

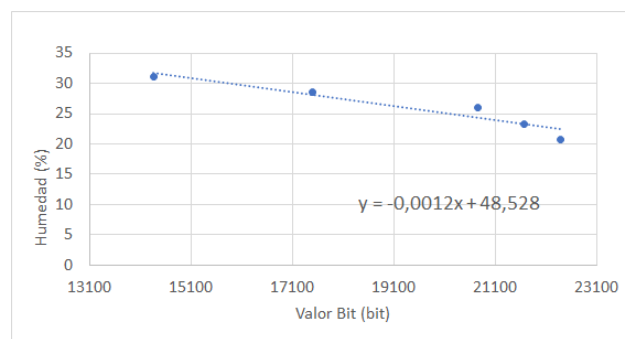


Figura 36. Tramo4: del Valor Bit Vs. Humedad volumétrica

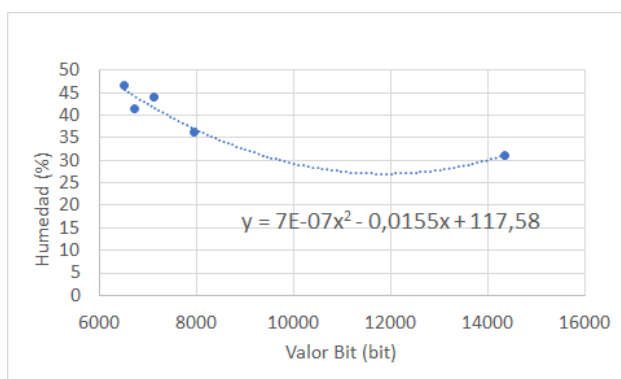


Figura 37. Tramo5: del Valor Bit Vs. Humedad volumétrica

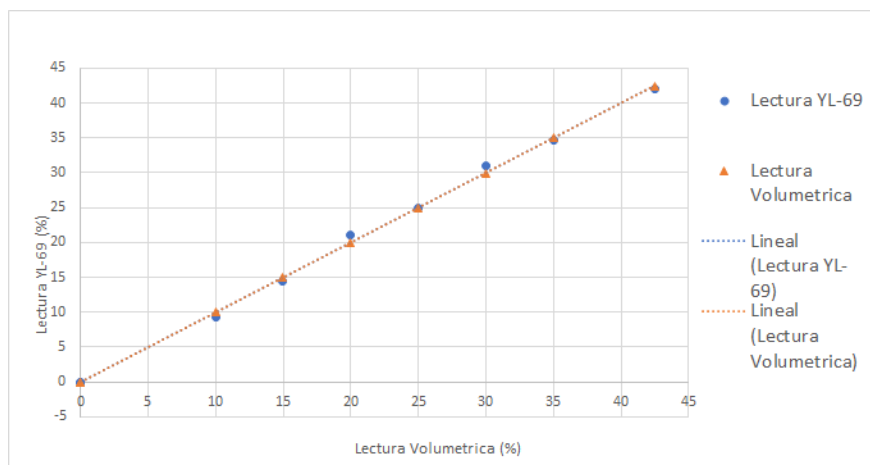


Figura 38. Validación del ajuste

### 4.3. Cálculo de Incertidumbres

Según IMNC (2008) La incertidumbre de medida es un parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente podrían ser atribuidos al mensurando. La incertidumbre se clasifica en dos tipos como lo menciona CREUS SOLE (2006): Tipo A que se relacionan con fuentes de error aleatorios, pueden ser evaluadas a partir de distribuciones estadísticas como la varianza y Tipo B que son asociadas a errores de tipo sistemático y corresponden a la incertidumbre del calibrador, la resolución del instrumento y la influencia de otras magnitudes.

A continuación se presentan las principales fuentes de incertidumbre presentes en el dispositivo expuesto anteriormente:

Tabla 14

*Tipologías de las fuentes de incertidumbre*

Fuente de incertidumbre	Tipo Incertidumbre	Método de determinación
Datos de sensores Dispositivo	Tipo A	Repetición de medida, se Calcula la varianza
Sensor de Temperatura	Tipo B	Descripción Fabricante
Sensor de Conductividad Eléctrica	Tipo A	Repetición de medida, se Calcula la varianza
Sensor de pH	Tipo A	Repetición de medida, se Calcula la varianza
Sensor de Turbidez	Tipo A	Repetición de medida, se Calcula la varianza
Factor de la balanza	Tipo B	Distribución Rectangular
Factor Horno	Tipo B	precisión

Para el Calculo de la varianza de los instrumentos del dispositivo, del sensor de Conductividad eléctrica sensION™+ MM374, pH sensION™+ MM374 y Turbidímetro 2100Q se utilizo la siguiente ecuación:

$$s^2(x) = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad (4)$$

Para hallar la incertidumbre de la humedad volumétrica se tomo como referencia Mesa (2018), es importante tener en cuenta incertidumbres asociadas al método como la de la balanza donde se tuvo en cuenta la resolución que nos brinda el fabricante, esta incertidumbre brindada por la resolución del equipo representa una distribución rectangular, por lo tanto se utiliza la ecuación 6 para su estimación. Y la incertidumbre del horno es brindada por el informe de calibración del horno que reporta una incertidumbre estándar de 5°C. luego se aplico la ecuación 4 con la que se estima la incertidumbre de la humedad volumétrica.

$$Incertidumbre_{Humedad} = \sqrt{(incertidumbre_{Horno})^2 + (incertidumbre_{balanza})^2} \quad (5)$$

$$incertidumbre_{balanza} = \frac{Resolucindelequipo}{\sqrt{12}} \quad (6)$$

#### 4.4. Análisis energético

En esta sección se estudia la demanda de corriente del dispositivo. Se empieza por medir la corriente consumida por cada sensor y la del dispositivo en general como se muestra en la tabla 17,

Tabla 15

*Resultado de incertidumbres*

Fuente de incertidumbre	Incertidumbre
Sensor Temperatura DS18B20	0,033°C
Termometro FLUKE 52 II	0,5°C
Sensor de Conductividad Eléctrica DFR0300	0,0003 mS/cm
Sensor de Conductividad Eléctrica sensION™+ MM374	0,0019 mS/cm
Sensor de pH SEN0161	0,0022
Sensor de pH sensION™+ MM374	0,0970
Sensor de Turbidez SEN0189	13,363 NTU
Turbidimetro 2100Q	7,00 NTU
Sensor de Humedad YL-69	2,778 %
Humedad Volumétrica	5,00%

Tabla 16

*Incertidumbre Total*

Fuente de incertidumbre	Incertidumbre
Sensor Temperatura DS18B20	0,501°C
Sensor de Conductividad Eléctrica DFR0300	0,002mS/cm
Sensor de pH SEN0161	0,097
Sensor de Turbidez SEN0189	15,086NTU
Sensor de Humedad YL-69	5,720 %

esto con el fin de estimar la autonomía del equipo hallada en la ecuación 7. De igual manera se analiza el comportamiento energético donde se observa que al conectar el dispositivo mediante Bluetooth Low Energy(BLE) se presenta un aumento significativo de la corriente de 136mA a 165mA durante menos de 2 segundos y luego de establecerse la conexión, la corriente se vuelve a estabilizar en en aproximadamente 132 mA. Al desconectar BLE la corriente vuelve a incrementar en aproximadamente 6 o 7 mA como se muestra en la figura 39. Estos comportamientos se deben al protocolo interno de comunicación que usa BLE .

Por otra parte se establece el voltaje mínimo de funcionamiento de cada sensor. Esta información se usa como indicador para definir los límites operativos del dispositivo, evitando que la descarga de la batería afecte la medida. Para el cálculo de corriente se usó un adaptador de corriente  $\mu$  Current<sup>TM</sup>, ideal para medir corrientes muy pequeñas con gran precisión, inicialmente éste dispositivo fue diseñado para ser trabajado con un multímetro como indicador, sin embargo, en una versión desarrollada por estudiantes UIS permite procesar la información en una tarjeta de desarrollo con esp32 mostrando los valores de corriente en el monitor serie de *Arduino*.

Para hallar los rangos operativos de alimentación se conecta el dispositivo a una fuente variable de voltaje, con el fin de medir la corriente consumida, se interrumpe el conducto de entrada con un multímetro FLUKE CAT III . La visualización y registro de las lecturas de los sensores se hace a través del monitor serie de *Arduino*. Luego se establece un valor de referencia para cada sensor y se empieza a reducir la tensión de entrada hasta conseguir apagar cada uno. Los puntos donde las lecturas tuvieron variaciones notorias se usan como indicador de falla en la medida dando como resultado el valor mínimo de voltaje de funcionamiento como se muestra en la Tabla 18

Tabla 17

*Consumo de corriente promedio*

Sensor Conectado a la ESP32	Consumo promedio de corriente [mA]
Sensor de temperatura	61mA
Sensor de pH	60mA
Sensor de Conductividad Eléctrica	68 mA
Sensor de turbidez	65mA
Sensor de Humedad	53mA
Todos los sensores conectado	137mA

Tabla 18

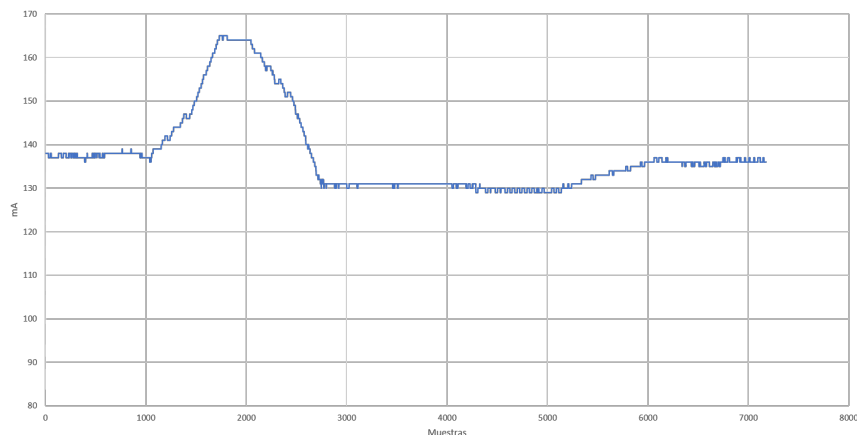
*Limite de funcionamiento y encendido*

Tipo de Sensor	Encendido hasta	Funciona hasta
Sensor de temperatura	1,6 V	1,6 V
Sensor de pH	2,241 V	4,89 V
Sensor de Conductividad Eléctrica	1,54 V	3,26 V
Sensor de turbidez	1,6 V	4,692 V
Sensor de Humedad	1,7 V	3,116 V

$$A = \frac{QE_B}{i_{avg}} \quad (7)$$

Donde A es la autonomía en horas,  $QE_B$  es la carga eléctrica de la batería (6800mAh) e  $i_{avg}$ , en este caso es la corriente promedio del dispositivo (137mA). Dando una autonomía de 49 horas aproximadamente.

Sin embargo, para comprobar experimentalmente la autonomía de la pila, esta se carga completamente, luego se conectan al modulo y se hacen mediciones continuas cada 20 minutos, se registra el tiempo que dura en dejar de funcionar el dispositivo, consiguiendo aproximadamente 3 horas de autonomia, con esto se deduce que la capacidad eléctrica real de la batería es al rededor de 411mAh.



*Figura 39.* Comportamiento de la demanda de corriente del dispositivo.

#### **4.5. Validación del manejo del módulo electrónico**

Finalmente se visitó la zona de estudio en el páramo de Berlín con el propósito de validar que el uso del dispositivo electrónico fuera claro para las personas de la comunidad. Nos desplazamos a la casa de uno de los habitantes del sector, vinculado al proyecto UIS desde sus inicios. A quien le explicamos brevemente en qué consistía el módulo y cuál era el procedimiento para llevar a cabo las mediciones.

Desde el primer momento de la presentación el entrevistado mostró interés, estuvo atento a cada indicación, concluyendo que le parecía un instrumento cómodo, interesante y útil, sin embargo, manifestó preocupación, pues no tiene un buen dominio con equipos celulares, por ello pidió mayor claridad, además sugirió que las sondas tuvieran indicaciones adicionales para facilitar su reconocimiento, por último, dijo que estaría dispuesto a operar el módulo si lo llegáramos a necesitar.

**Aclaraciones:**

- El equipo investigador UIS tiene planeadas algunas actividades de capacitación formal con todos los habitantes vinculados del proyecto para tratar temas de interés entre los cuales estará el uso del módulo electrónico diseñado, allí se explicará de manera clara los temas sugeridos por el entrevistado.
- La razón por la que no se muestra evidencia fotográfica ni se nombra a las personas de la comunidad involucradas en la investigación es porque se han establecido algunas condiciones de privacidad en las que ellos expresaban que no querían aparecer en fotos ni ser nombrados en las publicaciones.

**4.6. Restricciones del prototipo**

- El dispositivo está diseñado para monitoreo asistido por un operario, no se debe dejar en campo haciendo monitoreos continuos y autónomos.
- Se recomienda que la medida de las variables se haga en la hora de la tarde cuando la temperatura esté por encima de 10°C para evitar alteraciones en las medidas. El sensor de humedad no se tienen variaciones significativas con respecto a variaciones de temperatura a menos de que ésta esté muy cercana a los 0°C Rose *et al.* (2019). El sensor de conductividad eléctrica tiene un algoritmo programado de compensación de temperatura dado por el fabricante. La temperatura no afecta significativamente el valor de pH sin embargo se usó un factor de relación para ajustar la medida. Se debe evitar la obstrucción de luz cuando se mida con el sensor de turbiedad para no afectar la medida.

## 5. Conclusiones

- Se logra construir un dispositivo funcional reduciendo costos en comparación con dispositivos comerciales, pero manteniendo incertidumbres inferiores a 15,086. Este consta de una interfaz de usuario desarrollada en Android con indicadores de medida claros que facilitan la interpretación de resultados, permitiendo ser usado por cualquier persona con un mínimo de conocimiento en análisis de agua y de suelos, además ofrece un consumo energético bajo que extiende la autonomía del equipo a aproximadamente 3 horas.
- En relación con el proceso de calibración se usó un método no normalizado y por comparación directa sujeto a acuerdos con el usuario, donde se tomaron diferentes muestras que sirvieron como modelos de predicción mediante aproximaciones polinómicas que ajustaron el resultado en todo el rango medida. Se concluye que, aunque el proceso no se basó en normas establecidas, se obtuvieron resultados con incertidumbres inferiores o iguales al 15,086.
- Dentro de los análisis expuestos en la calibración se pudo observar que el sensor de turbidez SEN0189 al trabajar con un haz de luz es muy sensible a cambios de ambiente, es decir al tomar las medidas en un ambiente oscuro arrojará datos erróneos por tal motivo es necesario hacer medidas en ambientes claros debido al entorno de calibración.

### Referencias Bibliográficas

- Astier, M., Maass, M., & Etchevers, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable derivation of soil quality indicators in the context of sustainable agriculture. *Agrocencia*, 36.
- Bautista-Cruz, A., Etchevers, J., del castillo, R., & Gutiérrez-Castorena, M. D. C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13.
- Biscontini, T. (2018). Bluetooth. *Salem Press Encyclopedia*.
- Bonato, A. & Canto, D. (2007). Bluetooth technology (ieee 802.15). *Sem publicação, sem publicação*, pp. 01–11.
- Buytaert, W., Iñiguez, V., & Bièvre, B. D. (2007). The effects of afforestation and cultivation on water yield in the andean páramo. *Forest Ecology and Management*, 251(1):22 – 30.
- Comuniello, A., De Angelis, A., De Angelis, G., & Moschitta, A. (2019). Ultrasound time of flight based positioning using the bluetooth low energy protocol. En *2019 IEEE International Symposium on Measurements Networking (MN)*, pp. 1–6.
- CREUS SOLE, A. (2006). Instrumentación industrial. 7 a edición. *Alfaomega. México, DF, MX*.
- Cypress Semiconductor (2016). *CY8CKIT-042-BLE-A Bluetooth Low Energy (BLE) Pioneer Kit Guide*.

- Dallas Semiconductors (2020). Ds18b20 programmable resolution 1-wire® digital thermometer, recuperado de:<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temp/DS18B20.pdf>, Enero de 2020.
- Daza, M., Flórez, F., & Triana, F. (2014). Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de sumapaz - colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 67:7189–7200.
- DFROBOT DFR0300 (2020). [https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_\\_Analog\\_Electrical\\_Conductivity\\_Sensor\\_\\_\\_Meter\\_V2\\_\\_K=1\\_\\_SKU\\_DFR0300](https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_Electrical_Conductivity_Sensor___Meter_V2__K=1__SKU_DFR0300), enero de 2020.
- DFROBOT SEN0161 (2020). [https://wiki.dfrobot.com/PH\\_meter\\_SKU\\_\\_SEN0161\\_](https://wiki.dfrobot.com/PH_meter_SKU__SEN0161_), enero de 2020.
- DFROBOT SEN0189 (2020). [https://wiki.dfrobot.com/Turbidity\\_sensor\\_SKU\\_\\_SEN0189#target\\_0](https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189#target_0), enero de 2020.
- Doran, J. W. & Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. *Defining soil quality for a sustainable environment*, 35:1–21.
- Durán, L. E. G. (2016). Evaluación de la calidad de agua de ríos de colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos. *Dinamica ambiental*, (1):83–102.
- Fluke (2010). *51 & 52 Series II*. Fluke Corporation, <https://www.fluke.com/es-co/producto/medicion-de-temperatura/termometros-infrarrojos/fluke-52-ii>, 2 edición. Recursos.

- FredysA.Simanca, H., Páez, J. A. P., Cortes, J., & Palacio, J. V. F. (2019). An app to manage the calculation and graphing of the water quality index (ica): Icagua. *2019 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, pp. 1–7.
- HACH (2020). 2100q turbidímetro portátil (epa) <https://co.hach.com/2100q-turbidimetro-portatil-epa/product?id=53559551579>, enero de 2020.
- HACH (2020). <https://es.hach.com/medidor-de-sobremesa-de-2-canales-sension-mm-374-conforme-a-las-bpl-para-ph-orp-ise-y-conductividad/product-details?id=25116724712>, enero de 2020.
- Hofstede, R. (1997). La importancia hídrica del páramo y aspectos de su manejo. *EcoPar*, Agosto.
- Hofstede, R. (2001). El impacto de las actividades humanas sobre el páramo. *Los Páramos del Ecuador. Particularidades, Problemas y Perspectivas*; Mena, P., Medina, G., Hofstede, R., Eds, pp. 161–185.
- IDEAM (2005). Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ica). recuperado de:<http://www.ideam.gov.co>. consultado:29/01/2020.
- IMNC, N. M. (2008). Vocabulario internacional de metrología—conceptos fundamentales y generales, términos asociados (vim).
- Larson, W. & Pierce, F. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. En *Evaluation for sustainable land management in the developing world: proceedings of the International Workshop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World*, Chiang Rai,

*Thailand, 15-21 September 1991*. [Bangkok, Thailand: International Board for Soil Research and Management, 1991].

Llambí, L., Soto Werschitz, A., Célleri, R., De Bièvre, B., Ochoa-Tocachi, B., & Borja, P. (2012). *Ecología, Hidrología y Suelos del Páramo*.

Meneses-Campo, Y., Castro-Rebolledo, M. I., & Jaramillo-Londoño, A. M. (2019). Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices bmwp/col. y abi. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2):299–310.

Mesa, S. V. (2018). Sistematización de cálculos en el proceso de acreditación de la empresa lópez hermanos Ltda.

Morales, M. E. R. (2010). El páramo como proveedor de agua: Análisis de las unidades geomorfológicas y de vegetación sobre el balance hídrico de una microcuenca andina de Venezuela.

Porta, J., Poch, R. M., & López-Acevedo, M. (2019). *Edafología: uso y protección de suelos*. Mundi-Prensa Libros.

Poulenard, J., Podwojewski, P., Janeau, J.-L., & Collinet, J. (2001). Runoff and soil erosion under rainfall simulation of andisols from the Ecuadorian páramo: effect of tillage and burning. *Catena*, 45(3):185 – 207.

Raggio, M., Raggio, N., Busso, C., Alvarez, A., Panta, E., Gavi, F., Alarcón, J., Acosta, E., Carlos, R., Saenz, E., Pedrero Salcedo, F., & Nicolás, E. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y predicción. *Phyton (Buenos Aires)*, 75.

Rose, J., Jia Chi, L., Yi Lung, T., & Vithanawasam, C. K. (2019). Calibrated analytical model of low cost yl-69 hygrometer sensor for determining moisture content of fruit and vegetable waste. *2019 International UNIMAS STEM 12th Engineering Conference (EnCon), Engineering Conference (EnCon), 2019 International UNIMAS STEM 12th*, pp. 71 – 76.

Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH), Grupo de Investigación en Control, Electrónica, Modelado y Simulación (CEMOS) y Grupo de Investigación en Población, Ambiente y Desarrollo (G-PAD) (2017). Análisis participativo de la influencia del uso del suelo en los servicios hidrológicos de suministro y regulación ofertados por el ecosistema de páramo seco. Caso: Berlín (Complejo Santurbán, Santander-Colombia). Propuesta presentada como convocatoria interna del programa Santander Científico: Sostenibilidad y Defensa del Ecosistema del Páramo de Santurbán. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Sharma, K., Grace, J. K., Mandal, U. K., Gajbhiye, P. N., Srinivas, K., Korwar, G., Bindu, V. H., Ramesh, V., Ramachandran, K., & Yadav, S. (2008). Evaluation of long-term soil management practices using key indicators and soil quality indices in a semi-arid tropical alfisol. *Soil research*, 46(4):368–377.

Talos electronics (2020). Recuperado de:<https://www.taloselectronics.com/products/sensor-de-humedad-del-suelo-yl38-y-yl69>.

Texas Instruments (2018). Ads111x ultra-small, low-power, i2c-compatible, 860-sps, 16-bit adcs with internal reference, oscillator, and programmable comparator, recuperado de:<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1114.pdf> , enero de 2020.

Torres Romero, Sergio Fernando Proaño Santos, C. O. (2018). Componentes del balance hídrico en los páramos de Jatun Sacha, Ecuador. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*.

Weng Yeow, T., Yi Lung, T., Yao Long, L., & Fei Siang, T. (2019). Newly calibrated analytical models for soil moisture content and pH value by low-cost YL-69 hygrometer sensor. *Measurement*, 134:166 – 178.

## Apéndices

### Apéndice A. Funcionamiento de los sensores

#### Sensor de Temperatura

El sensor de temperatura DS18B20 es un sensor digital que proporciona una lectura con exactitud de 9 a 12 bits los cuales se pueden configurar dependiendo de la aplicación. Este sensor usa un protocolo de comunicación llamado 1-wire que permite usar solo un hilo para establecer comunicación con el microprocesador, además cuenta con un modo parásito de energía, en el que se opera con 2 cables, uno de tierra y el de señal que toma energía para funcionar Dallas Semiconductors (2020).

#### Sensor de conductividad eléctrica

El sensor de conductividad eléctrica DFR0300 está compuesto por un electrodo y un módulo que adecua la señal para ser sensada por un microcontrolador. Para medir la capacidad conductiva de un líquido, se utiliza el recíproco de resistencia, es decir, la conductancia, que al multiplicarla por una relación entre la longitud de separación de las placas y el área de la placa del electrodo se obtiene el valor de conductividad. Cuando se inserta el electrodo en alguna solución acuosa, se registran valores de resistencia, que al llegar al módulo pasan por un circuito inversor, seguido de un circuito de valor absoluto, para que finalmente el microcontrolador reciba valores positivos de la señal. DFROBOT DFR0300 (2020).

#### Sensor de pH

El sensor de pH SEN0161 se compone por un electrodo que cuenta con una solución de referen-

cia de pH conocido en su interior y un módulo que adecua la señal para ser interpretada por el microcontrolador. La base del funcionamiento del instrumento radica en la medida de diferencia de potencial que se registra en el electrodo al ser expuesto a una solución con ph diferente a la solución de referencia, resultado de una comparación entre la concentración de protones de las dos soluciones, para poder extraer esta información, el electrodo cuenta con una membrana selectiva que adsorbe, por un lado los protones de la solución de referencia (que se mantienen fijos), y por otro lado los de la solución a medir, una vez las membranas están cargadas, se presenta la diferencia de potencial que finalmente es traducido en un valor de pH. DFROBOT SEN0161 (2020)

### **Sensor de turbidez**

El sensor de turbidez SEN0189 es un sensor óptico que mide los niveles de opacidad en el agua. Usa un haz de luz para determinar partículas suspendidas en el agua, midiendo la transmitancia y tasa de dispersión de ésta, que cambia dependiendo de los sólidos suspendidos presentes en la muestra, cuanto más sólidos se encuentren el agua aumenta el nivel de turbidez. Este sensor cuenta con un modo de salida analógica o digital, el modo digital permite configurar el nivel de umbral para ser usado como un indicador de alta o baja turbiedad, mientras el módulo analógico registra valores que van desde 0 hasta 4.5V.DFROBOT SEN0189 (2020)

### **Sensor de humedad**

El sensor se compone por el módulo YL 38 y la sonda YL-69. El módulo contiene un circuito comparador LM939, muy estable, un led de encendido, y uno que indica el rebasamiento del umbral establecido por un potenciómetro también incluido en el módulo. Y la sonda YL-69 que tiene dos terminales de material conductor separados a aproximadamente 2 cm. La medida de humedad es

obtenida cuando se aplica una tensión en los terminales de la sonda que posteriormente introducen en el suelo, haciendo que se cierre el circuito y permitiendo circular una pequeña corriente, con esto se registra la resistencia natural del suelo que guarda una relación inversamente proporcional con su humedad, si aumenta la humedad, la corriente crece y por tanto la resistencia disminuye. Talos electronics (2020)

### Apéndice B. Circuito acondicionamiento de señales

A continuación, se presenta el circuito de regulación que alimenta al sensor de pH, Turbidez, y a la unidad de procesamiento. así mismo el circuito de adecuación de señal del sensor de Turbidez y el de pH.

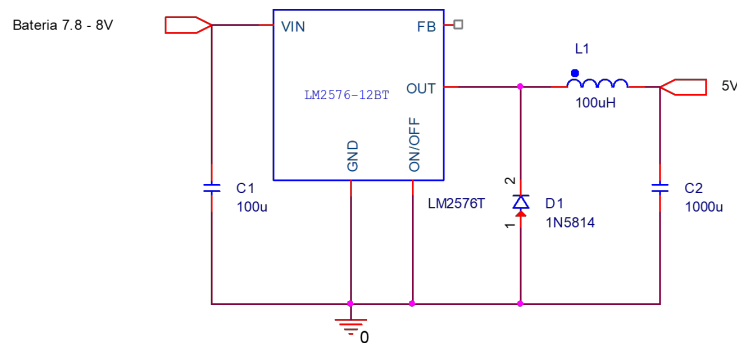


Figura 40. Circuito de regulación de voltaje

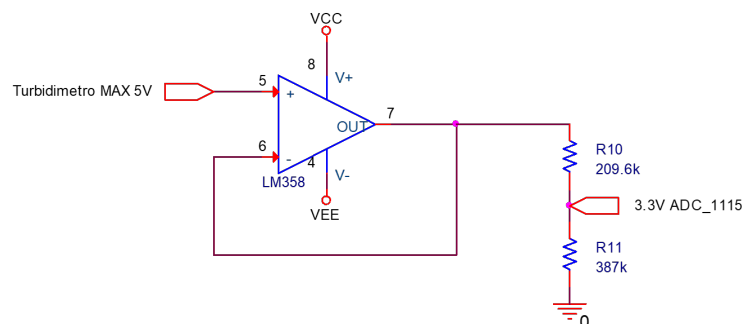


Figura 41. Circuito de adecuación de señal del sensor de turbidez

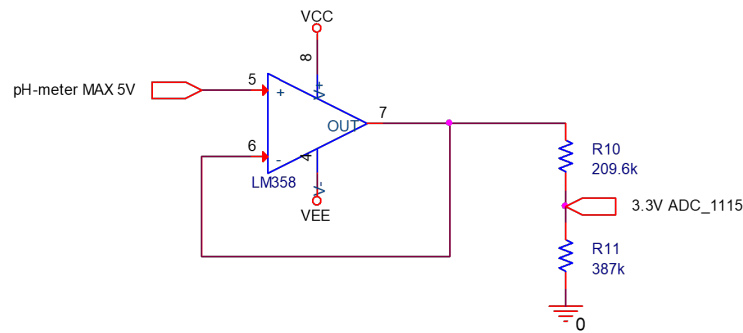


Figura 42. Circuito de adecuación de señal del sensor de pH

### Apéndice C. Diseño de Printed Circuit Board (PCB)

Se diseñó una PCB en la que se ubican los módulos de algunos sensores, la adecuación del sensor de turbidez y pH, la etapa de alimentación, el microcontrolador y un adc externo, con el fin de conectar todos los elementos que hacen parte del prototipo, la placa es realizada en el programa *Circuit Maker* el cual es una herramienta de software EDA gratuita de Altium.

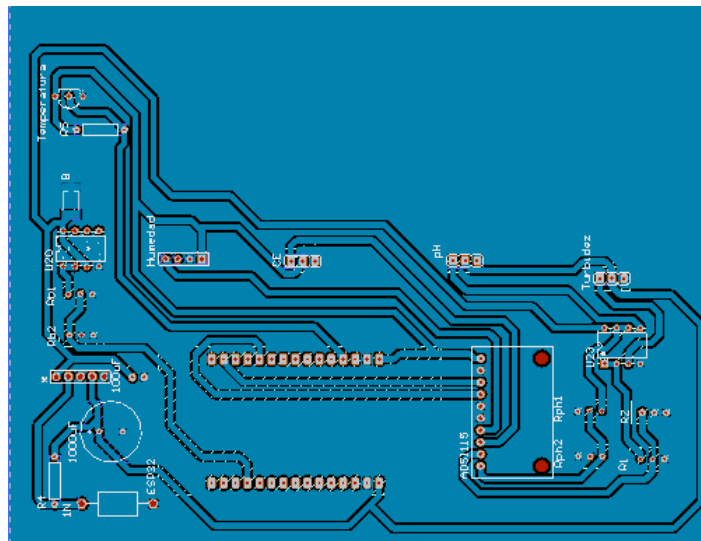


Figura 43. Layout de PCB en CircuitMaker

**Apéndice D. Costo prototipo**

Tabla 19

*Presupuesto Prototipo*

Concepto	Cantidad	Total
Sonda de temperatura DS18B20	1	\$16.387
Sensor de humedad YL-69 y el modulo YL-38	1	\$10.924
Sensor de conductividad Electrica DFR0300	1	\$287.647
Sensor de ph SEN0161	1	\$149.328
Sendor de Turbidez SEN0189	1	\$47.899
ESP32	1	\$29.832
Impresión de PCB	1	\$48.000
Elementos (cable, trimmer, integrados, resistencias,capacitores,etc)	1	\$5.000
Conectores	3	\$5.100
Pilas,Portapilas y Cargador	1	\$38.700
Carcasa	1	\$75.000
<b>Total</b>		<b>\$713.817</b>

**Apéndice E. Comparación de Sensores**

Tabla 20

*Sensores de Temperatura*

Sensores	DS18B20	PT100	PT1000
Rango[°C]	-55a 124	-20 a 450	-200 a 450
Precisión[°C]	+/-0.5	+/- (0.15+(0.002*t))	+/- (0.15+(0.002*t))
Salida	Digital	Analógica	Analógica
Sumergible	Si	Si	Si
Precio[COP]	16.387	23.800	60.000

Tabla 21

*Sensores de Conductividad Eléctrica*

Sensores	DFROBOT DFR0300	Circuito sensor EZO y sonda CE Atlas Scientific
Rango	1 a 20mS/cm	5 a 200.000 S/cm
Precisión	+/- 5%	+/- 2%
Salida	Analógica	Digital
Sumergible	Si	Si
Precio[COP]	287.647	1'031.300

Tabla 22

*Sensores de pH*

Sensores	DFROBOT SEN0161	Circuito sensor EZO y sonda pH Atlas Scientific	DFROBOT SEN0249
Rango	0 - 14	0 - 14	0 - 10
Precisión	+/- 0,1(25°C)	+/- 0,002	+/- 0,1
Tiempo de Respuesta	<2min	1seg	<2min
Salida	Analógica	Digital	Analógica
Sumergible	Si	Si	Si
Precio[COP]	149.328	345.000	336.187

Tabla 23

*Sensor de Turbidez*

Sensores	DFROBOT SEN0189
Rango[NTU]	0 - 1000
Corriente Funcionamiento	40mA(MAX)
Tiempo de Respuesta	<500ms
Salida	Analógica
Sumergible	Si
Precio[COP]	47.899

Tabla 24  
*Sensores de Humedad*

Sensores	YL69 y YL38	Sensor de humedad del suelo y módulo Detector	DFROBOT SEN0193
Voltaje de Entrada	3.3 – 5V	3.3 – 12V	3.3 – 5.5V
Corriente Salida	35 mA	<20mA	–
Tiempo de Respuesta	10seg	1seg	<2min
Salida	Analógica	Analógica	Analógica
Precio[COP]	10.924	31.513	26.698

## Apéndice F. Comunicación

### Bluetooth

Es un sistema de comunicación inalámbrico el cual permite que dispositivos cercanos se comuniquen rápida y eficientemente en una red privada (Biscontini, 2018). Las características principales de esta tecnología son su confiabilidad, bajo consumo y costo mínimo. El rango de frecuencia de transmisión funciona en la banda Industrial, Científica, Médica (ISM) centrada a 2,45 GHz en su capa de Radiofrecuencia(RF) (Bonatto y Canto, 2007).

Estos dispositivos se clasifican según la potencia y el rango en tres niveles: clase 1 (100 mW, rango de hasta 100 m), clase 2 (2.5 mW y rango de hasta 10 m) y clase 3 (1 mW y 1 m de alcance) y cada

dispositivo tiene un número de identificación único de 48 bits. Los dispositivos Bluetooth se comunican entre sí y forman una red llamada piconet (Bonatto y Canto, 2007). Estas redes contienen un dispositivo de control, llamado dispositivo maestro, y hasta siete dispositivos controlados activamente, llamados dispositivos esclavos (Biscontini, 2018). Utilizan un sistema de consulta emitida por los posibles esclavos, es una señal que identifica el dispositivo, su propósito básico y si el dispositivo ya está emparejado o no con un dispositivo maestro. Los dispositivos maestros escanean todas las frecuencias conocidas utilizadas por los dispositivos Bluetooth para consultas (Biscontini, 2018).

### **Bluetooth Low Energy (BLE)**

El BLE o en español Bluetooth de baja energía, conocido como Bluetooth SMART™, es diseñado por Bluetooth Special Interest Group (SIG) para soluciones de bajo consumo e Internet de las cosas (IoT), en comparación con el Bluetooth clásico, BLE está diseñado para una operación de muy baja potencia que proporciona un consumo de energía y un costo considerablemente reducidos, al tiempo que mantiene un rango de comunicación similar que opera en la banda industrial, científica y médica (ISM) sin licencia de 2,4 a 2,485 GHz, este incluye una radio de 2.4 GHz, una capa de enlace y una capa de aplicación (Comuniello *et al.*, 2019). Un dispositivo BLE admite diferentes perfiles y servicios. El perfil de acceso genérico (GAP) admite dos modos diferentes, el de transmisión, que permite definir el rol de emisor y el de observador, y el de conexión, que proporciona canal de comunicación entre un dispositivo central y un dispositivo periférico. Por el contrario, el Perfil ATtribute Genérico (GATT), realiza un enfoque Cliente / servidor, apoyando el rol central y periférico. Un cliente puede conectarse a uno o varios servidores (Cypress Semiconductor, 2016).

Además, un dispositivo BLE puede funcionar en función de maestro o esclavo y un maestro puede manejar numerosas conexiones simultáneas con varios dispositivos esclavos, pero un esclavo solo puede conectarse a un único maestro y cuando estos dispositivos no interactúan información los dos caen en modo sleep.

Apéndice G. Manual De Usuario

# MANUAL DE USUARIO



Versión 1.

2020

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>80</b>
<b>2.Objetivo</b>	<b>80</b>
<b>3.Descripción de componentes</b>	<b>81</b>
<b>4.Proceso para medir</b>	<b>83</b>
<b>5. Recomendaciones</b>	<b>95</b>

### 1. Introducción

Este manual tiene como propósito exponer el procedimiento que el usuario debe realizar al hacer uso de este dispositivo, instruyendo en su buen uso y en la solución de los problemas que puedan suceder durante la operación.

Se encuentra dividido en cuatro secciones: la primera corresponde al objetivo del manual en donde especifica que, para qué y para quienes se ha elaborado.

La segunda sección nos habla de la descripción de cada uno de los componentes que conforman el dispositivo en general.

La tercera sección comprende el procedimiento para medir de una manera ilustrativa, en las cuales se describe en forma ordenada, secuencial y detallada los pasos para la realización de cada medida.

y la última sección contiene recomendaciones a tener en cuenta antes y durante el proceso de medición de variables, adicionalmente se mencionan algunos aspectos acerca del cuidado y conservación del equipo

### 2.Objetivo

Proporcionar al usuario la información necesaria para utilizar el producto, explicar su funcionamiento y la manera adecuada de usar cada sensor, mediante una descripción detallada e ilustrada a través de las opciones de medida para cada variable.

### 3.Descripción de componentes

El dispositivo contiene los siguientes componentes:

#### Sonda de Temperatura



Tiempo de Respuesta	10 sg
Rango de Medición	-55°C a +124°C
Incertidumbre	0,501°C

#### Sonda de Humedad



Tiempo de Respuesta	10 sg
Rango de Medición	0 a 100%
Incertidumbre	5,720%

#### Sonda de pH



Tiempo de Respuesta	10 sg
Rango de Medición	0 - 14
Incertidumbre	0,097

#### Sonda de Conductividad Eléctrica



Tiempo de Respuesta	10 sg
Rango de Medición	0 - 15 mS/cm
Incertidumbre	0,00 2mS/cm

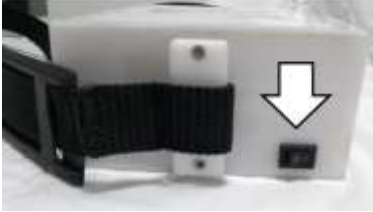




**Sonda de Turbidez**

Tiempo de Respuesta	10 sg
Rango de Medición	0 a 1000 NTU
Incertidumbre	15,086 NTU

**Tarjeta ESP32 que va dentro de la tarjeta impresa****Dos pilas de ion-litio Recargables de 3.3V y un Cargador****Tarjeta Impresa con sus correspondientes módulos****2 Soluciones para el Sensor de Conductividad Eléctrica**

**4. Proceso para medir**

**Procedimiento para hacer conexión con la aplicación:**

<p><b>1..</b> Encienda el medidor, al lado izquierdo encontrará un botón de encendido</p> 	<p><b>2.</b>Active el Bluetooth de su dispositivo móvil y su Ubicación.</p> 	<p><b>3.</b> Abra la aplicación Quality App.</p> 
<p><b>4.</b> Seleccione Calidad del Agua o Calidad del suelo.</p> 	<p><b>5.</b> Seleccione MEDIR CALIDAD DEL AGUA o MEDIR CALIDAD DEL SUELO</p> 	




<p><b>7. Seleccione Conectar Bluetooth</b></p> 	<p><b>8. Seleccione la flecha de atrás de su smartphone y Vuelva seleccionar Conectar Bluetooth</b></p>
<p><b>9. Cuando le aparezca esta pantalla Seleccione MODULE ELECTRÓNICO</b></p> 	<p><b>10. Al finalizar todas las medidas del Agua o del Suelo Seleccione Desconectar.</b></p> 

Tabla 1. conexión con la aplicación

**Nota:** Por favor espere a que cada medida muestre su resultado para seleccionar la siguiente. Solo se puede hacer una medición a la vez.

### Procedimiento para Medir Temperatura en el agua





<p>1. Conecte la sonda de temperatura en el conector indicado.</p> 	<p>2. Asegúrese de estar conectado al dispositivo, si no lo ha hecho revise los pasos en la Tabla 1.</p>	<p>3. Sumerja la parte plateada de la sonda en el agua a medir.</p> 
<p>4. Seleccione CALIDAD DEL AGUA.</p> 	<p>5. Seleccione INSTRUCTIVO si desea leer el procedimiento antes de realizar la medición si no seleccione MEDIR CALIDAD DEL AGUA.</p> 	<p>6. Seleccione MEDIR TEMPERATURA y no saque el sensor del agua hasta que la medida aparezca en la pantalla.</p> 

Tabla 2. Medir Temperatura en el agua

**Nota:** Por favor espere a que cada medida muestre su resultado para seleccionar la siguiente. Solo se puede hacer una medición a la vez.

### Procedimiento para Medir Temperatura en el Suelo











<p><b>1.</b> Conecte la sonda de temperatura en el conector indicado.</p> 	<p><b>2.</b> Asegúrese de estar conectado al dispositivo, si no lo ha hecho revise los pasos en la Tabla 1.</p>	<p><b>3.</b> Sumerja la parte plateada de la sonda en el suelo a medir.</p> 
<p><b>4.</b> En la aplicación móvil Seleccione CALIDAD DEL SUELO.</p> 	<p><b>5.</b> Seleccione INSTRUCTIVO si desea leer el procedimiento antes de realizar la medición antes de realizar la medición si no seleccione MEDIR CALIDAD DEL SUELO.</p> 	<p><b>6.</b> Seleccione MEDIR TEMPERATURA y no saque el sensor del suelo hasta que la medida aparezca en la pantalla.</p> 

Tabla 3. Medir Temperatura en el Suelo

**Procedimiento para Medir pH en el agua**

<p><b>1.</b> Conecte la sonda de pH en el conector indicado.</p> 	<p><b>2.</b> Asegúrese de estar conectado al dispositivo, si no lo ha hecho revise los pasos en la Tabla 1.</p>	<p><b>3.</b> Retire la tapa del sensor.</p> 
<p><b>4.</b> Sumerja el sensor de pH en el agua a medir.</p> 	<p><b>5.</b> Seleccione CALIDAD DEL AGUA.</p> 	<p><b>6.</b> Seleccione INSTRUCTIVO si desea leer antes de realizar la medición si no seleccione MEDIR CALIDAD DEL AGUA.</p> 



7. Seleccione MEDIR PH y no saque el sensor del agua hasta que la medida aparezca en la pantalla.



Tabla 4. Medir pH en el agua

**NOTA:** Lavar el sensor con abundante agua destilada y secarlo muy bien antes de realizar otra medición. Revise que no quede ningún residuo en él antes de guardarlo

### Procedimiento para Medir pH en el suelo

<p>1. Conecte la sonda de pH en el conector indicado.</p> 	<p>2. Tome 2 cucharadas rasas de tierra y viértalas en un vaso con 90 ml de agua destilada y revuelva bien la mezcla.</p> 	<p>3. Asegúrese de estar conectado al dispositivo, si no lo ha hecho revise los pasos en la Tabla 1.</p>
---	---	--










<p>4.Retire la tapa del sensor.</p> 	<p>5. Sumerja el sensor de pH en el agua a medir.</p> 	<p>6.Seleccione CALIDAD DEL SUELO.</p> 
<p>7.Seleccione INSTRUCTIVO si desea leer antes de realizar la medición si no seleccione MEDIR CALIDAD DEL SUELO.</p> 	<p>8.Seleccione MEDIR PH y no saque el sensor del agua hasta que la medida aparezca en la pantalla.</p> 	

Tabla 5. Medir pH en el suelo

**NOTA:** Lavar el sensor con abundante agua destilada y secarlo muy bien antes de realizar otra medición. Revise que no quede ningún residuo en él antes de guardarlo.

**Procedimiento para Medir Conductividad Eléctrica en el agua**

<p><b>1.</b>Conecte la sonda de Conductividad Eléctrica en el conector indicado.</p> 	<p><b>2.</b>Asegúrese de estar conectado al dispositivo , si no lo ha hecho revise los pasos en la Tabla 1.</p>	<p><b>3.</b>Retire la tapa del sensor</p> 
<p><b>4.</b>Sumerja el sensor de Conductividad Eléctrica en el agua a medir.</p> 	<p><b>5.</b> Seleccione CALIDAD DEL AGUA</p> 	<p><b>6.</b>Seleccione INSTRUCTIVO si desea leer antes de realizar la medición si no seleccione MEDIR CALIDAD DEL AGUA</p> 



7. Seleccione MEDIR CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA y no saque el sensor del agua hasta que la medida aparezca en la pantalla



Tabla 6. Medir Conductividad Eléctrica en el agua

**NOTA:** Lavar el sensor con abundante agua destilada y secarlo muy bien antes de realizar otra medición. Revise que no quede ningún residuo en él antes de guardarlo

#### Procedimiento para Medir Conductividad Eléctrica en el suelo

<p>1. Conecte la sonda de Conductividad Eléctrica en el conector indicado.</p> 	<p>2. Tome 2 cucharadas rasas de tierra y viértalas en un vaso con 90 ml de agua destilada y revuelva bien la mezcla</p> 	<p>3. Asegúrese de estar conectado al dispositivo, si no lo ha hecho revise los pasos en la Tabla 1.</p>
<p>4. Retire la tapa del sensor</p>	<p>5. Sumerja el sensor de Conductividad Eléctrica en</p>	<p>6. Seleccione CALIDAD DEL SUELO.</p>

	<p>el agua a medir.</p> 	
<p>7. Seleccione INSTRUCTIVO si desea leer antes de realizar la medición si no seleccione MEDIR CALIDAD DEL SUELO.</p> 	<p>8. Seleccione MEDIR CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA y no saque el sensor del agua hasta que la medida aparezca en la pantalla.</p> 	

Tabla 7. Medir Conductividad Eléctrica en el suelo

**NOTA:** Lavar el sensor con abundante agua destilada y secarlo muy bien antes de realizar otra medición. Revise que no quede ningún residuo en él antes de guardarlo

### Procedimiento para Medir Turbidez en el agua






<p><b>1.</b> Conecte la sonda de Turbidez en el conector indicado.</p> 	<p><b>2.</b> Asegúrese de estar conectado al dispositivo, si no lo ha hecho revise los pasos en la Tabla 1.</p>	<p><b>3.</b> Sumerja el sensor de Turbidez en el agua a medir.</p> 
<p><b>4.</b> Seleccione CALIDAD DEL AGUA.</p> 	<p><b>5.</b> Seleccione INSTRUCTIVO si desea leer antes de realizar la medición si no seleccione MEDIR CALIDAD DEL AGUA.</p> 	<p><b>6.</b> seleccione MEDIR TURBIDEZ y no saque el sensor del agua hasta que la medida aparezca en la pantalla.</p> 




Tabla 8. Medir Turbidez en el agua

**Procedimiento para Medir Humedad en el Suelo**

<p><b>1.</b> Conecte la sonda de temperatura en el conector indicado.</p> 	<p><b>2.</b> Asegúrese de estar conectado al dispositivo, si no lo ha hecho revise los pasos en la Tabla 1.</p>	<p><b>3.</b> Introduzca el sensor de humedad en el suelo a medir.</p> 
<p><b>4.</b> Seleccione CALIDAD DEL SUELO</p> 	<p><b>5.</b> Seleccione INSTRUCTIVO si desea leer antes de realizar la medición si no seleccione MEDIR CALIDAD DEL SUELO</p> 	<p><b>6.</b> Seleccione MEDIR HUMEDAD y no saque el sensor del suelo hasta que la medida aparezca en la pantalla.</p> 

Tabla 9. Medir Humedad en el Suelo

### Procedimiento para Recargar las pilas

<p><b>1.</b>En la parte inferior del dispositivo encontrará una tapa , retire los tornillos con mucha precaución.</p> 	<p><b>2.</b>empuje las pilas hacia atrás tal y como lo indica la figura y retirarlas del dispositivo.</p> 	<p><b>3.</b>Introduzca las pilas en el cargador de la siguiente manera.</p> 
<p><b>4.</b>Conecte el cargador a un enchufe y dejenlas cargar 3 Horas</p> 	<p><b>5.</b>Luego retire las pilas del cargador e introduzca las pilas en el dispositivo.</p>	

*Tabla 10. Recargar las Pilas*

### 5. Recomendaciones

- Lavar el sensor con abundante agua destilada y secarlo muy bien antes de realizar otra medición. Revise que no quede ningún residuo en él antes de guardarlo
- No someta el dispositivo al Agua.
- Revise la batería del dispositivo antes de hacer cualquier medición.
- Es importante que conecte cada sonda en su correspondiente terminal.
- Por favor espere a que cada medida muestre su resultado para seleccionar la siguiente. Solo se puede hacer una medición a la vez.
- Si no va a Utilizar el dispositivo por favor apáguelo.